과학이 보인다

1 과학의 역사

양 재 승

KFSRF 한국식품안전연구재단 도서출판 식안연

과학이 보인다

❶ 과학의 역사

양 재 승

과학이 보인다

1 과학의 역사

양 재 승

KFSRF 한국사회과학문헌연구재단 도서출판 식안연

추 · 천 · 의 · 글

오늘 우리는 고도의 과학문명시대에 살고 있다. 불과 50년 전에는 상상도 하지 못했던 통신기술(IT), 생명공학기술(BT), 나노기술(NT)로 우리의 생활은 편리하고 빠르고 넓게 확장되고 있다. 줄기세포 시술로 인체가 다시 젊어지고 120세 한계 수명까지 살 수 있는 시대가 오고 있다. 그러나 한편으로는 현대 과학기술이 주는 편리함과 안락함이 큰 만큼 인류는 과학기술이 남긴 환경오염과 인간성 퇴화로 지구의 종말을 염려하기도 한다. 환경이 주요 화두가 되고 녹색성장이 강조되는 시대가 된 것이다.

중국과학문명사(Science and Civilisation in China)를 저술한 조셉 니덤(Joseph Needham)은 그의 책 서문에 의미 있는 글을 남겼다.

"초기 중국인들은 그리스인들 못지않게 자연에 대한 깊은 통찰력을 가지고 있었다. 중국에서 아리스토텔레스가 나오지 않은 것은 아마도 훨씬 이른 시기에 현대 과학기술로 발전하는 것을 막는 어떤 방해 요소가 있었던 것 같다. 도교사상 이외에도 중국에는 합리적 자연주의와 계몽적 회의론의 조류가 늘 있어왔고, 이것은 같은 시대 유럽에서 현대 과학기술이 성장하는 동안에도 중국에서 크게 작용했다는 사실이다."

중국의 합리적 자연주의와 계몽적 회의론은 과학기술의 발전이 우주질서와 마찰을 빚고 인간 윤리를 거슬리는 수준에 이르면 거기에서 더 나아가는 것을 포기했다는 것이다. 그래서 중국은 나침반, 화약, 인쇄술 등 인류사를 변화시킬 수많은 발명을 해놓고도 이들을 실용화하지 못했다. 1950년대에 니덤이 보는 이러한 관점은 어쩌면 서양의 과학기술로 환경이 파괴되고 인간성이 몰락하는 오늘의 문제를 동양철학에서는 오래전부터 예견하고 있었다는 것을 암시하는 것이 아닐까?

서양의 과학기술이 분석적이며 단순화된 가설과 증명에 근거한 반면 동양은 통

합적이며 인간과 자연의 조화에 가치를 두고 있다. 세분화, 고도화된 현대과학이 융합을 통해 새로운 활로를 찾으려고 하는 것은 동서양 과학철학 패러다임의 조화라고 볼 수 있다.

저자는 다양하게 발전해온 현대 과학기술의 역사와 특징을 간결하게 추려서 기술하고 있다. 융합을 위한 통섭의 자료를 제공하고 있다. 환경 파괴와 인간성 몰락으로 주춤하고 있는 현대과학의 진로를 찾기 위해서 새로운 융합과 과학철학의 태동이 요구되고 있다. 이러한 때에 과학기술의 역사를 쉽고 간결하게 재조명하고 이들 간의 대화와 네트워크의 가능성을 발견하게 하는 것은 대단히 의미 있는 일이다. 저자는 이 책을 읽은 젊은이들이 새로운 과학기술에 눈뜨고 21세기를 선도하는 과학자들이 많이 배출되기를 바라고 있다. 한류로 세계를 이끌 듯이 이제 과학기술로 세계를 이끌어가는 한국인의 시대를 염원하고 있다.

2013년 3월

고려대학교 명예교수
한국식량안보연구재단 이사장 **이 철 호**

머 · 리 · 말

원래 인류는 사냥꾼이자 채집가였다. 그러다 기원전 8000년경 무렵 마지막 빙하가 물러가면서부터 농작물을 심고 야생동물을 키우는 재능을 계발했다. 그러면서 자연히 사람들은 일정한 거주지에 정착하며 살기 시작했는데, 이런 거주지는 점차 도시로 성장했다. 정착 생활로 인해 자원의 공유가 생겨나고 초보적인 과학이 싹트기 시작했다. 저장한 곡물이나 가축을 세고, 작물의 무게나 땅의 크기를 측량하고 기록해야 했으므로 숫자 체계도 생겼다. 이 숫자 체계는 처음에는 기호에 불과했지만 점점 기록체계로 발전했다. 기원전 2500년경 수메르인들이 기호의 위치에 따라 의미체계를 만들어낸 것이 그 시작이었다. 이 숫자 자리 표기법 덕분에 셈과 수학적 계산이 상당히 쉬워지고 수학적 사고는 더욱 복잡해졌다. 현재 우리는 십진법을 사용하지만 이들은 육십진법을 사용했다. 이 육십진법의 흔적은 지금까지도 우리의 일상생활 곳곳에 남아 있다. 일례로, 한 시간은 60분이고 1분은 60초이며 원은 360도이다.

생활에 규칙적인 패턴을 보이는 것들이 있다. 바로 태양(해)이 매일 뜨고 지는 것과 달과 별이 밤에 움직이는 방식이다. 태양의 위치와 계절의 순환은 인간 생활에 직접적인 영향을 주었기 때문에 기록의 대상이었다. 그래서 천문학이 체계화한 최초의 과학이 된 것은 당연했다. 고대 이집트에서는 새해는 매년 나일 강 범람의 문제와 함께 시작되었다. 나일 강 범람은 농업을 하는 데에 가장 중요한 사건이었기 때문이다. 그래서 이들은 365일 역법을 썼다. 같은 시기에 중국 사람들도 천문학적 사건들을 세련된 방식으로 자세하게 기록했다.

불을 발견하고 농업혁명이 일어나기까지는 약 100만 년이 걸렸고, 거기서 산업혁명이 일어나기까지는 다시 약 1만 년이 걸렸다. 그러나 그보다 훨씬 더 짧은 지난 100년 사이에 과학기술은 세상을 완전히 다른 모습으로 바꾸어놓았다. 20세기의 과학문명은 지난 수천 년 동안 인류가 이룩했던 모든 업적을 능가했다. 오늘날 우리의 일상생활이나 사회생활에는 과학기술의 혜택을 받지 않은 분야가 거의 없으며, 과학기술의 힘을 빌리지 않고 움직이는 분야가 거의 없다. 과학기술은 한

나라에서 국방의 힘이 되고, 경제의 힘이 되고, 외교의 힘이 되어 국력에 커다란 기반이 되고 있다. 산업혁명은 서유럽을 생존경제에서 성장경제로 진입하게 한 대변혁이었다. 산업혁명의 주요인은 급속도로 이루어진 기술혁신이었다. (이 산업혁명으로 서구 경제는 동아시아에 우위를 확보했다.) 전근대사회와 산업혁명 이후의 기술발전의 차이는 신기술을 발명 · 발견하는 방법의 차이에서 나온다. 전근대사회에서는 장인이나 농부들이 기존 기술에 약간의 변형을 가하는 것으로 기술개혁이 이루어졌다. 학식이 낮은 장인이나 기술자들이 경험을 토대로 시행착오를 거치며 이루는 경험 의존적인 기술발전이었다. (이 경우 인구가 많은 나라일수록 그러한 경험이 많을 것이므로 신기술을 개발할 확률도 높다. 따라서 15세기까지 중국의 인구가 유럽의 두 배였던 점을 고려한다면, 그 당시의 기술발전은 중국이 유럽을 상당히 앞섰음을 알 수 있다.)

18세기 영국에서 일어난 산업혁명은 기술개혁이 가속적이고 지속적이었다. 이것이 가능했던 이유로는 첫째, 경험 의존에서 실험 의존으로 기술의 발명과 발견 방법이 바뀐 것을 들 수 있다. 실험실에서는 여러 실험을 한꺼번에 할 수 있으므로 인구의 크기나 시간의 제약을 받지 않기 때문에 빠르게 기술개혁이 이루어질 수 있었다. 둘째, 과학이 실험에 응용된 것이다. 17세기에 들어와 정립되기 시작한 근대과학 이론을 바탕으로 자연현상에 대한 수학적 가설을 세우고 가설의 진위 여부를 인위적 통제가 가능한 실험이나 반복 가능한 시험을 통해 검증할 수 있었다. 이러한 과학적 실험 방법은 기술개혁을 가속화하고 지속하게 했다.

내연기관을 이용하여 개발한 자동차, 트랙터, 비행기 덕택에 어디든지 갈 수 있고 무엇이든지 할 수 있었다. 또한 자동차산업은 계속해서 석유, 고무, 철판, 플라스틱 등의 생산 규모를 키웠고, 이들은 즉시 수많은 다른 용도로 사용되었다. 그러는 동안에는 세계의 과학은 모두 독일과 영국 및 프랑스에 집중되었으며, 나머지 유럽과 미국의 과학연구소는 지역적 분파에 불과했다. 전파탐지기(레이더)와 텔레비전, 플라스틱과 인공섬유, 합성 비타민과 호르몬, 그리고 항생제 등은 모두

이 무렵인 20세기 전반에 개발되기 시작했다.

자연현상은 무수한 반면 이들을 지배하는 법칙들은 몇 개 안 된다. 즉, 과학의 모든 분야는 몇 개의 법칙으로 서로 통한다. 가장 기본적인 몇 가지 원리를 깊이 있게 이해하는 데서 혁신적인 과학기술이 나오는 것이다. 따라서 이 책도 이러한 얼개로 쓰였다. 그런데 역사를 모르고서는 어떤 분야에서도 진정한 전문인이 되기 어렵다. 따라서 "과학이 보인다"에서는 "⑴ 과학의 역사"를 첫 번째로 다루었으며 그 속에서 전통과학, 현대과학, 우리의 과학 순으로 나누어 썼다. 제2차 세계대전 후부터 거대과학을 등에 업은 미국이 세계를 주도하고 있으므로, 현대과학의 글은 미국 거대과학의 산물인 원자폭탄의 개발에 대한 이야기로 시작했다.

⑴ 과학의 역사의 뉴턴과학의 완성(제1장) 부분에서는 석기에서 청동기 그리고 철기로 이어지는 문명의 시작에서부터 말과 글을 써서 생각과 뜻을 전하고 기록하는 데 필요한 인쇄술, 집단 간의 생존경쟁에 따른 화포 개발, 바다를 건너 사람과 문물의 이동을 가능하게 한 항해술, 물자의 대량 생산과 유통이 가능하게 된 영국의 산업혁명을 살펴보았다. 이 무렵에 갈릴레오와 케플러를 거쳐 뉴턴의 만유인력의 법칙이 완성되었다. 자연을 규제하는 중력의 법칙을 과학적으로 알아낸 것이다. 산업혁명은 사람의 힘이나 가축의 힘이 아닌 석탄(열)에너지의 힘을 이용하는 증기기관에 의해 수행되었다. 증기기관은 이후 좀 더 효율이 높은 내연기관으로 발전하여 자동차 등에 이용되었다. 이어지는 산업혁명과 열역학(제2장) 부분에서는 산업혁명 이후에 생산된 자동차, 비행기, 인공위성, 통신 등을 언급했다.

자연계에 천연으로 존재하는 원소는 90가지이며 미량으로 존재하는 나머지 19가지 원소는 인공적으로 만들어진 것이다. 하지만 둘 이상의 원소를 일정한 비율로 화학적으로 결합하면 약 700만 가지 화합물이 만들어진다. 분자 내 원자 결합의 작은 위치 변화가 물질의 성질을 크게 변화시킬 수 있기 때문이다. 이어지는 분자의 화학반응(제3장) 부분에서는 유럽, 특히 독일에서 발달한 물감(염료), 비료(유기농업), 항생제(제약), 합성섬유와 플라스틱을 다루었다. 19세기에 자연에 존재하

는 힘에는 중력뿐만 아니라 전자기력도 있음이 알려짐으로써 20세기를 전후로 전자기력을 이용한 산업이 발전했다. 테슬라(Nikola Tesla) 등에 의해 산업적인 전력이 발전하고, 일반 시민사회에 무선통신과 라디오와 텔레비전과 같은 가전제품이 등장한 것도 이 무렵이다. 따라서 전자기력의 이용(제4장) 부분에서는 위와 같은 내용을 담았다.

한편 전자 등 소립자 연구는 자연의 원자를 규제하는 또 다른 힘인 핵력(강력과 약력)이 있음을 보여주었으며, 이러한 원자에너지를 이용한 원자폭탄이 개발되었다. 따라서 원자력과 소립자(제5장)에서는 발전(원자력), 그리고 라디오와 텔레비전 등의 가전제품, 반도체와 개인용 컴퓨터(PC), 유전자 등의 생명공학, 나노기술 등을 다루었다. 마지막으로 우리의 과학, 생명과 자연의 복잡성 부분에서는 김치 등의 우리나라의 전통적인 발효산업과 침과 뜸 등을 사용하는 대체의학(한의학)을 언급했고, 우리나라가 비교적 앞서간다는 인터넷과 복잡성과학도 다루어보았다. 그리고 네트워크 지식사회를 마지막으로 언급하며 마무리했다.

과거 동아시아 전통과학의 패러다임은 서구 근대과학의 패러다임과는 달랐다. 다음 글 "과학이 보인다 (2)동아시아의 과학"에서는 역사적인 그리고 지정학적인 이웃 국가인 한중일 세 나라의 과학기술을 다루었다. 마지막으로 "과학이 보인다 (3)과학의 최전선"에서는 21세기의 과학, 소위 첨단과학(블루오션)에 대해 쓰려 한다. 필자는 세 권의 글을 한 세트로 과학계뿐 아니라 학생이나 일반 시민들에게 많이 읽히기를 바란다. 이는 지식기반 시대에 시민들이 과학기술을 좀 더 폭넓고 깊이 있게 이해하는 것이 중요하기 때문이다. 많은 사람이 과학을 사랑하고 모든 분야의 사람들이 과학과 대화할 수 있기를 바란다. 끝으로 그동안 필자를 격려해 주신 분들과 아울러 이 책을 기꺼이 출판해 주신 한국식량안보연구재단 이사장님과 한림원 편집진에게 이 자리를 빌어서 감사드립니다.

저자 양 재 승

차 · 례

추천의 글 4

머리말 6

서론〉〉 거대과학의 산물 15

제1장〉〉 뉴턴과학의 완성 25

1. 여명기 27
2. 그리스-로마 29
3. 중세유럽 33
4. 인쇄술 35
5. 화포 39
6. 항해시대 44
7. 신대륙 아메리카 46
8. 향신료 무역 49
9. 도자기 51
10. 먹거리 53
11. 뉴턴과학 56

제2장〉〉 산업혁명과 열역학 61

1. 증기기관 63
2. 방직공업 65
3. 제철 68
4. 기차 72
5. 대량 생산 75
6. 석유 76
7. 내연기관 80
8. 자동차 82
9. 비행기 87

제3장〉〉 분자의 화학반응 93

1. 독일 과학 95
2. 화약 97
3. 염료산업 100
4. 유기농업 102
5. 항생제 106
6. 페니실린 109
7. 합성섬유 113
8. 광합성 116

제4장〉〉 전자기력의 이용 123

1. 전기 125
2. 전자기 127
3. 테슬라 133
4. 반도체 135
5. 텔레비전 138
6. 컴퓨터 142
7. 통신 146
8. 인공위성 150

제5장〉〉 원자력과 소립자 155

1. 자유라디칼 157
2. 전자 159
3. 레이저 163
4. 유전공학 167
5. 동물 복제 173
6. 발효산업 175
7. 대체의학 179
8. 퍼스널 컴퓨터 184
9. 인터넷 186
10. 복잡성과학 191

결론〉〉 21세기 한국의 미래 모습 195

참고문헌 201

서론

거대과학의 산물

거대과학의 산물

제2차 세계대전 중에 원자폭탄이 개발되었다. 원자폭탄의 이론적 근거는 1905년에 발표한 아인슈타인의 '질량-에너지 등가원리'에 관한 논문이었다. 1905년 아인슈타인은 특수상대성이론을 발표했는데, 일정한 양의 에너지는 일정한 질량과 같다는 것으로($E=mc^2$) 빛의 속도를 이용해서 에너지와 질량을 연결시켰다. 그 이론에 따르면 질량은 농축된 에너지이며, 에너지는 적당한 환경에서 질량이 부풀어 오른 것이다.

물리학자들은 핵을 발견했고 곧이어 핵의 내부를 들락거릴 수 있는 중성자라고 불리는 입자도 발견했다. 그리고 우라늄과 같이 입자들이 과포화 상태인 원자 속으로 남는 중성자를 들여보내면 핵 전체가 흔들리다 떨기 시작하고 끝내는 폭발한다는 것도 알아냈다. 그들은 또 우라늄 핵이 분열하면 질량감소현상이 일어나기 때문에 연쇄반응이 가능할 경우에는 아인슈타인의 에너지-질량 등가원리($E=mc^2$)에 따라 엄청난 양의 에너지가 방출되리라는 것을 깨달았다. (핵분열물질인 우라늄 235나 플루토늄 239 등의 원자핵에 중성자를 충돌시키면 원자핵에 분열반응이 일어난다. 이렇게 핵이 분열되면 더 많은 중성자가 방출되고, 이 중성자들은 다시 다른 원자핵에 충돌하여 새로운 핵분열을 일으킨다. 그 과정에서

다시 더 많은 중성자가 만들어지는데, 만약 이렇게 분열 가능한 방사능물질이 충분히 모이면 그 폭발력은 엄청날 수 있다.)

1940년 봄, 영국의 오토 프리시(Otto Frisch)와 루돌프 파이얼스(Rudolf Peierls)는 핵폭탄이 실질적으로 가능함을 영당국에 구체적으로 보고했다. 우라늄의 동소체 중에서 우라늄 235가 잘 분열된다는 사실과 5킬로그램 정도의 우라늄에서 수천 톤의 다이너마이트의 위력이 나온다는 계산을 제시했다. 1941년 여름에는 자연산 우라늄에 핵분열이 용이한 우라늄 235와 핵분열이 어려운 우라늄 238의 비가 1대 140 정도라고 확인했기 때문에, 우라늄 농축이라고 부르는 우라늄 235와 우라늄 238의 분리가 핵심 과제로 부각했다. 이를 위해 원심분리법과 기체확산법 등이 제안되었다.

따라서 1931년 미국의 로렌츠(Ernest O. Lawrence)가 세계 최초로 27인치 사이클로트론(Cyclotron)이라는 입자가속기를 만들어낸 이래 1940년에는 사이클로트론이 37인치와 60인치로 발전해 우라늄 연구에 큰 효과를 발휘했다. 우라늄 235와 우라늄 238은 실질적으로 가속기를 이용해 분리했고, 우라늄238을 가속시키는 과정에서 플루토늄이 생산됨을 확인했다. 또 시보그(Glenn T. Seaborg)와 세그레(Emilio Segre)는 느린중성자에 의한 플루토늄의 유효단면적(Effective Cross Section)이 우라늄 235의 1.7배라는 사실을 발견하여 플루토늄 폭탄의 크기를 더 줄일 수 있었다.

우라늄에 중성자를 충돌시키면 우라늄 핵이 갈라진다. 만일 핵이 갈라질 때 중성자가 발생하면 그다음부터는 이 중성자가 자연적으로 우라늄 핵과 충돌해서 계속해서 핵분열이 일어난다. 원자탄은 이 핵분열 연쇄반응을 이용한 것이다.

1942년 9월에는 핵분열로 인해 방출되는 어마어마한 힘을 폭탄 제조에 활용하려는 맨해튼 프로젝트(계획)가 세워졌다. 이에 당시 최고의 과학자 300여 명이 참여했으며, 루스벨트(Franklin D. Roosevelt) 대통령의 허가를 받아 정식으로 군의 예산(국가 예산)으로 본격적인 원자폭탄을 만드는 맨해튼 계획이 시행되었다. 우라늄의 분리와 정제는 듀폰 회사가 맡았다. 또 전력이 풍부한 테네시 주의 오크리지에서는 중수소를 발견한 유리(Harold C. Urey)의 지도로 대량의 우라늄 농축에 들어갔다. 1942년 12월 2일, 시카고 대학에서 인류 최초의 원자로에서 원자로의 제어가 성공했다. 핵반응을 일으켜 열을 발생시키고 그치게 하는 데 성공한 것이다. 이로써 우라늄 238에서 플루토늄을 대량 생산할 길이 열렸으며, 1944년 말에는 핸포드 플루토늄 생산용 원자로를 가동해 대량 생산에 들어갔다. 원자폭탄은 우라늄 235나 플루토늄 239가 임계질량을 넘도록 해 연쇄적으로 핵분열할 때 내는 커다란 에너지를 무기화한 것이다.

우라늄 235는 우라늄을 임계질량 이하의 두 개로 나눈 다음 기폭시키는 방법을 썼고, 플루토늄은 네더마이어(Seth Neddermeyer)가 고안한, 플루토늄 주위를 내파하는 방법으로 폭파해서 순간적인 임계상태까지 도달하도록 했다. 실질적인 폭탄의 조립과 기폭 실험에 대한 책임자로 1943년에 오펜하이머(Julius R. Oppenheimer)가 임명되었다. 최초의 폭발 실험은 1945년 7월 16일에 사막으로 이루어진 뉴멕시코의 로스알라모스에서 이루어진 원자탄(플루토늄) 폭발 실험이다.

1945년 8월 6일, 히로시마에 TNT 12,500톤의 우라늄탄 꼬마(Little Boy)가 폭발했다. 상공에 떨

어진 폭탄의 중심은 온도가 즉각 섭씨 2,000만 도 이상으로 올라갔고, 이로 인해 원자폭탄을 구성하는 모든 물질이 뜨거운 가스 또는 플라스마 형태로 바뀌었다. 이 가스 상태의 에너지는 다시 엑스선의 형태로 방사되었고, 엑스선의 에너지를 받은 주변의 공기는 뜨겁게 달구어졌다. 그 결과 버섯 형태의 과열된 공기 불덩어리가 생성되어 공중으로 솟구쳤다. 급속히 팽창하는 불덩어리는 주변의 공기를 매우 빠른 속도로 밀어냈는데, 이 부근의 진공으로 엄청난 화재폭풍(Firestorm)이 몰려왔다. 이것은 직경이 228.5미터에 이르는 거대한 불덩어리였다. 1945년 8월 9일에는 플루토늄탄 뚱보(Fat Man)가 나가사키 시의 가파른 경사면 상공 1,650피트에서 TNT 22,000톤의 위력으로 폭발했다. 눈 깜짝할 사이에 인구 10만 이상을 자랑하던 두 도시는 잿더미로 변했다.

1949년, 소련이 원자폭탄 실험을 성공함으로써 미국의 핵 독점이 끝났다. 뒤를 이어 프랑스, 영국, 중국이 원자탄을 보유했으며, 미국과 소련은 냉전이 끝날 때까지 치열한 핵무기 개발 경쟁에 뛰어들었다. 이로써 전 세계는 핵 공포에 떨게 되었다.

수소폭탄은 수소, 중수소, 삼중수소, 리튬을 적당히 섞어서 원자폭탄을 기폭제로 사용해 고온 융합함으로써 제조 가능하다. 1952년, 미국은 에니웨톡 환초에서 12메가톤 급의 습식수소폭탄 실험에 성공했다. (이때 길이 1.6킬로미터, 깊이 50미터의 화구가 생겼다.) 이어서 1954년 히로시마의 750배인 15메가톤 급의 운반 가능한 건식수소폭탄을 비키니 섬에서 터뜨렸다. 구소련도 1953년 수소폭탄 실험에 성공했으며, 1961년에는 사상 최대인 58메가톤 급이 성공했다. 이후 원자폭탄의 소형화, 전술화가 진전되어 다양한 전략을 구사하게 되었고, 일정 크기 이상의 수소폭탄을 활성이 강한 화구에 터뜨려 지구 전체를 폭파하는 것도 가

능하게 되었다.

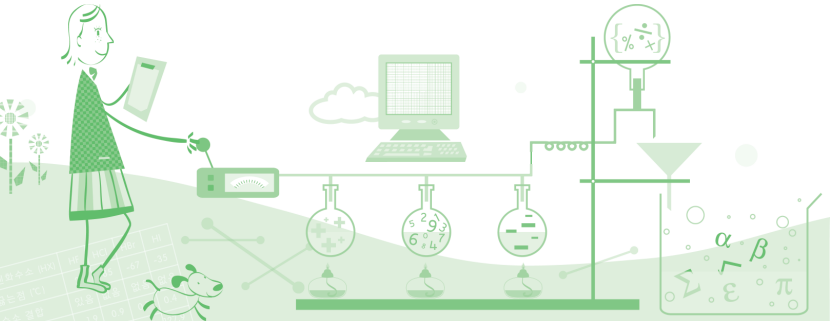
19세기만 하더라도 대부분의 과학자는 혼자서 혹은 한두 명의 조수와 함께 연구에 임했다. 과학 활동은 대학을 중심으로 전개되었고, 기술은 산업현장의 전유물에 가까웠다. 그러나 20세기 이후에는 대학에 이어 기업과 정부가 과학기술 활동의 핵심적인 주체로 부상했고, 다양한 구성원들이 함께 참여하는 팀 단위의 작업으로 변모했다. 이런 주체들은 과학기술 활동의 규모나 형태를 변화시키는 데 중요한 역할을 담당했다. 이제 과학기술은 기업의 경쟁우위 유지에 필수가 되었으며, 과학연구가 점차 조직화됨에 따라 그것을 적절히 관리하는 일도 중요한 문제로 떠올랐다. 나아가 국가의 경제 성장, 복지 증진, 국토 방위 등은 과학기술의 발전 없이는 불가능하다고 여겨지고 있다.

맨해튼 프로젝트는 거대과학이었다. 맨해튼 프로젝트의 조직 업무에 참여했던 미국 과학연구 개발국 국장 부시(Vannevar Bush)는 루스벨트 대통령에게 올린 '과학-끝없는 전초기지' 라는 보고서에서 과학을 국가사업의 중심에 두고 국가 지원에 의거하는 과학기술 프로그램 및 과학기술을 이용한 이윤 창출의 메커니즘을 건립해야 한다고 주장했다. 또 정부는 신지식을 촉진하고 젊은 세대의 과학

재능을 배양해야 한다고도 했다. 이를 토대로 미국은 정부가 자금과 정책을 제공하고, 대학이 혁신을 책임지며, 기업이 산업화로의 전환을 책임지면서 과학기술을 활짝 꽃피웠다. 원자폭탄 개발을 통해서 미국 국방부는 극히 기초적이라고 생각되는 연구도 엄청난 군사적 효과를 낼 수 있다는 사실을 확인했으므로 수학을 포함하여 기초과학 연구에 엄청난 연구비를 제공했다.

제2차 세계대전 이후 혁신적으로 발전된 분야는 전자 무기로서, 레이더를 비롯해 야간투시경, GPS, 그리고 전파방해 방지 무전기와 같은 항법 및 통신장비 등을 개발했다. 또 금속공학의 발전에 힘입어 파인세라믹스, 복합재료, 고분자재료 등과 같은 신소재를 개발해 스텔스와 같은 첨단항공기 및 최신형 전차의 장갑판을 만드는 재료로 이용했다. 신기술은 여기에 멈추지 않았다. 초정밀 집적회로, 광섬유, 레이저기술 등이 발전했으며, 이것이 군사 면에도 응용되어 무기의 위력을 한층 높여주었다. 특히 레이저기술은 1972년에 스마트 폭탄에 적용되어 공중폭격의 정확도를 획기적으로 높여주었다. 이제 목표물을 타격하기 위해 제2차 세계대전 때처럼 수백 개의 폭탄을 투하하는 방식은 먼 옛날의 이야기가 되었다. 1980년대부터는 작은 사무실과 창고에서 출발한 기업들이 컴퓨터기술을 바탕으로 거대한 그룹으로 떠오르기 시작했다. 이들은 캘리포니아의 실리콘밸리, MIT 주변의 Route128에서 첨단 IT기술을 무기로 끊임없이 태어나고 사라지는 기업들로서 개인컴퓨터와 거대과학이 하나의 네트워크 속에서 연결되었다. HP(휴렛-패커드), 마이크로소프트, 인텔, 시스코와 같은 새로운 IT(Information Technology)업체들은 미국 경제가 재도약하는 데 큰 역할을 했다.

히로시마와 나가사키의 원폭 피해자들의 유전자를 조사하여 방사능 장애를 알아볼 목적으로 시작된 미국에너지부(DOE; Department of Energy)의 연구 프로젝트는



점점 진화해 인간 유전자의 염기쌍을 모두 밝혀내는 인간 유전체 프로젝트(Human Genome Project)로 확대되었다. 1990년에 인간 유전체 프로젝트를 미국의 국립보건원(NIH)과 에너지부(DOE)가 국가정책사업으로 시작한 것이다. 스물세 쌍의 사람 염색체에 있는 A, T, G, C의 네 문자로 구성된 31억 개의 염기 서열을 밝히는 이 계획을 성공한다면 생명 현상의 모든 것을 이해할 수 있는 기반을 만들 수 있었다.

2000년 초에 발표된 인간 유전체 서열 초안은 다음 사실을 확인해주었다. 첫째, 인간의 몸은 혈액, 근육, 뼈, 기관 등 100조 개의 세포가 특화된 것으로, 각 세포에는 길이 2미터의 DNA가 들어 있어서 사람의 몸에 있는 모든 DNA를 한 줄로 연결한다면 지구와 태양 사이를 600번 왕복할 수 있다. 또한 인간의 몸에 있는 염기쌍의 개인차는 210만 개뿐이어서 염기쌍의 99.99퍼센트는 모든 인간이 동일했다. 둘째, 몸에 필요한 단백질의 주형이 되는 유전자는 전체 인간유전체 중 1.5퍼센트뿐이었고 나머지 98.5퍼센트는 유전자의 기능과 관계가 없는 정크 DNA(Junk DNA)였다. 이 정크 DNA 중에는 전령 RNA(Messenger RNA)에 복사될 때 버려지는 인트론(Intron)이 있으며 같은 염기배열이 반복되는 반복배열이 있었다. 셋째, 인간의 유전자는 벼보다 적고, 쥐나 벌레와 파리보다 조금 더 많은 약 3만 개이다. 단세포 생물에서 벌레와 파리 같은 작은 동물을 거쳐 사람에 이르면

서 더해지는 것은 조절 유전자 정도였다. 인간 유전체의 전체 염기쌍 30억 개는 미생물에 비하면 훨씬 많은 양이지만 생쥐의 33억보다 적으며 메뚜기의 50억 개, 꽃을 피우는 식물의 1,000억 개보다 적다.

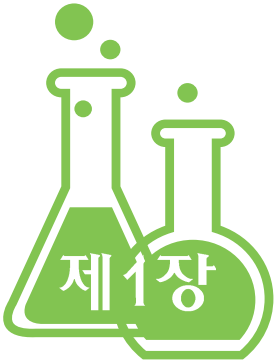
지금 미국의 최신 병기들은 대부분 다른 나라들이 갖추지 못한 것들이고 그런 병기들이 주는 전술적 우위는 대단하다. 게다가 그런 병기들이 다른 나라들보다 훨씬 앞선 민간 정보처리기술들과 결합하여 성능이 양자적 도약(Quantum Leap)을 했다. 그래서 미국은 전쟁이 일어날 때마다 새로운 방식으로 전쟁을 했으며, 미국에 맞선 이라크, 세르비아, 아프가니스탄은 제대로 대응하지 못했다. 걸프 전쟁에선 토마호크 순항 미사일(Cruise Missile)과 스텔스(Stealth) 항공기가 큰 몫을 했고, 코소보 전쟁에선 정밀 폭탄이 정교한 작전을 가능하게 했으며, 아프가니스탄 전쟁에선 각종 무인 비행기들이 활약했다. 미국은 원하는 시기에 원하는 방식으로 전쟁이 가능했다. (현재 미국의 병력은 140만 명이고 그 가운데 25만 명은 725개 해외 군사시설에 주둔하고 있다.)

미국의 우위는 단지 군사 분야에만 한정되지 않는다. 미국 사회는 활기로 넘치고 갖가지 사회적 실험들이 행해진다. 세계 곳곳에서 재능과 야심이 있는 사람들이 유학, 취업 또는 이민으로 미국에 끊임없이 들어와서 미국 사회를 젊고 활기차고 모험적인 사회로 유지하는 데 크게 이바지하고 있다.

1 여명기
2 그리스-로마
3 중세유럽
4 인쇄술
5 화포
6 항해시대
7 신대륙 아메리카
8 향신료 무역
9 도자기
10 먹거리
11 뉴턴과학

제 1 장

뉴턴과학의 완성



뉴턴과학의 완성

아리스토텔레스(Aristoteles)는 자연의 현상은 오로지 자연의 것(형이하학)으로만 설명해야 한다는 과학의 본질을 확고하게 했다. 예를 들어, 화산이 폭발하는 자연현상을 신이 노해서 그렇다는 식으로 형이상학적인 힘을 빌려서 설명하는 것은 무의미하다는 것이다. 이러한 아리스토텔레스의 육안에 근거한 과학은 17세기 근대과학이 등장하기까지 서양인의 정신세계와 일상생활을 지배했다.

아리스토텔레스의 과학이 주관적 경험에 근거한다면 갈릴레이의 과학은 훨씬 객관적이다. 관측 도구를 이용함으로써 누구나 같은 관측 결과를 공유하게 했다. 아리스토텔레스는 예리한 관찰력으로 온갖 사물을 관찰했지만 자신의 생각이 옳음을 확인하는 실험은 하지 않았다. 그러나 갈릴레이는 철저한 실험으로 자신의 생각을 증명하고 확인했으며, 실험 데이터를 수치로 나타내어 쉽게 비교 분석할 수 있게 했다.

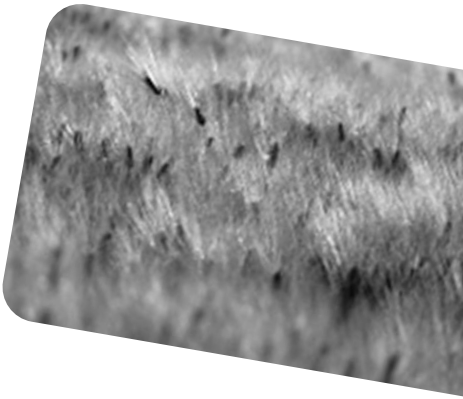
이후 뉴턴은 역사상 가장 중요한 과학공식인 'F=ma'를 제시하면서 운동에 관한 기존의 논의를 체계화했다. 외부 작용은 힘이라는 개념으로 구체화했으며, 운동 효과는 가속도를 통해 측정했다. 또한 물체 사이에 작용하는 구체적인 힘인 만유인력을 통해 천상계의 현상도 설명했다. 이로써 뉴턴의 역학은 지상계와 천상계의 현상을 가장 포괄적으로 설명했다.

렌즈의 가공기술과 정밀도는 날이 갈수록 향상했을 뿐만 아니라 새로운 빛, 즉 전자파 등의 발견으로 전파망원경, 전자현미경이 개발되었고, 더 나아가 입자가속기까지 등장하여 이제는 물질의 궁극적인 모습까지 볼 수 있다. 이때부터 실

험 중심의 과학은 조직적인 연구 집단을 요청했으며, 보다 엄밀한 객관성을 확보했다.

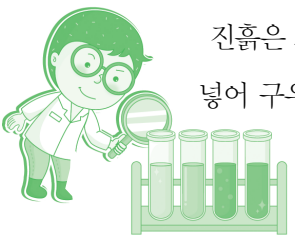
1. 여명기

인류가 네 발로 땅위를 기어 다니다가 두 발로 서면서 손을 자유자재로 쓸 수 있게 되자 신체에 큰 변화가 일어났다. 두개골이 척추 위에 자리 잡고, 얼굴의 생김새가 변하고, 뇌가 발달하여 생각을 하게 되었으며, 언어를 사용할 수도 있었다. 이때부터 인류는 거친 조약돌을 깨뜨려 쓰던 단계에서 부싯돌을 다듬어 화살촉을 만드는 단계로 발달했다. 석기를 고안하고 만들 만큼 복잡한 뇌를 가졌던 최초의 원시인류는 호모하빌리스(Homo Habilis)로 호모하빌리스는 동물의 가죽을 벗기는 데 모서리를 날카롭게 깎아 만든 조약돌을 사용했다. 이후 호모에렉투스(Homo Erectus)가 나타나 100만 년 이상 살았는데, 호모에렉투스는 서서 걸어 다녔고 불을 이용하여 동물의 습격과 추위를 물리쳤다. 마지막으로 현대인류의 조상인 호모사피엔스사피엔스(Homo Sapiens Sapiens)가 나타났으며, 이들은 고향인 아프리카를 떠나 유럽과 아시아로 퍼져나갔다. 이 시기에는 돌로 도구와 연장을 만들어 공동체 전체가 함께 사용했는데, 그들은 동물을 사냥하고 야생 식물을 채취하며 살아갔다. 약 1만 년 전에 마지막 빙하기가 끝나 빙하가 크게 물러



가면서 강물의 수위가 높아졌고, 이전의 스텝(나무가 없는 초원지대)과 툰드라 지대(동토대)는 숲으로 변했다. 기후가 따뜻해지자 사람들의 생활 방식에도 변화가 나타나기 시작했다. 이 변화를 통해 사람들은 수렵 채취인에서 농부와 목축업자로 바뀌었다. 이것은 하나의 전환점이었다. 밭을 갈고 동물을 우리에 가두어 기르면서 사람들은 정착생활을 시작했다.

농경은 야만에서 문명으로의 전환을 상징하는 사건이었다. 이러한 사회에서는 신의 의지나 정신에 가까이 있다고 생각한 주술사, 샤먼 또는 마술사가 힘을 행사했다. 그들은 계절의 변화를 예측해 미숙하나마 달력을 고안해낼 수 있을 정도의 과학지식이 있었기 때문에 씨뿌리기에 적합한 시기를 결정하고 홍수가 일어나기 쉬운 시기를 예측할 수 있었다. 이러한 강력한 정보력이 주술사들의 지위를 보증하는 유력한 도구였다. 이들은 자신들이 어떻게 그런 성과를 이룩했는지는 비밀에 부치고 그 어떤 초자연적인 관계 속에서 얻은 것처럼 행세했다. 도시에는 농부들뿐만 아니라, 사제, 관리, 상인, 장인들도 모여 살았다. 도시에서 장인들은 곡물을 빻고, 질그릇을 굽고, 직물을 짜서 염색하고, 술을 증류하는 일을 했다. 이렇게 새로운 활동이 일어남에 따라 도시 주민들의 생활 방식도 크게 변했으며, 옷, 질그릇, 새로운 도구 들을 사용함으로써 삶의 질이 향상되었다. 새로운 물건을 사용하게 되면서 공동체들 사이에 교역도 활발해졌다.



진흙은 그릇을 만드는 재료이다. 진흙으로 만든 그릇을 불에 넣어 구우면 단단해져서 잘 깨지지 않는다. 이처럼 그릇이나 도자기를 흙으로 빚어 불로 구워내는 방법을 알

아내면서 인류문명은 빠른 속도로 발전한다. 금속이 들어 있는 돌덩어리를 녹여서 화살촉이나 창을 만든 것도 불 덕분이다. 처음에는 낮은 온도에서 녹는 청동으로 농기구나 무기 등을 만들었으며, 그 뒤로 조금씩 높은 온도에서 녹는 금속을 발견했다. 광석을 녹이고 청동을 만드는 과정에서 인류는 구리 이외에도 납, 은, 주석 등의 다양한 금속의 존재를 알았고 마침내 철도 발견했다. 적갈색의 광물을 목탄화로에서 제련한 다음 물속에 넣어 냉각시키면 쉽게 철이 되었다. 철은 무기를 만드는 데도 중요하게 사용되었지만 펜치, 톱, 모루 등 갖가지 도구에 사용되면서 인류의 발전에 크게 기여했다.

이동 수단으로 처음으로 바퀴가 달린 탈것을 이용한 것은 기원전 2500년 메소포타미아 지역에 살던 수메르의 병사들이다. 이전의 운송 수단은 동물이 끄는 썰매가 전부였다. 그런데 수메르인들은 두 개의 바퀴 위에 썰매를 올려놓는 간단한 방식으로 수레를 만들어 쓰기 시작했다. 이 무렵 짧은 합성 궁(Composite Bow)도 만들어져서 수레는 전차로도 이용되었다. 전차들이 널찍한 거리를 재빨리 달려와 화살을 집중적으로 날림으로써 적을 한꺼번에 쓰러뜨렸다. 전차의 등장으로 보병들은 전차부대끼리 맞붙는 싸움에서 보조 역할만 했다.

2. 그리스-로마

서양의 고대에서 최초로 문명을 이루고 지중해의 지배권을 장악했던 세력은 그리스의 도시국가들이었다. 그중에서도 폴리스 아테네는 그리스 반도의 선도국가였다. 그리스 군대는 사리사(Sarissa)로 불리는 찌르기 용의 장창(약 2.4미터)과 호플론(Hoplon)이라 불리는 원형의 방어용 방패(직경 1미터, 무게 23킬로그램)로 무장하고 있었다. 그리스는 중무장한 보병들이 서로 약 90센티미터 간격을 유지하면서 사각형의 밀집대형(통상 12열×16오)을 형성한 팔랑크스(Phalanx)라는 밀집보병대로 전투에 임했다. 팔랑크스와 같은 전투대형을 유지하려면 무엇보다도 단합된 조직력이 필수 불가결했는데, 바로 위와 같은 특징을 지닌 시민들로 구성된 그리스 군대가 이에 적합했던 것이다. 기원전 490년 그리스는 마라톤 평야 지대에서 동방의 강국 페르시아와 마주했다. 지금까지 페르시아는 궁수들이 적진에 구름같이 화살을 날리고 난 후 전열이 흐트러진 잔당들을 총 공격해 소탕해왔는데, 이번에도 페르시아의 궁수들은 화살을 일제히 발사했다. 그러나 청동제 갑옷으로 무장한 그리스의 보병들은 방패로 '거북등'을 만들어 비 오듯 쏟아지는 화살을 튕겨버린 후 찌르기 형태로 진격하여 6,000명을 도륙했다.

이후 기원전 4세기 중반에는 마케도니아의 알렉산드리아(Alexandros)가 그리스 과학의 열매들을 가지고 정복전쟁에 나섰다. 커다란 바위를 최대 사방 800야드까지 날려 보낼 수 있는 토션 캐터펄트(Catapult; 투석기), 돌멩이를 속사로 발사할 수 있는 파라볼리스(Parabolis), 압축공기를 이용하는 소형 캐터펄트, 그리고 자동 발사되는 발리스타(Ballista), 군함에 설치한 강력한 함상 파성퇴, 요새화된 섬에 상륙하여 돌격 작전을 감행할 때 필요한

해군 상륙용 함교가 그것들이다. 알렉산더는 또한 이집트의 알렉산드리아에 무세이온(Mouseion)이라는 왕실과학연구기관을 건립하여 그리스 과학자들을 모았다. 이들이 그리스의 합리주의적 전통과 오리엔트의 실증적 지식을 융합하면서 그리스 과학은 절정을 맞이했다. 이들은 강의를 통해 지식을 전파하고 연구실에서 답을 찾았다.

에게 해의 패자로 군림하던 그리스의 세력은 수차례에 걸친 내전과 혼란으로 점점 약화되고, 대신 지중해 서쪽의 이탈리아 반도에서 로마가 일어났다. 이탈리아반도 중앙부의 라티움 평원을 거점으로 세력을 확장하던 로마는 기원전 300년경 이탈리아반도를 통일했다. 또한 카르타고와의 세 차례에 걸친 포에니 전쟁을 승리로 이끌면서 지중해의 패권을 장악하고 빠르게 대제국으로 팽창했다. 기원전 40년경 로마군은 율리우스 카이사르(Gaius J. Caesar)의 지휘하에 서쪽으로는 스페인, 동쪽으로는 소아시아에 이르기까지 지중해 주변의 거의 전 지역을 장악하기에 이르렀다.

로마군 역시 중무장 보병이었지만 사용하는 무기와 무기를 운용하는 방법은 그리스와는 확실히 달랐다. 하나의 대규모 단위로 구성되어 기동성과 유연성이 크게 부족했던 그리스 팔랑크스에 비해 로마의 군대는 약 40명 단위의 센추리(Century)와 두 개의 센추리가 모인 매니플(Maniple), 코호트(Cohort) 그리고 열 개의 코호트가 모인 레지온(Legion; 기병대 300명을 포함하여 총 4,500~5,000명)으로 구성되어 있었다. 로마 군대는 이처럼 세분화된 하부조

직을 중심으로 유동적인 부대 운용이 가능했으므로 그리스 팔랑크스와는 달리 굴곡이 있는 지역이나 산악 지형에서도 기동에 별다른 어려움을 겪지 않았다. 로마군의 핵심 무기는 글래디우스(Gladius; 양날 검)와 필룸(Pilum; 투창)이었다. 글래디우스와 필룸 등의 무기와 그에 가장 적합한 전법을 무리 없이 소화하는 충성스러운 시민군대가 있었기에 로마는 강력한 레지온을 유지할 수 있었다.

로마제국은 넓은 영토에 퍼져 있는 엄청난 자원을 관리해야 했다. 도로망은 로마군의 이동과 제국에 대한 감시, 물자수송에 꼭 필요한 것이었다. 콘크리트(시멘트에 모래와 자갈과 물을 섞은 것) 공사는 이미 아나톨리아에서 사용되었으나, 로마인은 이를 좀 더 완성된 형태로 사용했다. 시멘트는 방수성질이 있기 때문에 목욕탕의 돔이나 볼트(아치형 천장)를 만드는 데 아주 좋은 재료였다. 건축에 가장 많이 사용된 석재는 티베르 강 계곡에서 산출된 석회석인 온천 침전물과 화산암의 하나인 응회암이었다. 제정시대에 완공된 클라우디우스(Claudius) 황제의 거대한 수도관은 공사 기간은 14년이나 걸렸고, 해마다 4만 대 분량의 응회암 블록이 사용되었다. 점토 벽돌도 널리 사용되었다. 나중에는이 벽돌들을 특별히 제작한 가마에서 구워 만들었다. 로마제국은 유럽 전역에 전차용 도로망을 닦아 로마의 평화를 오랫동안 구현했다.

등자는 가죽 발걸이로서 말의 안장과 연결되어 있다. 등자가 없을 때 기수는 떨어지지 않기 위해 허벅지와 발로 말의 몸통을 꽉 조여야 했으므로 한두 시간만 말을 타고 달려도 엉덩이와 사타구니에 온통 멍과 물집이 생

겼다. 그런데 카스피 해 연안에서 유목을 하던 파르티아인들이 처음으로 말을 통제할 수 있는 고삐와, 말의 등뼈에 큰 충격을 주지 않으면서 말 등에 올라탈 수 있는 등자를 고안했다. 이로써 말 위에서 안정된 자세를 유지하면서 화살을 쏘거나 칼을 휘두를 수 있었다. (말 위에서 화살을 쏘는 파르티안 샤프트(Prthian Shaft)라는 기술은 말이 낙타처럼 뛰면서 반동을 죽이는 기마법과 그 위에서 발사하는 활쏘기를 말한다.)

로마제국이 휴식을 취하는 동안 성채 밖의 유럽인들은 안장과 등자를 다루는 방법으로 말 위에서 안정된 자세로 화살을 쏘거나 칼을 휘두를 수 있게 되자 로마 영내로 침범하기 시작했다. 378년, 로마는 다뉴브 강 유역을 넘나들던 고트족을 공격했는데, 공격을 시작하자마자 사방에서 들어오는 고트족 기마병들이 로마군에게 창을 내던진 후 일제히 화살을 쏘면서 한가운데로 뭉친 로마군을 칼로 도륙했다. 이것으로 로마는 무너졌다.

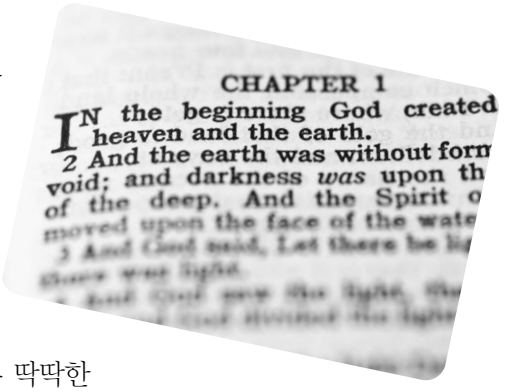
732년, 프랑크족의 실권자 카를 마르텔(Karl Martell)은 온몸을 감싸는 갑옷과 굵은 장창으로 무장한 기병단을 만들었다. 이들 기사들은 강인한 유럽산 짐말을 개량한 덩치가 큰 말을 타고 훈련을 받았다. 이 말들은 안장에 올라탄 철갑 기사들과 하나가 되었다. 화살 공격에도 끄떡없는 수백 명의 철갑 기병들이 전속력으로 보병의 대형을 돌파해 들어와서 장창으로 보병을 꿰어버리거나 철퇴했으며, 전투용 도끼나 장검으로 그들을 사정없

이 난도질해버렸기 때문에 보병은 이 기병대의 기동성과 파괴력에 맞설 수 없었다.

3. 중세유럽

쟁기는 흙을 파 일으키는 데 사용하는 가장 기본적인 농기구이다. 땅을 파고 뒤엎는 단순한 일을 하지만 그 크기나 생김새를 포함한 전체적인 디자인에 따라 효율성은 크게 달라진다. 로마제국의 대부분 지역에서는 날 부분만 쇠를 댄 가벼운 쟁기를 사용했다. 그러나 북서유럽에서는 척박한 중질토 조건에 맞추어 땅을 깊게 팔 수 있는 무거운 쟁기가 필요했다. 이러한 쟁기는 쇠로 된 보습뿐 아니라 보습 앞쪽에도 칼날을 달아 흙을 자르고 쟁기질의 방향을 잡는 기능도 더했다. 가벼운 쟁기를 쓰는 데는 소 한두 마리를 동원하면 충분했으나 무거운 쟁기를 사용하려면 소 여덟 마리 정도가 필요했다. 결국 쟁기와 가축에서 비롯된 농업 조건이 농민공동체 장원을 만들었다. 이 무거운 쟁기가 유럽의 식량 생산에 큰 기여를 했다. 또한 8세기부터 시작된 삼포식 농업(3년을 주기로 한 돌려짓기)도 그에 못지않게 큰 도움이 되었다. 이것은 많은 동물을 먹이는 사료 작물을 얻기 위한 해결책이면서 지력을 고갈시키지 않고 계속해서 많은 수확을 얻는 방법이었다. 서기 1000년경 북유럽에서는 무거운 쟁기, 개량마구, 삼포제 등으로 농업 생산량이 크게 늘었다.

고대부터 8세기까지 말을 부리는 데 쓰는 기구로는 목띠-배띠 마구밖에 없었다. 그러나 목에 거는 가죽 띠는 말이 힘을 쓰면 숨통을 조였다. 한


CHAPTER 1
IN the beginning God created
heaven and the earth.
2 And the earth was without form
void; and darkness *was* upon th
of the deep. And the Spirit o
moved upon the face of the wate
3 And God said, Let there be li

사람만 올라타고 달려도 말의 숨이 막혔기 때문에 이러한 마구로는 말의 견인력을 수송에 이용할 수 없었다. 결국 로마는 이탈리아의 곡물을 말로 로마까지 수송할 수 없었다. 그러나 중국인들은 말의 가슴에 두른 딱딱한 멍에 대신에 훨씬 더 우수한 봇줄 마구를 사용했다. 말의 목에 거는 띠를 없애고 무게가 말의 가슴과 경골에 실리게 했다. 봇줄 마구는 나중에 중앙아시아를 거쳐 유럽으로 전래되었다. 가장 효율적인 마구는 쇄골걸이 마구이다. 이 마구를 이용하면 말에 소와 같은 힘을 쓰도록 할 수 있었다. 이때부터 짐을 끄는 동물로 소 대신에 말을 많이 이용했다. 한 예로 1125년에서 1160년 사이에 영국의 수도원 농장 한곳에서는 황소의 수가 절반으로 줄어드는 반면, 짐말의 수는 네 배로 늘어났다.

중세유럽은 노예나 하인이나 동물의 힘이 아니라 무생물인 기계의 힘에 경제를 의존한 최초의 사회가 되었다. 물레방아는 10세기까지 곡물을 빻는 용도로만 사용되었으나 나중에는 흐르는 물의 에너지를 회전운동으로 바꾸어, 맥아를 만들거나 제지 · 제철 공정과 동력톱을 쓰는 데에도 이용했다. 풍차도 비슷한 무렵에 등장해 널리 사용되기 시작했는데, 주로 곡물을 빻는 데 사용했다. 그러나 서기 1250년 무렵부터 날씨가 추워지면서 식량 생산이 정체되어 농촌 지역 주민들의 삶은 몹시 힘들어졌다. 살길이 막막해진 농부들은 도시로 몰려가 새로운 기회를 찾고자 했다. 이 일로 로

마제국의 몰락과 함께 폐허로 변했던 도시들이 다시 활기를 찾기 시작했고 봉건 영주들의 부와 영향력은 차츰 줄어들었다. 유럽 도시의 시민들이 상대적으로 부유해지자 건축물은 새로운 도시 정신을 표현하는 형태로 지어지기 시작했다. 거대한 고딕양식의 성당이 하늘 높이 우뚝 솟았다. 성당을 건축하는 일에 석수, 대장장이, 목수, 양철공, 유리 제조업자를 비롯해 도시의 모든 장인이 달려들었다. 이렇게 중세시대에는 직공, 방축가공업자, 염색업자, 털 깎는 사람 등 전문 기술을 가진 사람들이 나타났다. 이와 함께 물레와 수평 베틀이 발명되었다. 수평 베틀은 그때까지 사용해온 수직 베틀을 대체했다. 이리하여 유럽은 이전에 볼 수 없었던 규모로 상품과 서비스를 생산할 능력을 갖추었다.

4. 인쇄술

5세기 말에 이르러 게르만족의 침입이 시작되면서 유럽 지역에는 큰 인구 이동이 일어났다. 이 사건으로 그리스 로마 문명의 사회적 · 정치적 틀이 붕괴했고, 그 후 유럽은 약 600년간이나 쇠퇴의 길을 걸었다. 고전 지식의 주요 중심지들은 쇠퇴하기 시작했다. 529년에 비잔틴 제국의 유스티아누스(Justinianus) 황제는 아테네의 아카데메이아와 리케이온을 폐쇄했고, 641년에는 아랍인이 알렉산드리아의 박물관에 남아 있던 유산을 파괴했다. 많은 문화유산이 파괴되었고 도로와 다리, 수로교, 빌라를 비롯

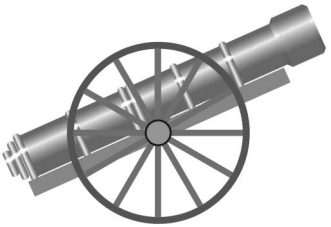
해 도시문명의 기반이 폐허로 변했다. 이제 지식은 오직 교회의 성직자 계급을 통해서만 전수되었다. 어떤 면에서 8세기부터 13세기까지 고전문명의 진정한 계승자는 이슬람세계였다. 그들은 중동의 아라비아에서 북아프리카를 지나 에스파냐에 이르는 드넓은 지역을 지배했다. 따라서 이슬람세계의 기술은 다양한 문화, 즉 그리스 로마의 문화에다 중앙아시아와 인도, 아프리카, 극동 지방의 문화까지 더해졌다.

아바스 왕조의 2대 칼리프, 알 만수르(al-Mansur)는 바그다드에 과학자들을 모으고 그들에게 주택을 제공했다. 828년, 7대 칼리프 알 마문(al-Mamun)은 바그다드에 지혜의 집이라 불리는 연구소를 건설하고 학자들을 모았다. 여기서 이슬람인들은 주판, 아스트롤라베(Astrolabe; 별들의 위치를 활용해 방향을 정하는 항법기구), 대수학, 삼각법, 아라비아 숫자 체계(이슬람 인들이 힌두교도에게서 빌려왔다고 알려진 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) 등을 남겼다. 아랍인은 또한 원유에서 불이 잘 붙는 기름인 나프타를 추출했고, 향수산업과 산 제조기술도 뛰어났다. 게다가 그들은 색을 혼합하는 데에도 탁월한 재능을 발휘하여 다마스크, 모슬린, 퍼스티언 등의 직물을 아름답게 염색했다. 아랍인은 항해에서 아주 중요한 구실을 한 큰 삼각돛도 발명했으며 사탕수수도 재배했다.

종이는 비단처럼 매우 하얗게 만들 수 있을 뿐 아니라, 가볍고 부드러우며 표면이 나무처럼 거칠지 않고 매끄러우며 흡습성이 좋아 빛깔도 잘 받아들이고 질기고 오래간다. 또한 비단처럼 원하는 모양으로 마름질할 수도 있으며, 풀로 감쪽같이 이어 붙일 수도 있다. 중국인은 500년경부터 종

이에 인쇄를 하기 시작했다. 아랍인들은 753년에 사마르칸드를 정복할 때 사로잡은 중국인 기술자를 통해 제지기술을 배웠다. 아랍인들은 또 그리스의 멸망으로 흩어져 있던 책들을 수집하여 아랍어로 번역해놓은 필사본들로 가득 찬 도서관도 만들었다. 여기에는 플라톤(Platon), 아리스토텔레스(Aristoteles), 아르키메데스(Archimedes), 피타고라스(Pythagoras), 유클리드(Euclid)의 저작들도 있었다. 이를 유지하기 위한 비용은 왕조의 칼리프뿐 아니라 부유한 상인들의 기부로 충당했다. 1085년, 서사라센 왕국의 톨레도(Toledo)가 스페인 알폰소 7세(Alfonso VII)의 군대에 함락되자 이슬람세계에 축적되어 있던 이러한 지혜가 유럽의 왕과 군인들에게 고스란히 이전되었다.

1453년, 독일의 요하네스 구텐베르크(Johannes Gutenberg)는 야금술에 관한 지식을 바탕으로 목판에 활자를 새기는 대신에 금속으로 활자를 하나하나 따로 만들고 그 활자들을 조합했다. 그리하여 각각의 인쇄면에 들어갈 낱말들을 훨씬 간단하고 빠르게 만들 수 있었다. 그는 포도즙을 짜는 압착기를 이용하여 문자를 복제했다. 이로써 일단 판형이 만들어지면 그것이 닳을 때까지 똑같은 글을 무수히 복제할 수 있었다. 이러한 활판인쇄가 발명된 지 27년 만에 서구에는 380군데의 인쇄소가 돌아가게 되었으며 50년 만에 지난 1,000년 동안 만들어진 것보다 훨씬 많은 책이 만들어졌다. 인쇄술의 발전으로 책값이 크게 내림으로써 많은 사람이 책을 가까이할 수 있게 되었으며, 책을 통해 사상과 지식이 유럽 전역으로 재빨리 확산되었다. 또 인쇄술과 더불어 지식에 대한 통제체제가 와해되면서 과



학과 의학 등 전문지식이 점차 소수 학자들의 손에서 해방되었다. 이후 프랑스의 혁명가들, 미국의 독립혁명가들, 민족주의자들 모두 인쇄술의 위력에 의지하여 활동했다. 인쇄술의 등장으로 문자는 대중의 사고방식에까지 깊숙이 영향을 미쳤다.

(1517년 10월 31일, 루터(Martin Luther)는 교황의 면죄부 강매를 비난하는 95개조 반박문을 비텐베르크 교회 문 앞에 붙였다. 루터의 글은 곧 인쇄업자들에 의해 한 장짜리 포스터로 인쇄되어 시내 곳곳에 붙여졌다. 자신을 얻은 루터는 1518년에 '독일 기독교 귀족에게 고함'이라는 제목의 독일어 팸플릿을 출판했다. 이 작고 값싼 팸플릿은 곧바로 대량 생산되었다. 결국 종교개혁의 성공은 이 새로운 매체의 위력에 힘입은 바 컸다.)

1500년까지 유럽에서는 약 2,000만 권의 책이 보급되었으며 1500년에서 1600년 사이에 약 2억 권의 책이 출간되었다. 루터의 『독일어 성경』은 1522년에서 1546년 사이에 430판이나 인쇄되며 세계 최초의 베스트셀러가 되었다. 17세기부터 프랑스에서만 약 1,400여권의 소설들이 출간되었으며, 이중 새뮤얼 리처드슨(Samuel Richardson)의 『파멜라』, 루소(Jean-Jaques Rousseau)의 『신 엘로이즈』, 괴테(Johann W. Goethe)의 『젊은 베르테르의 슬픔』 등이 여성들에게 많이 읽혔다. 18세기에는 디드로(Denis Diderot)와 달랑베르(Jean Le Rond D'Alembert)가 편찬한 『백과전서』가 4,235부를 찍어냈는데, 1782년까지 2만 5,000부를 찍었다. (『백과전서』는 계몽주의 시대의

정신인 합리주의에 바탕을 두고 만들어졌으며, 그 방대한 분량이 보여주듯 그 당시의 과학과 기술지식을 체계적으로 집대성했다.)

15세기까지 영국에서는 수백 개의 도서관들이 도서를 대출했으며, 커피를 마시며 한담을 나누는 커피하우스는 다양한 문학 장르를 접할 수 있는 창구가 되었다. 독일 역시 대출 도서관들이 증가했으며 '독서 단체'들이 생겨났고, 도서관은 독서뿐 아니라 사교의 장소로도 이용되었다. 대혁명기의 프랑스에서도 '책 대여점'과 '독서실'이 생겨 이들이 책과 신문들을 빌려주는 일을 했다. 1710년부터 영국에서는 작가에게 저작권 원고료가 지급되기 시작했다. 또 대형 총서를 애장하는 취미가 생겼으며, 작은 판형과 얇은 책들의 출판도 증가했다. 프랑스혁명 기간에 과학과 기술이 민중을 중노동에서 해방할 수 있다는 신념이 널리 퍼져 1820년대부터는 하루에 4,000장을 인쇄할 수 있는 인쇄기로 신문이 발간되기 시작했다. (20세기에는 전신, 전화, 라디오, 텔레비전으로 대변되는 전기통신기술이 발전했고 21세기부터는 별개로 인식했던 각종 매체가 인터넷 망을 통해 융합되고 있다.)

5. 화포

프랑스 국왕 샤를 7세(Charles VII)는 장궁의 위협을 분쇄하려고 화약으로 눈을 돌렸다. 화약은 10세기경 중국에서 처음 개발한 것으로 초석(질산나트륨)에 황과 숯을 혼합한 흑색화약이었다. 흑색화약은 쉽게 불이 붙으면서 많은 양의 연기를 배출했다. 13세기 중국인들은 창 자루 끝에 설치한 대나

무나 쇠로 만든 관 안에다 화약, 돌멩이, 납 알갱이, 도기류의 파편 들을 혼합한 것을 집어넣어 사용했는데, 그것에 불을 놓으면 전방을 향해 흩뿌리듯 불꽃을 뿜었다. 그것은 일종의 유산탄이었으며, 몽골 기병들에게 공포의 대상이 되었다. 이어서 중국인들은 화약 가스를 폭발에 잘 견디는 약실에 밀폐하고 약실의 출구로 그 가스를 일제히 배출시키면 유산탄에 강력한 추진력이 생기는 것을 알았다. 결국 그들은 바닥에 약실을 두고 그 안으로 화약을 쏟아붓는, 꽃병처럼 보이는 철제 주물을 만들었다. 한 다발의 화살을 그 장비의 주둥이에 장전하고 화약을 점화해 폭발시키면 그 화살들은 매우 빠른 속도로 발사되었다.

이 화약 무기는 선교 사절을 통해 유럽에 알려졌다. 1324년 한 독일의 야금학자가 이 철제 주물을 크게 확대한 형태에다 통(barrel) 제작업자들이 하던 여러 마디의 짧은 철제 관들을 금속환대로 붙여놓은 사격 무기를 개발하여 돌로 만든 탄환을 쏠 수 있게 했다. 이 신무기는 표적을 맞히는 데는 엄청 부정확했지만 많은 돌덩어리를 한꺼번에 발사한다면 집단 살상력이 있었다. 1450년, 프랑스의 북부 몬티니 마을에서 프랑스군은 철제 항아리에 화약과 돌을 잔뜩 채운 대량의 사석포(射石砲)를 사용했다. 귀를 찢을 듯한 폭음과 함께 수백 개의 돌들이 영국군을 향해 날아갔고, 불과 몇 분 만에 영국군 장궁수들이 대부분 전사해버렸다. 이처럼 프랑스 기

병대는 화포 사격으로 영국군 진영이 와해된 시점에 돌격을 감행해 승리했다. 이로써 거의 100년간이나 지속되었던 영국군의 프랑스 지배가 끝났다.

프랑스 국왕 샤를 7세의 과학기술자들은 계속해서 포를 연구했다. 좀 더 강력한 화약을 사용할 수 있도록 발포 약실의 벽을 두껍게 만들고 포신의 주둥이로 갈수록 구경이 점점 줄어들도록 만들어 압력감소를 줄였다. 또 폭발로 인해 발생한 가스가 아주 조금만 새어나가도록 발사체는 포신의 구경보다 아주 조금만 작은 둥근 철제 탄환을 사용했다. 화약은 약실 쪽으로 단단하게 밀어 넣어 폭발 효율을 높였다. 그런 후 철제 탄환을 원하는 거리만큼 쏠 수 있게 어느 정도의 거리에 얼마만큼의 화약이 소요되는지 낱낱이 명세해 각각의 공식들의 집합을 내놓았다.

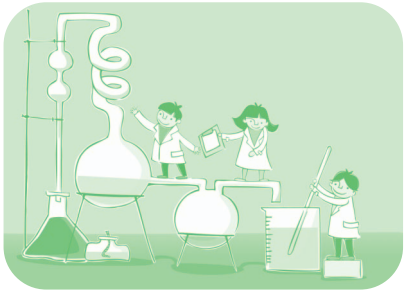
또 보헤미아의 연금술사들은 기존의 화약보다 훨씬 더 큰 위력을 발휘하는 과립 형태의 화약을 개발했다. 또한 대포를 말이 끄는 이륜 운반 장치 위에 설치하여 반동이 멈추고 나면 다음 사격이 편하도록 대포를 원래의 위치로 간단하게 밀어놓을 수 있게 함으로써 매 분마다 여러 발의 포탄을 발사할 수 있었다. 또 박격포(Mortar)라는 뭉툭하고 땅딸막한 변형 대포도 개발했다. 그 포는 포신의 아가리가 넓은 무기로서 사정거리는 짧았지만 육중한 포탄이 꽤 높게 궁형을 그리면서 날아가도록 발사할 수 있어 높은 성벽이나 그 밖의 장애물을 넘어갔다. 몬테산조반니 성은 나폴리 근교의 난공불락의 요새였다. 1494년, 프랑스군은 36대의 새로운 무기를 바퀴에 실어 요새 외곽의 150야드 지점까지 끌고 와, 23킬로그램의 철제 탄환

을 성벽을 향해 발사했다. 그러자 성벽은 산산조각으로 무너져버렸고, 대부분의 농성군은 무너진 돌 더미에 깔려 전사하고 말았다.

이제 방어군은 성벽의 지지력이 포탄의 힘보다도 항상 더 크게 하는 방법을 찾아야 했다. 결국 이탈리아인들은 진흙으로 뒤를 받친 요새의 성벽은 포탄이 별다른 타격을 입히지 못한다는 것을 알아내어, 성벽을 꾹꾹 누른 흙과 벽돌로 쌓아 낮고 두껍게 만들고 그 앞에 있는 거대한 도랑에 물을 채워놓았다. 또 다각형 모양의 성곽을 만들어 대포들이 자리를 잡을 만한 주요 지점마다 십자포화를 맞고 궤멸될 수밖에 없게 만들었다. 성의 뾰족한 지점에는 대포를 설치하여 성을 수비하는 군대와 공격하는 군대가 모두 총과 대포로 힘을 겨루게 되었다.

화포의 위력 앞에서는 아무리 견고한 성곽이라도 무력해질 수 있음을 가장 잘 보여준 사례는 터키군에 의한 콘스탄티노플의 함락이었다. 당시에 콘스탄티노플은 삼중 성벽으로 구축되어 난공불락을 자랑하고 있었다. 하지만 헝가리 출신의 화포기술자 우르반(Urban)이 만든 초대형 화포(포신 길이가 8미터에 석환의 무게만 600킬로그램)의 포격에 육중하던 도시 성벽이 무너졌다. (이때 많은 그리스 학자가 서유럽으로 피신했다. 이 사건은 서유럽에서는 그동안 까마득히 잊고 있던 고전문화를 재발견하는 계기가 되었다.)

대포의 사용은 더 큰 나라들이 탄생하는 데 일조했다. 중포대의 포격으



로 지역 방어선을 무너뜨릴 수 있자 소수의 대항 세력들은 더 이상 중앙정부의 장기 포위공격을 견뎌낼 수 없었다. 하지만 중포대를 보유하고 있는 막강한 중앙정부도 시민들의 반란은 막지 못했다. 외부 침략세력에 대항한 프랑스혁명군의 성공은 시민군도 명분에 대한 확신만 있으면 전문 직업군인들에 맞서 훌륭하게 싸울 수 있다는 또 다른 중요한 사실을 증명해주었다. 혁명은 군 복무를 보편화하는 결과를 가져왔다. 그리하여 국민의 지지를 등에 업은 정부를 가진 나라들은 이전의 군주들이 상상도 못 했을 엄청난 규모의 군대를 소집할 수 있었다.

스페인은 기후가 건조하고 토양이 척박한 탓에 기사용 말을 사육하기에 부적합하여 기사 계급의 발전이 미약했다. 그 덕분에 귀족들도 보병으로 복무하는 것을 수치스럽게 여기지 않았다. 스페인 보병군이 사용한 기본 무기는 장창(Pike)과 방패였지만 아쿼버스(Arquebus)라는 화승총을 혼용하면서부터 그 위력을 발휘하기 시작했다. 스페인 보병군의 기본 대형은 테르시오(Tercio)였다. 이는 장창병을 양쪽에, 소총병을 중앙에 배치하는 정방형 대형이었다. 적 기마병의 돌격을 야전축성과 창병을 이용하여 저지하고 화승총으로 적의 예봉을 꺾은 다음에 재차 창병 공격으로 적을 궤멸시키는 방식이었다. 이 전술을 사용하면 무엇보다도 창병을 이용하여 재장전할 때 적에게 노출될 수밖에 없는 소총수들을 보호할 수 있었다. 이렇게 도화선을 사용하는 머스켓(Matchlock)은 불발률이 높아 적 기마병의 돌격에

취약했기 때문에 밀집대형을 이룬 창병의 보호가 필요했지만, 섬광으로 화약을 점화시키는 새로운 격발법(Flint-Lock)이 개발되면서 장전 속도가 향상되어 소총병은 창병이 엄호해주지 않아도 되었다. (격발장치의 발달로 개인 화기의 발사 속도가 빨라진 이후에야 장창이 전장에서 모습을 감추었다.)

프로이센 국왕 프리드리히 2세(Friedrich II)는 굳건한 장교단과 엄정한 군기의 병사들을 바탕으로 신 전술을 숙달하여 무적의 군대를 육성했다. 그는 소총병들을 제3열의 선형대형으로 정렬 · 배치하여 근거리에서 신속하게 일제사격을 가할 수 있도록 했다. 소총병들을 여러 줄로 배치한 다음 제1열의 사수들이 사격을 하고 일단 뒤로 물러나 장전하는 동안 제2열의 사수가 제1열로 나서서 사격을 하고 후퇴하면 또다시 제3열의 사수가 제1열로 나아가 사격함으로써 연속 사격이 가능했다. 이 신형 군대를 지휘하여 프리드리히는 로이든 전투에서 프랑스군과 오스트리아군을 대파했다.

프로이센군에게 참패를 당한 프랑스는 화포 제작 방법의 개량과 이에 따른 포병전술을 개선하려고 화포의 표준화 작업을 시작했다. 당시에는 화포 제작기술상의 한계로 포신의 두께를 균일하게 만들 수 없었다. 따라서 발사할 때 발생하는 폭발력으로 인해 포신 자체가 파열하는 일도 있었고 가스 유출로 포격의 정확도도 떨어졌다. 이러한 약점을 보완한 것이 바

로 포열천공법이었다. 1740년경에 장 마리츠(Jean Maritz) 부자가 개발한 이 방법은 주물로 만들어진 포신에 드릴로 구멍을 뚫어 포열을 제작하는 것이었다. 이 신기술 덕분에 전체적으로 포신의 두께가 균일해져서 포구 내부에서 포열이 폭발하는 사건이 크게 줄어들었다. 또한 동일한 구경을 가진 화포 제작이 가능해짐으로써 일정하게 유지되는 탄도를 기반으로 한, 더욱 정확한 일제사격도 가능해졌다. 마지막으로 성능은 그대로 유지한 채 소형의 경량 화포 제작이 가능해져 기동성이 높아졌고 그 덕분에 화포를 야전 공격용으로 사용할 수 있었다.

나폴레옹(Napoleon Bonaparte)은 포신 및 구경의 크기를 줄여 화포를 경량화함으로써 포병부대의 기동성을 향상시켰다. 그리고 화포 이동에 필요한 운반용 포가를 개량하여 그 성능을 높였고, 견인력도 황소가 아닌 두 줄로 끄는 말로 대체했다. 이외에도 조준장치 및 사격 각도를 정확히 반복적으로 변경할 수 있는 장치를 부착하고 포탄 무게도 통일해 발사 속도를 단축하고 효율성을 높였다. 이러한 그의 표준작업 덕분에 포병부대는 보병과 보조를 맞추어 행군할 수 있었고, 전장에서 포병이 차지하는 비중이 점차로 높아졌다. 그는 유리한 위치를 선점하고 다량의 화포를 집중적으로 배치 및 운용하여 접전이 이루어지기도 전에 적의 대형을 와해시켰다. 그는 화포가 개인 화기보다 우위에 있음을 실전을 통해 입증했다. 나폴레옹 전술의 가장 두드러진 특징은 화포의 체계적인 활용이었다.

6. 항해시대

로마시대에는 신선한 음식 확보와 보관이 큰일이었다. 상한 음식의 맛과 냄새를 감추기 위해 후추와 계피, 정향, 육두구(Nutmeg), 생강 같은 향신료들을 사용했다. 이들 향신료를 사용하면 음식의 맛이 더욱 좋아지기도 했다. 11세기 후반에 시작해 근 200년간 이어진 십자군원정을 통해 여러 이국적인 향신료를 맛본 이들은 원정이 끝난 후에도 가져가 즐기고 싶어 했다. 후추의 수요는 점점 늘어났고 어느새 생활의 필수품이 되었다. 15세기 초만 하더라도 유럽으로 들어오는 향신료는 이슬람 상인과 베네치아 상인들이 독점했다. 그러자 '레콩키스타'를 통해 국가를 건설한 포르투갈과 스페인은 향료 무역의 거대한 수요와 경제적 이익 그리고 이슬람교도를 협공할 만한 기독교인을 찾아 바닷길로 눈을 돌렸다.

기원전 6세기경부터 전함과 상선의 설계에 차이가 나타나기 시작했다. 전함은 선체의 뼈대인 기다란 용골에 사각돛을 달고 여러 층에 노를 배치했다. 바람이 불지 않거나 바람을 거스르며 항해할 때에는 사람의 힘으로 노를 저어 나아갔다. 반면 상선은 처음에는 둥그런 모양에 오로지 바람에 의지해 항해했다가 이후에는 노를 저어 기본적인 동력을 얻고 삼각돛으로 추진력을 보강하는 낮은 선체의 갤리선으로 지중해를 항해했다.

14세기 험한 대서양 바닷길에 돛이 한 장인 코그선이 등장했고, 15세기에는 지중해 연안 국가

의 오랜 전통과 북유럽 국가의 경험이 합쳐져 배의 설계에 큰 발전을 이뤘다. 돛은 바람의 힘을 더욱 효율적으로 이용하도록 개량했다. 조종이 쉬운 대형 삼각돛과 최대한의 풍력을 받을 수 있는 가로돛을 직렬로 배열했으며, 고물의 키를 타륜과 연결시켜 조타수가 타륜을 조종하기만 하면 쉽게 바람을 탈 수 있도록 했다. 포르투갈의 항해왕 엔히크(Henrique Navegador)는 대서양의 극한적인 기상 조건을 견딜 수 있는 튼튼한 캐러벨선 선단을 조직하여 대서양 바닷길을 개척하기 시작했다. 이어서 스페인은 캐러벨선보다 더 큰 갈레온선을 만들었다. 선박을 개량함으로써 더 많은 물건을 빠르게 수송할 수 있게 되어서 원면, 명반 등의 산업원료들이 대량으로 거래되었으며 향신료의 수입과 소비가 증가했다.

배의 위치를 알기 위하여 새로운 장비와 정보도 갖추었다. 별의 고도를 측정하기 위한 아스트롤라베와 상한의가 새로이 발명되었고 항해용 나침반과 정교해진 해도 등이 항해술을 더욱 개선시켰다. 나침반이란 바늘 모양으로 만든 자석을 가운데에 세운 지주에 연결하여 바늘이 자유롭게 회전할 수 있게 만든 기구로 어떤 곳, 어떤 기후에서도 항상 북쪽을 가리키기 때문에 일정한 침로를 따라 배가 움직인 대략의 속도에 시간을 곱하면 이동한 거리가 나왔다. 유럽인들은 나침반의 인도로 지리상의 대발견을 했고, 멕시코와 페루에서 배로 실어온 막대한 양의 은으로 유럽의 자본주의를 발전시켰다.

1492년, 콜럼버스(Christopher Columbus)가 아메리카 대륙을 발견했을 때, 그가 타고 간 산타마리아호는 돛이 세 개인 캐러벨선으로 적재량이 대략

100톤 정도였다. 그 뒤 7년 후에는 바스코 다 가마(Vasco da Gama)가 배수량이 400톤에 이르는 대형 캐러벨선인 가브리엘호를 타고 인도양 항로를 개척했다. 한편 마젤란(Ferdinand Magellan)은 트리니다드호를 모선으로 1519년에 출항하여 3년 만에 세계를 일주하는 대기록을 세웠다. 이러한 배경을 바탕으로 17세기에 들어오면 서양 범선들은 1,000톤이 넘는 대형선이 되어 본격적으로 동아시아에서 물자를 나르기 시작한다. (항해의 중요성은 실크로드와 운송 용량을 비교해보면 잘 알 수 있다. 실크로드를 다니는 낙타 한 마리가 실어 나르는 화물의 무게는 대략 60킬로그램인데 화물선의 적재 하중은 대략 1,000톤 정도였으니 배 한 척이 실어 나르는 화물은 낙타 1만 6,000여 마리가 실어 나르는 물량과 맞먹었다.)

7. 신대륙 아메리카

1519년 스페인의 코르테스군이 멕시코의 아즈텍 왕국에 도착했다. 당시 아즈텍에는 자비로운 지혜의 신인 '케찰코아틀'이 무자비한 전쟁의 신인 '멕시틀리'에게 패하여 동쪽으로 망명을 떠났으며 자신의 백성을 구하러 다시 돌아온다는 전설이 전해지고 있었다. 아즈텍인을 창조하고 농경기술과 쇠를 다루는 방법을 가르쳐 준 케찰코아틀은 1519년 해가 뜨는 동쪽 바다에서 날개를 활짝 편 새를 타고 돌아온다고 전하고 있었다. 바

로 그해에 코르테스(Hernan Cortes)는 돛을 활짝 편 범선을 타고 아즈텍에 도착했으며 아즈텍인들은 그를 다시 돌아온 케찰코아틀로 생각했다.

당시 신대륙의 원주민들은 천연두에 면역력이 없었다. 원래 아즈텍의 수도인 테노치틀란(현 멕시코시티)의 인구는 30만 명이었지만 코르테스가 오고 3년 사이에 천연두로 16만 명이나 사망했다. 이때 아즈텍을 떠나 남쪽의 마야 왕국으로 간 인디언들을 통해 마야에도 천연두가 퍼졌다. 스페인의 또 다른 정복자인 피사로(Francisco Pizarro)도 천연두로 무력화된 잉카제국을 손쉽게 함락했다. 1548년 멕시코의 인구는 3,000만에서 300만으로 줄어들었다.

이와 비슷한 인구의 감소가 북아메리카의 동부 해안에서도 발생했다. 천연두는 1634년 북미의 뉴잉글랜드 식민지에서도 크게 발병했으며, 이 삼십 년 간격으로 재발해 인디언들을 계속 몰살했다. 결국 1645년 휴런족의 절반, 1684년 이로쿼이족의 절반, 1738년 체로키족의 절반, 1837년 만단족의 거의 대부분이 사망했다. (천연두는 폭스 바이러스에 의해 발생하는 감염성 질환으로, 2주 이내의 잠복기를 거친 후 갑자기 발열과 두통 및 요통이 발생하고 2일 후에는 붉은색의 피부 병변이 온몸에 나타난다. 시간이 경과한 피부 병변은 수포가 되고 1주 정도가 지나면 수포는 농이 차는 농포로 바뀌며 환자는 이 무렵 패혈증, 폐렴, 후두염, 늑막염 등의 합병증으로 사망할 가능성이 높아진다.)

유럽은 신대륙 아메리카에서 옥수수, 감자, 고구마, 고추, 토마토, 담배 같은 새로운 농작물을 들여왔다. 특히 옥수수나 감자는 주식으로 자리 잡았다. 옥수수는 이탈리아와 프랑스에서 가장 중요한 작물이 되었고 감자는 일조량이 부족한 지역에서도 잘 자라기 때문에 기후가 좋지 않은 유럽의 가장 중요한 식량 자원이 되었다. 또 지중해 지역에서 재배하던 사탕수수를 서인도제도로 이식해 대량 재배하면서 커피나 홍차 같은 음료문화의 발전에 큰 기여를 했다. 담배도 유럽인들의 기호품으로 굳게 자리 잡았다.

신대륙 아메리카 식민지인의 착취와 함께 귀금속의 대량 유입, 대서양 무역의 발전으로 유럽의 경제가 크게 활성화되었다. 금은과 같은 귀금속의 유입은 아시아와의 무역에서 중요한 결제 수단이 되었다. 이리하여 생활수준이 올라가고 도시도 발전하기 시작했으며 대서양에 면해 있는 스페인이나 포르투갈, 영국, 네덜란드, 프랑스의 경제가 보다 활성화함에 따라 유럽의 중심도 뒤바뀌었다.

유럽인들은 아메리카 대륙을 통해 인간과 자연에 대한 인식을 넓히는 데에도 큰 도움을 받았다. 당시 교육받은 유럽인들은 모든 지식의 근원을 기독교의 성경, 그리스 로마의 고전들에 의존했는데, 그런 지식은 신대륙 아메리카에는 적용할 수 없었다. 아메리카에서 목격한 것들은 그런 지식의 범위를 훨씬 넘어서는 것이었다. 망원경을 이용한 천문학자의 기록, 항해자들의 보고서, 의사들의 해부학 보고서 등 다방면으로 새로운 지식이 확대되었다. 더 이상 책에만 의존할 수 없었으므로 식물원, 해부실, 천문대 등을 마련했으며, 경험적 관찰을 중시했다. 이 점에서 아메리카는 유럽

인들의 지식 틀을 바꾸는 데에도 크게 기여했다.

8. 향신료 무역

15세기 중반 포르투갈 탐험가들은 남쪽으로 아프리카 북서 해안의 베르데 곶까지 내려갔다. 1483년, 디오고 카오(Diogo Cao)는 베르데 곶에서 더 남쪽으로 내려가서 콩고 강 어귀까지 도달했다. 1487년, 바르톨로뮤 디아스(Bartolomeu Diaz)는 희망봉을 돌았으며, 1498년, 바스코 다 가마는 인도에 도착했다. 그리고 5년 뒤 무장한 바스코 다 가마는 캘리컷을 정복했다. 포르투갈이 캘리컷을 지배하면서 후추 무역은 약 150년간 포르투갈의 지배하에 놓였다. 이후 포르투갈의 영토는 아프리카를 포함해 동쪽으로 인도와 인도네시아에 이르렀고 서쪽으로는 브라질에 이르렀다.

후추 외에 소중한 향신료로는 육두구와 정향이 있다. 육두구와 정향은 향료 제도, 즉 오늘날의 인도네시아 몰루카 제도에서 유래했다. 육두구 나무(Myristica Fragrans)는 몰루카 제도에 속한 반다 제도에서만 자랐다. 몰루카 제도 북쪽에 테르나테 섬과 티도레 섬이 있는데, 이 두 섬은 세계에서 유일하게 정향나무(Eugenia Aromatica)가 자라는 곳이었다. 수세기 동안 몰루카 제도 주민들은 육두구와 정향을 재배해서 이곳을 방문하는 아랍, 말레이, 중국 상인들에게 팔았고, 육두구는아시아와 유럽으로 전파되었다.

1512년, 포르투갈의 알부케르크(Afonso de Albuquerque)는 몰루카 제도에 도착해 이곳 사람들과 직접 교역하면서 육두구와 정향 무역을 독점했고, 거래량은 곧 베네치아 상인들을 능가하게 되었다. 그러나 1667년, 네덜란드 동인도회사(VOC; Vereenigde Oostindische Compagnie)는 스페인과 포르투갈을 완전히 몰아내고 몰루카 제도 사람들의 저항을 무자비하게 진압한 후 향료 무역을 독점했고 네덜란드와 영국이 포르투갈의 후추 무역을 넘겨받았다. 이때부터 암스테르담과 런던이 유럽의 주요 후추 무역항이 되었다.

1770년, 한 프랑스 외교관이 몰루카 제도의 정향 묘목을 프랑스 식민지였던 모리셔스로 몰래 가지고 들어와 재배하기 시작했으며 이후 정향은 모리셔스에서 아프리카 동해안을 따라 퍼져나갔다. 영국은 육두구를 싱가포르와 서인도 제도에서 재배하는 데 성공함으로써 카리브 해의 그레나다는 육두구 섬으로 유명해졌고 향신료의 주요 생산지가 되었다. 더욱이 19세기 말, 냉장고의 등장으로 후추, 정향, 육두구는 방부제로의 가치가 크게 감소했다.

16세기 초, 영국의 헨리 8세(Henry VIII)는 스페인이 아메리카에서 엄청나게 실어오는 금은, 포르투갈이 향료 무역을 지배함으로써 창출해내는 막대한 수익금이 바다의 약탈자로부터의 안전을 보장할 수 없다면 아무 소용이 없다고 생각해 수많은 대포를 탑재할 수 있는 대형 전함을 만들기로 했다. 그는 무거운 함포를 갑판 위에 올려놓으면 자칫 배가 기울 수 있으므로 대포를 갑판 아래쪽에 설치했다. 배의 옆면에는 선체에서 대포를 쏠 수 있게 포문을 내고, 대포를 사용하지 않을 때는 물이 새어 들어오지 않

도록 방수창을 달았으며 바퀴 달린 발사대에 대포를 고정하는 방법을 개발했다. 1545년, 4문 60파운드 큰 대포와, 12문 32파운드 반 대포, 그리고 그밖에도 수많은 소형 대포들로 빽빽하게 채운, 개량형 갈레온선인 전함 위대한해리호(The Great Harry)가 모습을 드러냈다. 이 전함은 멀찌감치 떨어진 곳에서 대포들의 일제사격으로 적함을 산산조각 낼 수 있었다.

이렇게 새로운 배와 발전된 항해술 그리고 강력한 함포를 바탕으로 서구인들은 아시아, 아프리카, 그리고 신대륙에 식민지 및 상업 거점들을 건설했다. 그리하여 아시아에서는 이슬람 상인들로부터 향료의 무역 독점권을 빼앗고, 아프리카에서는 노예무역을, 신대륙에서는 금은의 채굴을 통해 막대한 양의 부를 뽑아낼 수 있었다. 이후 18세기 중엽부터 시작된 산업혁명을 통해 팽창의 조건들을 좀 더 성숙시킨 서방세계는 19세기말에 이르러서는 세계의 거의 전 지역을 차지하기에 이르렀다.

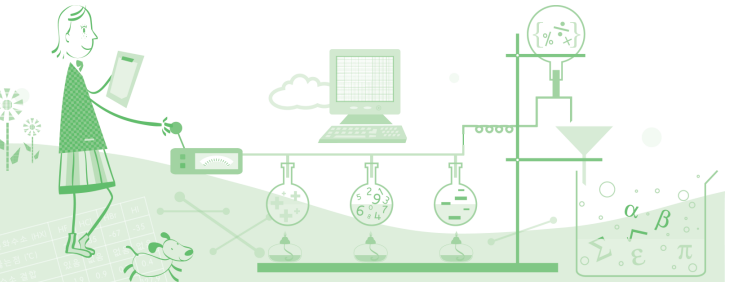
9. 도자기

'도자기'는 도기, 자기, 토기로 나눌 수 있다. 이들의 가장 큰 차이점은 굽는(燒成) 온도에 있다. 세계사의 무대에서 도자기기술을 선도해온 나라는

중국이었다. 중국에서는 굽는 소성온도를 더 높일 수 있는 방법을 찾는 데 심혈을 기울여왔는데, 그러한 과정에서 가마의 형태나 연료를 부단히 개량해왔다. 그 최종적인 형태가 구멍을 뚫기 쉬운 황토층에 석탄 화력을 이용한 동굴가마였다. 이것은 상당히 높은 온도에서도 견딜 수 있도록 고안된 가마이다. 이것이 계기가 되어 견고하고 엷은 도자기의 재료인 고령토(磁土, 陶土)가 발견되자, 송대(宋代)에는 자기를 완성했으며, 징더전(景德鎭)을 중심으로 대량 수출을 시작했다.

고대의 연질토기는 흡습성이 있기 때문에 불편한 점이 많았다. 이는 노천 가마에서 구웠기 때문에 온도를 올려도 고작 700~800도의 저온밖에 얻지 못하여 단단하게 만들 수 없었기 때문이었다. 또 토기의 모양을 빚는 방법도 손가락과 손바닥만을 이용하여 만드는 초보적인 '수날법(手捏法)' 밖에 몰랐다. 이런 방식으로는 능률이 떨어질 뿐만 아니라 토기의 모양도 매끈하지 못하다.

그러나 마침내 사람들은 이 연질토기를 경질토기 혹은 도자기로 바꾸는 데 성공했다. 산비탈을 이용하여 굴을 파서 만든 가마인 등요(登窯)와 둥근 도자기를 만드는 데 쓰는 목재로 만든 회전 원반인 녹로(鹿盧)를 만들어낸 것이다. 등요는 비탈을 이용하여 열을 상승시키는 구조로 되어 있어 1,200~1,300도의 고온을 얻을 수 있었고, 녹로를 사용하면서부터는 매끈하고 아름다운 토기를 대량으로 만들 수 있었다. 특히 자기는 17세기까지 중국과



조선에서만 생산되었다.

12세기경 도자기는 아랍 상인에 의해 최초로 유럽에 전해졌으며 고가로 팔렸다. 16세기 후반 포르투갈 · 스페인의 극동 진출에 이어, 17세기 초 네덜란드는 다양한 동양 문물을 유럽에 운반했다. 그중에서도 동양의 자기는 유럽의 지배계급 사이에서 큰 인기였다. 도자기는 부피가 크고 무거워 싣고 내리기가 쉽지 않았을 뿐더러 깨질 위험도 컸다. 그러나 일단 배에 싣고 나면 목적지에 이를 때까지 짐을 내릴 필요가 없으므로 도자기를 나르기에는 바닷길이 더 적합했다.

중국 명대(明代)의 자기가 네덜란드 동인도회사를 통해 유럽 각국으로 전해지자, 왕족 및 귀족들은 자신들의 궁전을 장식하기 위해 앞다퉈 이를 구입했다. 그 결과 유럽으로 수출된 도자기 수는 17세기 초반 50년 동안에만 해도 무려 300만 개가 넘었으며, 그 덕분에 네덜란드 동인도회사는 큰 돈을 벌었다. 그런데 1644년, 명조가 멸망하고 징더전이 있는 장시(江西) 지방도 청조(淸朝)의 지배 체제 아래로 들어갔다. 이것이 징더전의 자기 생산에도 영향을 미쳐, 부득이하게 생산이 중지되거나 정체되었다. 그렇지만 이 동안에도 유럽의 자기 수요는 꾸준히 증가했다.

그러자 네덜란드 동인도회사는 징더전의 자기를 대체할 만한 질 좋은

자기 산지를 물색하기 시작했다. 그 과정에서 일본이 조선 침략 당시 일본으로 연행해온 조선인 도공 이참평(李參平) 등에 의해 생산하던 '이마리' 자기를 수출했다. 처음에는 중국산에 비해 염색기술도 떨어지고, 상표에 원산지 이름을 붙일 만큼 알려져 있지도 않았다. 하지만 차츰 여러 가지 신기술을 개발하면서 '이마리'라는 이름 자체가 상품명으로 정착되었다. 17세기 말부터 18세기 말에 걸쳐 네덜란드 동인도회사는 일본의 '이마리' 자기를 유럽으로 분주히 실어 날랐다. (30~40년 동안 200만 개의 도자기가 네덜란드 상인들에 의해 동남아와 유럽으로 수출되었다.)

전자현미경을 통해 단면을 들여다보면, 자기는 조직이 치밀해 구멍이 없지만 도기는 구멍이 무수히 많으며 조직이 엉성하다. 그래서 도기에 열을 가하면 구멍 속으로 공기가 들어가기 때문에 열전도율이 떨어지는 한편으로 일단 뜨거워지면 좀처럼 식지 않는다. 열을 가하면 급속히 달궈지고 또 쉽게 식는 자기에 비해 온도 변화에 대한 내열성이 큰 것이다. 그러나 잘 깨지지 않고 더러움을 타지 않는 성질은 자기 쪽이 훨씬 탁월한 까닭에 오늘날 고급 식기의 80퍼센트 이상이 자기이다.

10. 먹거리

고대의 유럽은 지중해 연안 외에는 육식을 했다. 생고기는 사흘만 지나면 썩었으므로 소금에 절이거나 불에 그슬리는 방식으로 먹었다. 이때 먼

동양에서 들어오는 방부 작용이 강하고 적은 양으로도 고기의 맛을 좋게 만들어주는 향신료가 전해졌지만 아주 비쌌다. 중세 유럽인들은 주식을 농작물로 바꾸었지만 사회는 여전히 불안정했다. 이후 신대륙의 발견으로 감자, 옥수수, 사탕무, 파파야, 카카오, 토마토, 바닐라 같은 새로운 농산물이 들어오고 밀가루를 대량 생산할 수 있는 물레방아와 제분 공장이 들어서고 나서야 굶주림을 면할 수 있었다.

현재 쌀과 밀을 주식으로 하는 세계 인구는 3분의 1, 감자와 옥수수를 주식으로 하는 인구도 3분의 1이다. 전 세계의 쌀 생산량은 3억 톤으로, 인도나 동남아시아 일대는 찰기가 없는 인디카(Indica) 타입의 쌀을 생산하는 반면, 중국의 둥베이(東北) 지방이나 한국, 일본은 찰기가 있는 자포니카(Japonica) 타입의 쌀을 주식으로 한다. 밀은 가루로 만든 후 빵으로 구워 먹는다. 인도에서는 물로 반죽하여 굽는 차파티(Chapati)를, 이슬람 문화권에서는 반죽한 뒤 발효시켜 둥글고 얇게 펴서 굽는 난(Nan)을, 유럽이나 북미에서는 발효시킨 반죽을 덩어리로 떼어 굽는 빵(Bread)을 먹는다. 중국도 발효 빵인 찐빵, 만두피로 속을 싸는 만두류, 국수류 등이 있으며 이탈리아의 파스타(Pasta)류나 일본의 우동도 밀가루 음식이다.

18세기 프로이센의 프리드리히는 신대륙에서 들어온 감자를 삶아 버터를 발라 먹으면 맛이 좋고 비타민C도 풍부하여 괴혈병을 예방할 수 있음을 알았다. 그 이후 구황작물로서 전 유럽에 재배를 권장하여, 감자는 급격히 유럽의 주식이 되었다. 옥수수는 남미의 북부 안데스산맥(페루)의 열대지방이 원산지로 16세기 초부터 스페인을 거쳐, 프랑스, 이탈리아, 터키

로 전해졌으며, 다른 한편으로는 포르투갈을 거쳐, 인도, 중국, 한국으로 전해졌다. 현재 페루와 칠레에서는 옥수수 알맹이를 끓여 죽을 쑤어 먹고, 멕시코에서는 가루를 내서 반죽한 다음 얇고 둥글게 구워낸 토르티야(Tortilla)를 먹는다.

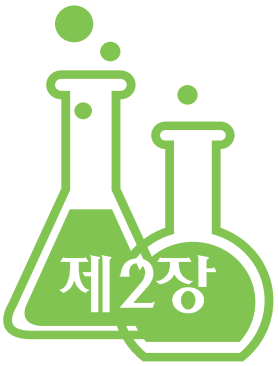
차, 콜라, 과라나, 커피, 코코아 같은 음료는 피로나 잠을 물리치려고 마시는 각성 음료였다. 차는 중국의 윈난성(雲南省)이 원산지로 7세기에는 전 중국에 널리 보급되었고 실크로드의 오아시스 도시로도 전파되었다. 실크로드를 거친 차는 러시아, 인도, 이란, 터키로 전파되었으며 바닷길로는 동남아시아를 거쳐 유럽 각지로 퍼졌다. 18세기에는 설탕을 넣은 홍차가 영국에 퍼져 노동자들도 '티타임'을 가지게 되었으며 이런 습관은 영연방 전체로 퍼졌다. 현재 중국의 화베이(華北) 사람들은 녹차를 애호하며, 푸젠(福建)의 남방인들은 반 발효의 우롱차를 좋아하고, 광둥(廣東) 사람들은 완전 발효시킨 홍차를 즐겨 마신다.

커피 원두의 생산량은 차의 두 배인 650만 톤이다. 커피의 원산지는 에티오피아 고원의 카파(Kaffa)지방으로, 1,000년 전 아랍인들이 볶은 원두를 따뜻한 물에 담가 마신 이래 커피는 이슬람 사원에서 이용되다가 최초의 커피점(카페)이 1554년 오스만(터키)의 수도 콘스탄티노플(이스탄불)에 등장했고 1645년에는 카페 '플로리안'이 이탈리아의 베네치아에서 문을 열었다. 이듬해에는 로마, 1650년에는 영국의 옥스퍼드, 1652년에는 런던, 1672년에는 파리, 그리고 1679년에는 함부르크에도 문을 열어 카페는 커피를 즐기고 다양한 정보를 교환하는 사교장이 되었다. 1696년 뉴욕에 커피하

1 증기기관
2 방직공업
3 제철
4 기차
5 대량 생산
6 석유
7 내연기관
8 자동차
9 비행기

제 2 장

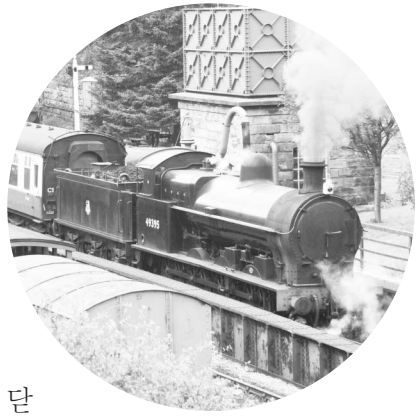
산업혁명과 열역학



산업혁명과 열역학

산업혁명의 추진력은 증기기관이었다. 뉴커먼(Thomas Newcomen), 와트(James Watt), 스티븐슨(Gorge Stephenson) 등이 이룩한 증기기관의 개발은 광산의 배수 작업에서부터 방직공장으로 그리고 운송 수단의 응용으로 이어졌다. 이러한 새로운 기술은 기술자와 기업주의 이익과 직결되어 있어서 새로운 기술의 창출과 혁신을 끊임없이 일어나게 했다. 1730년대부터 케이(John Kay)가 자동 북(Flying Shuttle)을 발명한 것에 이어서, 1760년대 하그리브스(James Hargreaves)는 제니방적기(다추방적기)를, 아크라이트(Richard Arkwright)는 수력방적기를, 1779년에 크럼프턴(Samuel Crompton)이 뮬(Mule)방적기를 발명했다. 1784년에는 카트라이트(Edmund Cartwright)가 역직기(Power Loom)를, 1793년에는 휘트니(Eli Whitney)가 조면기(Cotton Gin)를 발명했다. 제임스 와트의 증기기관은 수력을 화력으로 대체하고 반자동화 공장을 확산시켰다. 세상이 원활하게 돌아가는 데 필수적인 일과 에너지의 관계를 둘러싼 열역학법칙의 정립으로 에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 되었다. 1840년에는 전 세계적으로 8,000킬로미터 길이의 철도가 부설되었고, 석탄을 태워 물을 끓여 증기로 움직이는 기관차는 가장 널리 사용되는 운송 수단이 되었다. 그러나 증기기관은 아무리 성능이 개선된다 하더라도 엔진의 외부에서 동력이 공급되기 때문에 열 손실이 많았다. 이러한 외연기관에 비해 열효율을 현격히 높일 수 있는 내연기관의 개발을 모색하기 시작했다. 마침내 1876년, 독일의 오토(Nikolaus August Otto)는 흡입–압축–폭발–배기의 4행정 내연기관인 오토사이클엔진을 개발했다. 1883년에는 독일의 다임러(Gottlieb Daimler)가 기화된 경유를 실린더에 주입해 크랭크축을 작동시키는 휴대용 엔진을 개발했고, 그의 엔진은 2년 후에 자동차에 장착되었다. 또 1892년, 디젤(Rudolf Diesel)은 고도의 압축으로 액체연료를 점화장치 없이 자연발화 하는 엔진을 발명했다. 이 디젤엔진은 공장 가동과 선박 운항에 사용되던 증기엔진을 대체했다.

1. 증기기관



증기의 응용은 일찍이 기원전 고대 알렉산드리아의 헤론(Heron)이 처음 주장했다. 그러나 와트에 이르기까지 1,000년 이상 관심을 끌지 못하다가 1679년에 이르러서야 프랑스의 드니 파팽(Denis Papin)이 증기솥을 발명하면서 관심을 받기 시작했다. 증기솥은 돌려서 꼭 닫으면 증기가 솥 밖으로 빠져나오지 않도록 한 용기로 이런 증기솥에서는 음식물이 더욱 빨리 삶아진다. 파팽은 물이 끓을 때 생기는 수증기는 액체 상태보다 더욱 많은 공간을 필요로 한다는 사실을 확인했다. (1리터의 물을 끓이면 거의 2,000리터의 증기로 바뀌었다.) 파팽은 솥에 작은 구멍을 만들었고 이 구멍 앞에 피스톤이 달린 실린더를 고정시켰다. 물이 끓기 시작하자 증기가 확산되면서 실린더 속의 피스톤을 위로 밀어 올리는 것을 보고 이 힘이 얼마나 큰지 확인했다.

1712년, 영국의 뉴커먼은 증기의 발생이 실린더와 분리된 보일러에서 일어나도록 개량한 열기관을 만들었다. 용기에 물을 채우고 가열하면 증기가 실린더 속으로 들어와서 그 속에 있던 피스톤을 위로 밀어 올렸다. 피스톤이 실린더 밖으로 밀려 나가면 증기는 식어 물이 되므로 피스톤은 다시 실린더 안으로 내려온다. 피스톤이 끝까지 내려오면 새로운 증기가 실린더 안으로 보내져 다시 피스톤은 위로 움직이게 된다. 뉴커먼의 기계는 그 밑에서 연료가 공급되고 있는 동안에는 언제나 피스톤이 왕복운동을 했다. 이 뉴커먼의 증기기관은 석탄과 물만 있으면 24시간 내내 물을 퍼낼 수 있었다. 영국의 광산에서는 이 기계로 60시간 이

상 계속 물을 퍼내었다.

뉴커먼 기관은 증기의 동력을 사용한 뒤 냉각시킬 때 실린더 속에 냉수를 넣었는데 그 때문에 실린더를 다시 가열하려면 그만큼 많은 석탄이 사용되었다. 와트는 1768년에 실린더와 분리된 응축기를 별도로 설치하여 실린더를 항상 뜨겁게 하는 대신 응축기를 항상 차갑게 함으로써 증기기관의 열효율을 대폭 향상시켰다. 와트의 증기기관에 대한 연구는 이후에도 계속되어 1782년에는 여러 개의 피스톤을 동시에 밀고 당길 수 있는 복동식(Double Acting) 증기기관을 완성했다. 복동식 증기기관이 개발됨으로써 증기는 용도에 제한을 받지 않는 만능 동력원으로 사용되었고, 와트의 증기기관은 카트라이트의 역직기에 적용되는 것을 계기로 탄광용 펌프뿐만 아니라 방직기, 제분기, 용광로 등의 동력원으로 널리 활용되었다.

16세기 이래로 광산에서는 레일 위를 달리는 운반차를 사용해 철광석을 실어내고 있었다. 그런데 1804년, 리처드 트레비식(Richard Trevithick)이 증기기관을 설비하여 운반차를 굴리면 어떨까 하는 생각을 했다. 1814년에 조지 스티븐슨(George Stephenson)이 이 기계를 개선하기 시작해 1821년에는 영국 북부 도시인 스톡턴과 달링턴 사이를 달리게 되었다. 1829년 스티븐슨이 시속 55킬로미터의 증기기관차 로케트호를 제작하면서부터 영국에서는 열광적으로 철도 건설을 추진했고, 19세기 후반에는 다른 국가들도 이를 뒤따랐다. 증기기관은 철도 발전에 엄청난 역할을 했고 1950년대까지도 대부분의 철도 차량들은 증기기관으로 움직였다. 산업혁명이 이렇게 혁명적 효과를 낼 수 있었던 것은 여러 가지의 개별적인 기술혁신들이 상호연관을 맺으면서 그 효과가 더욱 증대되었기 때문이다.

2. 방직공업

솜, 비단, 양모는 자연섬유로 천연고분자이다. 즉, 솜은 셀룰로오스로 화학적으로 안정되어 있다. 무명은 식물의 종자모섬유이며 긴 털과 짧은 바탕 털의 두 종류로 되어 있는데 긴 털은 방적해서 면사를 만들어 주로 옷감으로 사용한다. 바탕 털은 레이온 등의 원료로 린터(면화의 단섬유)라고 하며 공업상 중요한 셀룰로오스 유도체의 원료로 쓰인다. 지리상의 발견으로 아메리카 대륙에서 생산된 면화를 비롯한 농산물, 아프리카의 흑인 노예와 상아, 그리고 인도의 면직물을 연결하는 삼각무역이 시작되었다. 흑인 노예들은 아메리카에 있는 백인 농장으로 보내고, 인도의 면직물로 흑인 노예들이 입을 옷을 만들었다. 인도의 면직물이 질기고 부드러우면서 값도 싸다는 사실이 알려지면서 유럽에서도 면직물이 환영받기 시작했다. 영국은 수요가 늘어나는 면직물을 직접 생산하기로 하고 북아메리카에서 생산된 면화를 대량으로 확보하여 면화를 자아서 실을 만들고 천을 짰다.

면화 섬유는 기껏해야 2~3센티미터 정도밖에 되지 않기 때문에, 이것을 잘 빗어서 한데 꼬아 실을 만든다. 이때 물레를 사용한다. 이렇게 만들어진 실을 이용해 천으로 만들어지는 공정을 직조 공정이라고 하는데, 이 공정의 수공업 단계에서는 베틀을 사용한다. 베틀의 부품 중 가장 중요한 것은 날실에 씨실을 통과시키는 과정에서 사용하는 '북'이다. 면공업의 기술혁신은 케이가 '자동 북(Flying Shuttle)'이라는 방직기를 발명하면서부터 시작되었다.

당시에 폭이 넓은 천을 짜기 위해서는 씨실을 잇는 북을 별도의 한 사람이 옮겨야 했기 때문에 생산성이 떨어졌다. 케이는 씨실을 직기의 한 끝에서 다른 끝으로 빨리 보내는 방법을 생각하다가 1733년 북이 홈통을 따라 자동으로 미끄러지는 자동 북을 발명했다.

케이의 발명 덕분에 방직 부문의 생산성이 증가하자 방직기의 속도에 어울리는 실을 확보하기가 매우 어려워졌다. 이러한 기술적 불균형을 해결하기 위하여 1765년 하그리브스는 기본적으로 방추 몇 개가 더 붙어 있는 물레인 방적기를 만들었다. 이것만으로도 노동자 한 사람이 한 번에 여러 가닥의 실을 방적할 수 있었다. 최초의 모델에는 방추가 여덟 개밖에 없었지만 나중에는 80개 이상의 방추가 달린 제니방적기가 제작되었다. 또 아크라이트는 하나의 바퀴가 네 쌍의 롤러를 작동시키고 실이 롤러를 통과하면서 방추에 감기는 구조를 만들었다. 뒤에 있는 롤러를 앞에 있는 롤러보다 더 빨리 돌림으로써 실을 잣기 전에 충분히 팽팽하게 당길 수 있었다. 더구나 수력을 사용함으로써 제니방적기보다 빠른 속도로 작업을 수행할 수 있었다. 제니방적기는 가내수공업에 많이 사용되었던 반면 아크라이트의 수력방적기는 공장으로 확산되었다. 이후 방적기를 집대성한 사람은 크롬프턴이다. 그는 제니방적기와 수력방적기를 조합하여 1779년에 뮬방적기를 발명했다. 수력방적기가 생산한 실은 튼튼하기는 했지만 거칠었고 제니방적기가 생산한 실은 가늘기는 했지만 쉽게 끊어졌다. 뮬은 롤러 사이로 실이 끌어당겨지는 방법은 수력방적기에서, 앞뒤로 미끄러지는 이동식 운반대는 제니방적기에서는 빌려왔다. 이를 통해 크롬프턴은 방적기에서 생산되

는 실의 품질을 크게 향상시켰다. 뮬방적기가 발명됨으로써 비로소 튼튼하면서도 가는 실이 생산되었다.

상황은 역전되었다. 1760년 무렵에는 우수한 방적기가 없어서 문제였지만, 1790년 무렵에는 방사가 과잉으로 생산되어 이를 처리하는 것이 문제로 떠올랐다. 이러한 기술적 불균형을 해소하기 위해서 효과적인 방직기를 개발할 필요가 있었다. 이러한 요청에 적극 대응한 카트라이트는 1785년에 역직기를 발명했다. 그것은 씨줄에 낙하하는 바디와 날줄을 왕복하는 자동 북이 연속적으로 움직이는 구조였다. 방직기를 더욱 개선하여 생산되는 직물의 종류를 확대한 사람은 프랑스의 기술자인 마리 자카르(Joseph Marie Jacquard)였다. 기존의 방직기는 짜고자 하는 직물의 형태에 따라 노동자가 미리 씨줄과 날줄을 조정하는 과정을 거쳐야 했기 때문에 생산되는 직물의 종류에 한계가 있었다. 1801년, 자카르는 오늘날의 컴퓨터와 비슷한 방식으로 작동하는 직기를 도입했다. 직물의 설계에 관한 정보를 천공카드에 저장했으며 직기는 자동적으로 돌아갔다. 자카르직기가 등장하면서 새로운 직물을 짤 때에는 구멍이 뚫린 카드를 바꾸기만 하면 되었다. (뮬방적기가 자동화된 이후에, 1850년대에는 회전하는 고리를 통한 링(Ring) 방식이 확립되었고, 1870년대부터는 원심력을 활용한 로터(Rotor) 방식이 도입되었다. 방직부문에서는 1895년에 북이 자동으로 교체되는 자동직기가 개발되었으며, 1950년대 이후에는 북이 없는 직기가 등장했다.)

면직물 공업의 기술혁신에는 서로 상충되는 두 가지 토대가 있음을 확인할 수 있다. 그 하나는 원면의 비용을 최소화함으로써 인도 면제품과의 경쟁에서 이기기 위해 영국이 묵과한 미국 남부의 비참한 노예 노동이며, 다른 하나는 카트라이트의 역직기로 상징되는 근대적인 기계제 대량 생산의 시작이다. 이 둘의 갈등

이 빚은 문제를 해결하고자 미국은 남북전쟁을 치러야 했으며, 전쟁으로 인한 목화 부족으로 불안해진 영국은 이미 면직물 공업국의 자리에서 밀려난 인도로 하여금 목화 재배를 강요하기에 이른다. 인도의 경우 수공업 생산제도가 파괴됨으로써 영국에 면화를 공급해야 하는 한편으로 영국에서 면제품을 수입해야 했다.

3. 제철

광석은 대부분 산화금속 형태로 존재하기 때문에 실제 사용하기 위해서는 산소를 떼어내야 한다. 그런데 철 이외에 많은 다른 원소들의 산화물은 산소와의 결합력이 너무 세기 때문에 산소를 제거하는 데에는 철보다 더 큰 에너지가 필요하다. 기원전 4000년경 초보적이나마 철을 정련하는 기술을 얻었다. 이 고대의 제철 방식은 작은 노속에 목탄불을 지펴서 열과 일산화탄소로 철광석을 환원한 뒤, 탄소를 잔뜩 머금은 해면 상태의 철을 끄집어내어 쇠망치로 두들기기를 반복하는 식이었다. 무기나 간단한 모양의 도구에 사용되기 시작한 철은 철을 다루는 기술을 갖고 있는 집단에게 강력한 경제력과 힘을 가져다주었다. 그리고 철 가공 기술이 발달함에 따라서 점차로 철이 사용되는 분야가 늘어나기 시작했다. 철을 얻기 위해서는 적지 않은 에너지가 필요하다. 철기문화보다 청동기문화가 먼저 출현했던 것은, 철을 얻기 위한 온도(최소한 1,300℃)가 청동기를 구성하는 재료들을 얻을 수 있는 온도(600~900℃)보다 훨씬 높아서 인공적으로 철을 얻을 수 없었기 때문이었다. 자연계에서 철보다 적은 에너지로 얻을 수 있는 금속들은 대부분 매장량도 적고 강도가 약하기 때문에 산업의 기본 재료로 사용될 수 없다.

중세 후반까지 노(爐)에서 만들어진 철기류는 완전한 액체 상태에서 만들어지지 않았다. 그러던 것이 목탄 대신에 석탄을 사용하고 강력한 풀무를 사용함으로써

노의 온도는 점점 올라갔다. (연철은 900℃에서 융해되는 데 비해, 선철을 얻기 위해서는 1,200℃까지 온도를 높여야 했다.) 15세기에 이르러서야 유럽 최초의 용광로가 만들어지면서 철을 완전히 녹일 수 있었다. 이로써 종래의 철보다 탄소 함량이 더 높은 주철을 얻었다. 주철은 이전까지의 철보다 탄성이 떨어졌지만, 압력에 견디는 힘은 더 강했다. 대서양 무역에 뒤늦게 나선 영국은 네덜란드와 독일을 통해 도입한 고로 기술을 이용해 주조 대포의 대폭적인 증산을 도모했다. 영국은 사정거리가 긴 이 주조 대포를 가볍고 빠른 갤리선에 싣고서, 아메리카 대륙의 식민지에서 유럽으로 은과 상품을 운반하던 스페인 선박을 덮쳤다. 이른바 영국 해적선의 등장이다. 1588년에 영국 해군이 스페인의 무적함대를 격파하는 데도 이 대포는 커다란 활약을 했다.

영국이 세계로 진출할 수 있었던 것은 어떤 면에서 고로에 의한 선철 덕분이라고 말할 수도 있다. 그러나 영국의 제철업에는 한 가지 약점이 있었다. 대륙에 비해 삼림자원이 부족했던 영국에서는 용광로에서 소비되는 대량의 목탄을 확보하기가 그리 만만치 않았던 것이다. 그로 인해 '삼림 고갈'을 호소하는 목소리가 높아진 17세기를 기점으로 고로가 줄어들기 시작해, 마침내 영국은 철을 수입해야 하는 처지가 된다. 그럼에도 대포의 생산은 중단할 수 없었기에 목탄을 대신할 새로운 연료가 필요했다.

땔감이나 목탄이 빈약한 영국에서는 16세기부터 매장량이 풍부한 석탄으로 이를 대용하고 있었다. 그러나 유황 성분이 포함된 석탄을 그대로 제철에 사용하면

철이 약해져버린다. 오랜 시행착오 끝에 1709년, 다비(Abraham Darby)는 마침내 석탄을 건류(찌는 방법)시킨 코크스(Cokes)를 용광로 작업에 이용하는 데 성공했다. 이 코크스 용광로는 단순한 연료의 전환만을 꾀하는 게 아니라, 용광로 내의 온도를 높여 생산성을 비약적으로 향상시켰다. 코크스 제련으로 주철의 가격은 저렴해졌다. 그러나 주철은 레일, 광산용 기둥, 다리, 차량이나 기관의 실린더용에는 적합했지만, 공구나 기관의 가동부에는 적합하지 않았으며 스웨덴이나 러시아의 저임금과 값싼 목탄을 이용해 만들어지는 철에 비해 비용이 너무 많이 들었다. 또 코크스 용광로를 이용하면 미세하게나마 유황 성분이 남아 결국은 철을 약화시켰다. 게다가 이것을 선철로 만들 경우, 늘어뜨려 판을 만들거나 벼리어 서로 잇는 것도 불가능했다. 결국 영국의 제철업자들에게는 어떻게 하면 스웨덴산이나 러시아산 철의 대용품(단철)을 만들 수 있느냐가 문제로 떠올랐다.

1740년대에 헌츠먼(Benjamin Huntsman)은 도가니 강(Crucible Steel)을 개발했다. 1784년, 코트(Henry Cort)는 해머를 압연기로 대신하여 단조기술을 개량했으며, 이듬해 선철에서 연철을 만드는 기술을 개발했다. 그는 석탄으로 선철을 연하게 하는 퍼들법(Puddle Process)을 발명함으로써 코크스 고로를 일반화했다. 퍼들법은 선철을 정련하는 데 아궁이와 용해실이 분리된 반사로를 이용하여 무쇠 속에 침투하는 유황의 양을 대폭으로 감소시킬 수 있었다. 무쇠와 슬래그를 잘 접촉시키기 위해 금속을 계속해서 휘저어 섞는 방법을 사용한다. 노 내부의 선철은 화염의 반사열로 용해되므로 석탄과 직접 접촉되지 않으며, 용해한 선철은 탄소를 잃으면 용융점이 높아져서 유동성을 잃게 되므로 이것을 휘저어서(Puddling) 반응을 진행시켰다. 그리고 종래의 두드림에 의한 단조가 아닌 증기기관에 의한 압연공정과 결합해 판이나 봉을 강력한 롤러 사이로 여러 번 통과시켰다. 이렇게 해서 퍼

들법은 탄소 성분이 적은 연철을 만들어냈다. 퍼들법에 의해 정련된 단철은 품질이 우수해 구조물에 많이 사용했다.

그러나 고로와 압연기 사이에 있는 퍼들로의 작업은 사람의 손에 의했기 때문에 크게 만들 수 없었다. 1856년 마침내 베세머(Henry Bessemer)는 고로와 더불어 정련로를 원하는 크기로 만들 수 있는 전로(Converter)를 만들었다. 베세머의 전로는 노 밑에서 공기를 계속 불어넣어 얻어지는 높은 정련 온도로 탄소 성분이 높은 선철이나 탄소 성분이 적은 연철을 쉽게 만들 수 있었다. 그의 발명 덕분에 강철 가격이 과거의 단철 가격 수준으로 저렴해짐에 따라 기존의 화포 제작 방식에는 일대 변화가 일어났다. 그러나 베세머법도 철광석에 들어 있는 인을 제거하는 데 드는 비용이 만만치 않아 대량 보급에는 제약을 받았다. 베세머의 철강이 출현하고 얼마 안 되어 지멘스(Erns W. von Siemens)가 사용된 고온의 가스로 흡입공기를 가열시켜 노의 온도를 높게 유지시키는 전로와 평로를 개발했다. 이 방법으로 다량의 강철을 녹일 수 있었다.

베세머와 지멘스의 방법에는 스웨덴산, 스페인산, 북미의 슈피리어호수산 등 비교적 순수한 광석만 쓰일 수 있었다. 클리블랜드나 로렌과 같은 침적 광석은 좀 더 결정적인 개량을 요구했다. 1879년, 시드니 토머스(Sidney G. Thomas)가 불필요한 인을 흡수하는 염기성 내장재를 도입했다. 로렌산의 고품질 인광석을 넣는 혁신적인 제강공법으로, 염기성 내장재의 도입 이후 생산비는 급격히 떨어졌으며 생산량은 급속히 늘었다. 이때부터 철강산업은 독일 성장의 핵심이 되었고

1913년 독일은 영국보다 두 배 가까운 무쇠를 제련하게 되었다. 대량 생산된 철은 각종 기계, 운송 수단, 그리고 건축물 등에 사용되기 시작했으며 각 분야에서 철의 우수한 특성을 활용하는 기술이 발달하면서 산업이 급속히 발전했다.

철광석과 유연탄을 한꺼번에 넣고 쇳물을 뽑아내는 기존 용광로는 대량의 쇳물을 생산할 수 있지만 환경오염 물질이 나오고 경제성이 낮았다. 2007년에 개발된 포스코의 파이넥스공법은 기존 용광로의 여섯 단계 공정을 네 단계로 단축함으로써 이 같은 단점을 일거에 해소했다. 이에 따라 파이넥스 설비의 투자비와 철강 제조원가는 같은 규모의 용광로 설비에 비해 각각 20퍼센트와 15퍼센트씩 줄었다. 파이넥스공법이 기존 용광로에 비해 35퍼센트의 가격 경쟁력을 가지는 셈이다. 또 공정이 줄어들면서 환경오염 물질도 획기적으로 줄었다. 같은 규모의 용광로에 비하면 질소산화물과 황산화물은 각각 1퍼센트, 3퍼센트, 비산 먼지는 28퍼센트 수준으로 감소했다.

4. 기차

전부터 영국에서는 석탄 갱도에 목제 궤도를 설치한 후 말이 여러 대의 수레를 끌게 했다. 18세기 증기동력이 발명되고 증기기관이 새로운 동력으로 대두되면서 수송기관에도 큰 변혁이 일어났다. 저압증기기관 원리의 와트의 증기엔진은 그 부피가 너무나 컸고 또한 돌아다닐 때 너무 많은 연료를 필요로 했다. 그러나 트레비식은 1800년 빔 연접봉형의 고압증기기관을 제작하는 데 성공했다. 그 이후 고압증기기관을 이용해 차에 승객을 태우고 다닐 수 있게 되었다. 1804년, 그의 증기기관차는 10톤의 철, 70명의 사람, 그리고 다섯 대의 화차를 싣고 시속 5마일의 속도로 9.5마일에 이르는 거리를 운행했지만, 당시 주철 선로가 지니고

있는 단점으로 당장 실용화될 수는 없었다. 그러다 1813년 영국의 윌리암 헤드리(William Hedley)가 트래비식의 원리를 적용해 만든 '버핑빌리호'가 8킬로미터를 50톤의 광석을 싣고 달렸다.

1825년, 스티븐슨이 만든 증기기관차가 달링턴과 스톡턴 사이의 지상 철도를 처음으로 달리고 곧이어 잉글랜드, 웨일스, 스코틀랜드에 철도망이 깔리기 시작했다. 1838년 영국의 철도 길이는 800킬로미터를 넘어섰고 10년 후에는 8,000킬로미터로 열 배나 증가했다. 영국에 이어 1831년, 찰스턴과 오거스타 사이에 총 길이 64킬로미터의 미국 철도가 건설되었다. 1832년에는 프랑스, 1835년에는 독일, 1837년에는 오스트리아에 최초의 철도가 놓였다. 운하 운임이 비싸지고 철과 구리 가격이 낮아지면서 철도 건설 붐이 불었다. 1850년대에 들어와 미국은 철도의 발전과 기관차의 개량에서 영국을 앞지르게 되었다. 1872년, 독일 철도는 총 길이 2만 2,462킬로미터를 기록하며 영국을 앞질렀다. 1891년, 러시아는 모스크바에서 블라디보스토크까지 9,000킬로미터나 되는 시베리아 횡단철도를 건설하기 시작했다. 또 20세기 초의 미국의 철도는 40만 킬로미터를 넘어섰다. 영국은 식민지 인도에도 철도를 놓아 원료와 상품 운반에 드는 비용을 크게 줄였다.

다른 증기기관들과 비교해서 기관차 제작에는 높은 정밀도를 요하는 금속가공법과 질이 좋은 공작 재료가 요구되었다. 동력기, 동력전달시스템들로부터 나오는 동력이 바퀴로 전달되어야만 하는 증기기관차는 아주 복잡한 기술구성체였다. 서로 맞물리면서 움직여야 하고, 서로 긴밀하게 얽혀 있는 부품들의 수나 속도 및 사용되는 성분 물질과 연관되어 발생되는 부하 능력은 정지해 있는 증기기관들에 비하면 비교가 안 되게 크고 많았다. 반면, 이들 문제들에 부딪쳐 사람들

이 설계상의 아이디어나 구조적인 아이디어로 해결할 수 있는 공간은 협소하기 그지없었다. 구조상의 결함, 질 나쁜 공작 재료나 생산 기술상의 부주의는 바로 선로 파괴나 구동축들이 꽉 물려 돌아가지 않는 등의 문제들을 낳곤 했다. 철도 운행에서는 대량의 재난을 야기할 수도 있다. 열차는 공중, 공공이라는 조명을 받고 운행되는 것이다.

예전에는 많은 도시들이 독자적인 시간 체계를 가지고 있었다. 다른 지역으로 이동한 사람은 그 지역의 시계에 시간을 맞추어야 했다. 그러나 철도는 고정된 운행시간표에 따라 운행할 필요가 있었기 때문에 작은 지역은 큰 도시의 시간을 따르게 했다. 점차 한 나라의 모든 시계들이 같은 시간을 가리켰다. 이리하여 철도는 긴 여행을 신속하고 안전하게 할 수 있도록 해주었다. 철도는 또한 다른 새로운 소식도 신속하게 전파했다. 또 기차는 도시의 대형 공장에서 생산된 물품들을 유럽 어디에나 신속하게 배달할 수 있었다. 철도는 전쟁 수행에도 불가결한 영향을 미쳤다. 처음에는 일반인의 수용이 주목적이었지만, 곧 군사전략적 가치가 인식되면서 각국은 경쟁적으로 전략 철도 부설에 매진했다.

오늘날 전기기관차는 일상적인 교통수단의 하나로 자리 잡았다. 세계 최초의 전기기관차는 1879년 베를린 박람회 때 박람회장 안으로 관람객을 실어 나르기 위해 만들어진 소형 기관차였다. 1885년, 미국의 스프레이그(Frank J. Sprague)는 전차 제작에 성공하여, 1888년 리치몬드에 전차를 개통하고 실질적인 전철시대의 돌입을 알렸다. 당시 수준으로는 전철의 건설비가 너무 높아서 증기기관과 전동차를 결합(증기기관차를 직접 발전에 이용하는 법)하는 방법이 제안되었으나 이 방법은 프랑스, 독일, 영국, 미국의 어느 국가에서도 성공하지 못했다. 전기기관차가 본격적으로 등장한 것은 제2차 세계대전 이후부터이다. 그동안 전기기관차의 성능

개선은 추진장치보다는 안전성과 속도를 높이는 데 힘을 쏟아왔다.

지정된 코스를 따라 고성능 자석의 표면을 미끄러지듯 움직이는 자기부상열차는 전기기관차와는 완전히 다른 기술을 사용한다. 열차는 서로 반대 극의 자석끼리 밀어내는 반발력을 이용해 선로 위에 떠서 달리기 때문에 마찰력을 전혀 받지 않는다. 그리고 자기력의 반발력과 인력을 알맞게 이용해 열차를 달리게 한다. 최초의 자기부상열차는 1967년에 미국에서 시험되었다. 1976년, 독일에서 개발한 자기부상열차 트란스라피트는 시속 401킬로미터로 달리는 데에 성공했고, 1980년 일본의 자기부상열차는 시속 517킬로미터로 달렸다.

5. 대량 생산

철과 강철은 기술 폭발을 이끈 두 가지 핵심 재료였다. 유럽을 거미줄처럼 엮은 철도망이 그 대표적인 예이다. 1807년에는 최초의 증기선이 진수되었다. 이 증기선은 처음에는 선체를 철로 만들다가 나중에는 강철로 만들었다.

느리긴 했지만 새로운 강철 도구와 증기 탈곡기, 파종기, 수확기가 농가에 확산되면서 곡물 생산량이 늘어나기 시작했다. 예를 들면 사이러스 맥코믹(Cyrus Mc Cormick)이 1831년에 발명한 수확기는 곧 미국의 모든 농장에서 사용했다. 1837년에는 미국의 존 디어(John Deere)가 자동으로 세척되는 강철 쟁기를 개발해 논밭을 가는 작업의 효율을 크게 높였다.

바느질을 하는 손의 움직임을 기계적으로 모방하려는 시도는 이전에도 많이 있었지만 제대로 작동하는 것은 하나도 없었다. 그러다 미국의 아이작 싱어(Isaac M. Singer)가 발판을 밟아 작동시키는 재봉틀을 발명해 큰 성공을 거두었다. 싱어는 1853년에 재봉틀을 2,200대 생산했고, 1870년에는 50만 대를 생산했다. 그

무렵 타자기도 발명되었는데, 1874년에 미국의 레밍턴사가 특허를 사들여 이 새로운 기계를 생산하기 시작함으로써 사무직원의 일에 혁명적인 변화를 가져왔다.

1851년의 런던 국제박람회 때 온실 건축업자 조지프 팩스턴(Joseph Paxton)은 연철과 유리를 사용해 길이 600여 미터의 건물을 지었다. 여기에 기계 도구에서 수확기, 진자시계, 재봉틀에 이르기까지 산업혁명의 주요 발명품이 모두 전시되었다. 박람회를 관람한 영국인들은 세상에서 가장 산업화된 나라에 살고 있다는 자부심을 느꼈다. 기술혁신은 프랑스, 프로이센, 그리고 무엇보다도 미국에서 더욱 가속화되었다.

1850년경부터 기술혁신은 지적 일관성을 갖추기 시작했다. 과학의 여러 가지 이론과 실험 방법이 생산성을 높이는 데 적극적으로 사용되었다. 이러한 변화는 군비의 대량 생산에서 가장 먼저 나타났다. 규격화된 부품을 대량으로 생산하기 위해서는 그때까지 수공업에 의존하던 생산 방식을 정밀기계를 사용하는 기계공업으로 전환해야 했으므로 과학 실험에 사용되던 방법들이 제품 생산에 사용되기 시작한 것이다. 한 국가의 기술발전수준은 과학자와 기술자의 수와 국민의 평균 교육수준에 비례했다. 18세기가 방직산업의 기계화, 증기기관, 주철의 시대였다면, 19세기의 마지막 20년은 강철과 화학산업, 석유산업, 전기산업, 그리고 일상생활을 편리하게 해준 기술이 발달한 시기였다.

6. 석유

지구를 둘러싼 지각은 두께가 100~200킬로미터 정도로 금이 간 달걀껍데기처럼 여덟 개의 커다란 판(Plate)과 기타 작은 판들로 이루어져 있다. 지구는 이 판

안쪽에 태양처럼 뜨거운 핵을 가지고 있다. 이 뜨거운 핵의 내용물은 화산 폭발 등으로 쉴 새 없이 분출하며 그 열기로 인하여 지각의 판들은 보통 1년에 10센티미터씩 이동하고 있다. 이 때문에 판들은 서로 부딪치고 눌려 산맥을 형성하고 잡아 늘여져 거대한 침강(꺼짐)을 만들기도 한다. 지표면에는 물이 구름이나 바다, 호수, 강, 지하수, 빙하의 형태로 덮고 있으면서 끊임없이 지각을 씻어내고 있다. 이들 물의 활동이 산맥을 침식시키고 계곡을 깎아내고 땅속에 스며들어 얼은 후 팽창함으로서 암석을 가루로 만든다. 이 암석 가루 토사는 빗물과 함께 흘러 구덩이에 쌓이거나 시냇물에 씻겨 바다로 향한다. 모래나 퇴적물이 뒤섞인 토사 강물이 하구에 이르면 흐름이 둔화되고 부유물은 가라앉기 시작하며 밑으로 차곡차곡 쌓여 압축되면서 다시 새로운 암석이 된다.

탄소는 인류가 이산화탄소로 배출하는 원소이며 식물이 영양소로 만드는 원료이다. 또 석탄이나 흑연을 구성하는 검댕이 물질이나 단단한 다이아몬드도 탄소이다. 지구의 탄소량은 우주의 운석이나 작은 천체의 집중 포화로 점차 증가하여 4만 9,000기가톤(Gigaton)이며, 이는 수소, 헬륨, 산소에 이어 네 번째로 많은 원소이다. 공기 중에는 전체의 1퍼센트인 750기가톤의 탄소가 있으며, 대개 높은 상공에서 보온성이 큰 막(껍데기)을 만들고 있다. 대부분의 탄소는 바다 밑에 있으며, 3만 기가톤 중 1만 기가톤이 수온이 낮은 심해에 메탄가스의 결정 메탄 하이드레이트(Methane Hydrates) 상태로 들어 있다. 이들 바다와 대기는 대화하듯이 탄소를 끊임없이 주고받는다. 또 산림을 비롯한 지상의 생물들은 지

구의 탄소 3퍼센트를 서로 주고받는다. 생물의 사체가 쌓이면서 만들어진 화석 연료인 석탄, 석유, 천연가스는 탄소와 수소(탄화수소)로 이루어졌는데 한 개의 탄소원자에 네 개의 수소원자가 붙어 있는 것이 가장 가벼운 메탄가스(Methane)이며 탄소원자 세 개는 프로판, 네 개는 부탄, 여덟 개는 옥탄으로, 탄소원자의 사슬이나 고리가 길어짐에 따라 서로 간에 결합력이 강해지고 밀도도 높아진다. 탄소원자 30개의 사슬은 밀랍(Waxy) 상태가 되며 우리는 그것을 더 길게 엮어 플라스틱을 만들기도 한다.

석유를 이용한 등잔불이 유럽에 처음 전래된 것은 13세기 아랍인들이 스페인을 침공할 때인데, 당시 석유를 구할 수 없었던 대다수의 유럽인들은 19세기 중반까지 고래기름으로 등잔불을 사용했다. 유럽에서의 석유 사용은 1853년에 발명된 케로신 램프의 대중화 이후이며, 선박의 대형화에 따른 수송 수단의 발달로 석유는 산업혁명 이후의 석탄이나 증기와 같은 동력을 쉽게 대체해버렸다. 처음에는 조명용으로만 사용되고 다른 가솔린이나 중유 성분들은 버려졌는데, 내연기관의 발달 이후에는 가솔린이나 벙커시유가 운송 수단의 주요 원료로 사용되었다. 오늘날에는 원유의 어떠한 성분도 버리지 않고 모두 사용하고 있다.

이제는 석유와 석유로 움직이는 기계와 석유 관련 제품이 일상의 구석구석까지 스며들었다. 석유는 자동차를 달리게 하고 항공기를 날리고 가옥을 덥히고 불을 밝히고 병원을 살균하고 슈퍼의 과일이나 채소를 오랫동안 보존하게 해주었다. 석유로 달리는 자동차가 석유 부산물 아스팔트로 포장된 고속도로를 질주함으로써 우리들의 행동 범위는 크게 넓어졌다. 심지어는 플라스틱이나 필름, 의류, 화장품 등도 상당수 석유를 이용해 만들어진다. 이와 같이 석유는 현대를 살아가는 인류에게 가장 중요한 자원 중의 하나로 사용되고 있다.

1960년에는 5대 산유국인 사우디, 이란, 이라크, 쿠웨이트, 베네수엘라는 OPEC을 결성하여 회원국 간 석유 정책 조정과 상호 기술 · 경제적 원조를 추진한다. 이후 리비아, 카타르, 알제리, 나이지리아, 아랍에미리트, 인도네시아를 회원국으로 받아들임으로써 현재는 이라크를 제외한 10개국이 OPEC의 회원국이 되었다. OPEC은 1973년 중동전쟁 당시에 이스라엘을 지원한 서방국가들에 대한 보복 및 원유 가격 결정권의 장악을 위해 유가를 대폭 인상하여 제1차 석유파동을 일으켰다. 1978년에는 이란이 국내 정치와 경제적인 혼란을 이유로 석유 생산을 대폭 감축하고 수출을 중단하여 다시 제2차 석유파동이 일어났다. 이른바 석유를 무기로 한 자원 민족주의의 등장은 전 세계의 경제에 커다란 충격을 가했다.

원유의 생산은 주요 석유 수출국 및 OPEC 회원국들이 절대량을 생산하고 있다. 이외에 서아프리카 지역이 약 6퍼센트를 생산하고, 러시아 및 카스피 해 연안 국가들이 약 13퍼센트, 말레이시아 등의 동아시아 지역이 약 8퍼센트, 노르웨이를 중심으로 한 북유럽이 약 8퍼센트, 멕시코 등 중남미 지역에서 약 10퍼센트를 생산하고 있다. 다만 미국, 캐나다, 영국, 중국 등의 국가는 생산량은 많으나 훨씬 더 많은 물량을 소비하고 있으므로 주요 수입국으로 분류된다. 주요 생산국들 중 후진국이나 개발도상국들은 대부분 석유 수출이 가장 중요한 재원이다.

원유는 주로 VLCC(Very Large Crude Carrier)라는 매우 큰 유조선(25만~30만 메가톤)에 의해 소비지로 운송된다. 운송이 되면 탱크에 저장을 하는데 생산 기준에 맞도록 여러 원유가 골고루 섞여 저장된다. 저장된 원유에는 비중이 다른 제품들이 섞여

있기 때문에 증류탑에 넣어 높은 열에 끓여서 끓는점(비등점)에 따라 각 제품을 따로 분류해낸다. 가장 가벼운 성분인 가스부터 나프타, 가솔린, 등유, 경유, 그리고 가장 무거운 벙커시유가 분리·생산되어 각 제품 탱크에 저장된다. 물론 원유에는 황, 금속 등 유해 성분이 포함되어 있으며, 각 제품에 따라 까다로운 생산 규격이 있기 때문에 각 규격에 맞도록 여러 단계의 정제과정을 거쳐 제품으로 완성된다. 대부분의 유류제품은 액체이며 인화성이 높아 조심스럽게 다루어야 하므로 정유회사들은 안전과 환경에 대단히 많은 노력을 기울인다.

7. 내연기관

열역학계는 수많은 원자나 분자들로 이루어져 있는데, 개개의 원자나 분자의 운동에 따라 온도, 부피, 압력 등을 나타낸다. 우리가 생활하는 실내의 공기는 수많은 산소나 질소 분자들로 꽉 차 있으며, 맹렬한 속도로 서로 부딪치면서 운동하고 있다. 그 개개의 운동을 뉴턴체계로 다루는 것은 불가능하기 때문에 열역학계의 상태를 나타내는 새로운 변수로 온도, 부피, 엔트로피 등을 도입함으로써 이해해야 한다.

두 물체의 열량이 같다면 두 물체의 온도는 서로 같다. 또 외부의 열원에서 열에너지를 공급받아 외부로 일을 해주는 열기관은 열에너지를 모두 일로 바꿀 수

는 없지만, 일로 바뀌지 못한 열에너지는 열기관에 남아 기관의 온도를 높인다. 즉, 열기관에 공급된 열에너지는 일로 바뀐 열에너지와 기관에 남은 열에너지의 합으로 그 에너지의 총량은 일정하게 보존된다. 또 물리적으로 외떨어진 열역학계의 상태는 계의 무질서한 정도를 나타내는 엔트로피가 항상 증가하는 쪽으로 진행된다. 기관이 일을 한다는 것은 자체의 에너지를 다른 물체의 일로 공급한다는 것이다. 열기관의 가장 이상적인 꿈은 에너지의 손실 없이 영구적으로 일을 할 수 있는 기관, 즉 영구기관이다. 자연 상태에서 기관이 행한 일 에너지가 기관으로 다시 돌아가는 것은 엔트로피가 줄어드는 것으로 영구기관은 이론상 존재할 수 없다.

1876년, 독일의 오토는 가솔린을 연료로 하는 4사이클 엔진을 최초로 제작하고 특허를 얻었다. 그는 동료 랑겐(Eugen Langen)과 함께 석탄가스를 연료로 하는 가스엔진을 제작하고 있었는데, 가솔린이 구입하기가 쉬워지자 가솔린을 연료로 하는 전혀 새로운 엔진을 발명한 것이다. 오토-랑겐의 가스엔진은 무게가 4,000파운드(약 2톤)였는데 반하여, 오토의 가솔린엔진은 1,250파운드의 무게에도 같은 동력이 발생했다. 1890년까지 약 5만 대의 오토엔진이 유럽과 미국에서 팔렸다. 독일의 다임러는 협력자인 마이바하(Wilhelm Maybach)와 함께 고속 가솔린엔진을 제작하고 이것을 커다란 자전거 모양의 삼륜차에 얹고 주행했다. 한편 1886년 독일의 만하임에서 벤츠(Karl F. Benz)는 새로운 대형 가솔린엔진을 제작하고 이를 큰 삼륜차에 장착하고 주행에 성공했다. 벤츠의 삼륜차는 독일에서뿐 아니라 프랑스의 파리에도 진출해 판매되었다. 벤츠는 1892년이 되어서야 비로소 사륜차를 생산했는데, 인기가 좋아 생산량이 급증했다.

유럽의 자동차산업과 밀접하게 관계된 것은 자전거의 발명과 확산이었다. 자

전거는 1860년대 프랑스에서 처음 개발된 후 영국으로 건너가 크게 발전했다. 이런 자전거의 확산이 자동차와 직접 연결되었다. 처음에는 자전거를 생산하던 업체가 자동차 생산으로 전업하는 일이 아주 많아졌다. 그중에서 성공한 대표적인 회사는 프랑스의 '푸조'와 독일의 '오펠'이다. 그들은 모두 대형 자전거에 가솔린엔진을 얹어서 자동차를 만들었다. 1890년대 중반부터 1913년까지는 프랑스가 유럽의 자동차 생산을 이끄는 선두 주자였다.

8. 자동차

1908년 포드(Henry Ford)는 프랑스 르노사의 미네르바라는 자동차를 분해하여 기술을 습득한 후 국민 대중차 포드 T카를 대량 생산하기 시작했다. 이때 포드는 자동차 모델을 과감하게 단순화한 후 연속 작업 방식을 자동차 생산에 채용했다. 자동차에 쓰던 강철도 가벼운 바나듐 합금으로 바꾸고 부품과 공구의 크기와 모양을 표준화해 표준화된 부품을 전문 부품 생산업체에 맡겼으며 컨베이어 벨트를 이용해 분업을 시작했다. 이로써 자동차 한 대를 조립하는 데 걸리는 시간을 이전의 하루 반에서 90분으로 대폭 줄였다. 이렇게 해서 나온 포드 T카의 가격은 당시 자동차 가격의 절반 이하인 850달러였으며 그로부터 8년 후에는 360달러까지 떨어졌다. 어셈블리라인을 도입하던 해에 생산은 73만 대로 증가했고, 1923년에는 미국의 자동차 총 생산 362만 대 가운데 포드가 167만 대를 생산하면서 세계 자동차산업의 40퍼센트를 차지했다.

이렇게 각국의 자동차 생산이 증대되고 가격이 싸지자 자동차는 중산층도 소유할 수 있는 개인적인 수송 수단이 되었다. 자동차는 미국인의 여가생활을 바꿔놓았고 지역주의를 감소시켰으며 기업 운영에 중요한 역할을 수행했다. 또한 자동차가 기동성을 부여함으로써 근로자의 대다수가 교외 지대에 살게 되었다. 사람들이 교외에 살게 되면서 교외에 복합 상점인 몰이 생겨났고, 이런 대형 쇼핑센터는 시민생활의 중심이 되었다.

자동차가 대량으로 생산되면서 자동차회사의 규모도 커질 수밖에 없었다. 아무리 기술이 탁월하고 우수한 자동차를 생산하더라도 규모가 작으면 경쟁에서 탈락할 수밖에 없었다. 당시 미국에는 중간 규모의 우수한 자동차회사가 많았으나 점차 문을 닫고 결국엔 큰 회사 세 개만 남았다. 이 빅3는 '제너럴모터스', '포드', 그리고 뒤늦게 진입에 성공한 '크라이슬러'이다.

제1차 세계대전 이후 엔진기술은 전기를 맞았다. 엔진 연료의 연소현상, 특히 노킹(Knocking)에 대한 연구로 납(Lead)성분이 노킹을 억제한다는 사실을 발견하고 사에틸납(Tetraethyl Lead)과 같은 첨가제가 개발되었으며 양질의 가솔린 연료가 등장했다. 또 엔진 압축비의 증가로 성능 및 효율이 개선되었다. 디젤엔진의 개발도 지속되었다. 1924년 벤츠에서 개발한 디젤엔진을 트럭에 장착했고, 1936년에는 다임러-벤츠에서 디젤엔진을 적용한 승용차를 생산했다. 이후 디젤엔진은 트럭, 버스 등의 상용차 및 발전소, 선박 등의 초대형 엔진에 주로 사용되었다.

자동차의 급속한 보급과 함께 엔진의 연소 특성, 흡배기계의 유동 특성, 운동부의 구조역학, 소음 및 진동 등 엔진에 관련된 분야뿐만 아니라 연비, 배기가스, 소재, 엔진 부품의 전 분야에 체계적인 개발이 시작되었다. 또 미국과 유럽의 고급차가 대형화됨에 따라 엔진도 큰 배기량과 강력한 파워를 갖는 방향으로 개발

되었다. V형 대형 엔진과 OHC(Over Head Camshaft) 형식의 실린더헤드가 일반화되고 슈퍼차지, 터보차저 등의 경주용 엔진에 적용되었던 개념이 일반 엔진에도 반영되기 시작했다. 포드의 머스탱(Mustang)과 같은 대중적인 스포츠카도 이 시기에 등장했다.

제2차 세계대전 전에 히틀러는 독일 국민에게 근로자들이 모두 차를 가질 수 있는 꿈의 국민차 폭스바겐을 약속했으나 전쟁이 발발하자 이 국민차 공장은 군수품 공장으로 바뀌었다가 전후에야 꽃을 피웠다. 딱정벌레(Beatle)라는 별명의 이 작은 승용차는 1960년대 세계시장을 휩쓸면서 2,000만 대 이상이 팔렸다. 이제 후진국도 돈만 벌면 차를 갖고 싶어 하는 사람들로 가득 찼다. 결국 1970년대 초 유럽의 시장 규모와 생산 대수는 미국을 능가하게 되었으며, 1950년 37만 대에 불과하던 수출은 1970년 189만 대로 증가하며 세계 최대의 수출 지역이 되었다.

자동차는 현대 민주주의 사회를 특징짓는 개인의 필수품이다. 자동차는 인간의 자유를 보장하고 개인의 프라이버시를 지킨다. 자동차가 꿈의 상품이 되자 거리에는 자동차 홍수가 일어났다. 특히 출퇴근 시간대에는 자동차가 도로를 메워 거의 움직이지 못했으므로 '러시아워'라는 용어가 생겼다. 도로에 가득한 자동차는 배기가스 공해를 일으키며 시민의 건강을 위협했다. 자동차의 배기가스 규제는 피해가 가장 심했던 미국 캘리포니아 주가 1960년 자동차 오염방지법을 발효함으로써 구체화되었다. 이 법으로 질소산화물과 탄산가스의 양이 극도로 제한되었다. 디젤자동차의 배기가스 규제는 먼저 경유의 유황 함유량을 제한함으로써 아황산가스의 배출을 줄이고 매연을 감소시키는 방향으로 추진되었다.

1970년대에 들어 자동차산업은 전자산업의 부흥과 더불어 또 한 번의 기술적 혁신을 이룬다. 종전에는 기계 방식으로 제어되던 엔진 연소가 각종 센서로 무장

한 전자장비에 의해 조절되기 시작한 것이다. 이 밖에 에어백이나 브레이크를 조절하는 ABS시스템(Anti-lock Brake System) 그리고 최근 장착되기 시작한 GPS(Global Positioning System) 등은 자동차를 좀 더 쓸모 있고 편리하게 만들었다.

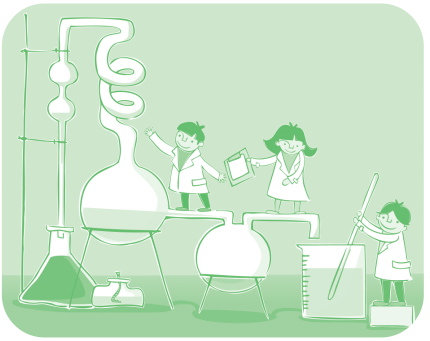
1935년 일본은 최초로 닷선(Datsun)을 대량 생산했으며, 이듬해에는 도요타 모델 AA를 완성했다. 1950년대에 들어 한국전쟁에 따른 특수 경기, 군수산업기술자의 민수사업으로의 대거 참여, 정부와 업계의 외국차 진출 제한, 승용차 중심으로의 산업 전환 등에 따라 일본의 자동차산업은 비약적인 성장 기반을 다졌다. 1955년 통산성에서 국민차구상계획을 수립했고, 이에 따라 미쓰비시 500, 스바루 360, 마쓰다 R360 등의 자동차 메이커들을 개발했다. 도쿄 올림픽이 개최된 1964년경을 전후로 하여 도로망이 정비됨에 따라 승차감이 뛰어나고 성능이 우수한 신형 자동차의 개발이 가속화되어 도요펫의 코로나, 블루버드의 모델 410, 혼다의 S500 등이 발표되었다.

이미 1961년 일본의 자동차 생산 대수는 100만 대를 돌파했고, 1966년에는 230만 대로 성장했다. 그리고 1968년부터 불붙은 자동차 대중화(Motorization)로 내수 기반이 확장되면서 대량 생산과 저 코스트 생산자로서 경쟁력을 키워갔다. 1970년대 두 차례에 걸친 오일 쇼크로 소형차의 선호가 높아진 1974년, 연료 소모가 적은 소형차급에서 완전경쟁 우위를 확보한 일본은 자동차 268만 대 수출로 세계 최대의 자동차 수출국이 되었다. 일본은 1980년 전 세계 자동차 생산의 30퍼

센트를 차지하면서 1994년 다시 미국에 추월당하기 전까지 세계 최대의 자동차 생산국으로 군림했다.

1980년대부터 본격화된 배출가스 규제는 모든 가능한 엔진 신기술의 적용을 가져왔다. 배출가스 정화를 위한 촉매를 적용했으며, 정밀한 혼합기 제어를 위해 전자제어식 엔진이 등장해 화학 및 전자 관련 업체가 엔진의 중요한 부품 공급원으로 부상했다. 성능, 배기, 연비의 세 가지를 만족시켜야 하는 일본은 엔진기술에 빠르게 대응하여 경주용 엔진에서 개발된 첨단기술을 일반 승용차에 적용하고 연비 향상에 필요한 전자제어시스템, 다밸브엔진, 가변흡기시스템, 가변밸브타이밍, 린번엔진, 터보차저, 가볍고 내구성이 뛰어난 신소재 등 수많은 신기술로 무장한 첨단엔진을 계속 소개했다. 1990년대 초에는 삼원촉매를 적용한 전자제어식 다밸브엔진이 가솔린엔진의 기본 형식으로 자리 잡았다.

1996년에는 미쓰비시가, 1997년에는 도요타와 닛산이 기존 엔진보다 20퍼센트 이상의 연비 향상과 우세한 성능의 직접분사식 가솔린엔진(GDI엔진)을 출시했다. 도요타는 또한 가솔린엔진과 전기모터를 혼합하여 1리터당 27.8킬로미터의 연비를 실현한 하이브리드 자동차 '프리우스(Prius)'를 발표하여 전기자동차의 실용화를 선언했다. 또 독일의 폭스바겐은 고속직접분사식(HSDI) 디젤엔진을 탑재한 세계 최초의 3리터 카(3리터 연료로 100킬로미터 주행) 루포(Lupo)를 출시했다. 이로서 차세대 내연기관은 전자제어식 고속직접분사식(HSDI) 디젤엔진이 차지할 것임을 예고했다.



9. 비행기

레오나르도 다빈치(Leonardo da Vinci)는 급류가 흐르는 강물에 곡물 알갱이를 뿌리고 그것들이 어떤 패턴을 형성하며 얼마나 빠르게 이동하는지를 관찰한 후, 물의 흐름은 강폭이 좁은 곳에서 더 빠르다는 사실을 알아냈다. 1734년, 스위스의 다니엘 베르누이(Daniel Bernoulli)는 기체도 액체와 동일하게 흐름이 빨라질수록 압력이 낮아진다는 사실을 이끌어냈다. 공기 입자들은 장애물을 만났을 때 대열에서 서로 떨어지지 않으려고 속도를 냈다. 20세기 초, 미국의 윌버 라이트(Wilbur Wright)와 오빌 라이트(Orville Wright)는 풍동을 만들고 장애물을 통과하는 공기의 흐름을 아래쪽보다 위쪽에서 더 빨라지게 만드는, 이른바 양력을 발생시킬 수 있는 모양이 어떤 것인지 시험했다. 결국 끝 부분이 앞으로 휜 날개를 찾아내 몇 초 동안 공중으로 날아오를 수 있었다.

최초의 동력 비행에 성공한 라이트 형제의 플라이어 1호는 가솔린엔진 한 대로 두 개의 프로펠러를 돌리는 형식이었다. 이 엔진은 당시 막 꽃피우기 시작한 자동차용 엔진을 개조한 수냉식 피스톤형 내연기관으로 4기통에 12마력의 출력을 냈다. 무게가 약 90킬로그램으로 오늘날 최신 엔진보다 마력당 무게가 열 배 이상 무거운 저급 엔진이었다. 산업화와 더불어 발달한 자동차 기술에 힘입어 피스톤 방식의 내연기관은 단위 출력당 무게의 경량화, 고성능화되면서 저속 항공용 엔진으로서의 요구 성능은 어느 정도 만족되었다.

이후 제1차 세계대전이 일어나고 전쟁 양상이 참호전으로 전개되면서 정찰 및 포병 사격용 목표물 식별에 비행기를 사용하기 시작했다. 기술 발전과 더불어 비행기는 점점 공중전은 물론이고 지상 부대에 대한 기총 사격과 폭탄 투하까지 가능해졌다. 또 엔진은 대형화되고 기체는 두랄루민 등 가벼운 합금을 이용해 경량

화되어 장거리 비행도 가능해졌다. 나아가 비행기용 기관총, 투하용 폭탄과 안전 투하장치의 개발, 무선기의 개량과 내비게이션시스템의 개발이 이루어졌다. 결국 1916년 독일은 날개의 폭이 23미터에 이르는 강력한 쌍발엔진에 독일제 차이스(Zeiss) 렌즈를 단 수직 망원 조준기와 660파운드의 폭탄 적재량과 수백 킬로미터의 항속 거리를 지닌 고타 폭격기(Gotha bomber)를 날렸다. 항공기는 자연적 장애물에 별다른 영향을 받지 않고 작전을 수행할 수 있기에 조만간 혁명적인 전략무기가 될 가능성이 컸다.

피스톤 방식 내연기관으로 프로펠러를 돌려 항공기의 추진력을 얻는 데는 두 가지 제약이 있다. 첫째, 단위 출력당 엔진 자체 무게가 상대적으로 무거워 항공기의 고성능화 및 대형화에 큰 제약이 있다. 둘째, 프로펠러를 이용한 추진 방식은 프로펠러의 회전속도가 공기역학적 이론에 의해 음속 이하로 제한된다. 이러한 이유로 프로펠러 추진 방식으로는 항공기의 속도가 시속 500~600킬로미터 이상으로 올라가는 게 불가능했다. 위와 같은 문제를 동시에 해결한 기술이 제트엔진기술이다. 1930년, 영국의 휘틀(Frank Whittle)은 후방 노즐을 통해 고속으로 연소가스를 분출하는 추진 방식을 제안했으나, 당시 기술로는 제트엔진의 핵심 구성요소인 전방 공기압축기 및 후방 터빈의 기계적 효율이 너무 낮았다. 이후 개발 자금의 부족으로 지지부진하다가 1941년에야 휘틀엔진을 장착한 제트추진 항공기 '글로스터'가 처음으로 비행에 성공했다. 그러나 독일의 오하인(Hans J. P. von Ohain)은 피스톤 방식 왕복엔진의 진동 문제, 소음 문제 등을 해결하기 위한 방편으로 동일한 구동축에 의하여 회전 · 작동되는 터보식 공기압축기 및 터빈으로 구성된 제트엔진의 기본 아이디어를 제시했다. 이후 오하인은 항공기 제작자인 하인켈(Ernst Heinkel)과 공동으로 연구를 수행하여 1937년 세계 최초의 제트엔

진 가동에 성공했고 그 이듬해 제트기 비행에도 성공했다. 이 기술들을 발판으로 독일은 제2차 세계대전 중인 1941년에 최대 속도가 시속 870킬로미터에 달하는 고성능 전투기 Me262를 제트전투기로의 개발에 성공했고 이에 자극받은 미국, 이탈리아 등 세계열강들이 경쟁적으로 제트전투기를 개발하면서 제트엔진 항공기시대가 본격적으로 개막했다.

일반적인 터보제트엔진의 작동 원리는 일렬로 연결된 개방식 원통 통로상에서 회전식 압축기에 의해 공기가 흡입 · 압축된 후 연결된 연소기 내로 유입되어 이곳에서 분사되는 연료와 혼합하여 연소된다. 고온 · 고압의 연소가스는 후방 배기 노즐로 분출하기 직전에 일부 에너지를 사용하여 전방 압축기를 돌리기 위한 터빈을 작동한다. 그러나 대부분의 연소가스 에너지는 노즐을 통한 외부 분출제트 에너지로 사용되며, 이러한 후방 분출제트의 반작용으로 추진력을 얻는다. 엔진의 열역학적 효율은 연소기 이후에 나타나는 연소가스의 최대 온도에 의존한다. 그러나 연료의 완전연소에 필요한 이론 공기혼합비로 연소시킬 경우 연소가스 온도가 너무 높아 현재까지 이 온도에 견딜 엔진용 구조 재료가 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이론적인 필요 공기보다 더 많은 공기를 섞어 희석함으로써 엔진 내부 최고 연소가스 온도를 의도적으로 내려서 작동한다.

제2차 세계대전 중에 독일 공군의 대규모 폭격으로부터 영국을 구한 것은 레이더였다. 이는 원래 불연속적인 펄스 전파의 반사를 이용하여 전리층의 고도를 측정할 목적으로 영국 과학자들이 개발한 것이었다. 영국은 제2차 세계대전 개전 당시 영국 동남부의 연안에 이 신형 장비를 설치하여 영국 본토로 접근해오는

독일 폭격기와 전투기 편대를 수백 킬로미터 떨어진 지점에서부터 추적하면서 각종 비행 정보를 파악할 수 있었다. 당시 영국에서 사용한 초기 레이더 장치는 파장이 약 10미터에 달하는 전파를 전송했으며 아주 큰 안테나를 가지고 있었다. 그 후 마그네트론이라는 강력한 단파용 진공관 장치가 개발되면서 레이더는 전 세계 모든 나라의 기본적인 방어 수단이 되었으며, 민간 항공과 해운업계에서도 그리고 우주 탐험에서도 필수가 되었다.

1946년, 제트동력 여객기를 발명한 드 하빌랜드사(De Havilland)는 첫 번째 제트기인 코메트(Comet)를 판매하기 시작했다. 코메트는 최대 속력 450마일을 자랑하면서 유럽과 미국의 시장을 석권했다. 하지만 비행을 시작한 지 1년쯤 지나 잇달아 폭발하는 사고를 내며 탑승한 승객들을 죽였다. 제트기의 경우 높은 고도와 속도 때문에 금속이 일반적인 환경과는 다른 식으로 마모된다. 보잉은 드 하빌랜드의 비극적인 부주의를 교훈 삼아 새로운 제트기를 설계했고 코메트가 비행을 시작한 5년 후에 보잉 707을 발표했고 곧 드 하빌랜드의 시장을 추월했다.

1950년대부터는 제트엔진 두 개를 장착한 보잉 707이 179명의 승객을 태우고 최대 시속 1,000킬로미터로 6,000킬로미터를 운항했다. 1970년에는 네개의 대형 제트엔진을 장착하고 400명이 넘는 승객을 태울 수 있는 '점보 여객기' 보잉 747이 등장했다. 이 보잉 747의 운항 거리는 1만 2,000킬로미터에 이르러 서울과 뉴욕을 무착륙 비행할 수 있었다. 보잉 747은 곧이어 개발된 DE-10과 에어버스 330과 함께 지금도 세계 장거리 민간항공을 주도하고 있다.

1970년대 이후 민간항공에 대한 수요가 늘어나면서 각국은 항공산업을 민영화, 자유화하기 시작했으며, 부품이나 생산과정 일부를 타국에 하청하는 전 지구적 항공기 생산 네트워크가 출현했다. 미국 업체들은 대규모 자금력과 안정된 시

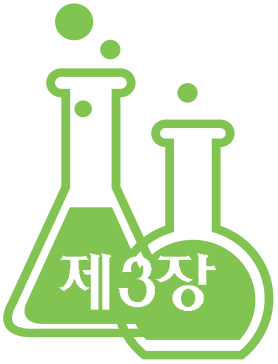
장을 보유하고 있었기 때문에 개발 단계에서 공동 작업을 진행하기보다는 비용 절감에 유리한 국내외 업체를 통한 하청을 선호했다. 반면, 유럽 업체들은 복수 국가의 기업이 참여 지분에 준하여 개발에서부터 판매까지의 역할을 분담하고 수익을 분배하는 방식으로 발전해왔다. 1970년, 영국, 서독, 프랑스, 스페인이 공동으로 설립한 에어버스사(European Airbus)는 에어버스 A-300을 개발한 이래 유럽을 대표하는 항공업체로 성장했다.

항공기는 1만여 종 이상의 부품으로 구성되어 있으며 부품들 간의 긴밀한 기능적 결합을 요구하는 복잡한 시스템 제품이다. 따라서 다품종 소량 생산 체제하에서 수천 수백의 협력 업체가 개별 항공기 생산업체를 정점으로 수직적 생산 네트워크에 의해 통합된 전형적인 생산자 중심의 산업구조를 가지고 있다. 1990년 이후 메이저 항공업체들은 기체가 대형화되고 개발 비용이 상승하면서 자국의 항공기 제작업체 간 합병을 진행했다. 1994년 노스롭 그루먼사, 1995년 록히드 마틴사(Lockheed Martin Corporation)가 탄생했으며, 1997년 보잉사는 맥도널 더글러스사와 합병하여 세계 최대의 항공우주제작업체가 되었다. 그리고 일본, 중국, 인도, 구소련은 항공기 생산 부품이나 생산과정 일부를 하청 형식으로 담당하면서 전 지구적 항공기 생산 네트워크에 편입했다. 보잉사와 에어버스사에 의한 과점적 산업구조를 가진 민간 항공기 생산 분야에서 2003년에 범유럽기업인 에어버스사가 수주 대수와 수주액 모두 보잉을 앞질렀다. 항공산업은 현재 매출액 기준으로 미국이 세계시장의 약 60퍼센트를 차지하고 있으며 매출액 2위인 영국은 미국의 16퍼센트, 프랑스가 15퍼센트, 일본은 미국의 약 7퍼센트의 규모에 머무르고 있다.

1 독일 과학
2 화약
3 염료산업
4 유기농업
5 항생제
6 페니실린
7 합성섬유
8 광합성

제 3 장

분자의 화학반응



분자의 화학반응

화학은 전자와 전자들의 상호작용에 대한 과학이다. 다시 말하면 모든 화학 반응은 전자가 원자 사이를 이동할 때 나타나는 현상이다. 두 개의 원자가 서로 접근하면 바깥쪽에 있는 전자들끼리 가까워진다. 그런데 음전기끼리 만나면 서로 반발하므로 대개의 경우 원자들은 서로 스쳐 지나가기만 할 뿐이다. 그런데 가끔 원자들은 전자를 서로 바꾸거나 공동으로 소유해서 결합한다. 이렇게 원자가 합쳐지는 것을 '화학결합'이라고 한다. 화학결합 방식에는 크게 네 가지가 있다. 각 결합 방식마다 원자 사이에 있는 전자의 배열이 달라지는데, 삼라만상을 이루는 모든 물질은 이온결합, 공유결합, 금속결합, 반데르발스 결합의 네 가지 다른 접착제를 사용해서 쌓아 올린 건축물과 같다.

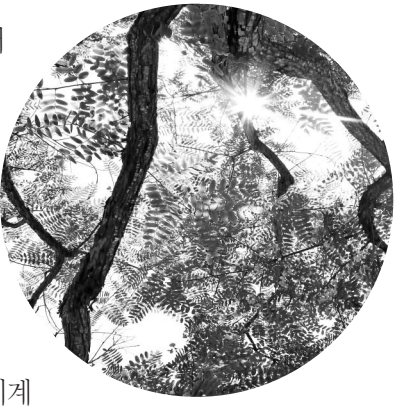
탄소의 결합 방식은 다양하며 탄소가 결합할 수 있는 원소의 수는 셀 수 없이 많다. 따라서 탄소 화합물의 종류는 탄소 이외의 원소들이 결합해서 만들어진 화합물보다 훨씬 더 많다. 19세기 후반 독일의 화학산업이 성장할 수 있었던 이유는 탄소로 된 석탄에서 가스를 생산한 뒤에 나오는 폐기물인 콜타르(Coal-tar)에서 만들어진 새로운 염료의 개발 덕분이었다. 독일의 화학회사들은 새로운 염료와 유사한 화학구조를 지닌 분자를 이용해서 세계 최초로 인공항생제도 개발했다. 또한 콜타르에서 소독제인 페놀을 만들었고 페놀에서 인공플라스틱을 만들었다. (과학과 기술의 주도권은 19세기 초까지는 영국과 프랑스에 있었지만 19세기 말부터는 독일과 미국으로 넘어갔다.) 1936년, 듀폰사의 캐러더스(Wallace H. Carothers)가 나일론(Nylon)을 개발하는 것을 계기로 인공섬유는 급속히 발전하기 시작했다. 또 제2차 세계대전 때는 극동 지역의 고무농장에서 고무를 얻을 수 없게 된 미국은 광물에서 합성고무를 만들어냈다. 지금도 화학자들은 이러한

합성고분자가 전기 이동, 촉매 작용, 고강도, 생분해 등의 새로운 성질을 가지도록 분자 차원에서 구조를 설계하고 있다.

1. 독일 과학

1819년, 프랑크푸르트의 상품박람회에서 '독일 상공업동맹'이라는 단체가 결성되었다. 이 단체를 대표해서 경제학자 리스트(Friedrich List)는 독일의 각 연방국이 (독일) 내부의 관세를 철폐하는 관세동맹을 맺을 것을 호소했다. 먼저 프로이센이 작은 연방국 두 곳과 관세조약을 체결했고, 그 뒤를 이어 몇몇 연방국이 더 참여했다. 관세동맹의 체결로 독일은 화폐제도, 세금, 관세가 통일되었고 상품, 자본, 노동력이 자유롭게 이동할 수 있게 되었다. (이것은 EU모델과 비슷하다.) 1860년, 독일의 관세동맹 지역의 국민 총생산은 127억 달러가 되었고 1인당 평균 354달러가 되어 국민 총생산 99억 달러, 1인당 평균 288달러인 오스트리아를 크게 앞섰다.

또한 리스트는 경제를 발전시키는 요소는 생산성을 높이는 능력이며, 높은 생산성은 전 국민의 교육과 과학기술에 의해 좌우된다고 주장했다. 이러한 영향으로 프로이센은 1825년부터 의무교육을 실시한 결과, 1846년 무렵에는 적령기 아이들의 입학률이 82퍼센트에 이르렀다. 그리고 1860년대에는 입학률이 97.5퍼센트였으며, 독일의 문맹률은 전 세계에서 가장 낮았다. 실험실, 연구소, 대학원과 과학기술 전문 간행물 등도 독일에서 처음 탄생했다. 1860년대에 세계



생리학계에서 이룩한 100가지 중대 발견으로 꼽은 것 중에 독일은 89가지나 되었으며 전기, 광학, 열역학 분야에서는 136가지에 이르는 발명을 이룩함으로써 영국과 프랑스의 91가지를 크게 앞질렀다. 의학 분야에서도 독일은 33개인데 비하여 영국과 프랑스는 29가지에 불과했다. 지적 능력은 독일의 가장 큰 자본이 되었다. 독일은 기술학교와 단과대학의 국립교육제도를 수립했으며, 다양한 상업 및 산업 단체의 후원으로 과학도나 공학도, 사업가를 키우기 위한 교육을 조직화했다. 이 모든 것의 궁극적인 결과로 1870년대 이후 독일 노동인구의 기술 경쟁력은 급격히 상승했다. 오스카 폰 밀러(Oscar von Miller)가 주도한 장거리 송전에 뒤이어 독일의 전력산업은 1895년에 2만 6,000명을 고용하던 걸음마 단계에서 1913년에는 전기제품이 국제 무역량의 절반을 차지하는 데까지 이르렀다.

독일의 화학공업은 유스투스 폰 리비히(Justus von Liebig) 같은 위대한 연구자들의 주도로 아닐린 염료 생산과 인공 화학비료업계에서 세계 최강의 자리를 굳혔다. 1870년대, 염료(물감)산업에서 독일의 생산력은 프랑스를 앞섰으며 영국은 독일로 산업 연수생을 보내야만 했다. 독일의 농업도 과학적인 농화학을 도입한 덕분에 생산량이 크게 증가했다. 토질이 그다지 좋지 않은 모래 토양인데도 화학비료를 개발해 수확량을 배증한 것이다. 비료가 처음 도입되었던 1887년과 비교하여 제1차 세계대전 무렵에는 수확량이 80퍼센트나 증가했다. 1882년 2만 대에 불과하던 수확기는 1907년 30만 대로 늘었다. 독일은 1870년 이후 1인당 육류 소비량이 두 배로 늘어났음에도 1913년 무렵에는 육류 자급률이 95퍼센트나 되었다. 독일은 미국의 뒤를 이은 세계 제2의 경제 대국이 되었다.

독일은 철도의 건설을 처음부터 정부가 담당했다. 리스트의 관세동맹과 그의 국가철도계획의 영향을 받아 1835년에 뉘른베르크에서 퓌르트까지 6.1킬로미터

에 달하는 철로가 생긴 이래 철도는 사방으로 퍼져나가 석탄과 철을 빠르게 수송했다. 1870년에서 1913년 사이에 철도의 총 연장 길이는 두 배로 늘었다. 독일의 철강과 공학의 병행 발전은 근대적인 상선 건조에 곧바로 적용되었다. 처음에는 증기 추진(Steam-Powered)과 목제 선체로 이루어진 범선이 철재로 강화되었다가 후에 철강으로 교체되자 독일의 선단들은 훨씬 크고 효율도 높아졌다. 독일의 산업, 즉 야금술, 전기기술을 비롯한 여러 분야가 표준화된 생산으로 견고해진 것과 마찬가지로 독일의 상업 서비스 부문 역시 정기적으로 자주 운항하게 된 선박의 운송 덕분에 성공을 거두었다. 1891년, 독일에는 7,000톤이 넘는 세 척의 증기선이 있었는데 1914년에는 2만 톤 이상의 증기선이 5척, 1만 5,000톤에서 2만 톤급 증기선이 아홉 척, 7,000톤에서 1만 톤급 선박이 66척이나 되었다. 이렇게 영국이나 프랑스 등이 식민지를 개척하여 산업 발전에 기여한 반면, 독일은 원료 공급 중심의 생산보다 기술의 자체 개발에 의존했다. (1950년대 말의 서부 독일의 경제 기적은 제1차 세계대전 이전에 구축한 토대가 회복된 것이다.)

2. 화약

고대 중국에서 만든 화약은 구성 성분인 질산염(초석), 황, 탄소의 비율이 주먹구구식이었다. (질산염은 화학식이 KNO_3인 질산칼륨(Potassium Nitrate)을 말한다.) 초기의 화약은 탄소를 숯에서 얻었기 때문에 검은색을 띠었다. 원래 화약은 폭죽과 불꽃놀이를 위한 것이었는데, 11세기 중반부터는 불화살 같은 무기를 발사하는 데 사용했으며 황과

질산염 초석의 생산을 정부의 통제 아래 두었다. 이 화약 가루를 알코올과 물과 섞어 덩어리를 만들고 분쇄하고 체로 거르면 고운 입자, 중간 입자, 거친 입자의 화약이 만들어진다. 화약 입자가 고울수록 연소가 더 빠르기 때문에 화약 입자의 크기를 조절함으로써 다양한 화기에 맞는 화약 제조가 가능했다.

화약이 순식간에 타들어가면서 만들어내는 고온의 팽창 기체는 포탄이나 총알이 날아갈 수 있는 추진력을 제공한다. 1325년경에 만들어진 것으로 추정되는 최초의 소화기(小火器)인 화승총은 쇠로 만든 관에 화약을 장전하고 뜨거운 철사를 관에 집어넣어 화약을 점화시켰다. 화약이 폭발할 때 일어나는 화학반응은 $4KNO_3 + 7C + S \rightarrow 3CO_2 + 3CO + 2N_2 + K_2CO_3 + K_2S$이다.

이 반응식에서 반응물은 모두 고체이고 생성물은 화약이 폭발할 때 자욱한 연기가 되어 나오는 작은 고체 입자 탄산칼륨, 황화칼륨과 기체 분자 이산화탄소, 일산화탄소, 그리고 질소이다. 화약이 폭발한 뒤에 추진력이 생기는 것은 화학반응에서 생성된 기체가 화학반응에서 생기는 열로 인해 빠르게 팽창하기 때문이다. 폭발의 파괴력은 기체의 부피가 급격하게 팽창하는 데서 오는 충격파(Shock Wave) 때문으로 화약의 충격파는 초속 약 100미터의 속도로 퍼져나간다.

1846년, 스위스의 화학자들은 탄소 성분으로 생면(목화)에 황산과 질산염을 혼합한 솜화약(Gun Cotton)을 만들어냈다. 이 새로운 화약은 재래식 화약보다 세 배 이상 강력했으며 포연과 섬광이 없다는 장점도 있어 포병들에게 안성맞춤이었다. 1858년, 이탈리아의 화학자 소브레로(Ascanio Sobrero)는 질산염 대신 니트로글

리세린(NG; Nitroglycerin)이라는 액체로 된 훨씬 더 강력한 휘발성 폭발물을 개발했다. 그러나 이것은 너무 민감하여 거의 사용되지 못했다. 그러다 노벨(Novel) 부자가 규조토와 같은 다공성의 물질이 니트로글리세린(NG)을 흡착하면 대단히 안전해진다는 사실을 발견하고 칠레초석($NaNO_3$)과 같은 산화제를 첨가한 다이너마이트를 발명했다. 이 일은 화약기술의 일대 도약을 가져왔다. 이후 노벨은 이를 더욱 발전시켜 니트로글리세린과 니트로셀룰로오스를 혼합한 젤라틴다이너마이트도 발명했다. 그러나 니트로글리세린, 다이너마이트 등이 대량으로 사용할 수 있었던 것은 영국의 빅포드(Bickford)가 1831년에 개발한 '도화선'과 노벨이 1865년에 발명한 '뇌관' 덕분이었다. 화약을 안전하게 폭발하게 해준 이 두 가지 장치로 인해 대규모 토목공사나 다량의 지하자원을 발굴의 토대가 마련되었다. (1955년에 등장한 ANFO(Ammonium Nitrate-Fuel Oil)는 질산암모늄과 오일을 혼합한 것으로써 질산암모늄이 수분을 흡수하면 성능이 저하되는 단점을 개선한 것이다. 또 1958년에 상품화된 슬러리 화약(Slurry Explosive)은 질산암모늄, 트리니트로톨루엔(TNT), 물을 혼합하고 이를 젤라틴화한 화약으로 현재 전체 산업용 화약의 주류를 이루고 있다.)

제1차 세계대전에 등장한 강력 폭약 트리니트로톨루엔은 지금까지도 전 세계에서 가장 중요한 군용 화약으로 사용되고 있다. RDX(Cyclotrimethyle-netramine)와 HMX8(Cyclotetramethylenetetranitramine)는 각각 제1차 세계대전과 제2차 세계대전 때 등장한 강력한 성능을 가진 백색 결정의 화약이다. 그러나 이것들은 너무 민감해서 단일 성분을 그대로 사용할 수는 없고, 코티코스테론(Comp.B)과 같이 트리니트로톨루엔에 섞어서 쓰거나 고분자 물질과 결합시킨 PBX(Plastic Bonded eXplosive)로 만들어서 탄두 등에 사용한다. 그 외에도 축제 때에 쏘아 올리는 아

름다운 불꽃이나 자동차의 에어백, 조종사의 비상탈출 장치, 건설 현장에 없어서는 안 되는 화약리벳공구(Hilti Gun), 대형 건물을 산뜻하게 발파·해체하는 데 사용하는 각종 도폭선과 전기뇌관들, 다단 미사일의 단 분리나 기타 우주에서 일회용으로 이뤄지는 조작에 쓰이는 정교하면서도 아름다운 소형의 불꽃 장치들에 사용되고 있다.

(앞으로 C, H, N, O 등의 원자들로 이루어지고 $-NO_2$기를 주 에너지 발생원으로 하는 기존의 화약에너지 분자들에 더 많은 $-NO_2$기를 첨가한다든가, $-NO_2$기를 포함한 고리화합물과 이 고리들을 중첩시켜서 격자가 분해할 때 더 많은 스트레인 에너지가 나오는 물질을 합성한다든가, N_6, N_8, N_{12}, 심지어는 N_{60}과 같은 순수한 질소원자로만 이루어진 질소클러스터 분자와 같은 청정 화약을 찾는 것이 과제가 될 것이다.)

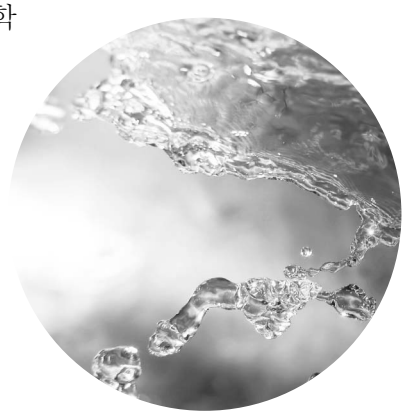
3. 염료산업

산업혁명 기간 내내 염료(물감)는 색상 수가 제한되었으며 색상 자체도 진하지 않아서 쉽게 바래지고 흐릿해졌다. 게다가 색상의 지속성도 나빠 빨래할 때마다 물이 빠지곤 했다. 질산기가 세 개 결합된 분자 피크르산(Picric Acid)을 합성해 양모와 비단의 염료로 사용했다. 페놀 화합물인 피크르산은 놀라울 정도의 강렬한 노란색을 만들어냈지만 수많은 니트로 화합물이 공통적으로 갖고 있는 폭발성도 있었다. 그 후 1868년에 독일의 카를 그레베(Carl Graebe)와 카를 리베르만(Carl Liebermann)이 합성 알리자린을 만들었고, 1880년에는 독일의 요한 폰 베이어(Johann F. W. A. von Baeyer)가 합성 인디고를 만들었다.

산업혁명부터 본격적으로 발전한 섬유산업은 많은 염료를 필요로 했다. 그러

나 천연염료는 충분한 양을 얻기도 어렵고 색깔도 제한되어 있어 귀족이 아니면 사용하기 어려웠다. 이에 영국의 과학자 윌리엄 헨리 퍼킨(William H. Perkin)이 역사상 최초로 상업적인 인공염료를 개발했다. 1856년, 퍼킨은 석탄가스산업의 부산물인 콜타르에서 자주색, 즉 모브(Mauve)를 합성했고 이 모브는 1860년대 대유행했다. 퍼킨의 모베인(Mauveine)이후 수많은 유사 공정을 개발해 다양한 색상의 아닐린 염료(Aniline Dyes)가 만들어졌다. 그러나 1870년대 퍼킨의 스승인 호프만(August W. von Hofmann)은 이 물감기술을 독일로 가져가 이를 바탕으로 금세 수십 종의 새로운 합성물감을 만들었다. 또 독일의 화학회사들은 새로운 물감의 화학구조와 유사한 분자를 이용해서 세계 최초로 인공항생제를 개발했다. 퍼킨이 키니네 합성 실험을 한 지 몇 년이 지나지 않아 의사인 조지프 리스터(Joseph Lister)는 콜타르 석탄산에서 최초의 소독제인 페놀을 얻었다. 또 페놀을 써서 최초로 인공플라스틱을 만들었다. 이렇게 체계적인 독일 과학의 상징물인 페놀과 합성물감이 일상생활에 파고들었다.

과학이 인공염료의 개발에 활용되면서 화학염료회사들은 경쟁적으로 대학과 손잡기 시작했고 나중에는 대학의 연구실을 본보기로 기업체에 연구소가 만들어졌다. 20세기 초, 독일 화학회사 바스프(BASF; Badische Anilin und Soda Fabrik)가 약 2,000톤의 합성 알리자린을 상업적으로 생산했다. 훽스트(Hoechst)와 바이엘사(Bayer and Company)도 합성 알리자린 시장을 나눠 가졌다. 바스프와 훽스트는 그 후 합성 인디고도 만들어냈다. 1881년, 이들



세 회사의 합성염료의 생산량은 전 세계 생산량의 절반을 차지하게 되었으며 20세기로 넘어올 무렵에는 전 세계 물감시장의 거의 90퍼센트를 점유했다. (1880년부터 독일과 스위스는 화학 및 제약 산업의 경로를 이끌었으며 1920년대에는 기본적인 진입 장벽이 완성되었다.) 이때에 다각화한 핵심 기업들이 기초기술을 기반으로 많은 종류의 제품을 상업화하고 발전시켰다.

제1차 세계대전이 발발하자 독일 물감회사들은 폭발물, 독가스, 약, 비료 등 정교한 제품을 생산했다. 독일과 스위스의 선발 주자들은 합성물감, 약품, 필름을 상업화하기 위해 유기화학물의 잠재력을 활용했고, 알루미늄, 아세틸렌, 액체산소와 같은 무기화합물을 이용하여 용접 및 절단 기계와 같은 장비를 상업화했다. 1925년, 독일의 화학회사들은 거대 복합기업 이게 파르벤(IG Farben; Interessen-Gemeinschaft Farbenin-dustrie Aktien-Gesellschaft)을 설립했다. (이 거대 화학그룹은 제2차 세계대전 후 원래의 바스프, 훽스트, 그리고 바이엘로 다시 분할되었다.) 퍼킨이 모브를 합성한 지 채 1세대도 지나기 전에 독일의 화학기업들이 물감시장을 지배했으며 여기서 얻은 자본과 화학적 지식으로 오늘날의 항생제, 진통제, 기타 의약품 등을 대량 생산했다.

4. 유기농업

질소는 생명 물질인 단백질을 만드는 데 꼭 필요한 성분이다. 식물이 질소를 사용하려면 질소를 물에 잘 녹는 용해성 염으로 고정해야 한다. 천둥 번개는 공기 중의 질소(N)와 산소(O) 원자를 전기화학반응으로 이온화해 산화질소 NO, NO_2를 만들어내는데 비가 오면 땅에 떨어져 비료가 되기도 한다. 또 리조비움(Rhizobium)속에 속하는 뿌리혹박테리아는 공기의 질소를 고정해 콩이 이용할 수

있도록 해주면서 공생한다. 따라서 처음으로 개간한 척박한 땅에는 어김없이 콩을 심어 땅의 비옥화를 도모했다.

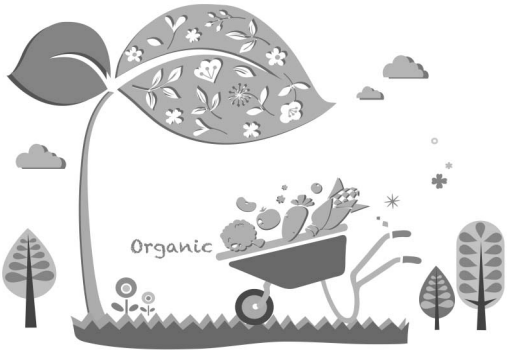
20세기 초는 독일 과학의 전성기였다. 하버(Fritz Harber)는 1900년대 초부터 공기 중의 질소를 고정하는 방법에 관심을 갖기 시작했다. 당시 유럽에서는 칠레초석으로 알려진 질소비료의 원료를 거의 대부분 남아메리카로부터 수입해서 사용하고 있었다. 하버는 질소와 수소를 높은 온도에서 직접 반응시켜서 미량의 암모니아를 합성했다. 질소와 수소로 암모니아를 합성할 때 반응에 참여하는 물질은 모두 기체이며, 생성물질인 암모니아도 기체이다. 즉, $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$.

이 반응이 진행된 후 어느 단계에 이르면 평형상태에 도달하기 때문에 더 이상 암모니아가 만들어지지 않는다. 그런데 르 샤틀리에의 원리(Le chatelier's principle)에 의하면 평형상태를 교란하는 요소가 가해지면 교란 작용을 최소화하는 방향으로 변화가 일어난다. 예를 들어, 위 반응에서 압력이 증가하면 반응은 압력을 최소화하는 방향으로 일어나는 것이다. 그런데 위 반응에서는 질소와 수소가 차지하는 부피(4몰)가 암모니아가 점유하는 부피(2몰)보다 두 배나 더 크다. 그렇기 때문에 높은 압력을 가하면 암모니아의 양을 높일 수 있다. 여기에 착안한 하버는 여러 실험 끝에 1909년 3월 마침내 적당한 촉매도 찾아냈다. 이 새로운 촉매는 그가 다른 용도로 보관하고 있던 입자가 고운 오스뮴 가루였다. 하버는 이 촉매를 사용하여 550°C, 175기압에서 암모니아의 수율을 8퍼센트로 높일 수 있었다. 이어서 바스프에서는 값비싼 오스뮴을 대치할 촉매와 적절한 고압 반응 기구를 찾는 작업 끝에 하버-보슈 제법(Haber-Bosch Process)을 개발하여 1910년 여름부터 파일럿 플랜트에서 암모니아 생산에 들어갔다. 1913년 9월부터는 하루 20톤의 생산이 가능한 공장에서 대규모 생산을 시작했다. 이 암모니아는 질산으로 바뀌

고 다시 질산염으로 바뀌면서 식물에 흡수되는 형태의 비료가 된다. 이 비료로 토지 면적당 산출량이 100배 이상 증대되었다. 이러한 화학 비료는 효과가 빠르고 사용이 간편했기에 해가 갈수록 점점 더 사용량이 늘어 이 무렵 토양은 유기물 함량이 점점 감소했다. 유기물 함량이 낮아지면 토양은 산성화하고 수질오염과 비닐하우스 농가의 염류집적 문제와 함께 농촌이 황폐화한다. 현재 하버 합성법으로 생산되는 비료는 23퍼센트를 차지하며, 번개나 다른 작용으로 이루어지는 것은 15퍼센트 정도이고 나머지 대부분은 미생물의 작용으로 이루어지고 있다.

1966년, 국제 벼 연구소(IRRI)가 만들어낸 벼 IR 8호는 단간(短稈)이며, 다비(多肥) 조건하에서도 쓰러지지 않는 다수확 품종이었다. 이때부터 세계적으로 벼의 녹색혁명(Green Revolution)이 일어났다. 녹색혁명이란, 우성인 잡종 1대(F1)의 강세를 이용하여 개발한 다수확 품종(HYVs; High Yielding Varieties)과 석유에 기초한 비료, 농약, 제초제 등 각종 농화학 자재, 그리고 비닐하우스를 이용한 수분 관리(Moisture Control)를 조화시킨 패키지 기술이다.

우리 지역의 환경과 조화되는 친환경 생태농업에서 새로운 길을 찾자는 운동이 일고 있다. 친환경농업의 목적은 먹을거리, 생태계, 지역사회, 농민의 건강을 위한 '건강 회복'에 있다. 친환경 유기농법은 햇볕과 바람과 물, 땅과 미생물과 벌레, 풀과 작물, 농사짓는 생산자와 사 먹는 소비자, 이 모든 요소들이 서로 더불어 이루어짐이다. 유기농업이란 자연과 인간의 상호적인 물질순환을



기본 원리로 강조하고 자연생태계의 순환을 강조하는 농업으로, 퇴비를 사용하여 흙을 살리고 살아난 흙의 높아진 생산성을 통해 건강하고 안전한 농산물을 생산하는 것이다.

일찍부터 유럽에서는 대량 생산된 먹거리의 유해성을 깨닫고, 자국의 소비자들에게 양질의 먹거리를 제공하기 위하여 시행착오 끝에 만들어낸 친환경적 먹거리 생산 방식으로 다국적 농산물과 경쟁할 수 있도록 했다. 휴경과 윤작으로 땅을 보호하고 유기사료만 먹인 가축의 분뇨로 퇴비를 만들고 벌목한 나무의 껍질을 모아 우드 칩 비료로 사용하도록 하는 등의 유기농법으로 차별화된 농산물을 생산하도록 했으며, 가축을 방목하는 식으로 친환경 축산물을 생산했다. 차차 친환경 제품 판매점도 생겨나고, 유기농 재료로만 음식을 만드는 레스토랑에다 유기농 패션까지 선보이는 등, 의식주 전반에 걸쳐 다양한 제품들을 만들어냈다.

국제유기농업운동연맹은 유기농업의 5대 핵심 기술로 (1) 토양의 비옥도 유지와 질산염 용탈 및 잡초 발생을 최소화하기 위한 윤작, (2) 토양의 비옥도 향상을 위한 작부체계 내 두과작물 도입, (3) 토양의 비옥도 향상을 위한 녹비작물의 재배, (4) 병충해에 강한 품종의 유기농업적 채용 및 선택, (5) 환경오염 방지 및 우수 농산물 생산을 위한 적정 수준의 퇴비 시용, (6) 순환농법에 기초한 유기농업적 축산분뇨의 퇴비화 등을 제시하고 있다.

우리나라도 농촌 관광의 활성화로 친환경 지역 특산 농업이 이루어지면서 품질 관리 및 고부가 가치화가 이루어지고 있다. 지역 단지 단위로 친환경 유기농업에 적합한 품종을 육종·보급하고 농산 부문과 축산, 임업, 가공 부문을 연결시키는 순환형 농업을 만들어가고 있다. 현재 친환경 농산물의 생산은 전체 농산물의 2퍼센트인 36만 6,000톤으로 1조 928억 원 시장이다.

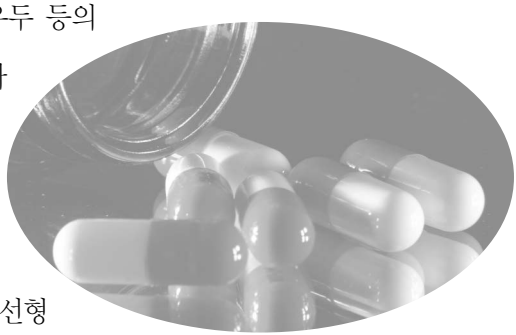
5. 항생제

약초는 과거 수천 년 동안 상처를 치료하고 병을 낫게 하고 고통을 더는 데 쓰였으며, 이들 치료법 상당수는 화학적으로 조금 수정해 현대 의약품들을 만들어 냈다. 원시시대에는 대부분의 약이 시행착오를 통해 우연히 발견되었는데, 발견되는 속도가 매우 더디기는 했지만 제법 긴 약초 목록을 가지고 있었다. 약은 채집(동물성의 경우는 수렵)의 대상이었지만, 농업을 시작하고 나서 인류는 약초도 재배하기 시작했다. 역사시대 이래 동서고금을 막론하고 대부분의 문명권에서 약초원을 발견할 수 있으며, 로마제국시대의 갈레노스(Claudios Galenos)와 같이 유능한 의사들은 여러 지역의 약초를 구해 그 효과를 검증하고 재배하는 노력을 기울였다.

고대 그리스에서는 버드나무 껍질 추출물로 열을 내리고 진통을 덜었는데, 이 버드나무(Salix)속 나무의 껍질에서 분리해낸 살리신(Salicin)의 활성성분인 살리실산(Salicylic Acid)을 해열제, 진통제, 소염제 등으로 사용했다. 그러나 살리실산은 살리신보다 효능이 뛰어나지만 섭취하고 나면 속이 쓰렸다. 1893년, 호프만은 살리실산의 방향 고리에 붙어 있는 OH기를 아세틸기로 바꾸어 아세틸살리실산을 만들었다. 1899년, 바이엘은 이 아세틸살리실산을 '아스피린(Aspirin)'으로 판매하기 시작했다. 아스피린은 통증을 덜어주고 열을 내리게 할 뿐만 아니라 피를 묽게 하는 특성이 있어 많은 사람이 애용했다. 오늘날 아스피린을 함유하는 약물은 400종 이상이며, 미국에서만 매년 1만 8,000톤 이상의 아스피린이 생산되고 있다. (1998년 아스피린은 미국식품의약국(FDA)으로부터 심장마비 억제 및 중풍 예방에도 탁월한 효능이 있는 것으로 승인받은 바 있다.)

인류는 오래전부터 빵과 술을 만드는 데 미생물을 이용해왔지만 미생물의 존재를 안 지는 그리 오래되지 않았다. 1835년에 이탈리아의 바시(Agostino Bassi)는 누

엣병을 일으키는 곰팡이를 처음 발견했으며, 1843년에 미국의 홈스(Oliver W. Holmes)는 산욕열의 원인이 미생물이라는 사실을 밝혔고, 헝가리의 제멜바이스(Ignaz P. Semmelweiss)는 손을 소독하지 않은 의사에 의해 산욕열이 전염되는 것을 증명했다. 1865년, 영국의 리스터(Lord J. Lister)는 소독약을 사용함으로서 감염률을 낮추고 수술 성공률을 높였으며, 프랑스의 파스퇴르(Louis Pasteur)는 음식물을 부패시키는 것은 공기 중의 미생물이라는 것을 입증했다. 파스퇴르는 근대 과학적 방법을 이용하여 세균(박테리아)이 전염병을 일으키는 원인이라는 사실을 밝혔다. 또한 독일의 코흐(Robert Koch)는 병원성 미생물의 순수배양 방법을 정립했다. 코흐는 한 걸음 더 나아가 코흐의 공리를 통해 어떤 세균이 어떤 전염병의 원인이라는 사실을 규명하기 위해서는 어떤 과정을 밟아야 하는지 분명히 했다. 이후 오랫동안 인류를 괴롭혀온 수많은 전염병의 정체와 원인이 계속해서 밝혀졌다. 1879년에는 나이서(Albert L. S. Neisser)가 임질균을, 1880년에는 에베르트(Karl J. Eberth)가 장티푸스균을, 한센(Armauer G. H. Hansen)이 나병균을 발견했고, 1883년에는 클레프스(Edwin Klebs)가 디프테리아균을, 1898년에는 시가 기요시(志賀潔)가 이질균을, 1905년에는 샤우딘(Fritz R. Schaudinn)이 매독균을 발견했다. 1898년 독일의 뢰플러(Friedrich A. J. Loffler)와 프로쉬(Frosch)는 처음으로 구제역의 병원체바이러스를 발견했으며 황열, 광견병, 우두 등의 바이러스와 식물의 바이러스를 잇달아 발견했다. 1935년, 미국의 스탠리(Wendell M. Stanley)는 담배모자이크바이러스를 단백질 결정체로 분리했다.



매독은 스피로헤타(Spirochaeta)라는 나선형

미생물 박테리아로 감염되는 병이다. 이전부터 매독 치료에는 수은을 사용하여 효과를 보았지만 이 방법은 종종 환자의 목숨을 앗아갔다. 독일의 파울 에를리히(Paul Ehrlich)는 콜타르 물감으로 조직이나 미생물이 염색되는 것을 보고, 유독성 물감이 특정 미생물에게만 선택적으로 흡수된다면 유독성 물감을 흡수한 조직만 죽고 그렇지 않은 조직은 죽지 않을 것으로 생각했다. 그래서 인간의 세포에는 손상을 주는 일 없이, 인체에 침입한 세균만을 죽이는 특효약을 찾으려고 노력했다. 1909년, 마침내 비소(As)를 함유한 방향족 화합물 물감 '606호'를 매독 치료제로 개발했다. 훽스트는 이것을 살바르산(Salvarsan)으로 명명하여 판매했고 페니실린이 보급될 때까지 40년 가까이 신비의 약으로 널리 쓰였다. 이 약은 당시까지 쓰이던 수은 제제와 비교했을 때 약효가 더욱 뚜렷하고 독성이나 부작용이 적어 마법의 탄환으로 불릴 만했다. 이 약으로 인해 매독 발병률은 크게 떨어졌다.

1930년, 독일의 도마크(Gerhard Domagk)는 연쇄상 구균(Streptococcus)에 프론토실 레드(Prontosil Red) 염료가 효과가 있음을 알았다. 이후 5,000종이 넘는 설파닐아미드 유도체가 합성되어 설파제(Sulfa Drugs)라는 항생제군을 이루었다. 설파제가 사용되자 수십만 명의 부상당한 군인 및 폐렴 환자들이 목숨을 구했을 뿐 아니라 임산부들의 사망률도 현저하게 떨어졌다. 설파제가 세균 감염에 효능을 나타내는 이유는 설파제를 사용하면 병원성 미생물이 엽산(Folic Acid)을 만들어내지 못하기 때문이다. 비타민B 복합체 가운데 하나인 엽산은 몸의 세포 성장을 위해 꼭 필요한 물질이다. 사람의 몸은 엽산을 만들지 못하므로 음식물로 엽산을 보충해줘야 하지만 일부 미생물 박테리아는 스스로 엽산을 만들 수 있다. 프론토실 레드가 인체에 들어오면 분해되어 설파닐아미드(Sulfanilamide)가 만들어진다. 그런데 엽산을 합성하는 미생물 박테리아의 효소는 p-아미노벤조산 분자와 설파닐아미드 분자

를 구별하지 못하고 설파제가 들어오면 충분한 양의 엽산을 만들지 못하고 죽는다.

6. 페니실린

1928년, 영국의 플레밍(Alexander Fleming)은 항균성이 있는 눈물과 타액 등의 분비액과 라이소자임의 효과를 실험하기 위해 포도상 구균을 배양했는데, 배양 배지가 오염되어 푸른곰팡이가 자랐고 그 주위에는 포도상 구균이 투명해지면서 분해되는 라이시스(Lysis)가 일어났다. 이 과정에 흥미를 느낀 그는 훗날 페니실리움 노타툼(Penicillium Notatum)으로 불리는 푸른곰팡이를 걸러서 배양액 추출물을 만들었다. 하지만 이 추출물 페니실린은 불안정하여 쉽게 비활성화되었기 때문에 10년 이상 임상 실험이 지연되었다. 그러다가 1941년에야 마침내 임상 실험이 이루어졌고 일정 범위의 미생물 박테리아에 효능이 있음이 밝혀졌다. 플레밍은 페니실린이 여러 가지 종류의 세균에 대해 항균 작용을 한다는 사실을 입증했다. 특히 폐렴균, 수막염균, 디프테리아균, 탄저균, 가스괴저균 등 인간과 가축들에게 무서운 전염병을 일으키는 병원균들에 효과가 크다는 점을 명백히 했다. 반면에 결핵균, 대장균, 인플루엔자균 등에는 거의 효과가 없다는 사실도 알아냈다. 이와 더불어 페니실린이 다른 약물들에는 대체로 취약한 백혈구에 전혀 해를 끼치지 않는다는 점과, 또 페니실린을 생쥐에 주사해도 거의 해가 없다는 사실도 확인했다. 페니실린은 자연계에는 드문 베타-락탐(β-lactam)이라는 네 개의 원자로 이루어진 고리를 갖

고 있다. 이 페니실린 분자가 세포벽 형성에 필요한 효소를 만나면 페니실린 분자의 베타-락탐 고리가 끊어지면서 고리가 열리고 고리 긴장(Ring Strain)이 사라진다. 이때 미생물 박테리아 효소의 OH기가 고리가 열린 페니실린 분자와 결합하여 세포벽을 형성하는 기능을 발휘하지 못하면서 이 박테리아는 더 이상 증식할 수 없게 된다. (사람과 같은 동물세포는 세포벽이 없으므로 세포벽 형성 효소가 없고 페니실린 분자의 아실화 반응의 영향도 받지 않는다.)

1940년대에는 페니실린의 산업화에도 성공했다. 미생물에 화학물질이나 방사선을 쬐어 DNA를 변형시킨 후 돌연변이가 일어난 미생물 중에서 생산 능력이 향상된 미생물을 선별해 이를 이용했던 것이다. 즉 무작위로 돌연변이를 일으키는 방법이다. 아무튼 페니실린의 생산성은 NRRL 1951 B25에서 X1612로 그리고 WIS Q176로 균주가 개량되어 밀리리터당 900단위까지 증가했다. 또한 전통적으로 곰팡이 발효는 표면배양법을 써왔는데, 미국의 파이저사에 의해 액체 속에서 곰팡이를 증식하는 심층발효법이 개발되면서 생산 수율이 크게 증가했다. 1940년, 곰팡이에서 처음으로 페니실린 G가 만들어졌다. 이후 많은 천연 페니실린들이 다양한 곰팡이에서 분리되었고 이 천연 페니실린에서 또다시 많은 합성 페니실린들이 만들어졌다. 1956년에 시한(John Sheehan)은 6-아미노 페니실린 산(6-APA; 6-Amino Penicillanic Acid)을 합성하는 데 성공했으며, 1959년에는 반 합성 페니실린을 상업화했다. (1973년 유전자 재조합 기술이 개발되어 무작위적인 방법이 아니라 원하는 DNA 부위를 마음대로 자르고 붙임으로써 계획한 방법에 의해 미생물의 생산 능력을 높일 수 있었다.) 암피실린(Ampicillin)은 페니실린 G의 가변부분에 NH_2기가 하나 더 붙어 있는 것으로 페니실린 G에 내성이 생긴 세균에 효과적인 합성 페니실린이다. 아목시실린(Amoxicillin)은 오늘날 미국에서 가장 널리

처방되는 약 가운데 하나인데 아목시실린의 곁가지는 암피실린의 곁가지에 OH 기가 하나 더 있다.

결핵은 한 번 감염되면 서서히 증세가 악화되다 결국에는 죽음에 이르는 병으로, 1882년에 코흐가 그 원인균을 발견하기까지는 증상과 예후 외에 아무것도 알려진 것이 없는 질병이었다. 결핵은 하루아침에 나빠지지도 않지만 아무리 좋은 약을 쓴다 한들 증상이 쉽게 나아지지 않는다. 왁스먼(Selman Abraham Waksman)은 지름 0.7센티미터 정도에 불과한 작은 흙덩이 안에 적어도 3,000만 마리 이상의 미생물이 있으며, 동물이나 식물이 흙 속에서 썩어 사라지는 것은 토양에 있는 미생물이 이를 분해하기 때문임을 알았다. 결핵으로 죽은 사람의 사체가 묻히면 흙 속에 있는 미생물들과 결핵균은 사체를 두고 끊임없이 서로 자리다툼을 하며 이 싸움에서 사체에 가장 잘 적응한 토양 미생물들만이 살아남는다. 1943년, 왁스먼은 토양에 사는 방선균의 일종(Streptomyces Griceus)에서 뽑아낸 특이한 물질이 장티푸스균, 포도상 구균을 비롯한 여러 병원성 미생물을 멸균하는 효과가 있음을 발견했다. 이 항생제는 두 개 이상의 아미노당(Amino Sugar)이 배당체성 결합(Glycosidic Linkage)으로 중심부에 있는 육탄당 핵에 연결된 구조를 하고 있는 '아미노글리코시드 항생물질'이었다. 왁스먼은 이 스트렙토마이신을 발표하기에 앞서 액티노마이신도 발견했으며(1940), 스트렙토마이신을 발견한 후에는 글리세인(1946), 네오마이신(1948)을 비롯한 여러 가지 항생제를 더 찾아냈다. 그 후 스트렙토마이신은 결핵 치료제로 쓰

였다. 이렇듯 20세기 들어 해열제, 진통제, 소염제, 중추신경 억제제, 심순환계 약물, 아드레날린 및 아세틸콜린, 화학요법제, 비타민, 호르몬, 항생물질, 항알레르기 약물 및 항궤양제, 정신 작용 약물, 항암제 및 항바이러스제 등이 개발되고 합성되었다.

항생제를 작용 원리에 따라 몇 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 세포벽 합성을 억제하는 항생제로는 페니실린, 세팔로스포린, 반코마이신, 바시트라신, 사이클로세린이 있다. 둘째, 단백질 합성 장애를 일으키는 항생제로 아미노글리코시드 계열이 있다. 셋째, 단백질 합성을 억제하는 항생제로는 클로람페니콜, 에리스로마이신, 링코마이신, 테트라사이클린이 있다. 넷째, 세포막 투과성 변동을 일으키는 항생제로는 폴리믹신B와 콜리스틴이 있다. 다섯째, DNA 핵산 합성을 억제하는 항생제로는 리파마이신, 퀴놀론 계열이 있다. 여섯째, 대사(代謝)를 억제하는 항생제로는 이소니아지드, 에탐부톨, 술폰아마이드가 있다. 일곱째, 세균, 리케차, 일부 바이러스 감염 질환에 사용할 수 있는 클로람페니콜, 클로르 테트라사이클린, 옥시테트라사이클린, 에리스로마이신 등이 있다. 또한 니스타닌, 트리코아신 등은 항진균제로 사용한다. 1953년에 개발된 사르코마이신은 미생물 종양 치료제이다.

백신이 인류에게 본격적으로 도움을 주기 시작한 것은 1796년 영국의 제너(Edward Jenner)가 두창(천연두) 예방을 위한 종두법을 발견하면서부터이다. 19세기 중반, 프랑스의 파스퇴르는 닭 콜레라와 탄저병, 광견병을 예방할 수 있는 백신을 차례로 제조하여 이후 다른 전염성 질병의 백신이 개발될 수 있는 길을 터주었다. 파스퇴르는 약해는 주지 않고, 인체의 방어기전에 의해 면역 효과를 지니게 만들었다. 베링(Emil Behring)은 면역된 혈청 속에 독소를 중화시키는 물질, '항

독소(Antitoxin)'가 있을 것으로 생각하고 면역이 생긴 동물의 혈액을 채취하여 세포(적혈구, 백혈구, 혈소판)와 혈액 응고인자를 제거한 혈청에 디프테리아균을 혼합하여 동물에 투여하는 실험을 했다. 그 결과 아무 이상이 발생하지 않았다. 베링은 제너와 파스퇴르가 발견한 능동 면역법과 다른 수동 면역법을 최초로 도입하여 디프테리아 치료법을 개발한 것이다. 이제 백신 덕분에 홍역은 거의 뿌리가 뽑혔고 수두, 백일해, 장티푸스, 콜레라 등도 통제가 가능해졌다. 척추성 소아마비는 솔크(Jonas Edward Salk)와 세이빈(Albert Bruce Sabin)이 개발한 소아마비 백신으로 1950년대에 퇴치되었다.

7. 합성섬유

남아메리카와 동아시아에 분포하는 고무나무를 자르면 우유 같은 흰 액체가 나오는데 이 수액을 라텍스(latex; 라틴어로 유체라는 뜻)라고 부른다. 중앙아메리카의 인디언들은 수백 년 전에 이미 라텍스를 응고시켜 만든 공을 가지고 놀았으며, 동아시아에서는 16세기에 새를 잡는 아교의 재료로 고무를 사용했다는 기록이 있다. 즉, 인류는 오래전부터 고무의 특성인 탄성과 점착성을 이용하고 있었다. 1770년에 영국의 내르니가 연필 글씨를 지우는 데에 라텍스로부터 얻은 탄성 물질을 효과적으로 사용했다. 1820년 영국의 매킨토시(Charles Macintosh)는 이를 천에 발라 물이 스며들지 않는 방수 천을 만드는 방법을 개발하여 비옷을 만들었다.

1828년, 독일 화학자 뵐러(Friedrich Wohler)가 무기화합물인 시안산암모늄 수용액을 이용하여 포유동물 속에서 만들어지는 요소를 인공적으로 합성한 이래 많은 학자들이 여러 가지 유기화합물을 합성하기 시작했다. 베이클랜드(Leo H. Baekeland)는 페놀이나 포름알데히드를 과량 사용해서 중간체를 합성하는 방법을

발견했으며 무기섬유나 톱밥 등을 섞어 가압 가열하여 유용한 제품을 만드는 가공법도 발명했다. 이 제품은 베이클라이트라는 이름으로 1910년에 독일과 미국에서 생산되었다.

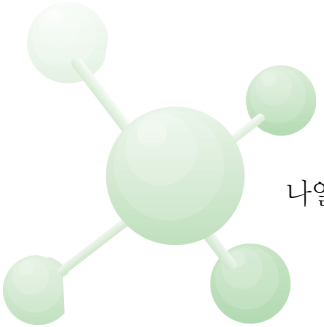
많은 탄소유기화합물들은 석유나 석탄과 같은 화석연료로부터 얻어진다. 초기에 얻어지는 탄소화합물은 메탄, 부탄, 프로판, 에틸렌, 아세틸렌, 알코올 등과 같은 저분자로서 대개 연료로 사용되는 것들이다. 이런 저분자 화합물을 다른 화합물과의 결합을 반복시키거나 자체적으로 중합시킨 것이 고분자화합물이다. 에틸렌을 중합시키면 폴리에틸렌(PE)이 되고, 염화비닐을 중합시키면 폴리염화비닐(PVC)이 되는 것이다. 고분자화합물은 대개 질기고 단단하면서도 부드러운 고체 성질이 있어서 자연히 합성섬유와 플라스틱 제품으로 사용되었다. 1920년대부터 고분자화합물이 합성되기 시작했고, 1930년대에 들어서면서 섬유용 고분자화합물이 개발되었다.

1927년, 듀폰사의 연구원 캐러더스는 인공적으로 중합체를 만들면서 그 과정에서 분자를 결속시키는 힘이 무엇인지를 밝히고자 했다. 그가 첫 번째로 선택한 것은 합성고무였다. 전기와 자동차가 널리 확산되면서 전선이나 타이어로 사용할 고무의 수요량이 급증했고 천연고무만으로는 이를 감당할 수 없었다. 캐러더스는 1년이라는 짧은 기간에 석탄을 공기에 통하지 않고 가열하여 얻은 콜타르로 '네오프렌' 이라는 인공고무를 합성하는 데 성공했다.

1930년부터 캐러더스는 연구의 방향을 합성섬유로 전환했다. 당시 합성섬유로 '레이온' 이 있었는데, 이는 목재의 셀룰로오스로 만든 것으로 완전한 인공섬유는 아니었다. 또한 레이온은 물에 젖으면 탄력이 떨어지고 대량으로 생산하기 어렵다는 한계가 있었다. 캐러더스는 분자 모양의 영향과 성분의 반응성에 대한

이해를 바탕으로 중합체의 성질을 계통적으로 연구했다. 그는 중합체의 녹는점이 인접한 고분자 물질의 교차결합이 형성하는 패턴에 의해 결정된다는 점과 그 패턴은 고분자물질이 가지고 있는 탄소원자의 상대적인 숫자에 의존한다는 점을 밝혔다. 이러한 연구를 바탕으로 캐러더스는 천연물도 아니고 레이온도 아닌 순전한 화학약품에서 폴리아미드라는 새로운 물질을 만들었다. 그러나 폴리아미드는 녹는점이 너무 높아 섬유로 길게 뽑아낼 수 없었다. 1932년 어느 여름날, 폴리에스테르를 연구하고 있던 힐이라는 동료가 폴리에스테르를 비커에 담아 막대로 휘젓자 폴리에스테르가 거미줄 같은 실이 되었다. 캐러더스는 폴리아미드 역시 그런 성질이 있으리라 생각했고 예상은 적중했다. 이것이 바로 나일론의 시작이다. 캐러더스가 처음 개발했던 나일론은 생성되는 과정에서 물방울이 부산물로 나왔는데, 그 물방울은 반응 용액으로 다시 들어가 중합작용을 억제하는 역할을 했다. 캐러더스는 실험장치를 재배열하여 물을 증발시킨 후 유리관으로 빼내고 이를 냉각시켜 제거한 후 방적돌기를 통해 폴리아미드를 압축시킴으로써 나일론 실을 생산했다.

나일론은 석탄, 물, 공기와 같이 매우 흔한 물질로 합성되었음에도 어떤 천연섬유보다도 가늘면서 동시에 어떤 천연섬유보다도 탄력적이었다. 또 나일론은 비단과 비슷했으며 면이나 레이온처럼 헐거워지지도 구겨지지도 않으면서 마모에 강하고 염색하기가 쉬웠다. 나일론도 비단의 아미드 결합처럼 아미노기(NH_2)의 H와 유기산기(COOH)의 OH가 만나서 물이 생성, 탈수되면서 두 개의 분자는



아미드 결합(-CO-NH-)으로 연결되는데 비단은 한 종류의 단위체가 반복되면서 아미드 결합을 형성하고 나일론은 서로 다른 두 종류의 단위체 아디프산과 1,6-디아미노헥산(1,6-Diaminohexane)이 반복되면서 아미드 결합을 형성한다. 때마침 제2차 세계대전이 발발하여 일본으로부터 비단 수입이 단절되는 바람에, 듀폰은 나일론으로 여성 고급의류 시장을 잠식할 수 있었다. 나일론스타킹은 1939년 한 해에만 약 6,400만 족이나 팔렸다. 그 외에도 나일론은 낚싯줄과 그물, 테니스와 배드민턴 라켓 줄, 수술용 봉합사, 전선의 피복 등에도 사용되었으며, 제2차 세계대전이 발발하자 타이어 코드(Tire Cord), 모기장, 기상 관측기구, 밧줄, 기타 군용제품 등에도 쓰였다. 또 낙하산 줄로 사용되던 비단을 대체하기도 했다. 1950년대에 나일론은 의류, 스키 기구, 양탄자, 비품, 돛, 기타 수많은 제품에 사용되었으며 금속의 강도를 지닌 공업용 플라스틱으로도 만들어졌다. (대부분 석유 성분인 플라스틱은 중합체에 열을 가하면 어떠한 형태로도 성형될 수 있는 데다가 가볍고 싸고 부식도 되지 않아 가정용품, 전기제품, 식품 포장용기 등 다양한 제품이 되었다.)

8. 광합성

모든 광합성 생물은 엽록소 클로로필을 가지고 있다. 대개의 육상식물에는 엽록소 클로로필a와 엽록소 클로로필b가 들어 있는데, a는 b가 환원된 형태(b는 a가 산화된 형태)이다. 엽록소 클로로필c는 다시마 같은 갈조류나 물먼지말 같은 규조류에, 엽록소 클로로필d는 홍조류의 세포 속에, 그리고 엽록소 클로로필e는 부등모조류에 들어 있다. 빛은 광자(Photon)라는 단위가 모인 것으로, 이 광자는 파장에

따라, 각각 특정한 에너지를 가지고 있다. 파장이 400나노미터 이하인 자외선은 파장이 600~700나노미터인 적색광보다, 적색광의 광자는 파장이 800나노미터인 적외선보다 에너지가 높다. 황화수소, 철, 물 중에서 어느 전자 공여체가 광합성에 이용되는지는 엽록소가 흡수하는 광자의 에너지에 달려 있다. 홍색 세균의 경우 엽록소는 에너지가 낮은 적외선만 흡수한다. 이렇게 얻은 에너지는 황화수소와 철에서 전자를 뽑아내기에는 충분하지만 물을 쪼개기에는 부족하다. 물에서 전자를 뽑아내려면 에너지가 1.5배 더 필요하다. 모자라는 부분은 에너지가 더 높은 광자로부터 얻을 수밖에 없다. 그러려면 엽록소의 구조를 바꿔 적외선 대신 적색광의 광자를 흡수하도록 해야 한다.

세균의 엽록소는 그 구조가 아주 조금만 변해도 빛을 흡수하는 능력이 크게 변한다. 박테리오클로로필a(파장 870나노미터의 빛을 흡수)의 구조가 두 군데만 변하면, 클로로필d가 되어 파장 716나노미터의 빛을 흡수한다. 클로로필d는 아카리오클로리스 마리나라는 세균의 주된 광합성 색소로, 이 세균은 광합성에 물을 이용하고 산소를 낸다. 클로로필d가 다시 조금 변하면 클로로필a가 된다. 식물, 조류, 시아노박테리아는 산소발생형 광합성을 한다. 클로로필a는 이들 광합성의 주된 색소로 파장 680나노미터의 적색광 광자만 흡수한다. (적외선은 열선으로 한대지방에 많은 침엽수의 잎은 이를 어느 정도 흡수하며, 겨울에는 여름보다 적외선 흡수 능력이 더욱 높아진다.)

식물의 엽록소 클로로필은 약 200개가 협력하여 광합성을 수행한다. 클로로필에 빛을 쬐면 전자가 핵으로부터 멀어진다. 핵으로부터 멀어진 전자는, 본래 자리로 되돌아가려 하기 때문에 에너지를 가진 들뜬 클로로필이 되는데, 이렇게 들뜬 분자로부터 다른 분자로 에너지가 옮겨가 중심에 있는 클로로필에서 전자가

튀어나간다. 빛에너지를 받는 반응중심이 한 군데만 있으면 물에서 전자를 빼내는 일과 그 전자를 다시 이산화탄소에 붙이는 일을 서로 연결할 수 없으므로, 식물의 광합성에는 두 군데에 반응중심이 있다. 두 반응중심은 짝을 이루어 연속적으로 작용하며, 반응이 한 차례 돌 때마다 각각 광자 네 개를 흡수한다. 물에서 산소를 만들려면 차례로 광자 네 개를 흡수하고 전자 네 개를 내놓는다. 물은 산소방출복합체(OEC; Oxygen-Evolving Complex)라는 단백질 상자에 꼭 갇힌 채, 전자를 한 번에 한 개씩 빼앗긴다. 이렇게 떨어져 나온 양성자와 전자는 루비스코를 통해, 당 분자 안에서 수소원자를 이룬다. 이렇게 식물의 광합성에서는 빛에너지를 사용해 물이 산화하여 산소, 수소이온, 전자 등이 발생한다.

이때 이산화탄소가 대부분의 전자와 수소이온을 받아 유기물질로 환원되며, 그 주요 산물은 녹말이나 설탕과 같은 탄수화물이다. 결국 광합성 반응의 총 화학식은 $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$가 되어, 기체 상태의 이산화탄소($CO_2$)가 고체 당($C_6H_{12}O_6$)으로 고정되고 물($H_2O$)을 소비하여 산소($O_2$)를 내놓는다고 할 수 있다. (그러나 광합성의 전 반응은 빛에 의존하는 광화학 반응인 명반응과, 유기촉매인 효소에 의해 조절되는 화학반응인 암반응으로 나눌 수 있다. 명반응에서 빛에너지는 일련의 전자 전달과정에 이용되어, 궁극적으로 에너지가 풍부한 화합물인 아데노신 3인산(ATP; Adenisine Triphosphate)과, 환원된 니코티나마이드 아데닌 디 뉴클리오타이드 인산(NADPH; Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate)을 만든다. 탄소 고정과정인 암반응에서는 이 ATP와 NADPH를 이용하여 이산화탄소를 유기탄소화합물로 만든다.)

광합성의 명반응은 틸라코이드막에서 일어나며 탄소 고정화반응인 암반응은 스트로마에서 일어난다. 스트로마에는 암반응에 관련된 효소들이 녹아 있어서,

명반응에서 형성된 ATP와 NADPH를 이용하여 이산화탄소(CO_2)를 유기탄소화합물로 바꾸는 일을 한다. CO_2의 C를 받아들이기 위한 이러한 화학적인 회로가 칼빈회로(Calvin Cycle)이다. 칼빈 등은 리불로스 2인산(RuBP; Ribulose Bisphosphate)이라는 C_5 물질이 둘로 나뉘어져 CO_2의 C를 받아들이고 두 개의 C_3의 물질 포스포글리세르산(Gal-3P; Phospho glycerate)을 만든다.

이렇게 칼빈회로에서 가장 중요한 단계는 5탄당인 리불로스 2인산과 이산화탄소(CO_2)를 두 개의 3탄당인 포스포글리세르산으로 바뀌는 단계이다. 즉, RuBP + CO_2 → 2(Gal-3P). 이때 촉매효소로 루비스코(RuBisCO; Ribulose Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase)가 사용되며, 이 회로는 반복 재생된다. 이러한 반응으로 생성된 3탄당은 엽록체 밖으로 배출되거나 안에서 녹말로 바뀌며, 단백질과 지방을 합성하는 데 사용된다.

루비스코는 지구상에서 가장 풍부한 효소로서 아주 중요하지만 비효율적이다. 루비스코는 이산화탄소(CO_2)를 고정해서 당을 만드는 시스템인데, CO_2와 O_2를 식별하는 능력이 없어서 CO_2가 참여하면 당이 만들어지고 O_2가 참여하면 1분자의 포스포글리세르산(Gal-3P)과 1분자의 쓸모없는 포스포글리콜산(Phosphoglycolate)을 만들어 유기물의 양이 줄어든다. 지구에 광합성 생물이 탄생했을 때 O_2가 반응을 저해하리라 생각하지 못한 결과일 것이다.

산소 발생형 광합성이 시작되자 대기에는 산소가 들어차 생물은 산화성 스트

레스를 받았다. 그러자 산소를 조절하기 위한 식물의 피드백 메커니즘으로 광호흡(Photorespiration)이 생겼다. 광호흡은 식물의 정상적인 미토콘드리아 호흡과는 달리 햇빛이 있을 때만 일어난다. 이 과정을 통해 식물은 산소를 섭취하고 이산화탄소를 방출한다. 보통의 호흡과 유사하지만 에너지를 생산하지는 못한다. 또 보통의 호흡과는 달리 광호흡은 효소 루비스코를 사용하기 위해 광합성과 경쟁을 벌인다. 이렇게 경쟁을 벌이다 보면 광합성의 효율이 떨어지고, 따라서 식물의 성장이 더뎌진다. 산소 농도가 낮을 때는 광호흡이 덜 중요하고, 산소 농도가 정상이거나 높을 때는 광호흡이 더 필요한 것으로 보아서도 광호흡은 대기 중의 산소 농도를 안정시키는 메커니즘이다. 햇빛으로 인한 산화성 스트레스가 광합성에 진화를 가져온 것이다.

열대에서 진화해왔을 것으로 생각되는 옥수수, 사탕수수, 수수 등과 같은 식물은 루비스코 주위에 CO_2의 농도를 수십 배 높여서, 양적으로 O_2의 접근을 막는 방법을 개발했다. 구소련의 과학자들은 이러한 현상을 C_4의 물질을 만드는 것(C_4형 식물)이라고 주장하고 이러한 회로를 햇취-슬랙 회로라고 불렀다. 이런 식물은 C_4형 물질인 말산(Malate)이 유관속초세포로 CO_2를 가져와, 칼빈회로 주위에 떨어뜨려 이산화탄소 농도를 높여줌으로써 광합성량이 높아져 식물의 생장이 매우 왕성하다. C_4형 식물에는 옥수수, 사탕수수 등과 같이 생장이 왕성하며, 금방동사니과와 명아주과, 쇠비름과 등과 같이 번식력이 강하다. 이는 C_4형 식물은 C_3형 식물보다 광합성의 능률이 높다는 사실을 말한다. 한편 작물은 C_3형 식물이 대부분이다. 이는 아마 오랜 세월에 걸쳐 사람에게 보호되어왔기 때문에 C_3형인 채로 광합성을 계속해온 것으로 생각된다. 대체로 온대 지방의 식물에서는 C_3형이 그대로 유지되다. 이는 루비스코 주위로 CO_2를 보내는 데는 ATP라는 에너지

를 쓰는데, 이것이 루비스코가 행하는 1/5의 시행착오보다는 더 크기 때문일 것이다.

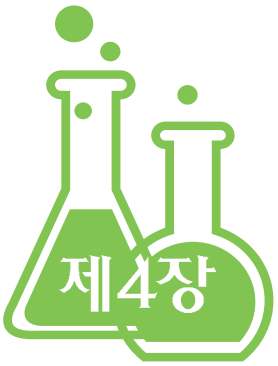
식물은 연간 1조 5,000억 톤의 탄소와 2,500억 톤의 수소를 결합시켜 4조 톤의 유기물을 방출하면서 지구생명체의 젖줄 역할을 하고 있다. 이 중 육상식물이 담당하는 부분은 약 10퍼센트 정도고 나머지는 해양의 조류와 단세포식물에 의해 이루어지고 있다. 지구에는 25만 종의 식물들이 서로 다른 환경조건에서 자라고 각기 특별한 기능을 가진 유전자들을 가지고 있다.

벼는 현재 알려진 외떡잎식물 중 게놈의 크기가 가장 작은 식물로서 옥수수의 16분의 1, 밀의 37분의 1에 불과하다. 60억 세계 인구의 절반이 주식으로 먹는 쌀, 그 가운데 한국과 일본에서 주로 먹는 벼 품종 '자포니카'의 게놈 지도도 완성되었다. 벼는 열두 쌍의 염색체 위에 3만 7,544개의 유전자를 담은 3억 8,900만 개의 DNA로 구성돼 있었다. 벼의 게놈 지도를 통해 가뭄이나 냉해, 병충해 등에 강한 벼 품종 개발의 길이 열렸으며, 궁극적으로 식량문제를 해결할 수 있는 길이 열렸다.

1 전기
2 전자기
3 테슬라
4 반도체
5 텔레비전
6 컴퓨터
7 통신
8 인공위성

제 4 장

전자기력의 이용



전자기력의 이용

1800년 이탈리아의 알렉산드로 볼타(Alessandro G. A. A. Volta)는 천연 전지인 열전기 더미를 발명했다. 볼타는 두 개의 다른 금속을 소금 용액에 담가 접촉시키면 전류가 흐르는 것을 발견하고는 구리와 아연을 이용하여 '볼타전지'를 만들었다. 볼타전지는 전기가 계속 흐르는 장치로서 항상 안정된 전류를 얻었다. 전지의 발명으로 전류의 자기작용이 발견되었다. 1819년, 덴마크의 외르스테드(Hans C. Oersted)는 움직이는 전자가 자기장을 만든다는 사실을 발견했다. 1831년에는 영국의 마이클 패러데이(Michael Faraday)가 자석 주위의 회로를 만들면서 기계적으로 일정한 전류가 발생하도록 했다. 패러데이의 이 발견은 증기기관의 발전과 결합되어 전기발전기의 탄생으로 이어졌다. 맥스웰(James C. Maxwell)은 마침내 전기 현상과 자기 현상을 진자기학이라는 하나의 통일된 세계로 갈무리했다. 이 맥스웰의 파동방정식이 증명한 이론적 전자기파는 빛이 전자기파의 일종임을 알려주었다.

자연계에는 질량 외에 또 다른 기본적인 존재, 전하(Electric Charge)가 있다. 그러나 전하는 질량을 가지지 않는다. 전하는 질량을 가진 다른 물질, 양성자와 전자라는 입자에 붙어서 존재하며, 이들은 물질의 구성단위인 원자 내부에 존재한다. 전하가 움직이면 그 주위의 공간에 그동안 존재하지 않던 새로운 힘, 자기력(Magnetic Force)이 생성된다. 중력이나 전기력은 질량이나 전하가 정지해 있어도 나타나지만, 자기력은 전하가 움직여야만 비로소 나타난다. 전자기력은 전자기파(Electro-Magnetic Wave)라는 파동으로 전파해나간다. 자연의 이런 존재 양식을 활용한 기술에는 라디오, 텔러비전, 무선통신이 있다.

1. 전기

물질은 원자로 구성되어 있고 원자는 원자핵과 주위를 도는 전자로 구성되어 있으며 원자핵은 플러스(+) 전하를 띠고 있는 양성자와 전하를 띠지 않는 중성자로 이루어져 있다. 전하는 보통 물질 속에서 같은 수만큼 있어서 전체적으로는 전기적 중성을 띤다. 그런데 물질을 마찰시키면 전자는 경계면을 넘어 이동하며 이동한 전하에 마찰전기가 생긴다. 호박, 수정, 사파이어 등에 전하가 생기면 그 전하는 언제까지나 머물러 있으며, 이동하지 않는다. 이러한 정전기는 고대 그리스의 과학자들도 알았던 현상이다. 고대 그리스의 탈레스(Thales)는 호박을 고양이 털에 문지르고 나면 호박에 깃털을 끌어당기는 힘이 생기는 현상을 발견했다. 1600년경에 지구가 큰 자석임을 발견한 길버트(William Gilbert)는 호박에 유리, 유황, 보석류 등을 마찰시켜 종이나 지푸라기를 끌어당기는 성질을 발견했다. 강하게 문지를수록 전기 불꽃은 더 커졌다.

18세기에는 전기가 한 종류만 있는 것이 아니라, 호박을 비볐을 때 나오는 '수지전기(Resinous Electricity)'와 유리를 비볐을 때 나오는 '유리전기(Vitreous Electricity)'의 두 가지 서로 다른 종류가 있음이 밝혀졌다. 후에 벤자민 프랭클린(Benjamin Franklin)에 의해서 수지전기는 음전기로 유리전기는 양전기로 불렸다. 18세기 말 프랑스의 쿨롱(Charles A. de Coulomb)이 호박 막대와 유리 막대로 실험을 하다가 전기를 띤 이 막대들이 작은 물체들을 끌어당긴다는 사실을 알았다.

이 전기적 힘은 그에게 뉴턴이 발견한 중력을 떠올리게 했다. 그러나 중력은 항상 끌어당기지만 전기적 힘은 밀어내기도 한다. 두 개의 호박 막대를 털가죽으로 마찰한 후 서로 마주 대면, 어떤 힘이 막대들을 서로 밀어낸다. 쿨롱은 이 전기적 힘을 수학공식으로 표현했다. 이것은 마치 뉴턴이 중력을 공식으로 표현한 것과 비슷하다. 뉴턴의 중력 이론과 마찬가지로 전하들도 서로의 거리에 반비례하고 전하의 곱에 비례하는 힘이 작용한다는 것이다. 중력과 다른 점은 전하에는 두 가지 종류가 있어서 같은 종류끼리는 밀어내고 다른 종류끼리는 잡아당긴다.

영국의 그레이(Stephen Gray)는 전기를 잘 전달하는 도체와 그렇지 못한 부도체를 구별했다. 그는 금속 도선을 이용해서 전기를 수십 미터 떨어진 곳까지 전달하는 실험을 했다. 18세기 중엽에 네덜란드의 뮈스헨브루크(Pieter van Musschenbroek)는 정전기를 모을 수 있는 축전지인 라이든 병(Leiden Jar)을 발명했다. 그는 절연시킨 유리병에 물을 넣고 병마개의 중심을 통해 내부로 넣은 금속 막대 끝에 사슬을 달아 물과 접촉시켰다. 그리고 대전된 유리 막대를 병마개 위로 나와 있는 금속 막대와 접촉시켜 전하를 저장했다. 그러고 나서 금속 막대에 손을 대봤더니 저장됐던 전하가 단숨에 방전돼 큰 쇼크를 받았다고 한다. 과학자들은 이제 마찰 기계에로 전기를 모으고 그것을 금속을 이용해서 전달하고, 또 라이든 병에 담아서 보관할 수 있었다.

전기의 실용적인 사용법을 개척한 사람은 볼타였다. 정전기는 사람에게 흥미를 유발하는 실험을 할 수는 있었지만, 한 번 스파크를 일으키면 다 소진되어버렸다. 과학자들은 지속적으로 사용할 수 있는 전기의 원천을 발명하기 위해서 노력했는데, 그러다 1800년에 이탈리아의 볼타에 의해서 전지(Cell)의 형태로 발명되었다. 그는 작은 구리판과 주석판을 만들어서 이것을 마분지로 분리시켜 높이

포개어놓았다. 이 판 더미를 유리관 속에 넣고 소금물을 부었다. 그러자 이 금속판에서 불꽃이 튀었다. 판들 사이에서 일종의 전기가 생성된 것이다. 볼타는 판 더미의 양쪽 끝에 구리선을 고정시키고 전기가 이 선을 따라 이동하는 것을 확인했다. 볼타는 전기가 만들어질 수 있으며 선을 통해 이동할 수 있다는 사실을 확인한 것이다. 볼타의 금속판 장치는 대규모의 전기를 생산하는 데 아주 효과적이었다. 그가 처음 발명한 전지는 아연과 구리판 사이에 소금물에 적신 종이를 끼워 넣은 형태였다. (이 기구는 오늘날 '축전지' 혹은 '배터리'라고 불린다. 축전지 속의 화학반응으로 전기가 생산된다.)

안정적으로 전기를 공급하는 전지는 1836년에 영국의 다니엘(John F. Daniell)과 1868년에 프랑스의 르클랑세(Georges Leclanche)에 의해서 발명되었다. 르클랑세는 1877년에 건전지도 발명했다. 양극과 음극을 도선으로 연결하여 황산(H_2SO_4) 전해액 속에 담그면 음극의 아연판은 아연 이온(Zn^{2+})과 전자로 나누어지고, 아연 이온은 황산에서 용출되며, 전자는 도선 속을 이동하여 양극에 도달하고, 양극에서는 전자와 황산 속의 수소 이온(H^+)에 반응하여 수소 가스를 생성한다. 이것이 바로 건전지이다. 건전지는 휴대하기 편리하다는 장점이 있지만 만들어낼 수 있는 전기의 양은 많지 않다. 전기가 다 소모되면 다시 충전해서 사용할 수 있는 축전지는 프랑스의 플랑테(Gaston Plante)가 1859년에 발명했다.

2. 전자기

1819년, 덴마크의 외르스테드가 간단한 실험을 했다. 그는 축전지와 연결된 구리선을 나침반 위에 설치했다. 나침반의 바늘은 정상적인 경우대로 북쪽을 가리키고 있었다. 그러나 전기 스위치를 올리자마자 나침반의 바늘이 저절로 돌기 시

작하여 구리선에 가로놓인 채로 섰다. 전류가 끊기면 나침반의 바늘은 다시 북쪽을 가리켰다. 전류가 자력을 생성시키는 것이 명백했다. 외르스테드는 전류가 흐르는 도선의 주변에 원형의 자기장이 형성된다는 사실을 처음 밝혀냈다. 프랑스의 도미니크 아라고(Dominique F. Arago)는 큰 반지 모양의 쇠 둘레에 긴 전기선을 휘감았다. 이 코일에 축전지를 연결하자 전기의 자력이 아주 강력해졌다. 아라고는 1톤 무게의 철을 들어 올릴 수 있는 전자석을 만들었다. 전자석은 보통 자석으로는 할 수 없었던 무거운 쇠를 들어 올리는 등 전기의 새로운 응용 가능성을 낳았다.

1820년, 앙페르(Andre M. Ampere)는 막대자석과 코일이 같은 자기력선을 생성한다는 사실로부터 자석의 내부에는 코일 형태의 전류가 흐르고 있을 것으로 생각하고, 전류가 흐르는 도선 주위에서 자석의 방향이 바뀌는 이유를 도선의 전류와 자석 속에서 흐르는 원자 전류 사이의 상호작용으로 설명했다. 1826년, 독일의 옴(Georg S. Ohm)은 도체 선으로 연결된 두 점 간에 흐르는 전류의 세기는 두 점에 걸리는 전압에 비례한다는 사실을 알았다. 이전부터 하나의 금속막대의 두 점 간에 흐르는 열량은 두 점 간의 온도차에 비례함이 알려져 있었는데, 옴은 이러한 열 현상을 전기 현상과 대응시킨 것이다. 온도(차)는 전압으로, 열의 흐름은 전류로 대응시켜 전류와 전압을 구분했다.

영국의 패러데이는 외르스테드가 발견한 것과 정반대되는 현상, 즉 자기가 전기를 만들어내는 현상을 발견하고자 마음먹었다. 1831년, 패러데이는 시간적으로 변화하는 자기장이 주변에 전기장을 형성한다는 것을 밝혀냈다. 그는 쇠로 된 고리를 구해서 그 둘레에 여러 번 구리선을 감은 다음, 이 구리선의 양끝을 간단한 전류 측정계에 연결했다. 그러고 자석이 그 쇠고리 속으로 들락거리게 하면서 전

류계가 어떤 반응을 하는지 확인했다. 자석이 쇠고리의 구멍 속에서 움직이자 코일에 전기가 흘렀다. 그러나 이것은 자석이나 코일이 움직이는 동안만 가능했다. 이어서 패러데이는 자석이 원형 코일 속을 들락거리는 것보다 더 쉬운 방법으로 강력한 자석의 양쪽 극 사이에서 구리선이 회전하도록 하는 장치를 제작했다. 패러데이가 추측한 대로 코일이 돌아가는 동안 전류가 흘렀다. 회전시키는 것만으로 전류가 발생한 것이다. 패러데이가 처음 만든 발전기는 만들기 쉬울 뿐만 아니라 발전기가 크면 클수록 전기를 더 많이 만들어낼 수 있었다. 성능 좋은 증기기관을 아주 큰 발전기에 연결시키면 원하는 만큼 많은 전기를 얻을 수 있다. 이후 발전기는 코일을 회전시키고 코일에서 발생하는 열을 감소시키기 위해서 철판을 얇게 잘라 합쳐 만든 철심을 사용했다.

수학자 제임스 맥스웰(James C. Maxwell)은 패러데이의 실험들을 상세하게 분석하고 여기에 뉴턴의 미분 계산법을 적용했다. 이런 방법으로 그는 1864년에 전기와 자기 사이의 연관성을 해명할 수 있는 네 가지의 수학공식을 발전시켰다. 이 방정식은 우선 패러데이의 주장이 옳다는 사실을 증명한다. 자력이 있으면 언제나 전기의 힘도 존재한다. 이 두 가지 형식의 힘은 실제로는 단지 하나의 힘, 즉 전자기력이다. 그렇기 때문에 전류가 자석처럼 작용하는 한편, 자석은 전류를 생성할 수 있다. 맥스웰은 자신의 방정식을 보다 자세히 살펴보고 이 속에서 자

연에 관해 지금까지 알려지지 않았던 새로운 정보를 발견했다. 이것은 자석과 전류가 파동을 일으킬 수 있다는 사실, 즉 전류가 흐르기 시작하면 전기선에서 모든 방향으로 파동이 퍼져나간다는 사실을 알아냈다. 맥스웰은 이런 현상을 전자기파 현상이라 규정하고, 파동의 속도를 자신의 방정식으로 계산했다. 그가 얻은 것은 1초에 30만 킬로미터라는 아주 빠른 속도였다. 빛의 속도는 이미 밝혀져 있었다. 그런데 전자기파와 빛의 속도가 일치하는 것은 결코 우연이 아니었다. 우리의 눈에 비치는 빛은 일종의 전자기파임에 틀림없었다.

빛의 파동이 어떤 모습인지 설명하는 것은 쉽지 않다. 이미 아이작 뉴턴은 빛을 아주 작은 입자들의 결합이라 믿고 있었다. 이에 반해 네덜란드인 크리스티안 하위헌스(Christiaan Huygens)는 빛을 파동의 일종으로 생각했다. 맥스웰의 방정식은 하위헌스의 손을 들어주었다. 빛은 실제로 파동이다. 그러나 이 파동은 하위헌스가 생각했던 것과는 전혀 다른 모습이다. 즉, 높은 속도로 공간을 이동하는 전자기파였다. 맥스웰의 방정식에서 더 중요한 것은 이것이 우리 눈에 보이는 광선보다 파장이 크거나 작은 파동도 존재함을 시사한다는 점이다. 그러니까 이때까지 전혀 알려지지 않았던 형태의 전자기파가, 즉 파장이 빨간색보다 더 긴 전자기파와 보라색보다 더 작은 전자기파가 존재할 가능성이 있었다.

전자기파, 즉 전자기복사의 발생은 전하의 가속도운동으로 이루어진다는 것을 1887년에 헤르츠(Heinrich R. Hertz)에 의해 실험적으로 확인되었다. 1885년, 그는

서로 몇 미터 떨어져 있는 두 개의 전선을 가지고 실험을 하고 있었다. 이 두 전선 사이에는 아무런 연결도 없었다. 각각의 전선은 약간의 공간을 두고 있었다. 헤르츠가 하나의 전선에 강력한 전기적 순간 충격을 가하자, 가까이 붙여놓은 같은 전선의 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝으로 세찬 섬광이 날아갔다. 그리고 두 번째 전선에서도 섬광이 일었다. 그는 하나의 전선에서 보이지 않는 전자기파가 나와서 다른 전선에 섬광이 일도록 만들었다고 확신했다. 이것은 파장이 몇 미터씩 되는 전자기파였다. 1895년, 굴리엘모 마르코니(Guglielmo Marcon)는 헤르츠가 발명한 전파를 먼 거리까지 전달할 수 있는 기구로 만들었다. 지금까지는 육지와 선박들 사이에 교신이 끊어질 수밖에 없었던 대형 선박들은 모두 마르코니의 무선기를 설치했다. 1906년, 미국의 레지날드 페선던(Reginald A. Fessenden)이 전파의 도움으로 음악과 시 낭송을 수백 킬로미터 떨어진 곳으로 보내는 데 성공했다. 이를 이용해 1920년에는 뉴욕에서 라디오 정규 방송이 시작되었고 마르코니가 세상을 떠날 1937년 무렵에는 전 세계에 라디오가 보급되었다. 이제 뉴턴의 법칙, 맥스웰의 법칙 그리고 다른 많은 자연법칙들은 자연에서 일어나는 거의 모든 것을 설명할 수 있다.

아인슈타인이 상대성이론을 확립하는 데 기반이 된 이론은 맥스웰의 전자기장방정식이었다. 전자기장의 파동이 곧 빛이라는 것을 맥스웰이 밝힌 바 있었는데, 이론에 의하면 정지한 빛은 있을 수 없으므로 빛의 속력은 누구에게나 일정할 수밖에 없다. 이 사실을 알아낸 것은 아인슈타인이었다. 그는 이를 광속 일정의 원리로 잡아 상대성이론의 출발점으로 삼았다. 그는 갈릴레오, 데카르트, 라이프니츠 등이

주장해오던 운동의 상대성원리와 광속 일정의 원리를 결합함으로써 상대적 시공간관을 이끌어냈다.

뉴턴의 시공간에서는 '모든 관찰자에게 시간이 일정하게 흐른다'가 핵심 원리인데, 전자기학에서는 그것이 '모든 관찰자에게 광속이 일정하다'로 바뀌었다. 뉴턴 역학체계에서는 일차원의 절대 시간과 삼차원의 절대 공간이 서로 독립된 실재로 존재한다고 보았다. 뉴턴역학에서는 질량은 질량대로 에너지는 에너지대로 따로따로 보존되는 별개의 양이었으며, 물질은 무엇인가 실체를 대변하는 것으로 생각되었다.

그런데 특수상대성이론에서는 시간과 공간을 분리해서 볼 수 없는 하나의 사차원 연속체로 파악한다. 사차원이란 앞뒤, 좌우, 상하의 세 방향성(삼차원)과 시간적 과거-현재-미래의 방향(일차원)을 향해서 하나로 본다는 뜻에 불과하므로 우리의 일상사 그대로이다. 그러나 상대성이론을 이해하려면 사건 중심의 사고로 전환해야 한다. 상대성이론의 세계관에서는 물체나 인간의 몸과 같이 실체라고 여겨지는 존재들을 세계의 근본적 구성 요소로 보지 않고, 시공간의 각 사건 점의 집합으로 이 세계를 파악한다. 이 사건들이 인과적으로 함께 계속 일어나면 이것을 물체의 존재로 오인한다는 것이다.

상대성이론에 의하면 이 세상 그 어느 것도 빛보다 빨리 달릴 수는 없으므로 만유인력(중력)도 순간적으로 멀리 영향을 미칠 수 없다. 따라서 뉴턴의 이론은 수정이 불가피하다. 즉, 태양이 지구에 중력을 미치는 것은 태양 주위의 시공간을 휘어지게 함으로써 가능하다. 이러한 시공간의 휘어짐이 극단적으로 나타나는 경우가 바로 블랙홀로, 블랙홀에 들어간 모든 물질은 다시 밖으로 나올 수 없는 특이한 성질을 지녔다.

3. 테슬라

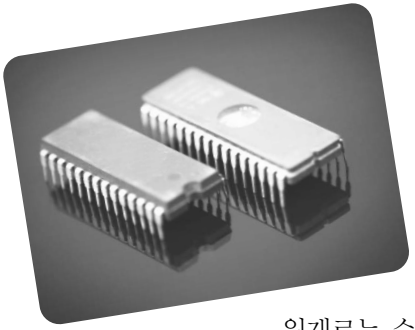
전기는 마찰, 전자기 유도작용, 화학작용, 압전작용 및 광전 효과 등으로 만들 수 있다. 전자기 유도작용을 이용한 발전 방식은 전자석의 원리를 반대로 이용한 것이다. 도선을 감아서 만든 코일에 자석을 가까이 했다 멀리 했다 하면 코일을 지나는 자기장의 세기가 변화되어 코일에 전류가 생기는 원리이다. 영구자석이 연결된 발전기의 축을 회전시키면 전기가 만들어진다. 회전축에 코일을 감은 발전기에서는 직류전기가 발생하고 회전축에 영구자석을 부착한 발전기는 교류전기가 발생한다. 그러나 많은 양의 전기를 생산하려면 코일 속에서 영구자석을 회전시키는 물리적인 방법을 사용해야 한다. 많은 양의 전기를 생산하려면 대형 코일과 영구자석이 필요하고 그런 발전기를 회전시키려면 많은 에너지가 필요한데, 이러한 에너지를 19세기 산업사회에서는 석탄으로 충당했고 20세기 산업사회에서는 수력으로 해결했다.

전기의 송전사업을 처음 시작한 사람은 에디슨(Thomas A. Edison)으로, 그는 직류전기를 송전했다. 그러나 전력 손실이 커서 기껏해야 발전소 주위 3~4킬로미터까지밖에 송전할 수 없었다. 직류는 기술적으로 전압을 변화시키기가 힘들므로 낮은 전압 상태에서 많은 전류를 보낼 수밖에 없었다. 이에 반해 테슬라는 교류를 이용하여 장거리 송전에 성공했다. 테슬라는 1882년 교류의 모순과 장애를 동력을 얻을 수 있는 회전으로 전환할 수 있다는 회전자장의 원리를 발견했다. 그 후 트랜스포머(코일)들을 사용해 교류전압을 승압했고 얇은 전선으로 먼 거리까지 송전했으며 교류모터(전동기)도 만들었다. 교류송전에 대한 테슬라의 특허를

토대로 만들어진 회사가 웨스팅하우스(Westinghouse)사이다.

전기산업 분야는 이후 폭발적인 발전을 거듭하여 1882년 당시 미국에 단 하나뿐이던 발전소가 20년 뒤인 1902년에는 2,250개로 늘어나게 되었다. 영국은 400개가 넘는 전기 발전소를 보유했다. 증기터빈의 발전과 더불어 전력 생산이 급격히 증가했는데, 증기터빈이란 증기가 직접 회전축을 돌리는 방식이다. 수력 또한 전기를 만드는 데 중요한 역할을 하기 시작했다. 스칸디나비아와 북미 대륙과 같이 수자원이 풍부한 지역에 수많은 수력발전소를 건설했다. 하지만 전 세계의 대부분 지역에서는 석탄이나 석유를 추진 연료로 사용하는 증기터빈으로 전기에너지를 생산했다.

전기는 곧 전 세계의 거리와 공장, 가정집들을 환히 밝혔다. 전등은 종래에 쓰던 가스램프보다 훨씬 더 밝고 수명도 길었으며 연기도 나지 않는 데다 화재 사고도 줄였다. 전기가 도입되면서 공장들은 밤 시간을 활용한 24시간 교대 작업으로 생산량을 늘렸고, 새로 개발된 전기모터는 종래의 증기나 내연기관들보다 정확하고 빠르게 부품들을 옮겨놓았다. 또 전기를 이용한 환풍기를 설치하여 작업자들은 맑은 공기를 마시며 일할 수 있는 환경이 마련되었다. 더욱 중요한 사실은 전기 덕분에 공장을 세우는 데 지역적 제한을 받지 않게 되었다는 점이다. 또 최초로 시내 전차가 1881년에 독일에서 정규 운행을 시작했고 이후 10년이 채 안 되어 대부분의 유럽과 미국 도시들이 노면 전차를 운행하거나 운행 계획을 진행했다. 재봉틀, 전기선풍기, 전기다리미, 진공청소기, 세탁기 등의 소형 전기모터를 동력원으로 하는 보다 많은 전기제품들이 연이어 개발되고 선을 보이자 선진국들 사이에서 전기사업이 널리 확산되었고 전력은 현대생활의 필수 요소가 되었다.



4. 반도체

레이더의 수신기를 잘 동작시키려면 원재료 반도체의 순도가 높아야 했다. 이렇게 실리콘을 녹여 불순물을 줄이는 과정에서 우연히 pn 다이오드가 만들어졌다. 당시의 실리콘 원재료는 순도가 낮아 많은 불순물이 들어 있었다. 그 가운데에는 3족 원소인 붕소와 알루미늄, 5족 원소인 인과 비소도 있었는데, 3족 원소는 원자번호가 작아 실리콘보다 가벼워 녹은 실리콘 액체의 윗부분으로 떠올랐고, 무거운 5족 원소는 아랫부분으로 가라앉았다. 벨연구소의 올(Russel Ohl)은 실리콘에 5족 원소를 넣으면 주로 음전하의 전자에 의하여 전류가 흐르는 n형 반도체가 되고, 3족 원소를 넣으면 양전하의 정공이 주로 전류를 흐르게 하는 p형 반도체가 된다는 사실을 발견했다. (다시 얼린 고체 실리콘은 아래는 n형, 위는 p형 반도체가 되었고, 그 가운데 부분에는 pn 접합이 만들어졌다.) p형 반도체와 n형 반도체가 만나 다이오드가 만들어졌다. 이렇게 만들어진 다이오드는 단순한 저항인 p형 또는 n형 반도체의 차원을 넘어서 다이오드에 걸린 전압의 방향에 따라 전류를 흘리기도 하고 흐르지 않게도 하는 정류작용을 한다. pn 다이오드를 시작으로 2년간의 노력 끝에 p형 반도체 사이에 얇은 n형 반도체를 끼운 바이폴라 트랜지스터가 만들어졌다. 다이오드의 기능은 정류작용뿐이지만 두 다이오드가 만나서 만든 트랜지스터는 증폭작용과 스위칭작용을 함으로써 전자의 시대를 열게 되었다. 1947년 벨연구소에서 개발된 트랜지스터는 세계의 중심을 유럽에서 미국으로 옮기는 데 결정적인 역할을 하였다. 텍사스인스트루먼트(Texas Instruments)는 이 트랜지스터를 라디오 등 가정용 전자제품에 쓰이도록 노

력하여 반도체업계의 선두 주자가 되었다.

1958년, 캘리포니아 페어차일드(Fairchild)의 호에르니(Jean Hoerni)는 실리콘을 산화시켜 만든 산화막(SiO_2)으로 실리콘 표면을 보호하면 트랜지스터의 수명이 대폭 늘어난다는 사실을 알아냈다. 이렇게 해서 바이폴라 트랜지스터를 실리콘 표면에 바로 만드는 평면형 트랜지스터(Planar Transistor)기술이 개발되었다. 이후 텍사스인스트루먼트의 킬비(Jack Kilby)는 저항, 축전기, 트랜지스터, 다이오드를 모두 하나의 실리콘 위에 만들어 소형화하고자 했다. 실리콘 위에 트랜지스터와 저항을 만든 다음에 실리콘 전체를 알루미늄으로 덮고 불필요한 부분을 없애면 트랜지스터의 수가 아무리 많더라도 한꺼번에 연결이 가능했다. 이로써 집적회로가 탄생했다. 집적회로는 미사일이나 핵무기 등의 설계 작업을 처리하는 고성능 계산기를 가능하게 했다. 1959년, 인텔은 MOSFET 트랜지스터를 사용한 집적회로 SRAM, DRAM, EPROM 등 메모리와 마이크로프로세서 신제품을 잇달아 출시했다. 이제 방 안을 가득히 차지하던 컴퓨터를 주머니만 한 크기의 계산기 안에 몇 개의 칩으로 만들 수 있었다. 전반적으로 1960년대는 반도체를 주로 군사용이나 우주 개발 등에 사용했으며 라디오, 텔레비전 등의 가전제품에는 값싼 진공관을 주로 사용했다. 당시는 미국이 반도체산업의 80퍼센트를 차지하고 있었다. 1970년대로 접어들면서 고밀도 집적회로(LSI)가 개발되었다. 이를 기초로 엄청난 능력을 지닌 기억소자인 마이크로프로세서(Microprocessore) 등의 새로운 반도체소자를 생산했으며, 그들의 응용기술, 즉 소프트웨어(Software)의 비중도 커졌다. 마이크로프로세서 칩

한 개에는 트랜지스터가 45만 개 정도 들어 있으며 18미터 이상의 텅스텐 와이어가 웨이퍼의 통로에 증착되었다. 조그만 칩 위에 이처럼 수많은 회로를 담는 것은 핀 머리에 로스앤젤레스의 모든 거리와 고속도로의 지도를 기록하는 것과 다름없는 대역사이다. 1970년대 말에는 초고밀도 집적회로(VLSI)라는 새로운 형태의 집적회로가 또다시 개발되었다.

전자산업은 진공관, 트랜지스터, 집적회로, 마이크로프로세서로 진화했다. 진공관은 미국의 GE와 독일의 지멘스가 개발했으며, 트랜지스터는 AT&T의 연구소에서 상업화했다. 집적회로는 벨연구소에서 기술 이전을 받은 TI가 가장 먼저 상업화했다. 마이크로프로세서는 페어차일드를 이어받은 인텔에서 처음으로 상업화했다. 개인용 컴퓨터(PC)가 등장하고 마이크로프로세서에 대한 수요가 지속적으로 증가하면서 실리콘밸리의 두 신생 기업인 AMD와 내쇼널 세미컨덕터가 인텔과 협력하여 이 분야를 주도했다. 이들의 주요 경쟁 업체는 미국과 독일의 선발 기업을 모방한 일본의 다섯 기업들이었다. 일본은 MITI가 지원한 대규모 집적회로 프로젝트를 바탕으로 강력한 경쟁력을 쌓아 미국 DRAM 기업들을 무력화시켰다. 그동안 미국의 기업들은 PC를 대량 생산하면서 급속도로 성장한 마이크로프로세서시장으로 겨우 살아남을 수 있었다.

보통 반도체 디바이스에 쓰이는 배선 재료는 알루미늄이지만, 전기 저항률이 알루미늄의 절반인 구리 배선이 집적회로에 사용되고 있다. 또 실리콘의 결정성에 변화를 주어 전자의 이동 속도를 개선한 기판이 90나노미터 트랜지스터에 쓰이고 있다. 비틀림을 첨가하기만 해도 전자의 이동 속도가 10~20퍼센트나 개선되는 것이다. 한편 회로 폭이 작아지면 게이트 산화막의 두께도 얇아진다. 게이트 산화막이 얇아지면 전류의 누락이 증가하므로 유전율이 높은 소재인 하프늄

(Hf) 등을 절연재로 사용하는 방법이 연구되고 있다. 이것은 2007년으로 예정된 45나노미터 이하의 집적회로 제조에 사용될 것으로 보인다.

5. 텔레비전

19세기 프랑스에서 미국에 들어온 호환 표준부품 기술은 무기에서 섬유 기계, 재봉틀, 자전거의 순으로 파급되어 마침내는 자동차산업으로 이행되었다. 싱거(Singer)와 콜트(Colt) 브랜드로 유명한 재봉기나 총기류의 대량 생산에서 얻어진 기계 설비를 이용한 대량 생산시스템은 포드사의 자동차 대량 생산을 낳았다. 포드의 대량 생산체계와 미국 내 대규모 유전의 발견에 따른 저가의 석유 공급으로 미국은 자동차산업의 주도권을 쥐었다. 포드가 개발한 어셈블리라인의 대량 생산 방식은 다른 분야의 제조업에도 급속히 퍼져나갔으며 제2차 세계대전 후에는 가전제품, 반도체, 섬유 등 거의 모든 제조산업으로 확산되었다. 결국 사치품이었던 자동차, 냉장고 등의 내구성 소비재가 누구나 사용하는 생활필수품이 되어버렸다.

1882년, 에디슨은 진공 유리관 속에서 양극과 음극을 떼어놓아도 온도가 조금 높아지면 전기가 허공을 가로질러 흐르는 현상이 보이는 것을 관찰했다. 에디슨 효과(Edison Effect)라고 이름 붙여진 이 현상을 전자의 흐름으로 밝혀낸 사람이 톰슨(Joseph J. Thomson)이며, 그 후 플레밍은 이를 이용한 정류기(Rectifier) 혹은 다이오드(Diode)를 개발해 첫 특허를 얻었다. 정류기란 교류전기를 직류로 바꾸어주는 기능을 하는 것으로 전자공업의 본격적인 시작은 이 다이오드로부터 비롯되었다. 19세기 후반 전파의 정체가 알려지면서 전파를 전류의 신호로 바꾸는 문제가 해결되었다. 1901년, 이탈리아의 굴리엘모 마르코니는 전파 신호를 대서양 너머

로 송신하고 수신하는 데 성공했다. 1906년, 미국 매사추세츠 주에서는 캐나다 물리학자 레지날드 페선던이 개발한 새로운 기술을 이용해 음악 두 곡과 짧은 연설을 수백 킬로미터 밖까지 송신했다. 1906년, 드포리스트(Lee DeForest)가 발명한 삼극관은 라디오 방송기술의 전환점이 되었다. 1910년, 미국 뉴욕에서는 드포리스트에 의해 메트로폴리탄 극장에서 열린 오페라가 처음으로 중계방송 됐으며, 1920년에는 미국의 웨스팅하우스사가 방송국을 설립하고 호출 부호 KDKA로 방송을 시작했다. 그 후 방송사업은 폭발적으로 팽창해서 1922년에는 이미 전 미국에 569개의 방송국이 운영되었고, 같은 해 영국에서도 BBC(British Broadcasting Corp.)가 개통되었다. 1930년대 중반에는 대부분의 미국 가정에 라디오가 있었다. 라디오는 수백 만 가정에 곧바로 정보를 전달할 수 있는 이점 때문에 곧 인쇄 매체보다 더 강력한 정치적, 문화적, 사회적, 경제적 매체로 등장했다. 국산 제1호 라디오는 1959년 금성사에서 생산한 A-101라디오였다. 이 라디오는 진공관을 사용하다 보니 오늘날의 미니 컴포넌트보다 크기가 더 컸으며, 가격도 고가일 수밖에 없었다. 그 후 전송기술의 발달에 따라 1966년에는 FM 겸용 라디오가, 1970년에는 FM 스테레오라디오가 차례로 선보이면서 우리나라의 전자산업은 크게 발전했다.

텔레비전의 첫 실험방송은 1931년 미국에서 있었다. 유럽의 여러 나라들도 몇 년 후 실험방송을 개시했는데, 프랑스와 독일은 1935년에, 영국은 1936년에 정기 방송을 개시했다. 그렇지만 텔레비전 프로그램 방송은 제2차 세계대전이 끝날 때

까지 아직 실험 단계에 머물러 있었고, 1940년대 말에 가서야 먼저 미국에서, 곧이어 유럽에서 발전하기 시작했다. 흑백텔레비전이 상업적으로 큰 성공을 거둔 후에 컬러텔레비전 방송을 위한 기술 개발이 시작되었다. 미국에서는 1950년에 컬러텔레비전의 상업 방송을 승인했고, 3년 뒤에는 최초의 컬러 프로그램이 방영되었다. 그다음 단계는 위성 텔레비전 방송이었다. 1962년 7월 10일, 최초의 통신위성인 텔스타 1호를 발사했다. 며칠 후, 전 세계적인 텔레비전 방송이 탄생했다. 텔스타 위성 덕분에 미국과 유럽 사이의 텔레비전 방송의 연결이 실현된 것이다. 그 후에도 크고 작은 개선이 많이 이루어졌다. 몇 가지 예로, 리모컨(원격 조종), 비디오카세트리코더(VCR), 디지털 비디오디스크 플레이어(DVD) 같은 것이 있다.

일반적으로 물질은 고체, 액체, 기체 상태 중 어떤 하나의 형태로 존재한다. 그리고 이 상태가 변화할 때, 예를 들면 고체가 액체로 바뀌거나 액체가 기체로 바뀔 때 주변에서 열을 빼앗는다. 또 반대로 기체가 액체로 바뀌거나 액체가 고체로 바뀔 때는 주변에 열을 방출한다. 에어컨은 이런 두 가지 원리를 이용한다. 냉방을 할 때는 실내 공기 중의 열을 실외기를 통해 밖으로 방출하고 난방을 할 때는 바깥 공기에서 열을 흡수하여 실내로 방출한다. 열을 흡수 · 방출하는 역할을 하는 것은 장치 내부의 냉매로 실제 에어컨에서는 실내기와 실외기 사이를 이 냉매가 순환하면서 상태나 압력의 변화에 따라 열을 흡수 · 방출한다. 현재 가전제품 매장에서 판매하고 있는 대부분의 에어컨은 '인버터 에어컨'이다. 인버터(Inverter; 직류전력을 교류전력으로 변환하는 장치)란 컴프레서의 회전수를 제어하는 회로다. 원래 컴프레서의 회전수는 공급되는 전류의 주파수(50~60헤르츠)에 비례한다. 그렇기 때문에 기존의 에어컨에서는 임의로 회전수를 바꿀 수 없었다. 인버터 에어컨

은 전류의 주파수 그 자체를 바꾸어 컴프레서의 회전수를 조절한다.

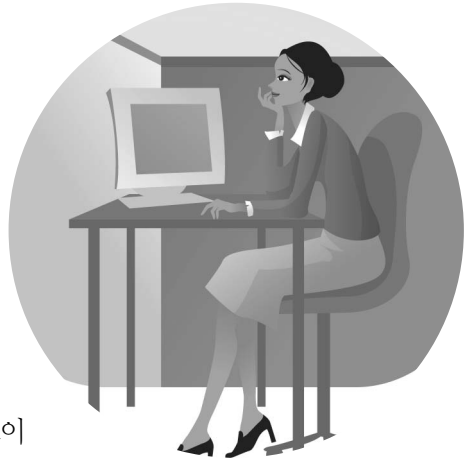
전자레인지에 내장된 마그네트론(Magnetron)이라는 장치는 원래 군사용 레이더의 발진기(교류전기를 일으키는 장치)로 쓰던 것이다. 1945년에 미국의 스펜서(Percy Spencer)는 이 마그네트론을 실험하던 중 호주머니 속에 넣어두었던 초콜릿이 녹아버린 것을 발견한다. 이후 그는 마그네트론으로 팝콘을 튀겨보고 달걀을 익히는 실험에 성공한 뒤 이 마이크로파(Microwave; 극초단파로서 파장의 범위가 1밀리미터부터 1미터 사이의 전파)로 요리가 가능함을 확인했다. 이로써 전자레인지의 개발이 가능해졌다. 1947년, 처음으로 전자레인지를 만들었는데 무게가 350킬로그램이고 높이가 170센티미터에 달하는 거대 장비였으며, 가격도 무려 5,000달러에 달했다. 그로부터 20년 후 가격은 500달러로 낮아졌고 무게도 10분의 1로 줄었다. 1975년에는 미국시장에서 처음으로 전자레인지 판매 수가 가스레인지를 넘었고, 이제는 세계 모든 가정의 필수품이 되었다. 전자레인지는 마그네트론으로 전파를 쪼여서 식품에 함유되어 있는 물 분자를 진동시켜 가열한다. 현재 세계에서 가장 많은 전자레인지를 생산하고 있는 나라는 한국이다.

가전산업은 음성 송신기술을 바탕으로 발전했다. 음성 송신기술이 소개되자 라디오 수신기와 부품 제조업체들이 등장했다. 1941년 RCA가 최초의 상업용 텔레비전 프로그램을 개시했으며 대전 후 개발된 텔레비전 모델 기술을 미국 기업들에게 이전함으로써 산업의 표준이 되었고 흑백텔레비전의 매출은 급증했다. 그 뒤 후속 제품인 컬러텔레비전이 상업화되었다. 이에 대한 준비는 1930년대부터 시작되었는데, RCA가 주요 경로를 창출했으며 1940년대 후반에는 필코, CBS, 제니스가 RCA의 경로를 따라왔다. 유럽에서는 제2차 세계대전으로 텔레풍켄의 학습 기반이 해체되자 필립스가 통합된 역량을 회복하여 RCA의 기술을

도입했다. 1950년대 컬러텔레비전 상업화의 마지막 단계에서 CBS, 필코, 제니스는 뒤쳐졌으며 RCA가 가장 두드러진 성과를 보였다. 1958년 RCA는 모든 미국 기업들에게는 이 기술을 공개해야만 했으나 외국 기업들은 여전히 기술 비용을 지불해야 했으므로 RCA는 국내보다는 외국 기업들과의 관계에 적극적이었다. 이는 일본과 유럽의 컬러텔레비전 부문을 발전시키는 계기가 되었다. 이러한 기술을 기반으로 일본의 소니는 RCA의 삼색 컬러 튜브를 대체할 만한 트리니트론 텔레비전을 상업화했다. 또 필립스는 마쓰시타에게 RCA의 텔레비전 기술을 이전했다. 이때까지 RCA, 필립스, 마쓰시타, 소니는 새로운 기술을 접목한 제품을 상업화할 역량을 키워나갔다. 컬러텔레비전 매출의 증가로 인해 활성화된 비디오카세트리코더 시장에서 마쓰시타는 일본의 몇몇 가전 및 컴퓨터 기업들과 연계하여 가전산업에서 VHS를 독보적인 위치에 올려놓았다. 이에 따라 소니와 필립스는 오디오 · 비디오 기술을 적극적으로 개발하여 1982년에 CD를 상업화했으며 이듬해에는 CD-ROM을 소개했다. 필립스는 그 후 소니와 함께 DVD를 개발했지만 CD 인터액티브 개발 실패로 가전산업을 접었다. 미국과 유럽의 기업들이 더 이상 가전제품을 생산하지 않자 중국과 동아시아의 기업들이 새로운 학습 기반을 구축할 수 있었다.

6. 컴퓨터

1936년, 영국의 앨런 튜링(Alan Turing)은 인간의 모든 추론의 기초가 되는 형식기계에 대한 개념을 발표했다. 튜링은 이러한 형식기계를 자동자(Automaton)라 불렀다. 튜링이 발표한 자동자 이론은 수효가 유한하고 완전하게 명시된 형식규칙에 의해 수행할 수 있는 계산은 무엇이든지 적합한 알고리즘(Algorithm)을 가진 기



계에 의해 수행될 수 있다는 것이었다. 기계적 절차를 명백히 기술해놓은 것을 알고리즘이라고 하는데, 오늘날 컴퓨터 프로그램이 대표적인 알고리즘이다. 디지털컴퓨터의 이론적 모델을 창안한 인물이 튜링이라면, 오늘날 사용되고 있는 디지털컴퓨터의 논리적 구조를 확립한 장본인은 헝가리의 노이만(John von Neumann)이다. 1942년 노이만은 컴퓨터 명령어를 숫자로 주기억 장치에 기억시켜 실행시키면 컴퓨터는 사람의 손을 빌리지 않고 순식간에 프로그램을 변경할 수 있다면서 프로그램 내장(Stored Program) 방식을 제안했다. 프로그램 내장 방식은 컴퓨터 명령어를 숫자의 형태로 기억시키는 방법이다. 노이만식 컴퓨터는 프로그램과 데이터를 모두 기억장치에 집어넣고 여기에서 프로그램과 데이터를 차례로 불러내 처리할 수 있다.

최초의 범용컴퓨터는 1946년에 만들어진 전자식 진공관 컴퓨터 에니악(ENIAC; Electronic Numerical Integrator And Calculator)이었다. 무게가 30톤이나 되었으며 길이 30미터에 높이가 3미터, 초당 5,000번의 덧셈과 500번의 곱셈이 가능했다. 사용된 진공관의 수만 1만 8,000개였으며 7만 개의 저항과 1만 개의 축전지, 500만 곳의 용접점이 있었다. 또 6,000여 개의 스위치, 17만 4,000와트의 전력을 소모했다. 에니악은 병기 시험장에서 탄도표 계산, 일기예보, 원자에너지 계산에 쓰였다. 각종 자료들을 컴퓨터용 소프트웨어의 원형이라 할 수 있는 천공테이프 프로그래밍 시스템(Punched-Tape Programming System)을 통해 기계에 입력했으며 평균 계산 시간을 20시간에서 30초로 줄일 수 있었다. 1949년, 윌키스(Maurice

Wilkes)가 최초의 프로그램 내장 방식을 택한 에드삭(EDSAC; Electronic Delay Storage Automatic Calculator)을 가동했다. 1951년, 노이만은 직접 프로그램 내장 방식을 이용하여 에드박(EDVAC; Electronic Discrete Variable Computer)을 개발했다. 또 모클리(John W. Mauchly)와 에커드(Presper Eckert Jr.)는 유니박-I(UNIVAC-I; Universal Automatic Computer)이라는 최초의 자료 처리용 컴퓨터를 내놓았다. 유니박-I은 자기테이프 기록장치를 부착하여 수백만 장을 필요로 했던 천공카드를 대체했다. 또한 자기드럼을 이용하여 내부기억장치로 이용했다. 이 유니박 컴퓨터는 5,000개의 진공관을 사용한 메인프레임(Mainframe)이었다. 이렇게 초창기의 컴퓨터는 방 한 칸을 차지할 만큼 본체가 컸기 때문에 메인프레임이라 불렸다. 이를 계기로 사무실에 근무하는 지식 노동자들의 생산성을 높이기 위해 기업체마다 커다란 메인프레임을 설치한 전산실을 꾸미고 업무전산화 작업에 나섰다. 먼저 급여 계산이나 재고관리 등 사무직 업무를 기계가 하는 전산처리시스템(EDPS)을 갖춘 뒤에 경영관리직의 계획 수립에 필요한 데이터를 제공하는 경영정보시스템(MIS)을 구축했다. 이런 기업전산화 추세는 사회의 모든 부분에 확산되어 정보혁명에 불을 당겼다.

1950년, 미국 공군은 비행 중에 얻어지는 수많은 정보를 그 순간에 바로 분석할 수 있는 빠른 컴퓨터의 개발을 위해 MIT 대학에 엄청난 투자를 했는데, 그 프로젝트의 이름은 회오리바람(Whirlwind)이었다. 1953년, 미국 IBM사가 회오리바람 기술을 이용해 처음으로 일반 개인회사를 위해 제작한 컴퓨터는 1960년까지 미국 내에서 5,000대 그리고 전 세계에 2,000대를 판매했다. 위의 에드박, 에드삭, 유니박-I, IBM701, IBM650의 회로소자인 이극진공관(Vacuum Diode)은 시간에 따라 방향이 바뀌는 교류를 한 방향으로만 흐르는 직류로 바꾸는 정류작용을 하는 부품이다. 이것은 1904년 영국의 플레밍에 의해 발견되어 정보의 교환에서

스위치 역할을 했다. 진공관을 이용하여 신호를 제어했으므로 부피가 컸고 처리 속도가 느렸다.

1947년, 미국의 벨연구소에서 트랜지스터가 발명되었다. 이것을 바탕으로 전자회로가 진공관에서 트랜지스터로 이루어졌다. 이것은 진공관에 비해 크기가 200분의 1에 불과하고 속도가 빠를 뿐만 아니라 전력의 소비량이 크게 줄었다. 다이오드나 트랜지스터에 흐르는 전류는 전압의 방향 또는 베이스에 흐르는 전류의 크기에 따라 불연속적으로 변한다. 1954년, 벨연구소에서는 800여 개의 트랜지스터를 사용하여 크기가 작고 전력 소모가 적으며 작동 속도가 빠른 유니박-II 컴퓨터를 만들었으며, 1960년에는 트랜지스터만 사용한 컴퓨터인 IBM7070, IBM7090 시스템을 발표했다. 이들 컴퓨터는 작고 값싸고 효율성이 높으면서 계산 능력도 뛰어났다. 이들 컴퓨터는 자기코어의 사용으로 신속한 명령과 데이터의 기록 · 검색이 가능하여 실시간 모의 비행 실험을 할 수 있었다. 또한 자기테이프와 디스크 같은 외부저장장치를 새로이 보강했다. 출력 정보들이 테이프 표면에 자기화한 상태로 기록되었다. 음반 형태의 자기디스크도 비행기의 예약 관리와 같은 실시간 프로그램에 유용했다. 상업용 컴퓨터의 수요가 크게 늘어나면서부터 미국에 스물여섯 군데, 영국에 일곱 군데, 독일에 세 군데, 네덜란드에 두 군데, 그리고 프랑스와 이탈리아에 각각 한 군데씩 컴퓨터 생산 공장이 들어섰다.

달 탐사 계획이 착수되면서 집적회로(IC: Integrated Circuit)를 개발하기 시작했다. 1964년, IBM은 컴퓨터시스템의 회로를 구성하는 요소들을 기판 위에 구성하지 않고 작은 칩 속에 내장시킨 IBM 시스템 360을 발표했다. 이후 컴퓨터는 더 작은 칩 속에 다양한 기능을 넣을 수 있었다. IBM의 시스템 360과 DEC의 PDP-9가

전면적으로 생산에 들어가자, 관련된 중소기업들이 생기면서 연계 산업이 활성화되었다. 연계 기업들은 IBM에 대한 미국 정부의 독점금지 조치에 힘입어 다양한 부품과 하드웨어 및 패키지 소프트웨어를 생산할 수 있었다. 3만 3,000대를 판매하여 히트 상품이 된 IBM S/360 시리즈는 동일한 프로그램을 실행하고 같은 입출력장치와 저장장치를 사용하도록 제작된 여섯 대의 컴퓨터로 구성되었다. 각 컴퓨터는 고기능 컴퓨터로 호환성을 갖고 있어서 응용 소프트웨어를 완전히 바꿀 필요 없이 업그레이드가 가능했다. 360시스템이 나오기 전까지는 한 컴퓨터에서 다른 컴퓨터로 전환하려면 거의 대부분의 프로그램을 다시 해야 했으므로 이를 위한 운용원들의 재교육이 큰 골칫거리였다. 이들 컴퓨터의 개발로 항공기나 기차 좌석 예약시스템, 은행 예금업무의 온라인 처리가 가능하게 되었다. 운영체계의 효율성에 의해서 한 대의 컴퓨터를 여러 사람이 동시에 이용할 수 있는 시분할 처리(Time Sharing System)와 통신회선을 이용한 온라인 실시간 처리가 가능해졌다. 화상 표시장치, 광 문자판독기(Ptical Character Reader), 광 마크판독기(Optical Mark Reader), 자기잉크 문자판독기(Magnetic Ink Character Reader)와 같은 입출력장치가 실용화되었다. 이 시기에 발달된 운영체계를 갖추어 다중프로그래밍 방식과 통신회선을 이용한 실시간 처리(Real Time Processing) 기술이 광범위하게 보급되어 일종의 종합정보시스템이 추진되었다.

7. 통신

전기를 통신에 이용한 것은 전신에서부터 시작되었다. 미국의 모스(Samuel F. B.

Morse)는 1837년 실제로 사용할 수 있는 전신기와 함께 모스부호를 개발했다. 1844년부터 새로 건설되는 철도를 따라 전신망이 런던에서 다른 대도시들로 연결되어갔다. 이 전신시스템은 처음에는 기차의 운행 시각을 통제하는 데 사용되다가 점차 언론과 기업으로 적용 범위를 확장했다. 모스 전신기에는 작은 레버, 즉 '누름 단추'가 있어서 이를 통해 전류를 끊고 이을 수 있었다. 전신기에 연결된 맞은편 끝에도 비슷한 레버가 있어 같은 리듬으로 오르락내리락했다. 베일(Alfred Vail)은 짧고 긴 전류 신호로 알파벳을 표현할 수 있는 독자적인 부호를 고안해냈다. 짧은 신호는 멀리 떨어진 상대편 앞의 레버에 의해 긴 종이 띠 위에 점으로 표시되고, 긴 신호는 선으로 표시되었다. 전신기는 정보를 멀리 그리고 아주 빠르게 전달할 수 있었다. 전신 케이블은 1866년에 처음으로 대서양 해저에 부설되었고, 몇 분의 1초 만에 모스부호로 된 소식이 영국과 미국 사이를 뛰어넘어 전달되었다. 또 도버해협에 깔린 케이블을 통해 전신부호가 영국에서 프랑스로 전달되어 그곳에서 다시 전 유럽으로 전파되었다. 19세기 말엽에 전신은 유럽과 유럽의 식민지 국가들을 연결하면서 전 세계를 거미줄처럼 덮고 있었다.

전파는 어떤 장소에서 발생한 전류의 변화가 그 주위에 전기장과 자기장의 변화를 차례로 일으키면서 주위로 퍼져나간다. 전파는 빛과 마찬가지로 1초에 30만 킬로미터의 빠른 속도로 진행하며, 소리와는 달리 중간에 매개체가 필요 없어 우주 공간으로도 보낼 수 있다. 1896년, 이탈리아의 마르코니는 무선전신을 발명했다. 마르코니는 수직안테나를 사용해 신호의 통달 범위를 넓힐 수 있음을 보여주고, 1895년에는 범위를 사방 2.4킬로미터까지 늘려 새로운 통신 가능성을 열어주었다. 맥스웰이 전파를 예언했다면 헤르츠는 실험으로 증명했고, 마르코니는 안테나와 동조기를 무선통신에 이용하여 전파통신의 황금시대를 열어놓았

다. 마르코니가 무선전신을 발명함으로써 전신사업은 더욱 발전했다. 1899년에는 영국과 프랑스 사이의 도버해협을 건너는 130킬로미터의 거리를 무선으로 통신할 수 있게 되었고 1907년에는 처음으로 유럽과 미국 사이의 대서양을 이어주는 무선통신을 상업화했다. 또 1900년경에는 수많은 아마추어 무선통신 집단이 출현했고, 그들은 수신기의 성능과 안테나의 특성을 개량하는 데 크게 기여했다.

1954년, AT&T의 연구소에서 일하던 존 피어스(John. R. Pierce)는 대륙을 해저케이블로 연결하는 것보다 위성이 훨씬 경제적일 수 있다는 사실에 주목했다. NASA의 협조를 받은 AT&T는 통신위성의 초기 실험으로, 1960년과 1964년에 거대한 풍선을 저궤도로 발사했다. 이것은 1950년대 미 육군이 실시한 달을 이용한 전파 반사 실험을 흉내 낸 것으로, 자연의 달을 인공의 달로 교체한 셈이었다. 우주 공간에서 휘발성 물질에 의해 30~40미터까지 팽창하는 이 풍선위성은 알루미늄으로 코팅되어 있어 훌륭하게 전파를 반사했다. 1962년, AT&T는 최초의 민간 소유의 위성인 텔스타 1호를 발사했다. 텔스타 1호는 미국, 영국, 프랑스와 텔레비전 영상을 교환하는 데 성공했다. 그런데 저궤도의 위성의 짧은 통신시간과 고비용의 추적장치가 문제가 되자 자연히 언제나 통신이 가능한 정지궤도가 부각되었다. 1963년, 휴즈 항공사가 신콤 1호를 최초로 정지궤도를 향해 발사했으나 실패하고, 곧이어 발사한 신콤 2호가 부분적인 성공을 이뤘다. 그리고 1964년, 신콤 3호가 태평양 상공 정지궤도에 안착하여 동경올림픽을 중계하는 등 위성의 놀라운 위력을 보여주었다.

텔스타, 릴레이, 신콤을 실험하는 동안 영국, 독일, 프랑스, 이탈리아, 브라질, 일본에서 위성지구국을 운영했으며, 1964년 8월에 세계적인 규모의 상업 위성망인 인텔샛(INTELSAT)을 설립했다. 1965년 4월 대서양의 정지궤도에 발사된 인

텔샛 1호 위성인 얼리버드를 시작으로 1967년엔 태평양 상공, 1969년엔 인도양 상공에 인텔샛 위성이 자리 잡았다. 이 덕분에 그해 7월의 아폴로 11호 달 탐사과정이 위성으로 전 세계인에게 생중계되었다. 통신위성은 점점 더 대형화하는 추세이며 최근에는 정지궤도보다 다시 저궤도에 관심이 쏠리고 있다. 정지궤도를 이용하면 전파가 왕복하는 데 0.24초나 걸리는 데다 원거리로 전파를 주고받기 위해선 개인 휴대용 통신장비의 크기를 줄이는 데도 한계가 있기 때문에, 정지궤도보다 저궤도에 관심이 모이는 것이다. 물론 저궤도를 이용해 지구 전체에 서비스를 하려면 위성의 수는 세 대가 아닌 수십 대가 필요하다. 대표적인 저궤도 위성 이동통신 서비스는 이리듐에 66대, 글로벌 스타에 51대의 위성이 동원되고 있다.

1970년, 미국 육군의 지원을 받은 코닝글라스(Corning Glass)사의 연구팀들은 그때까지 쓰고 있던 구리선보다 무려 6만 5,000배의 정보를 한 번에 실어 보낼 수 있는 광섬유 개발에 성공했다. 광섬유는 유리로 만들며 빛은 이 섬유관의 내부에서 반사되면서 한 끝에서 또 다른 끝으로 이동한다. 이 섬유관의 내심부는 외심부보다 굴절률이 큰 물질로 만들어져서 빛은 계속 내부로 반사되어 밖으로 빠져나오지 못한 채 관을 따라 빛의 속도로 전진하게 된다. 1977년에는 처음으로 미국 시카고에서 광케이블을 이용한 전화가 개통했다. 광섬유는 외부의 전자파 간섭이나 혼신(混信)이 없고, 작고 가벼운 데다 굴곡에도 강하며, 하나의 광섬유에 많은 통신회선을 수용할 수 있다. 더구나 재료인 유리 원료는 대단히 풍부한 장점을 지니고 있

다. 1990년대 이후부터는 광통신, 특히 파장다중화방식(WDM; Wavelength Division Multiplexing)이 도입되었다. 파장다중화방식이란 파장별로 다른 신호를 실은 여러 파장의 빛을 한꺼번에 광섬유를 통하여 전류하는 방식을 말하며, 이에 따라 데이터 전송 속도는 사용하는 파장의 수에 비례하여 증가한다. 전 세계에 부설되어 있는 광섬유의 길이는 1995년에 1억 킬로미터를 넘어섰고, 2002년에는 5억 킬로미터로 이는 지구를 1만 2,500번이나 도는 거리이다. 오늘날 컴퓨터를 통해 엄청난 양의 동영상 정보를 주고받을 수 있는 것은 모두 광섬유 덕이다. 광케이블은 대개 수천 킬로미터 정도면 충분히 다른 나라와 연결할 수 있어 인공위성보다 훨씬 빠른 속도로 세계를 하나로 이어줄 수도 있다.

8. 인공위성

1957년, 소련은 망원경으로 관찰하거나 전파 신호를 들을 수 있는 무게 83.5 킬로그램의 스푸트니크 위성을 지구궤도까지 쏘아 올렸다. 이어서 1959년에 인공위성 루나 3호를 쏘아 달의 뒷면을 촬영했고, 1960년에는 최초의 우주인 유리 가가린(Yurii A. Gagarin)이 탄생했다. 이런 성과는 당시 미국에 심각한 충격을 주었다. 미국은 미 항공우주국(NASA)을 만들어 9년간 250억 달러의 예산과 함께 폰 브라운(Wernher von Braun) 등을 동원하여 유인 달 탐사 계획인 '아폴로 계획'을 추진했다. 그 결과 1969년 드디어 아폴로 11호 우주선이 달 표면에 착륙하여 우주비행사 닐 암스트롱(Neil A. Armstrong)이 첫발을 내딛었다. 1981년에는 최초의 우주왕복선인 컬럼비아호를 발사하고 우주 공간에서 우주인들이 각종 과학 실험을 할 수 있었다.

한편 그사이 미국은 첫 번째 위성인 익스플로러 1호를 1958년에 발사했고 계

속해서 정찰(사진 촬영) 목적의 위성들을 쏘아 올렸다. 초기의 정찰위성들은 영상 정보를 필름으로 찍어 캡슐에 넣은 다음 대기권으로 떨어뜨려 회수했다. 초기의 카메라 해상도는 약 15미터였고 후에는 1.5미터의 해상도와 파노라마를 구현했다. 또 코로나 KH-11 위성부터는 CCD를 이용한 전자광학카메라가 동원되어 해상도는 15센티미터에 이르렀다. 라크로스(Lacrosse)는 1988년 2월에 우주왕복선 아틀란티스호에 의해 발사되었는데, 일정 지역에 전파를 쏘아 그 반사파를 읽어내는 합성개구레이더(SAR)를 사용해 구름이나 어둠 속에서도 영상을 얻을 수 있었다.

이러한 위성을 지구 주위 궤도로 나르는 운반체인 로켓기술은 액체로켓, 고체 부스터로켓, 다단로켓, 자세제어용 초소형 미세로켓(인공위성의 임무 수행을 위해 위성의 미세한 움직임을 조절하는 소형 분사추진로켓) 등으로 화려하게 꽃피웠으며, 미국의 대표적인 타이탄로켓은 초기 발사 중량이 1,000톤이 넘는 거대한 추력을 지닌 고체다단로켓이었다. 이러한 로켓기술은 소련의 붕괴 이후 군사적 우주기술의 민간적 응용으로 발전해 오늘날 수백 개의 초대형 통신위성, 방송위성, 기상위성 등을 발사하는 데 이용되고 있다.

전파를 일정한 방향으로 보내려고 할 때 자주 이용되는 것이 파라보라 안테나로 송신만이 아니라 수신에도 사용한다. 접시 모양의 곡면에 전파를 반사시켜 발신하면 전파는 일정 방향으로만 강하게 발신되고 멀리 떨어진 수신자 쪽은 이 전파를 다시 이와 같은 곡면에 반사시켜 한 점으로 집중하여 보다 강한 전파를 얻을 수 있다. 그리하여 파라보라 안테나를 설치하여 중계하기만 하면 멀리 떨어진

곳과 쉽게 통신할 수 있다. 주파수가 낮으면 물건에 부딪쳐 반사되기 쉬우므로 위의 통신에는 300메가헤르츠 이상의 아주 높은 주파수대의 마이크로파가 사용된다. 주파수가 높으면 직진성이 강하여 전리층에 닿아도 반사되지 않고 그것을 뚫고 우주 공간에 이른다. 이 말은 인공위성을 사용하여 새어 나온 전파를 우주에서 감청할 수도 있다는 뜻이다. 현재 미국은 마이크로파 통신 감청용 군사위성을 최소한 세 기를 정지궤도상에 띄워놓고 있다. 정지궤도란 지상 약 3만 6,000킬로미터에서 지구를 둘러싼 원주를 말한다. 이 위치로 인공위성을 쏘아 올리면 지구의 자전주기와 같은 주기로 지구를 일주하므로 지상에서 보면 항상 정지한 위치에 있는 위성궤도이다. 세 기를 띄어놓은 이유는 정지궤도상에 균등하게 세 기의 위성을 보내면 지구를 전파로 전부 덮을 수 있기 때문이다. 위성이 하늘에서 전파를 쏘는 경우 파라보라 안테나를 위성으로 향하게 하면 누구라도 이를 감청할 수 있다.

미국은 위성에서 무선 신호를 발사하는 새로운 항법유도장치(GPS)를 개발하기 위해 1989년부터 1994년까지 여섯 개의 궤도면에 스물네 기의 위성을 발사하여 위성네트워크를 완료했다. 이 GPS 위성은 사용자가 최소한 네 기의 위성으로부터 신호를 수신할 수 있도록 배치되었다. 오늘날 거의 모든 비행기에는 이 GPS를 이용한 항법장치가 설치되어 있으며 차량항법장치(CNS; Car Navigation System)도 활발하게 이용되고 있다. 공항에 진입, 착륙 시의 유도시스템으로서 항공관제 분야의 GPS도 있다. GPS는 재난 구조와 대형 국토 개발에도 이용되고 지진이나 대륙 이동의 결과를 정확하게 확인하는 데도 이용되고 있다. 우리는 날마다 위성통신을 이용하여 전 세계와 통화하고, 위성방송으로 중계되는 전 세계의 텔레비전을 시청하고 있다. 또한 기상위성을 이용하여 현재의 기상 상태는 물론 향상된 일기예보 능력으로 커다란 기상 재난을 예방할 수 있다. 개인 휴대전

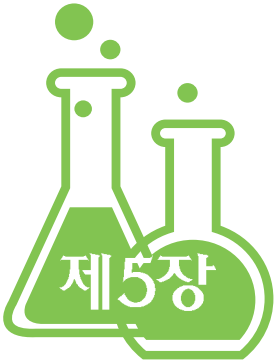
화를 이용해서도 자기의 위치를 쉽게 알 수 있다.

위성 서비스는 수십 년에 걸쳐 발전했다. 1960년, 타이로스(원거리 화상 촬영 및 적외선 관측 위성) 1호는 2만 2,952건의 지구 기상 사진을 찍어서 지구의 기상학자들이 분석할 수 있도록 전송했다. 1962년의 텔스타는 텔레비전 프로그램을 해외로 전송한 최초의 통신위성이다. 1971년에는 인텔샛 4호가 국제통신기구인 인텔샛(Intelsat) 회원국을 위해 전화나 텔레비전 프로그램을 중계하기 시작했는데, 1974년 실용기술위성(ATS)이 등장하면서 텔레비전은 독립적인 서비스 분야로 분리되었다. 1976년, 지질학자들은 위성으로 강한 레이저 광선을 쏘아 지각 판의 운동을 분석하기 시작했다. 1982년, 위성 랜드샛은 농경, 지질학, 수심 측량, 토지 이용 등에 활용할 지구 표면의 사진을 보내오기 시작했다.

1 자유라디칼
2 전자
3 레이저
4 유전공학
5 동물 복제
6 발효산업
7 대체의학
8 퍼스널 컴퓨터
9 인터넷
10 복잡성과학

제 5 장

원자력과 소립자



원자력과 소립자

19세기 말, 흑체의 복사, 광전 효과, 원자의 스펙트럼 등을 관측했는데, 이러한 현상들은 기존의 이론으로는 설명되지 않았다. 그리하여 플랑크(Max K. E. L. Planck)의 양자가설, 아인슈타인의 광양자설, 보어의 원자론, 드브로이의 물질파 등이 제안되어 이러한 미시 현상들을 설명했으나, 이들은 모두 기존의 이론체계들과는 모순을 빚는 것들이어서 엄청난 학문적 혼란을 야기했다. 이러한 가운데 슈뢰딩거(Erwin Schrodinger)와 하이젠베르크(Werner K. Heisenberg)를 비롯한 일군의 물리학자들은 체계적인 새 이론을 모색했고, 그 결과로 얻어진 것이 양자역학(Quantum Mechanics)으로, 양자역학은 대상에 대해 관측 가능한 물리량의 예측에서 기존의 결정론적 이론 구도에서 벗어나 확률론적 이론 구도를 채택한다는 특징을 지닌다. 어느 대상의 물리적 상태는 관측값 자체가 아니라, 이로부터 유추해내는 '상태함수'가 된다. 이 경우 대상의 위치와 운동량을 동시에 정확하게 예측하는 것에 일정한 이론적 한계가 주어지는데, 이러한 한계성은 플랑크(Planck) 상수 h(6.625x10-34 J · sec)라는 매우 작은 값으로 주어지기 때문에 우리의 일상에는 별 영향을 미치지 못하나, 원자 등 미시세계에서는 그 효과가 크게 나타난다.

양자이론은 소립자, 원자 등에서 나타나는 현상을 성공적으로 설명할 뿐만 아니라 어느 조건에서 기존의 이론을 재생시키는, 즉 고전역학을 포함하는 더욱 일반화된 이론으로 정착되고 있다. 또한 양자이론의 등장으로 물질의 기본 구조가 인자 수준에서 밝혀졌고, 이러한 성과는 물리학뿐만 아니라 화학, 전자공학 등의 발전에 큰 영향을 주고 있다. (양자역학을 도입한 전자현미경이 발명되면서 더 작은 영역까지 관찰할 수 있으며, '터널링 효과'를 이용하여 물질 표면의 원자 분포까지도 관찰할 수 있다.)

1. 자유라디칼

방사선을 쐬면 물이 수소와 산소로 분해된다. 물에서 산소 기체를 만들려면 두 개의 산소원자에서 전자 네 개가 떨어져 나와야 한다. 반대로 호흡처럼 산소에서 물을 만들려면 전자 네 개를 더해야 한다. 전자는 한 번에 한 개씩만 더해지거나 떨어진다. 그래서 중간물질로 히드록실라디칼($\cdot OH$), 과산화수소(H_2O_2), 과산화라디칼(O_2^-)이 차례로 생긴다. 생물 손상의 90퍼센트 이상이 이 중간물질들 때문에 일어나고 있다. 그 첫 단계는 다음과 같다.

$$H_2O \rightarrow H^+ + e^- + \cdot OH$$

여기서 H^+는 양성자(전자 하나를 잃은 수소원자), e^-는 분리된 전자, $\cdot OH$는 히드록실라디칼(Hydroxyl Radical)이라는 자유라디칼이다. 히드록실라디칼은 수십억 분의 1초 내에 모든 생물 분자들과 반응하며 연쇄반응을 시작해 손상을 퍼뜨린다. 히드록실라디칼은 모든 단백질, 지질, DNA를 마구잡이로 공격하여 자유라디칼 연쇄반응을 일으킴으로써 손상이 넓은 곳으로 퍼진다. 방사선이 물에서 전자 하나를 더 떼어내면 이번에는 중간물질로 과산화수소(H_2O_2)가 생긴다. 과산화수소는 화학적으로 산소와 물 사이의 딱 중간 단계에 있기 때문에 이 분자는 특성이 나뉘어져 있다. 즉, 상대 물질에 따라 양쪽으로 전자를 잃든 얻든 반응할 수 있다.

$$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$$

하지만 물에 녹는 철(Fe^{2+})이 있을 경우 과산화수소는 유독한 히드록라디칼을 만드는 펜톤반응(Fenton reaction)을 한다. 그래서 헤모글로빈 같은 철이 들어 있는 단백질이 과산화수소를 만나면 금새 망가져버린다.

$$H_2O_2 + Fe_2 + \rightarrow OH^- + \cdot OH + Fe^{3+}$$

세 번째 중간물질인 과산화라디칼(O_2^-)은 반응성이 그다지 높지는 않다. 하지만

산화질소 같은 다른 라디칼과는 맹렬하게 반응하여 세포에 손상을 입힌다. 과산화라디칼은 산소와 전자 하나 차이이기 때문에 전자 한 개를 내놓고 산소가 되려 한다. 몸속에 저장된 철(Fe^{3+})은 남는 전자를 내다버리기 좋은 곳이다. 그러면 철은 펜톤반응에 들어갈 수 있는 수용성 형태로 다시 돌아간다. 그렇기 때문에 자유라디칼은 짝을 이루지 않은 전자를 가지고 연쇄반응을 일으킨다.

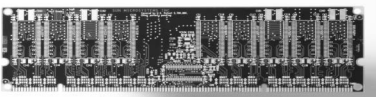
$$O_2^- + Fe^{3+} \rightarrow O_2 + Fe^{2+}$$

비타민C는 어떤 물질이 산화되는 것(전자를 빼앗기는 것)을 막아주는 전자공여체로 우리 몸에 이용되고 있다. 비타민C는 수용성이라 막으로 둘러싸인 한정된 공간에 농축될 수 있으며 반응 산물이 매우 안정적이다. 비타민C는 전자를 내주고 아스코르빌 자유라디칼이 된다. 아스코르빌라디칼은 전자의 위치 이동(공명) 덕분에 구조가 안정적이다. 그러나 반응이 느리기는 하지만 보통 전자 하나를 더 내주고 불안정한 디하이드로 아스코르브산이 되어 저절로 파괴된다. 따라서 자유라디칼 연쇄반응이 끝나려면 우선 자유라디칼 두 개가 서로 반응해 쌍을 이루지 못한 전자들끼리 결합하거나 비타민C나 비타민E 같은 잘 알려진 항산화제처럼 새로 생겨난 자유라디칼의 반응성이 너무 약해야 한다.

자유라디칼은 주로 산소분자가 끼어 있는 반응에서 생기며 자유라디칼의 양이 많아질수록 산화성 스트레스가 쌓인다. 전염병, 방사선피폭, 염증 등 대다수의 생리적 스트레스는 산화성 스트레스의 증가를 불러온다. 그러나 산화성 스트레스가 없다면 우리는 병원체에 대항해 유전자 방어를 할 수 없다. 복잡한 우리 인간의 면역반응도 모두 산화성 스트레스에 의존하고 있다. 면역체계는 우리 몸의 세포를 해치는 자유라디칼을 이용해 침입자를 공격한다. 생체 나이는 우리가 산소를, 특히 산화성 스트레스를 어떻게 처리하느냐에 따라 달라진다. 전사인자

(Transcription Factor)는 특정 유전자의 전사를 지시하는 조절 단백질이다. 나이가 들면서 미토콘드리아 호흡도 산화성 스트레스의 증가를 가져오며 산화성 스트레스는 NFκB 같은 전사인자와 똑같은 유전자를 활성화시킨다. 미토콘드리아 호흡은 세포와 신체 기관을 조금씩 손상시켜 인간의 최대 수명에 115~120세라는 상한선을 긋는다. 노화와 노화관련 질병은 미토콘드리아 자유라디칼의 누출, 산화성 스트레스, 만성적인 염증이 합쳐져 일어나는 퇴행성 과정이다.

2. 전자



1897년 톰슨(Joseph J. Thomson)이 진공관을 통과하는 전류가 음극선 입자임을 입증했다. 음극선은 음전하를 띤 전자로 수소원자보다 거의 2,000배나 작은 입자들의 흐름이었다. 1902년에는 러더퍼드(Ernest Rutherford)가 α선의 실체를 밝혔다. 또 1911년에는 α선 산란 실험에 관한 연구를 통해 원자 안에는 '핵'이 있으며 핵 주위에 음전하의 전자가 매우 얇은 전자구름을 이루고 있다고 결론지었다. 물질은 분자로, 분자는 화학결합으로 연결된 원자로 이루어졌는데 원자 속에는 마이너스 전기를 띤 입자(Electron; 전자)가 있음이 알려졌다. 즉, 원자는 전자 등 더욱 작은 요소로 나눌 수 있었다. 원자의 중심에는 양전기를 가진 무거운 핵(핵자)이 있고 그 주위를 전자가 돌고 있었다. 원자의 화학적 성질은 핵 주위의 전자의 상태에 달려 있었다. 그러나 물질 내부에 있는 전자는 원자에 구속되어 있지만 열을 받거나 외부에서 충분한 에너지의 광자 또는 다른 입자들이 입사되면 원자 밖으로 떨어져 나와 자유전자가 된다. 이들 자유전자들이 전기장에 의해 한 방향으로 움직이면 비로소 전류가 흐른다.

이후 러더포드의 제자인 보어(Niels Bohr)는 플랑크의 양자가설을 도입하여 전자들이 태양을 도는 행성처럼 단단한 핵 주위를 도는 원자모형을 제안했다. 보어는 전자는 핵에서 일정한 거리만큼 떨어진 특정한 궤도에 존재하며, 전자가 원자핵에 더 가까운 궤도로 이동할 때 광양자가 일정한 에너지를 흡수하거나 방출한다는 가설에 기초해 자신의 주장을 펼쳤다. 보어는 "두 궤도 위에서 생기는 전자의 에너지 차이가 빛으로 방출되는데, 이 빛의 진동수는 전자의 에너지 차이를 플랑크상수로 나눈 것이다"라고 주장했다. 이는 원자구조를 확립한 것뿐만 아니라 스펙트럼의 규칙성도 설명한 것이다. 이어서 보어는 원자구조와 원자가 갖는 전자의 수인 원자번호를 조사해나갔다. 제일 에너지가 낮은 상태에서는 두 개의 전자가 수용되지만 두 번째로 낮은 상태에서는 여덟 개의 전자가 수용되었다. 두 개로 만원이 되어야 할 궤도에 왜 여덟 개가 들어갈까? 실은 이 상태에는 네 개의 궤도가 있었다. 하나는 원형(2s궤도)이고, 다른 셋은 타원궤도(2px, 2py, 2pz 궤도)였다. 이들 궤도에 전자로 만원이 된 것이 10번 원소인 네온이었으며 이보다 원자번호가 작은 탄소, 질소, 산소 등은 궤도의 일부가 비어 있었다.

1922년, 콤프턴(Arthur H. Compton)은 에너지값이 큰 X선, 다른 말로하면 파장이 짧은 X선을 전자에 쪼이면 전자가 튕겨 나오는 현상이 일어나는 것을 관찰했다. 그것은 아인슈타인의 견해대로 X선이 에너지덩어리라고 생각하면 설명 가능한 현상이었다. 1924년, 독일에서는 하이젠베르크가 전자가 갖는 다양한 에너지 상태를 하나하나의 요소와 대응시켜 생각하는 행렬역학을 창시했다. 1926년에는 오스트리아의 슈뢰딩거가 전자는 파동이라면서 전자파에 관한 파동방정식을 만

들고 하이젠베르크의 행렬역학도 자신의 파동역학과 1대 1 대응하고 있음을 밝혔다. 이렇게 양자역학은 원자 안의 전자의 운동을 해석하는 역학으로서 시작되었다. 1928년, 디랙(Paul A. M. Dirac)은 전자에 대해 하나가 아니라 네 개의 서로 다른 파동함수를 내놓았다. 이 중 둘은 두 개의 스핀(Spin) 방향에 대응하는 것이고, 나머지 둘은 전자와 반대되는 전하를 가진 반입자에 대응하는 것이라고 주장했다.

전자는 점과 같은 입자로 더 작은 입자로 나눌 수 없으며 그 크기는 반지름이 10~20센티미터보다 작다. 그러나 전자는 원자 속에서 핵 주위를 공전하는데 회전속도를 마음대로 조절해 다른 궤도로 진입하지 못한다. 다시 말해 불연속적이고 배타적인 구조를 갖는다. 원자의 세계에서 이 누적된 구조는 허용된 에너지띠를 만들고 있다. 전자는 한 장소에서 다른 장소로 그 중간을 거치지도 않고 이동하며 동시에 두 장소에 같이 존재하기도 한다. 또한 전자는 자전하고 있다. 자전도 원운동이므로 자전에도 이에 따르는 각 운동량이 있게 마련이다. 그런데 전자는 수직한 축을 중심으로 좌로 돌거나 우로 도는 방법밖에 없으며 운동량도 같은 값만을 가져야 한다. 스핀은 자전의 성질을 말하는 것으로 이 세상의 모든 것을 서로 엉키고 뭉치게 해 물질로 만드는 힘의 역할을 했다. 이렇게 전자는 전하, 질량, 스핀, 자기모멘트 등의 고유한 성질을 가지고 있으며 광자를 방출하고 또 흡수한다. 전자 가까이에는 전기장이라고 하는 광자의 모습이 있다. 즉, 전자의 주위를 광자가 에워싸고 있어 장을 형성하고 있다.

전자는 쿼크와 함께 물질을 이루는 가장 작은 기본 입자이며 스핀이 2분의 1인(반정수) 페르미온(Fermion)이다. 자연계의 물질을 이루는 양성자나 중성자, 쿼크 입자들은 모두 페르미온이다. 쿼크는 전자 전하의 3분의 1 또는 3분의 2를 가지고 있으나 전자와는 달리 홀로 있지 못하고 양성자나 중성자 내부에서 탈출할 수도

없다. 이와 달리 스핀이 정수(0, 1, 2…)인 입자들은 보존(Bozon)이라고 한다. 보존들은 힘을 매개하는 광자와 같은 입자들이다. 때로는 스핀이 2분의 1인 페르미온 입자들이 두 개 또는 그 이상이 모여서 스핀이 정수인 보존이 되기도 한다. 예를 들어 낮은 온도에서 일어나는 초전도현상은 전자 두 개가 하나의 쌍을 이루어 보존처럼 행동할 때 일어나는 현상이다.

현재 기술 수준의 가속기에서는 전자는 그 내부 구조가 없는 것처럼 행동하므로 상대적으로 가속시키기가 쉬워 그동안 많은 전자가속기들을 통해 쿼크의 존재를 확인하고 타우입자를 발견하는 등 매우 중요한 실험들이 이루어졌다. 앞으로 거대한 차세대 전자선형가속기가 만들어진다면 질량의 본질이나 초 대칭입자와 같은 새로운 물리현상을 탐구하는 것이 가능해짐은 물론 전자의 크기를 측정할 수도 있다. 뮤입자와 타우입자는 전자와 성질이 매우 비슷하지만 질량이 훨씬 더 크며 수명이 짧다. 뮤입자는 전자보다 질량이 약 200배 정도 무겁고 평균 수명은 약 100만 분의 2초 정도로 일상적으로는 존재하지 않지만 지구 밖에서 날아오는 양성자를 비롯한 원자핵들(우주선)이 지구 대기 중의 원자들과 반응하여 뮤입자를 만들어낸다. 실제로 매초 한 개 정도씩 뮤입자가 우리들의 몸을 지나가지만 뮤입자의 질량은 전자보다 200배나 무거워 반응성이 훨씬 적으므로 우리가 살아가는 데는 지장이 없다. 타우입자는 전자 가족 중에서 가장 무거워 그 질량은 전자의 3,500배로 10조 분의 1초(10~13초) 정도밖에 살지 못한다.

모든 입자에는 반입자가 있다. 전자도 예외가 아니다. 양전자(Positron)라는 전자의 반입자는 전하가 반대인 것을 제외하고 모든 성질이 전자와 똑같다. 반입자는 1932년 앤더슨(Carl D. Anderson)이 양전자를 발견함으로써 증명되었다. 이로써 원자구성입자들이 변환 가능한 것임을 알았다. 양전자는 질량, 스핀이 전자와 같으

나 양전하를 띠는 소립자로서 어떤 물질의 전자 상태를 나타낸다. 양전자가 전자를 만나면 소멸되면서 광자가 되거나 다른 입자로 바뀐다. 전자는 붕괴하지 않지만 양전자와 쌍으로 생기거나 쌍으로 없어지는 것이다. 반대로 광자가 전자와 양전자의 쌍을 만들기도 한다. 전자 가족 중에는 다른 가족들과 대화하기를 싫어하는 입자가 셋 있다. 이들은 모두 중성미자(Neutrino)라고 불리며 전자, 뮤입자, 타우입자와 각각 쌍을 이룬다. 중성미자는 전기량도 없고 무게도 거의 0이며 붕괴하지도 않는다. 이들은 방사성 동위원소처럼 불안정한 원소의 핵이 붕괴할 때 방출되는 산물로 오로지 약한 상호작용을 통해서만 자신의 존재를 나타내는 입자들이다.

3. 레이저

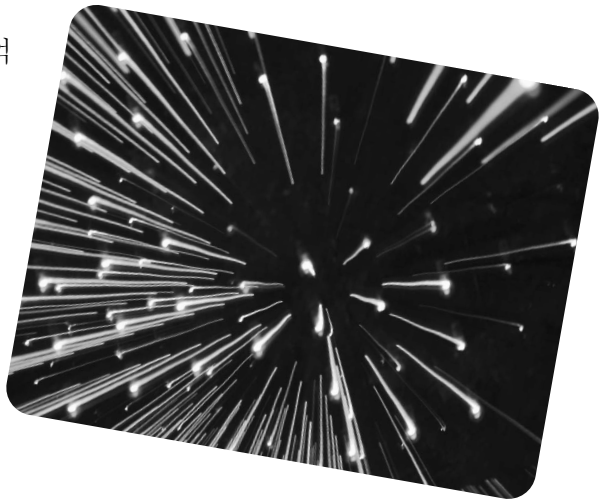
1917년, 아인슈타인은 원자 또는 분자가 빛이나 다른 방사선을 흡수하도록 유도한 다음, 이들을 자극해 흡수한 에너지를 다시 방출하게 만들 수 있다는 가설을 세웠다. 그런데 제2차 세계대전 당시 사격 통제장치의 핵심 부품으로 사용되던 독일산 고품질 유리를 대체하기 위한 연구 중 미국의 마이먼(Theodore H. Maiman)은 핑크 색깔을 한 루비의 결정체(Ruby Glass; 빨간 유리)에서 극초단파 빛을 방출하는 진동 분자를 발견했다. 특정 유리에 네오디뮴(Neodymium)을 첨가함으로써 금속 내 전자들의 에너지구조를 이용, 유도방출에 의한 빛의 증폭(Laser)이 일어나 강력한 빔(Beam)이 생긴 것이다. 레이저란 Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation의 머리글자를 딴 것이다. 모든 원자는 핵과 그 주위를 돌고 있는 전자로 이루어져 있는데, 여기에 에너지를 가하면 전자는 바깥쪽 궤도로 이동한다. 이런 상황을 들뜬상태 또는 여기상태라 하는데, 불안정한 원자는

받아들인 에너지를 빛으로 외부에 방출하면서 전자를 다시 원래의 궤도로 돌려보내 안정한 상태를 되찾는다. 그런데 물질을 구성하는 원자는 무수히 많으며 낱낱의 원자는 제각기 빛을 방출하므로 위상이나 파장이 서로 다른 빛의 모임으로 방출된다. 이것을 빛의 자연방출이라고 하며, 우리가 통상 접하는 형광등이나 네온사인 등은 여기에 해당된다. 그런데 원자 중에는 들뜬상태에 머무는 시간이 긴 것이 있다. 이런 물질이 어떤 계기로 원자 하나가 빛을 내면서 들뜬상태에서 안정한 상태로 옮겨지면 다른 들뜬 원자도 자극을 받아 위상이 고른, 같은 파장을 가진 빛을 차례차례 발생한다. 레이저는 이렇게 만들어진 빛이다.

실제의 레이저에서는 다음과 같이 레이저광을 만들고 있다. 레이저를 만들어내는 레이저 매질(예로, 루비)에 섬광을 쬐거나 전류를 흐르게 해 에너지를 가한다. 그러면 매질 중 대부분이 흥분 상태가 된다. 흥분 상태의 원자가 원래의 상태로 되돌아갈 때 빛을 방출하는데, 이것이 자극이 되어 연쇄적으로 유도방출이 일어난다. 빛은 레이저 매질의 양쪽에 설치된 거울로 반사되고 레이저 매질 속을 몇 번이나 왕복하므로 유도방출의 연쇄가 계속되면서 빛은 거듭 증폭된다. 한쪽의 반사경은 빛을 일부만 통과시키는 특수한 반사경이므로 여기에서 증폭된 레이저광이 밖으로 나간다.

레이저는 빛 그 자체를 동력화해서 작동한다. 우리가 보통 알고 있는 눈으로 볼 수 있는 빛은 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑, 보라의 파동으로 이루어져 있는데, 이들은 다양한 길이의 파장으로 뒤섞인 채 우리 눈에는 흰색으로 보인다. 레이저광에서는 파장들이 질서정연하고 조직적으로 집중되어 있어 매끄럽고, 평행적인 파장으로 이동한다. 레이저는 똑같은 진동수의 빛을 같은 방향으로 서로 결을 맞추어내기 때문에 강력하고 순수한 단색광이며 일정 방향의 결 맞춘 빛이 된

다. 참여하는 원자의 수는 억의 억 배만큼 되는 천문학적 숫자이기 때문에 그 결과가 엄청나다.



레이저광은 유리나 플라스틱으로 만든 광섬유를 통해 먼 곳까지 보내진다. 광섬유는 유리 안의 수분을 제거하는 등의 작업을 해서 빛의 흡수를 억제한다. 그래서 먼 거리를 전송하더라도 빛이 약해지지 않는다. 가장 단순한 광섬유인 다중 모드 계단형은 동심원 모양의 2층 구조로 되어 있다. 안쪽의 코어에는 굴절률이 큰 물질(빛의 감속이 큰 물질), 바깥쪽의 코어를 감싸는 클래드에는 굴절률이 적은 물질이 사용된다. 코어와 클래드 모두 투명하지만 빛은 전반사를 반복하므로 밖으로 새지 않고 나아간다. 코어의 중심에서 가장 굴절률이 높고 클래드에 접근함에 따라 굴절률이 연속적으로 낮아지는 다중 모드 언덕형도 있다. 이 경우 클래드와의 경계면에서 전반사를 하는 것이 아니라 대기에서의 굴절과 마찬가지로 레이저광이 휘어져 코어에 갇힌 채 나아간다. 광통신에 사용하는 레이저광은 파장이 1.3~1.6마이크로미터의 근적외선(적외선 가운데 파장이 짧은 것)이다. 이 파장 영역의 근적외선은 유리에 가장 흡수되지 않아 통신에 적합하다. 디지털 통신에서는 센 빛을 1, 약한 빛을 0으로 보는데, 반도체 레이저는 1초에 1010번 이상 0과 1을 반복할 수 있다. 이렇게 빠른 속도로 변조할 수 있다는 것은 보낼 수 있는 데이터의 양이 늘어남을 의미한다. 예를 들어 1메가바이트 파일을 전송 속도 1초당 1메가바이트의 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber

Line)로 보내면 8초가 걸리지만, 전송 속도 1초당 10기가바이트의 이더넷을 사용하면 0.0008초가 걸린다.

원소의 주기율표에서 III족과 V족의 원소가 화합되어 만들어진 GaAa, InP 등의 반도체로 만들어진 pn 접합 다이오드에 전류를 흘려주면 실리콘과는 달리 빛을 잘 내는데, 반도체 레이저는 전류를 흘려주었을 때 레이저 빛을 내는 pn 접합 다이오드를 말한다. 흘려주는 전류의 크기를 늘렸다 줄였다 함으로써 나오는 레이저 빛의 세기를 늘렸다 줄였다 할 수 있다. 일반적으로 산화물 반도체는 에너지 갭이 커서 자외선 영역의 빛을 낸다. 나노선을 기판 위에 수직으로 배열하고 빛을 내도록 만들어주면 자외선 레이저를 만들 수 있다. 또 이런 나노선의 직경을 수 나노로 제어하면 레이저의 파장을 바꿀 수도 있다. 아토초 레이저를 이용하면 분자의 움직임은 물론이고 원자 내부의 움직임도 동영상 카메라로 보듯이 자세하게 관찰할 수 있으며, 거대한 입자가속기에서나 만들 수 있었던 높은 에너지의 전자, 양성자, 중성자, X선 빔을 만들어 활용할 수도 있다.

레이저는 퍼짐이 작고 멀리까지 가는 특성이 있으므로, 교통순경이나 탱크 운전자 등이 멀리 있는 목표물의 거리와 속도를 정확히 측정하는 데 이용하고, 지구와 달 사이의 거리를 정밀하게 재는 데에도 쓰인다. 또 강한 레이저 펄스를 표적물질에 쪼여 플라즈마에서 나오는 빛을 분석해 물질의 성분을 알아낼 수 있으며 우라늄 농축과 핵융합도 가능하다. 또 레이저광은 커다란 에너지를 한 점에 모을 수 있는 성질을 이용해 자동차 공장 등에서 철판을 절단하거나 용접하는 등에 사용된다. 가장 단단한 광물인 다이아몬드조차 레이저광으로 구멍을 낼 수 있다. 레이저광은 광디스크(CD나 DVD)의 플레이어, 바코드 판독장치, 광통신 등의 형태로 우리 생활에 뿌리내리고 있다. 예컨대 재생 전용의 CD나 DVD 등을

재생할 때는 비교적 낮은 출력의 레이저광을 렌즈로 가늘게 압축해 디스크의 기록 면에 쬔다. 기록 면에는 정보가 요철의 형태로 기록되어 있다. 볼록한 부분인 피트에 레이저광이 닿으면 반사광의 세기가 약해지는 메커니즘이어서, 피트의 유무로 기록된 정보를 반사광의 세기 차로 판독할 수 있다. 기록이 가능한 광디스크(DVD-R 등)는 기록하거나 기록을 바꿀 때는 레이저광을 쬐어 기록막의 한 점을 고온이 되게 한다. 그러면 기록막이 변화해 반사율이 바뀐다. 이것이 피트와 같은 기능을 한다. 의학 분야에서는 눈의 망막에 생긴 갈라진 틈을 메워주기도 하고 광 응고술로 혈관의 구멍을 막아주기도 한다. 이 외에도 절개하지 않고 레이저로 암 조직을 죽이거나 동맥을 막고 있는 물질을 제거하는 등 여러 가지 방면으로 활용되고 있다. 또 병원에서 정밀 수술을 하는 데에도 쓰이며 특히 세밀하면서도 고통스럽지 않게 눈 수술을 하는 데도 사용되고 있다. 그러나 이런 레이저에 대한 활용 방안은 여전히 개발이 진행 중이다. 산업혁명은 증기를 동력화함으로써 시작되었다. 19세기에 시작된 엔진기술이 20세기 문명의 흐름을 바꾼 것과 같이, 20세기에 태어난 광학기술 레이저는 현재 에너지의 또 다른 형태인 빛을 동력화하고 있다. 이 레이저를 통해 인간이 앞으로 얼마만큼의 혜택을 받을 수 있게 될지 그것은 아무도 알 수 없다.

4. 유전공학

보어와 슈뢰딩거의 영향을 받은 물리학자들은 유전자의 성질을 연구하면서 유전자가 담고 있는 정보가 무엇인지에 대해서 의문을 가졌다. 즉,

"간단한 DNA가 어떻게 복잡한 유전정보를 전달하는가"를 밝혀내려고 했다. 1943년, 미국의 에이버리(Oswald T. Avery)는 박테리아 스토렙토코커스(Streptococcus)의 정제된 DNA(Deoxyribo Nucleic Acid)가 병을 일으키는 유전형질을 가지고 있음을 밝혀냈다. 1950년, 샤가프(Erwin Chargaff)는 여러 생물의 DNA를 추출한 후, 네 가지 염기의 양을 측정했는데, 아데닌(A)은 티민(T)과, 그리고 구아닌(G)은 시토신(C)과 같은 양이라는 사실을 알아냈다. 이는 DNA가 상보적 이중구조를 이루고 있다는 말이다. 1951년, 영국의 프랭클린은 DNA 결정에 X선을 쪼여줌으로써 얻어지는 굴절되는 빛의 영상으로부터 DNA의 구조를 예측했고, 1952년에는 허쉬(Hershey)와 체이스(Chase)는 박테리오파지를 이용하여 아베리의 실험을 다시 한 번 입증함으로써 유전체의 본체는 DNA임을 밝혔다. 이윽고 1953년에 왓슨(James Watson)과 크릭(Francis Crick)이 DNA의 구조를 이중나선구조라고 밝혔다. 이중나선 사슬의 직경은 약 2나노미터였다. 사슬에 늘어서 있는 염기끼리의 간격은 0.34나노미터, 나선이 한 바퀴 돌아오기까지의 길이는 3.4나노미터이며 하나의 세포에 들어 있는 DNA를 늘이면 길이가 2미터에 달했다. 이로서 DNA의 복제 과정을 추측할 수 있었다. 한 달 뒤 이들은 새로운 상보 나선들이 합성될 때 원래의 DNA의 나선들이 주형으로서 작용한다는 반보전 가설을 내놓았다. DNA는 두 개의 나선이 서로 상호보완적으로 쌍을 이루고 있으므로, 한 가닥 나선의 염기서열(Sequence)을 알면, 다른 나선의 염기서열도 알게 되는 것이다. 1957년 메셀슨(Matthew Meselson)과 스탈(Franklin Stahl)은 방사성 동위원소를 이용하여 이를 입증했다.)

세포에는 세포핵이 있는데, 이 속에 염색체가 있다. 염색체는 두 개씩 쌍을 이루고 있는데, 사람의

경우는 스물두 쌍의 염색체와 X, Y로 나누어지는 두 개의 성염색체(여성은 XX, 남성은 XY의 조합)를 합해 총 46개의 염색체가 있다. 쌍을 이루는 염색체는, 부모로부터 정자와 난자를 통해서 받는다. 생물의 유전정보는 이 염색체에 있으며 염색체는 DNA와 히스톤(Histone)이라는 단백질이 결합되어 응축된 물질이었다. DNA는 두 개의 사슬 모양 분자가 얽혀 있는 이중나선구조로, 나선(사슬)은 인산과 디옥시리보오스(Deoxyribos)라는 당이다, 거기에 네 종류의 염기(문자) A, T, G, C가 분자를 손상시키지 않고 붙거나 떨어지거나 할 수 있는 느슨한 수소결합으로 있는데, 마치 비틀어진 사다리 모양을 이루고 있다. 즉, A와 T는 두 개의 수소결합으로, C와 G는 세 개의 수소결합으로 염기쌍을 이루며 안정화되어 있었다. 이 구조로 DNA의 자가복제(Replication)나 mRNA의 전사(Transcription), 그리고 단백질의 합성 등이 이루어졌다. 이렇게 DNA의 분자구조가 밝혀짐에 따라 유전 현상을 분자 수준에서 설명할 수가 있었다.

1971년, DNA를 절단하는 제한효소(Restriction Enzyme)가 발견되었으며, 1973년에는 절단된 DNA를 다시 연결시키는 효소 DNA 리가아제(Ligase)가 발견되어, DNA를 마음대로 편집할 수 있었다. 즉, 제한효소는 특정 염기서열만을 자르므로 DNA 표지가 가능하게 되어, 긴 DNA를 수백에서 수천 염기쌍 조각으로 만들어 길이에 따라 분리한다면 DNA 단편을 한층 잘 해석할 수 있었다. 또 어느 생물의 DNA 단편을 플라스미드 벡터(운반체)라 불리는 원형의 DNA 속에 삽입시켜 박테리아 숙주 속으로 집어넣고 원하는 만큼 이 클론(Clone)조각들을 생산해낼 수도 있었다.

1975년에는 DNA의 염기배열을 읽어내는 시퀀스기술이 개발되었다. 염기를 분리하기 위해 점액이 응축되어 있는 매우 작은 모세관으로 DNA를 흘려보냄으

로서 염기배열을 알아낸다. 1978년에는 인슐린을 생산하는 박테리아를 만들었으며, 1980년에는 코헨(Cohen)과 보이어(Boyer)가 유전자 조작법(Process for producing biologically functional molecular chimeras; USP 4237224) 특허를 냈다. 1981년에는 실제로 한 종의 동물 유전자를 다른 종의 동물에 이식했다.

1979년, 스툴(Stool)은 효모의 염색체에서 복제 시작점(Origin of Relication)이 포함된 DNA 조각을 처음으로 분리했다. 그 후 1980년 클라크(Clark)와 카본(Carbon)은 효모의 동원체(Centromere)를 분리했다. 마지막으로 1982년 죠스탁(Szostak)과 블랙번(Blackburn)은 말단소립(Telomere)을 분리함으로써, 인공효모염색체(YAC; Yeast Artificial Chromosome)를 만들 수 있었다. 인공효모염색체는 효모 염색체에서 복제와 유지에 필요한 부분만을 남긴 것으로, 평균 30만 염기쌍 크기의 DNA까지도 끼워 넣어 대량 복제하는 클로닝(Cloning)이 가능하므로 사람의 염색체 지도도 만들 수 있었다.

1984년에는 미국 시터스(Cetus)사의 뮬리스(Mullis)가 PCR(Polymerase Chain Reaction)법(Process for amplifying nucleic acid sequences; USP 4683202)이라는, 시험관 내에서 유전자를 증폭시키는 방법을 개발했다. 다시 말하면 세포의 DNA가 복제될 때는 DNA를 구성하는 이중나선의 사슬이 한 가닥씩으로 나뉘어, 각각의 사슬을 주형으로 하여, 쌍이 되는 DNA가 합성된다. PCR법은 이러한 DNA 복제를 인공적으로 반복하는 방법이다. 즉, 뮬리스(Mullis)는 어떤 DNA의 특정 부위의 상보적인 서열을 합성해 만든 프라이머와 원래의 주형 DNA(Template DNA)를 넣은 뒤, 적정 조건에서 DNA 폴리메라아제(Polymerase)를 넣어주고 합성했다. 그 뒤 온도를 올려 합성된 이중나선을 단일나선(Single Strand)으로 풀고, 다시 프라이머(Primer)와 DNA 폴리메라아제를 첨가하는 반응을 되풀이해 DNA를 두 배씩 증폭시켰다.

1984년, 초가변영역(Hypervariable Region) 유전자의 고유한 크기를 질환 유전자 찾기, 친자 관계 확인, 피의자의 진범 확인 등 유전자 감식에 이용할 수 있었다. 이런 유전자 다형은 염기배열의 차이뿐만 아니라 반복배열수의 차이에 의한 다형도 있었다. 예를 들어, ATGG ATGGATGG와 같이, 같은 염기배열이 반복되어 나타나는 부분이 많은데, 이 반복 횟수가 개인에 따라 다르다. 이러한 다형은 현장에 남겨진 혈액 등에서 이 부분을 PCR법으로 대량 복사하여, 겔 전기영동(Gel Electrophoresis)을 시키면 바코드 모양의 DNA 흔적(DNA Finger-Printing)이 생기므로, 이 DNA 염기배열의 차이를 비교하여 감식하는 것이다.

1986년에는 헝카필러(Hunkapiller) 등이 제안한 유전자의 염기배열 결정법(Real time scanning electrophoresis apparatus for DNA sequencing; USP 4811218)이 1987년에는 겔판드(Gelfand) 등이 온천에 사는 미생물에서 정제된 열안정성 효소 Taq 폴리메라아제(Thermus Aquaticus Polymerase)를 발견(Purified thermostable enzyme; USP 4889818)했다. 원래 PCR법에 사용되었던 폴리메라아제는 대장균(E. coli)의 DNA 폴리메라아제 I이었는데, DNA를 단일나선으로 풀기 위해 온도를 올리면 이 효소가 파괴가 되므로 매번 효소를 다시 넣어줘야 했다. 이 Taq 폴리메라아제로 PCR법은 크게 향상되었다. 유전체 해독이나 유전자 진단, DNA 감정을 할 때에는 극히 적은 시료를 많이 복제할 필요가 있는데, PCR 장치를 사용하면 이론적으로는 DNA를 한 시간에 수천만 배로 늘릴 수 있었다.

1992년, 아피메트릭(Affymetrix)사의 포더(Fodor) 등에 의해 DNA 마이크로어레이

(DNA microarray, Array of oligonucleotide on solid substrate; USP 5445934)기술이 등장했으며, DNA 데이타 베이스 검색시스템의 특허가 이어졌다. 1990년대 후반 생물정보학과 DNA 염기서열 분석기술의 발달로 사람을 비롯한 동식물 미생물의 유전체(Genome)에 대한 방대한 양의 데이터들이 쏟아지기 시작했다. 1997년 미생물의 일종인 효모의 유전체가, 2000년에는 초파리와 선충, 식물 연구의 모델로 쓰이는 애기장대의 유전체가 완성되었다.

1990년, 미국의 국립보건원(NIH)과 에너지부(DOE)가 국가정책사업으로 인간유전체프로젝트(Human Genome Project)를 시작했다. 생명이란 환경을 극복하기 위한 전략 정보의 축적물이다. 현재 지구상에 번성하는 생명은 진화의 오랜 세월 동안 환경과의 싸움에서 획득한 전리품으로서 저마다의 생존 전략을 지니고 있다. 생명체의 DNA 속에는 자신의 오랜 과거가 기록되어 있다. 생명이 지향해온 의도나 적응의 성패 등 오랜 진화과정의 흔적, 곧 생명의 기원으로부터 현생 생명체에 이르기까지의 모든 역사는 DNA를 통해 세포 깊숙이 기록되어 있다. 노화를 비롯한 모든 생명현상이 이 유전자와 관련 있으며 심지어 감기 같은 외부 감염성 질환조차 유전자의 개인별 특성과 관련이 있다. 따라서 유전체는 생명이 매 순간 환경과 상호작용 하는 모든 과정을 통제하고 감독하는 묶음이라고 볼 수 있다.

인간유전체 서열 결정 방법에는 두 가지 접근 방식이 있다. 하나는 인공효모염색체(YAC)에 의한 클론지도와 코스미드(Cosmid)에 의한 보다 짧은 클론지도를 작성하여 염기서열을 결정하는 것이다. 이 경우, 유전자로 암호화되어 있지 않은 대량의 의미 불명의 정크 DNA(Junk DNA) 영역 배열도 함께 결정된다. 또 하나는 유전자가 발현하는 DNA 영역(EST; Expressed Sequence Tag)만을 mRNA로부터 cDNA(상보적 DNA)를 역전사해 그 배열을 결정하는 것이다. 역전사 효소를 사용하여

일단 한 가닥 사슬의 cDNA를 합성해버리면 이것을 주형으로 하여 두 가닥 사슬의 cDNA를 만들어낼 수 있다. cDNA는 이렇게 인공적으로 만들어진 DNA이며 자연계에는 없다. 또 질량분석기를 이용한 방법도 있다. 겔 전기영동에서 사용하는 네 가지 형광물질 대신 서로 다른 질량을 가지는 네 가지 화합물을 질량분석기로 분석하는 것이다. 주사전자현미경(STM)을 사용하는 방법도 있다. DNA의 이중나선구조와 염기쌍을 직접 볼 수 있다.

2004년 10월, 사람의 유전자 수는 2만여 개로 예쁜꼬마선충(1만 9,500개)이나 초파리(1만 3,600개) 따위의 벌레와 별 차이가 없는 것으로 밝혀졌다. 복잡한 생물(인간)과 단순한 생물(벌레)의 유전자 수가 엇비슷한 것이다. 그동안 RNA는 핵 안의 유전정보를 리보솜으로 전달(mRNA)하거나, 아미노산을 리보솜으로 배달(tRNA)하는 보조 기능만 수행하는 것으로 여겨졌다. 그러나 사람 세포에서 새로 발견된 RNA의 하나인 마이크로 리보핵산(microRNA)의 수는 3만 7,000개에 이르며, 이 microRNA는 사람 유전자 3분의 1 이상의 활동을 통제하는 것으로 밝혀져 사람이 벌레와 유전자 수가 엇비슷함에도 불구하고 훨씬 복잡한 구조를 가지는 이유를 설명하고 있다. 벌레의 RNA는 단백질 합성과정에서 조연에 불과하지만 사람의 RNA는 세포 안의 모든 활동을 관장하기 때문에 복잡성에 차이가 난다. 따라서 리보핵산(RNA)은 컴퓨터의 운영체제(OS)에 비유될 정도로 중요한 존재이다.

5. 동물 복제

동물을 복제하려면 분화 능력이 있는 수정란을 이용해야 한다. 1997년 2월 4일 스코틀랜드 로슬린연구소의 이언 윌머트(Ian Wilmut) 박사는 난자의 발생 주기를 인위적으로 조절하는 기술을 이용하여 배세포가 아닌 성체의 체세포 핵을 핵이

제거된 미수정란에 치환하여 양을 복제하는 데 성공했다. 윌머트 박사는 말단 분화세포의 핵도 개체를 발생시킬 수 있는 능력이 있음을 증명한 것이다. 성숙한 동물세포의 핵에서 복제양 돌리라는 동일한 개체가 새로 태어난 것이다. 이로써 인간을 포함한 어떤 동물이라도 몸에서 약간의 세포를 떼어내 그 자신과 동일한 생명체를 탄생시킬 수 있었다.

엄마 배 속에서 잉태되는 생명은 정자와 난자의 결합으로 이루어진다. 이 정자와 난자가 결합하면 수정란이라는 하나의 온전한 세포가 생겨나고, 이 하나의 세포가 점점 분열하여 많은 수로 불어난다. 어느 정도 불어난 세포는 이제 각기 자기의 역할을 하기 위해 기능이 다른 세포로 변화하는 과정을 거친다. 이러한 분화과정을 거쳐 특정한 기능을 가진 세포로 성숙하고 나면, 다시 원래 분화하기 전의 단계로 되돌아갈 수는 없다. 그런데 윌머트 박사는 줄기세포를 복제함으로써 분화의 가역성을 증명했고 수명을 늘릴 수 있는 가능성도 개척했다. 모든 성인병은 세포의 기능 이상, 즉 분화과정이 잘못되어 일어난다. 따라서 분화 연구의 신기원을 이룩한 복제기술의 성공은 미래 의학에 대단한 영향을 미칠 것이다. 분화의 비밀이 밝혀지면 성인병뿐만 아니라 노화까지 막을 수 있다. 더구나 인류는 이제 모든 유전체 정보를 갖고 있으므로 체세포 핵이식 연구를 통해 분화의 전 과정을 투명하게 이해할 수 있다.

14일 이전의 인간 배아를 조심스럽게 해체하여 내부 세포들을 잘 배양하면 줄기세포(Stem Cell)를 확보할 수 있다. 이 줄기세포는 인체를 구성하는 200여 가지 세포 조직으로 분화할 능력이 있다. 배아 줄기세포는 정자와 난자가 결합하여 생긴 수정란이 어느 정도 그 수가 불어난 상태에서 얻어진 세포로서, 그야말로 어떤 종류의 세포로도 분화가 가능한 세포이다. 반면에 성체 줄기세포는 인간의 골

수, 혈액, 제대혈 등에서 얻을 수 있는 세포이다. 아직 여러 가지 세포로 분화할 수 있는 능력을 지니고 있는 세포지만, 성체 줄기세포는 분화할 수 있는 세포의 종류가 제한된다.

완벽하게 동일한 유전자가 전달되는 이분법이나 출아법과 같은 복제(무성생식)는 암수 교배(유성생식)로 이루어지는 번식 수단보다 양적으로 매우 효과적이다. 20분마다 분열하는 대장균은 하루에 72번 분열하므로 이분법의 효용성을 익히 짐작할 수 있겠다. 그러나 2차 성징과 짝짓기처럼 많은 시간과 에너지가 요구되는 유성생식으로 얻은 후손들은 유전적 다양성이 높아 변화하는 환경에 대한 적응 능력이 높지만, 복제(무성생식)로 쉽게 얻은 후손들은 그렇지 못하다. 유전적 다양성을 상실하는 복제는 환경이 변화무쌍한 생태계에서 태생적 한계를 가질 수밖에 없다. 근친교배를 강제하여 얻은 품종 개량 개체들도 복제된 개체들에 비한다면 유전적 다양성이 양호한 것이다. 자연적이든 인위적이든 식물이든 동물이든 미생물이든 복제된 개체들은 환경 변화에 극히 취약하다.

6. 발효산업

메소포타미아에서 발견된 점토판에 발효를 이용해 빵을 굽고 그 빵으로 보리 맥아를 당화시켜 물과 섞어서 맥주를 만들었다는 기록이 있는 것으로 보아, 기원전 4,200년경부터 수메르인들이 맥주를 만들었다는 사실을 알 수 있다. 포도주를

담그거나 막걸리를 빚거나 또는 맥주를 발효시키는 데에는 효모에 의한 알코올 발효가 기본이다. 효모는 한 분자의 포도당을 두 분자의 에틸알코올과 두 분자의 이산화탄소로 분해하면서 두 분자의 ATP(Adenosine Tripho-sphate; 아데노신 3인산)를 에너지로 얻어 살아간다. 사람들은 이러한 발효과정에서 효모가 만들어내는 알코올을 음료로 이용하는 것이다. 쌀을 원료로 만드는 막걸리의 효모는 쌀에 들어 있는 구조가 사슬처럼 이어진 탄수화물을 이용할 수 없기 때문에 먼저 당 성분들을 잘게 부수는 당화과정이 필요하다. 보리를 원료로 만드는 맥주도 당화 과정을 거쳐야 한다. 그래서 막걸리를 담그기 위해서는 찹쌀이나 멥쌀 따위를 물에 불려서 시루에 찐 밥을 누룩과 함께 버무려 넣어 탄수화물을 당으로 바꾸는 당화작용과 효모에 의한 발효를 한꺼번에 일어나게 한다. 이렇게 술을 빚어놓으면 항아리에서 발효작용이 일어나 술이 익으면서 거품이 부걱부걱 솟아오른다. 맥주는 대맥을 발아시켜 당화한 다음 호프를 가한 것을 효모로 발효시킨 것이다.

포도주, 맥주, 막걸리는 모두가 발효주로서 알코올의 함량이 그리 높지 않기 때문에 사람들은 높은 농도의 알코올을 얻을 수 있는 증류법을 개발했다. 증류법을 이용하여 알코올 함량을 높인 술을 증류주라고 하는데, 곡물을 원료로 발효시킨 술을 증류한 것이 위스키(Whiskey)이고 과실을 발효시켜 만든 술을 증류한 것이 브랜디(Brandy)이다. 알코올 생산자들은 더 높은 함량의 알코올을 생산하기 위해 특수한 능력을 갖춘 효모 균주를 산업적으로 이용하고 있다. 혼성주는 발효주나 증류주에 여러 가지 것을 혼합한 것이다.

우리의 선조들이 활동했던 만주 지역은 콩의 원산지로 예부터 장과 같은 발효식품이 발달했다. 고구려의 안악고분벽화에서 물이나 발효식품을 저장한 그림이 발견되었으며, 발해에서도 시를 명산물로 꼽고 있어 장 담그는 기술이 계속 이어져왔음을 알 수 있다. 결국 오늘날 김치류는 자그마치 100여 가지, 젓갈류는 160여 가지, 장류는 120여 가지, 식초류는 10가지, 주류는 260여 가지나 되어 장류문화가 일반화되어 있다. 이 장 담그는 기술은 백제인에 의해 일본으로도 전해졌는데, 일본은 1900년대부터 이 장류를 과학화하여 미소(된장)와 소유(간장)가 세계적으로 알려지게 되었다. 이렇게 콩은 우리 선조들이 농경을 시작하면서 부족한 단백질 섭취를 해결해준 먹거리였다. 요구르트나 치즈의 제조법을 콩에 적용하여 두유나 두부를 만들어 먹었고 콩으로 메주를 만들어 콩장(된장)을 해 먹었다. 지금도 우리네 밥상엔 장맛이 음식 맛을 결정짓고 있다. 콩을 원료로 메주를 만들고 이것을 식염수에 담가 발효시킨 건더기가 된장이다. 원래는 간장과 된장이 섞인 걸쭉한 장이었는데 여기에 용수를 박아 용수 안에 고이는 장액을 간장으로 하고 나머지 박은 된장으로 이용하였다. 간장의 '간'은 소금기의 짠맛(Salty)을 의미하고, 된장의 '된'은 '되다(Hard)'를 의미한다. 된장은 혈전 용해 능력, 항암 효과 등 각종 효능이 뛰어나다. 청국장은 고구려의 기마 민족들이 콩을 삶아서 말안장 밑에 넣고 다님으로써 말의 체온에 의해 자연 발효시킨 것으로 발효 기간이 2~3일로 가장 짧다. (지금은 콩과 볏짚에 붙어 있는 미생물을 이용해 만든다.) 고추장은 장 빚는 솜씨에 고추가 더해진 것으로 생선 조림에 넣어 비린내를 가시게 하거나 매운탕이나 육개장에 넣어 식욕을 돋우거나 고기를 넣고 볶아 밑반찬을 만드는 데 이용했다. 고추장에 들어가는 고추의 캡사이신은 항균작용, 항암작용이 있으며 매운맛은 혈액순환을 촉진시키고 다이어트에 효과적이다.

발효식품의 생산 능률을 올리자면 연속 발효를 해야 한다. 연속 발효는 일정량의 배지를 계속 공급해줌으로써 미생물이 이것을 쉬지 않고 이용하도록 하는 것이다. 이렇게 발효과정을 연속화함으로써 발효 능률이 증가할 뿐 아니라 균일한 제품도 얻을 수 있으며 생산과정의 자동화도 이룰 수 있다.

회분 발효조에 신선한 배지를 담고 균을 접종해주면, 균은 잠시 새로운 환경에 적응한 다음(Lag Phase; 적응기), 생장을 개시하여 한때 최고의 생장률을 보이고(Log Phase;대수기), 다시 생장 속도가 떨어져서 끝내 생장이 머물게 된다(stationary phase; 정상기).(S자형 생장곡선) 처음의 적응기는 미생물의 수도 적을 뿐 아니라 개개 균체의 대사작용도 보잘 것이 없다. 한편 중간에 있는 대수기는 각 균체의 대사작용이 왕성하여 번식률이 높은 데다가 균의 수도 많으므로 전체의 발효 능률은 다른 어느 시기보다 크다. 따라서 이 대수기에 최고의 생산율을 보인다. 마지막으로 정상기는 미생물의 수는 최고에 도달해 있지만 생장이 거의 멈춰 발효 능률이 좋지 않다.

그러므로 회분 발효를 진행시켜 균의 생장 곡선이 대수기가 되면 배지의 반을 떠내고 새 배지로 채워준다. 그러면 발효조 내의 균 밀도는 2분의 1로 줄어든다.

그런 후 이 발효조를 계속 발효시키면 균은 다시 증가하여 희석하기 전의 상태로 돌아갈 것이나, 갑작스러운 환경 변화로 적응기가 좀 있을 것이다. 그러나 교환되는 배지의 양을 줄이고 자주 교환해줌으로써 이 기간을 줄일 수 있다. 이런 발효방식이 준연

속 발효로, 식초나 우유의 발효에 이용되고 있다. 만일 이 배지의 교환량을 더욱 줄이고 그 횟수를 무한히 늘려간다면, 이것이 바로 연속 발효가 된다. 발효조의 한쪽에서 계속적으로 일정량의 새로운 배지를 공급하고 다른 한쪽에서 그와 같은 양의 발효 산물이 배출되도록 조절해두면서 배지와 미생물이 발효조 속에 머무는 동안에 발효되도록 하는 것이다. 지금 10리터의 가동 용적을 가진 발효조에 매시간 1리터의 유률로 연속 발효를 하면 이때의 희석률은 0.1이 된다. 한 시간 동안에 총 액량의 10분의 1이 교환되고 있다는 뜻으로 발효조 속의 배지가 완전히 교환되는 데는 10시간이 걸리는 셈이다.

신선한 배지가 계속적으로 공급되면 발효조 속의 균은 쉴 틈 없이 생장한다. 그와 동시에 흘러나가는 액에 따라 유실되는 균도 있다. 생장으로 인해 불어가는 균의 수가 유실되는 균의 수와 균형을 이룰 때 발효조 속의 균 수는 변동이 없다. 연속 발효가 안정 상태에서 진행될 때의 희석률은 미생물의 비생장률과 같은 것이다. 다시 말하면 회분 발효를 통해 간단히 얻을 수 있는 비생장률을 이용하여 연속 발효의 희석률을 예측할 수 있다.

7. 대체의학

의학의 대상은 자연계에서 가장 복잡한 계의 하나인 인간과 그의 질병이다. 자연의학의 초기에는 물, 공기, 장소 등의 환경과 먹는 음식이 질병의 진단과 치료의 주요 대상이었다. 히포크라테스의 자연의학은 우주가 물, 불, 흙, 공기의 4원소로 이루어져 있다는 고대 자연철학을 의학에 적용한 것이다. 그는 이 원소들을 각각의 성질에 따라 몸속에 들어 있는 네 가지 체액에 대응시켰다. 그래서 우리의 몸은 공기에 대응하는 뜨겁고 축축한 혈액, 물에 대응하는 차갑고 축축한 점

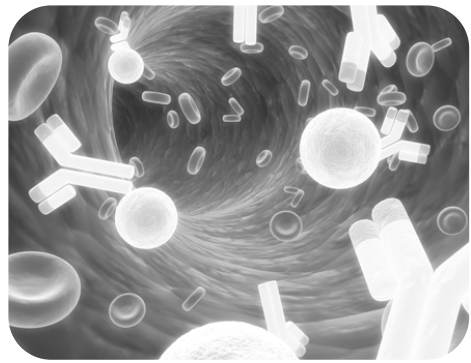
액, 흙에 대응하는 차갑고 건조한 흑담즙, 불에 대응하는 뜨겁고 건조한 황담즙으로 구성되어 있다고 보았다. 감기는 점액의 과잉이고, 병균 감염은 황담즙(고름)의 과잉이며, 피를 토하는 기침은 흑담즙의 과잉이었다. 따라서 병의 치료는 이 네 가지 체액 사이의 균형을 찾아주는 것이었고, 이뇨제나 설사약, 구토제를 쓰거나 피를 뽑는 방법으로 진행되었다. 이 도식은 해부학에 근거한 근대의학으로 대체될 때까지 1,500년간 유럽의학의 주요 이론으로 자리 잡았다. 로마시대의 갈레노스는 히포크라테스의 의학을 이어받아 스스로의 관찰과 실험을 통해 얻은 지식과 결합하여 방대한 의학 지식체계를 완성했다. 그는 논리적이고 체계적으로 약학, 해부학, 생리학 이론을 만들었다. 갈레노스의 의학체계는 근대적 해부학과 생리학이 발달할 때까지 의심할 수 없는 절대적 진리로 여겨졌다.

서양의학은 소독약과 항생제를 발명함으로써 중대한 전환기를 맞이한다. 각종 전염병에 대한 항독소와 백신이 개발되고 질병의 전파 경로를 밝힘으로써 실질적 질병 퇴치에 지대한 공헌을 했다. 인슐린을 합성하여 당뇨 환자의 생명을 구할 수 있었고 감정을 조절하는 약물을 발명했으며 장기를 이식하여 수많은 생명을 구했다. 이로써 서양의학은 명실상부한 보편적 세계의학으로의 지위를 굳혔다. 그러나 서양의학은 환원적 분석적 과학에 따라 의학을 발달시켜 분과가 심하며 질병 그 자체만을 설명함으로써 인체 각 기관의 총체적 메커니즘은 모르는 것이 많아 현상 너머의 인격적인 치유력의 근원에는 접근하지 못하는 경우가 많다. 또 서양의학에서는 병이라는 진단이 없으면 처방도 없다. 가령 공연히 피곤하고 업무 효율이 떨어지는 것은 몸이 약해진 징표일 수 있는데 이럴 때 서양의학으로는 휴식 말고는 처방이 없다. 몸의 균형 상태를 강조해온 동아시아의 의학은 이럴 때 진가를 발휘한다. 동아시아의 의학은 전체를 하나로 관조하며 환자가 어떤 증세

에 해당하는지를 파악해가는 구조를 가지고 있다.

모든 종교, 철학, 정치 이념 그리고 의학이나 과학은 생각(神), 즉 신념체계이다. 우리의 건강과 행복도 신념체계로, 내가 믿는 바가 나의 몸과 생활에 그대로 나타난다. 괴롭고 슬픈 신념과 상념은 질병이나 고통을 가져오고, 밝고 고운 신념은 건강과 행복을 가져온다. 몸(精)이란 생각(神)의 흐름을 따라 쉴 새 없이 흘러가는 흐름이며, 감각기관은 생각이 지어낸 인상이므로 몸은 당연히 생각의 영향을 받는다. 몸을 무엇이라고 생각하고 믿느냐에 따라서 몸에 일어나는 변화도 서로 다르게 나타날 것이다. 몸을 빛과 같은 파동이라고 볼 때는 주파수나 진동 폭을 마음먹은 대로 바꿈으로써 즉시 몸에 변화를 일으킬 수 있다. 이렇게 우리 몸은 어떠한 신념의 내용도 되비쳐줄 만큼 무궁무진한 정보와 모습을 준비해놓고 기다리고 있다. 사람 몸의 세포 한 개를 통해서 그 사람 전신의 정보를 다 파악할 수 있다는 신념을 가지고 그러한 관점에서 탐구하게 되면 그 신념을 뒷받침할 만한 신념체계가 나타난다.

동아시아 의학은 무(巫)에서 초자연적 요소를 털어내고 자연에 대한 경험을 근거로 의(醫)를 발전시켰다. 동아시아 의학의 가장 큰 특징은 경락(經絡)이라는 개념이다. 경락은 신체를 세로로 달리는 십이 경맥과 경맥으로부터 가지를 쳐서 가로로 퍼진 분지(分枝)들을 결속하고 경맥 사이를 연락하는 낙맥(絡脈)을 합한 것이다. 이러한 경락은 병을 진단하는 개념적 틀을 제공해줄 뿐만 아니라 그렇게 진단된 병을 치료하는 실제적 장소이기도 하다.



의식이 물질입자로 굳어지는 과정에서 기(氣)는 교량 역할을 한다. 의식이 기가 되고 기가 물질이나 몸이 된다. 기는 눈에 안 보이는 마음에서 흘러나오는 내부의 생명에너지, 즉 자연치유력이다. 자연치유력의 핵심은 통증으로, 동양의 전통 수행법인 참선, 기공, 요가 등은 모두 이 아픔을 포함하고 있다. 이들은 수술이나 의약품을 사용하지 않고 인간의 마음을 다스려 자연치유력을 발현시킴으로써 전체적 조화를 꾀한다. 가벼운 통증을 수반하는 침구와 음식물에 가까운 초근목피로 사람을 전체적으로 치료하기도 한다. 중국의 태극권으로 대표되는 기공은 1980년대 이후 중국의 고수급 기공사들이 서방세계를 방문하기 시작하면서 널리 보급되었다. 기공의 몸동작은 생명에너지인 기가 통과하는 관문인 관절을 풀어주어 몸 전체의 에너지 순환을 좋게 하는 것이다. 어깨, 허리, 팔꿈치, 무릎 등의 주요 관절을 꺾고, 비틀고, 돌리고 하는 동작들이 포함되어 있어 관절의 순환이 극대화되어 대부분의 병이 떨어진다. 수지침은 전신의 건강 상태가 그 사람의 손에 모두 반영되어 있으므로 각 장기에 상응하는 손의 지점을 침구로 치료하면 건강이 회복된다는 건강법이다. 손에다 침을 놓는 것만이 아니다. 귀나 발을 통해 전신의 건강 상태를 이해하고 질환을 치료한다는 이침이나 족침도 있다. 발반사요법은 미국인 잉검(Eunice Ingham)에 의해 체계화되었고, 오쇼 국제 의술센터에서 다양한 명상기법과 접목되어 심신을 정화하고 온몸의 에너지를 각성시키는 치유기법으로 발달되었다. 나무나 주위 환경을 하나의 생명의 빛으로 느낄 때도 자연치유가 일어난다.

한약은 각종 생약을 혼합해서 달인 액으로 하나의 생약 중에도 주성분이라고 일컬어지는 1~3 정도의 화합물 이외에 다수의 미량의 화합물이 함유되어 있다. 한방약은 적어도 두 가지, 많은 경우는 열 가지 이상의 생약으로 처방되어 매우

많은 화합물이 섞여 있다. 그것들이 서로 영향을 미치면서 입에서 위, 장을 거친 후에 간장에서 변화를 받거나 하여 전신을 돌면서 효과를 나타낸다. 따라서 많은 한방약은 단일 증상에도 들을 뿐만 아니라 전혀 별개의 것으로 보이는 증상에도 효과를 나타낸다. (이러한 신비스러운 한약재를 화학식으로 분해해 객관화하고 일반화하는 것이 중요할 것이다.) 고대부터 이어져온 한국의 전통의학은 삼국시대에 이르러 발전하기 시작하여 고려시대에는 약제에 대한 『향약구급방』 등이 간행되었다. 조선 초기에는 향약과 한방을 우리 실정에 맞게 재정리하고 집대성한 『향약집성방』이 나왔으며, 중국에서 전래된 의학서들이 다수 번역되었다. 임진왜란 직후에는 허준의 『동의보감』이 간행되었다. 동의보감은 조선의 이데올로기인 유학의 인간관을 '몸'으로까지 확장했다. 총 25권 분량으로 내경, 외형, 잡병, 탕액, 침구 편으로 구분하여 집필되었는데, 그 보편성과 편리함 때문에 한, 중, 일 3국에 큰 영향을 미쳤다. 이를 토대로 수많은 향의들이 활동할 수 있는 배경이 마련되었다. 조선 후기에는 이제마가 『동의수세보원』을 썼다. 이 책에서는 인체를 태양인, 소양인, 태음인, 소음인 네 가지로 유형화하고 그에 상응한 치료 방법을 제시하고 있다. 일제시대 김봉한은 경성제대 의학부를 졸업하고 경성여자의과전문학교 교수가 되었다가 6.25 한국전쟁 때 월북하여 평양의학대학의 생물학 교수 생활을 하면서 1961년부터 1965년까지 총 다섯 편의 논문을 발표했다. 그는 경락이 단지 피부에만 존재하는 것이 아니라 인체의 곳곳에 존재함을 보여주었으며 경락과 경락 안에 있는 '산알'이라는 세포와 그 기능을 밝혔다.

우리의 문화전통은 극복해야 할 대상이기보다는 미래

를 위해 적극 활용해야 할 귀중한 자산이다. 현재 우리나라에는 공식적으로 두 개의 의학 시스템이 존재한다. 하나는 동아시아의 전통 속에서 탄생한 한의학이며, 다른 하나는 고대 그리스에 뿌리를 두고 유럽의 문화전통에서 성장하여 미국에서 꽃피운 생물의학(Biomedicine)이다. 우리나라 대학의 한의학과에서는 아직도 2,000여 년 전에 만들어진 『황제내경』이 주요 과목이며, 400년 전에 출간된 『동의보감』이 임상의 지침서로 삼고 있다. 오행은 상호 영향을 주고받는 관계의 형식으로 병에 대해 추론하는 배움의 양식일 뿐이다. 같은 동아시아권이라 해도 한국, 북한, 중국, 일본 한의학의 시술 형태는 많이 다르다.

8. 퍼스널 컴퓨터

1969년, 인텔의 마르시언 에드워드 호프 박사는 칩 한 개에 컴퓨터 한 개가 들어가는 회로를 설계했다. 최초의 마이크로프로세서가 도면 위에 탄생한 것이다. 1971년, 인텔은 4비트인 '4004'의 생산을 개시했다. 4004는 크기가 성냥갑만 했지만 무게가 30톤에 이른 에니악과 성능이 엇비슷할 정도였다. 이제 뛰어난 성능을 지닌 컴퓨터를 책상 위에 올려놓을 수 있게 되었다. 1976년, 스티브 잡스(Steve Jobs)와 스티브 워즈니악(Steve Wozniak)은 애플(Apple) 컴퓨터를 만들어 그때까지 정부기관이나 큰 회사만 쓰던 엄청난 규모의 컴퓨터를 한 개인의 것으로 끌어내렸다. 또 마우스를 만들어 보통 사람도 컴퓨터를 쉽게 쓸 수 있도록 했다. 8비트 마이크로프로세서가 워드프로세서에 사용되면서 PC(퍼스널 컴퓨터)가 일반인들에게 다가왔다. 인텔의 마이크로프로세서 8088이 IBM 개인용 컴퓨터의 표준 프로세서로 채택되면서 PC의 시대가 활짝 열렸다. 컴퓨터의 기능은 0과 1의 디지털 정보를 프로그램된 대로 처리하는 것이지만 개인용 컴퓨터를 위해 개발된 프로그

램들은 문서를 편집하고 그래프를 그려 발표를 위한 슬라이드를 작성할 뿐 아니라 사진, 음악, 동영상을 만들고 감상하며 컴퓨터게임을 즐길 수 있도록 해주었다. 이제 PC의 등장으로 컴퓨터는 일하는 도구가 되었다. 이에 따라 많은 일들이 컴퓨터에서 이루어졌다.

1970년대, IBM 시스템 360의 핵심 엔지니어였던 진 암달(Gene Amdahl)은 후지쓰(Fujitsu)와 협력하기 시작했다. 당시 막 컴퓨터사업을 시작하던 일본은 이로써 강력한 기술적 지원을 받아 급속히 발전하기 시작했다. 이후 일본 기업들은 IBM의 호환 메인프레임으로 일본과 유럽 시장을 지배했다. 이 동안 유럽은 컴퓨터사업을 포기하고 일본 기업들의 메인프레임을 OEM(Original Equipment Manufacturer)으로 생산했다. 1980년대까지 독일의 지멘스(Siemens)는 후지쓰와, 프랑스의 머신불(Machines Bull)은 일본의 NEC와, 그리고 이탈리아의 올리베티(Olivetti)는 히타치(Hitachi)와 협력했다. 이로서 일본 기업들이 유럽의 대형컴퓨터 시장에서부터 미니컴퓨터, 워크스테이션, 서버 분야에까지 선두에 서는 계기가 되었다. 1980년대부터 일본은 자동차, 복사기, 카메라 등에 이어 반도체에서도 미국을 추월했다.

IBM은 자사의 PC 관련 사양을 모두 공개하고 마이크로프로세서는 인텔로, 시스템소프트웨어 DOS는 MS로 아웃소싱했다. 컴퓨터를 쓰는 사람들은 모두 표준에 맞춰 만들어진 기계들과 운영체계들을 찾았다. 그것들에 맞는 프로그램들이 많이 있을 터이고 다른 기계들과 잘 연결되리라고 생각했기 때문이다. 그래서 일찍 시장에 나와 표준의 자리를 차지한 것들은 기계든 운영체계든 독점적 이익을

누렸다. PC를 대량으로 생산, 판매하면서 IBM PC와 그 클론제품(IBM 호환 PC)들은 모두 인텔 마이크로프로세서와 마이크로소프트 운영시스템을 사용했다. 이러한 과정에서 두 공급업체인 인텔과 마이크로소프트가 미국의 PC산업을 지배했다. 차차 인텔과 MS사 제품 위주로 표준화가 이루어지고 아시아에서 IBM-PC와 호환성을 가진 복제품들이 나타나면서 PC의 모든 이익과 권한이 칩과 컴퓨터 운영체제에 집중되었다. PC를 사용하게 되면서 대부분의 정보의 교환 및 의사소통은 컴퓨터를 통해 이루어졌다. 컴퓨터를 통해 새로운 제품의 설계나 은행거래, 그리고 많은 상거래가 이루어졌다. 또 멀티미디어, 인터넷, 디지털 오디오와 비디오 등 예전에는 불가능했던 응용들이 "디지털 컨버전스(digital convergence)"의 이름으로 하나의 PC우산에 통합되었다.

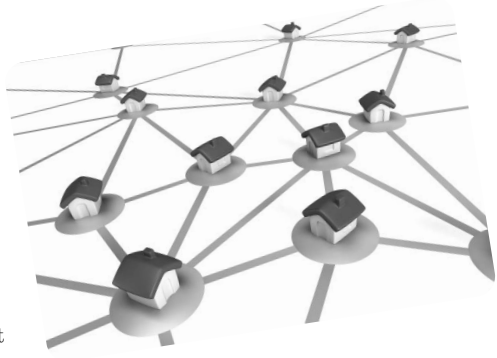
오늘날 컴퓨터의 연산 단위는 '0'과 '1'의 이진수를 사용하는 비트라는 단위이다. 하지만 양자컴퓨터는 연산 단위가 양자비트(Quantum Bit, 또는 Qubit)이며 '0'과 '1'이 중첩되는 상태이다. 두 개의 양자점을 준비하여 한쪽을 '0'으로 삼고, 다른 한쪽에는 전자를 하나 넣어 '1'로 삼는다. 고전물리학에서는 '0'과 '1'의 어느 한쪽밖에 존재하지 않지만 10나노미터의 매우 작은 양자의 세계에서는 전자가 파동의 성질을 보이며 터널효과에 의해 '0'이기도 하고 '1'이기도 한 양쪽을 나타낸다. 즉, '00', '11', '01', '10'의 네 가지 상태를 나타낸다. 2^2가지의 구성을 만일 n개라면 2^n가지를 동시에 병렬적으로 처리한다.

9. 인터넷

1958년, 미국 대통령 아이젠하워(Dwight D. Eisenhower)는 소련이 최초의 인공위성인 스푸트니크를 발사하자 당시 소련보다 뒤쳐졌다고 판단된 과학기술의 경쟁

력 확보를 위해 정부 내에 새로운 연구지원기관을 설치했다. 이것이 바로 고등연구계획국(ARPA; Advanced Research Projects Agency)이다. 아르파(ARPA)는 곧 미국 전역의 대학과 연구소에 대대적으로 연구비를 제공했는데, 이에 따라 연구에 참여한 여러 대학과 연구소를 연결하여 연구의 효율을 올릴 수 있는 시스템이 요구되었다. 이후 아르파는 나사(NASA)가 우주 계획을 전담하면서 군사 분야의 장기 연구 프로젝트를 수행하는 데 적합하도록 조직의 면모를 일신하면서 컴퓨터 관련 연구에 적지 않은 예산을 투입했다. 당시는 메인프레임 컴퓨터값만 50만 달러에서 수백만 달러에 달하는 엄청난 액수였는데도 같은 연구실에 설치한 컴퓨터들 사이에서조차 정보 교환이 불가능했다.

1962년, 클라인 록은 컴퓨터 네트워크의 기본적인 원리인 패킷 교환(Packet Switching)을 제안했다. 패킷 교환이란 정보를 나누어 보내는 방식이다. 정보를 보내기 전에 이를 패킷으로 나누고 이것들을 어떤 때는 서로 다른 통신선을 이용하여 보낸 후 도착지에서 다시 이를 조합하는 방법이다. 또 영국의 도널드 데이비스(Donald Davies)도 고속 통신회선 위에서의 패킷 교환 방식이야말로 대단히 효율적인 컴퓨터 통신망을 구축하는 데 필수라고 생각하고 패킷과 패킷 교환 방식을 고안했다. 1969년 아르파는 데이터의 전송 방식에 패킷 교환 방식을 채택했다. 이렇게 아르파는 컴퓨터 통신망의 연구를 시작하여 아르파넷(ARPANET)이란 통신망을 완성시키고 다른 통신망과의 접속이 가능한 기준(Protocol; 프로토콜)을 정했다. 이 기준을 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet

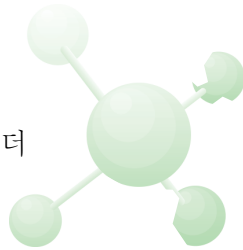


Protocol)라고 부르며, 이것을 채용하여 접속시킨 컴퓨터 통신망을 인터넷이라 불렀다. 아르파넷은 지리적으로 떨어져 있는 다른 컴퓨터 시설을 이용하고 그것의 컴퓨팅 자료를 이용하는 것이 목적이다. 미국 국방성은 이 컴퓨터 프로토콜을 이용, 스탠포드 대학, UCLA 대학, 산타바바라대학, 유타 주립대학 등 네 개 학교를 연결하는 군용 통신망을 구축했다. 이렇게 하여 미국은 동부와 서부의 시간차를 이용하여 서로 간의 컴퓨터 시설을 효율적으로 이용하게 되었다. 1970년대 초가 되자 아르파넷은 근거리 통신망의 일종인 이더넷과 연결이 이루어졌다.

1980년에 인터넷전송제어 언어인 TCP/IP가 완성되어 미 국방부의 공식 프로토콜로 채용이 되었다. 1983년에는 이더넷형의 근거리통신망의 표준화가 이루어지고 유닉스 운영체제의 대학통신망에서 TCP/IP 채용이 확산되자 결국 TCP/IP는 아르파넷(인터넷)의 통일 프로토콜로 되었다. 1983년에는 전 미군이 이 기준을 정식으로 채용하여 통신망(MILNET) 정비에 나섰고, 1985년에는 NSF(National Science Foundation; 전미과학재단)이 국방성의 지원으로 NSFNET라는 인터넷을 만들었다. 이것은 원래 대학이나 연구소의 컴퓨터를 접속하는 학술용의 통신망이었으나, 점점 기업에게도 접속되고 용도도 학술 연구에 한하지 않았다. 1986년에는 NSFNET의 규모가 더욱 커져 일반 시민들도 이용할 수 있었다. 인터넷의 규모는 더욱더 커졌고 미 국방성으로 부터 인터넷의 독립이 이루어짐에 따라, 미국 정부 지도로 각 기업이 협력하여 대용량의 통신 능력을 갖춘 ANSNET이 완성되었다. 이것이 현 인터넷의 중심 모태로서 여기에 전 미국, 나아가서는 전 세계의 컴퓨터 통신망이 접속되어 오늘날의 인터넷이 되었다.

1989년에 유럽핵물리연구소(CERN)에서 일하던 팀 버너스리(Tim Berners Lee)팀에 의해서 인터넷의 대중화에 결정적인 월드와이드웹(WWW; World Wide Web)이 출현했

다. 웹은 기존에 키보드로 명령어를 직접 입력하여 문자정보를 검색하는 서비스와는 달리 마우스로 원하는 곳을 클릭하면 모든 경로를 무시하고 원하는 정보에 직접 접속이 가능한 방법이었다. 웹은 인터넷상에 분산되어 존재하는 온갖 종류의 정보를 통일된 방법으로 찾아볼 수 있게 만든 소프트웨어이다. 웹에서는 정보가 웹서버라는 컴퓨터 내에서 하이퍼텍스트라는 형식으로 작성되어 홈페이지라는 단위로 관리된다. 버너스리에 의해 인터넷은 전문가만이 아니라 일반 대중도 쉽게 접속하여 편하게 지식의 바다를 항해할 수 있었다. 월드와이드웹의 등장 이전에도 유즈넷이나 고퍼 등 인터넷에서 사용되는 뉴스 그룹 형태의 인터넷 사용시스템이 있었지만 중앙 집중식이었던 데다 정해진 메뉴를 따라가는 방식이었다. 게다가 시스템별로 사용법이 달라 전문가가 아니면 접근하기 어려웠다. 이어 웹의 주소체계 URL(Universal Resource Locator)이 발명되어 종래 웹 주소를 숫자로 써야 했을 때 겪었던 불편을 해소했다. 이것은 도메인 네임체계에 기반을 두고 호스트 컴퓨터의 이름을 정리한 것이다. 예를 들어, http://www.aol.com의 경우를 보면 http로 전송 프로토콜을 명시하고, www로 인터넷 자원을 구획한 다음 aol.com으로 IP주소를 나타내고 있다. 여기에 디렉토리 이름, 문서 이름, 날짜, 기타 정보를 추가하는 방식으로 확장되기도 한다. 웹이 많아지니 그 많은 웹에서 어디로 가야 원하는 것을 찾을 수 있을지 알기 어려워졌다. 그러자 컴퓨터 알고리즘을 이용해 각종 웹을 모두 찾아다니면서 목적하는 바를 찾아 보여주는 검색엔진이 나타났다. 검색엔진은 찾고자 하는 제목이나 핵심 단어를 입력하면 스파이더(Spider)라고 하는 프로그램을 작동해 그런 제목이나 핵심 단어를 포함하고 있는 웹페이지를 찾아 제시함으로써 웹에



접근하는 데 가졌던 어려움을 극복하게 해주었다.

1993년, 미국 일리노이대에서 최초의 PC용 검색엔진인 모자이크가 개발되었고, 이어 넷스케이프, 익스플로러 등 더 발전한 웹브라우저가 탄생하자 인터넷 사용자 수가 폭발적으로 증가했다. 여하튼 1991년에 처음으로 데뷔한 월드와이드웹은 홈페이지의 숫자가 처음 5년 동안에만 4,000만 개로 늘어났으며, 현재는 수억 개에 이르고 있다. 이제 인터넷은 '사용자에게 친절한 정보의 보고'가 되었다. 웹 주소만 알면 누구나 그것을 쉽게 찾을 수 있고, 키워드 등 어떤 단서가 있으면 그것을 포함하거나 다루는 웹을 수월하게 찾아갈 수 있다. 나아가 이러한 기능을 제공하는 검색포털엔진은 항해 사이트의 성격을 가지게 되었다. 거대한 네트워크는 거대한 대 백과사전 이상의 가상도서관과 통신망을 구축해주었고 앞으로는 기존의 위성방송을 포함한 텔레비전망과 통합되어 실시간적, 무선적(Wireless), 개인화된 영상 정보망의 도래를 예고하고 있다.

인터넷은 예수가 보리떡 다섯 개와 물고기 두 마리로 수천 명의 유대인을 먹여 살렸던 오병이어의 신화를 현실로 끌어내렸다. 디지털 오병이어의 시대가 왔다. 인터넷에서 책을 사고 시장을 보고 인터넷뱅킹으로 은행 업무를 본다. 인터넷은 개인용 컴퓨터와 초고속 인터넷망을 기반으로 형성되었으며 성별, 국적, 연령의 벽을 초월한 공간으로, 정보 검색뿐 아니라 인간적 교류를 얻기 위해서도 접속한다. 자신의 새로운 모습을 찾고 실험할 수 있는 사이버 자아의 탐험 장소가 된다. 우리는 21세기의 진입로에서 수많은 네트유목민(디지털 노마드)을 발견한다. 많은 전 세계의 네트유목민들은 사이버 공간에서 새로운 형태의 경제, 정치, 문화공동체를 건설해가고 있다.

10. 복잡성과학

1960년대가 되자 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 통해 기상예보와 경제 동향의 예측이 가능해졌다. 로렌츠(Edward N. Lorenz)는 적운의 발생과 소멸 등 변화과정을 근사식을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 해본 결과, 같은 식에 아주 작은 차이의 수치만 적용시켜도 결과에서는 큰 차이가 생긴다는 것을 밝혀냈다. 다시 말해, 대류의 세기, 상승기류와 하강기류의 온도차, 지표에서 상공 사이에 생기는 온도 변화를 변수로 한 계산식에서는 그중 어느 것 하나가 조금만 변화하면 다른 변수가 크게 변화하기도 해 시뮬레이션 결과에 큰 차이가 생긴다는 것을 증명했다. 그는 위치에 따른 압력과 온도와의 관계방정식에 변수값을 넣은 후 결과를 빨리 얻기 위해 소수점 몇 자리를 반올림한 값을 대입했는데 그 결과는 처음에 예상했던 결과와 전혀 다른 값을 보였다. 그는 그 일을 통해 나비에-스토크방정식의 비선형 항들이 소수점 이하의 작은 차이들을 제곱 혹은 세제곱으로 증폭시킨다는 사실을 알았다. 이것은 매우 놀라운 발견이었다. 간단한 방정식으로부터 복잡한 현상이 나타날 수 있다는 것은 역으로 우리 주위에 있는 복잡한 현상들을 간단한 방정식으로 나타낼 수 있다는 것이기 때문이다.

로렌츠가 그의 기상모델을 이용한 분석에서 이 방정식들의 해가 초기조건에 매우 민감하다는 것도 알게 되었다. 약간 다른 초기조건을 이용하면 처음에는 비슷한 운동을 하지만 점차 그 차이가 커져 긴 시간이 흐른 후에는 전혀 다른 운동을 했다. 이렇게 결과가 초기조건에 민감하게 의존하는 현상을 나비효과(Butterfly Effect)라고 부른다. 서울 상공에서 나비 한 마리가 펄럭인 영향이 수개월 후에 뉴욕에서 폭풍을 가져올 수 있다는 의미이다. 그가 발견한 나비효과는 비선형방정식을 선형방정식으로 근사시켜 해를 구해온 종래의 방법에 문제가 있음을 알려주었다.

또한 로렌츠는 그가 얻은 방정식의 해가 위상공간에서는 복잡한 기하학적인 구조로 나타난다는 사실도 발견했다. 그는 대류에 관한 방정식에 내재돼 있는 정교한 기하학적 구조를 발견했다. 똑같은 자리로 되돌아오지는 않지만 거의 비슷하게 반복되는 로렌츠 끌개가 모습을 드러낸 것이다. 따라서 이러한 현상을 이해하기 위해서는 위상공간에 나타나는 기하학적 구조를 이해해야 했다.

위상공간의 각 점은 운동 상태를 나타낸다. 따라서 오랜 시간이 흐른 후에 운동하는 질점이 일정한 운동 상태로 다가가 안정한 상태가 된다면 위상공간에서는 운동 상태가 한 점으로 다가가는 것으로 나타난다. 이렇게 오랜 시간이 지난 후에 어떤 계가 안정된 상태로 수렴하게 될 때 위상공간에서 이 안정한 상태를 나타내는 궤적을 끌개(Attractor)라고 한다. 감쇄진자운동인 경우에는 원점이 끌개가 된다. 그리고 조화진동의 경우에는 원이 끌개가 된다. 이와 같이 끌개는 위상공간 위의 한 점일 수도 있지만 원과 같은 기하학적인 도형으로 나타나기도 한다. 이러한 기하학적인 구조는 자연계에 널리 존재한다. 바로 프랙탈(Fractal)이다. 자연의 구조물에는 물론이고 수학적 분석이나 생태학의 로지스틱 맵, 위상공간에 나타내진 동역학의 운동 모형 등 곳곳에서 발견되는 프랙탈은 자연의 기본적인 구조였다. 이제 공간구조로서의 프랙탈과 비선형 동력학은 위상공간에서 만났다. 우리는 프랙탈구조에 대한 이해를 통해 불규칙해 보이는 자연의 공간적인 구조 속에 내재해 있는 규칙을 찾아낼 수 있고 혼란스러워 보이는 비선형 동력학의 현상을 지배하는 규칙도 찾아낼 수 있다.

유클리드기하학은 자와 컴퍼스로 그릴 수 있는 삼각형이나 원같이 단순한 모양(도형)에 대한 수학이다. 간단한 도형들에 관한 성질 등을 조사하고 그들 사이의 관계를 설명하는 것을 목적으로 한다. 유클리드기하학은 이 세상의 모든 모양(도형)의

성질을 조사하고 알고자 하지만 내부적인 한계가 있다. 뉴턴의 미적분학은 유클리드기하학보다는 좀 더 복잡한 모양을 연구 대상으로 삼는다. 자와 컴퍼스로만 그릴 수 없는 도형까지도 연구 대상이다. 그것은 함수라는 것을 사용함으로써 가능한 것이다. 하지만 여전히 본질적으로 단순한 즉 미분 가능한 곡선만을 연구한다. 만델브로트(Benoit Mandelbrot)라는 수학자는 자연의 복잡하고 아름다운 모습들도 수학적으로 처리할 수 있는 길을 모색했다. 만델브로트는 컴퓨터로 이런 복잡한 모양에 대한 알고리즘이나 확률값을 조사해냈다. 복잡한 모양도 수리적으로 해석할 수 있었다. 그러한 새로운 기하학을 프랙탈기하학이라고 한다. 한마디로 프랙탈기하학은 복잡한 도형에 대한 기하학이다. 사실 우리 주위에는 온갖 복잡하고 불가사의한 모양이 가득하다. 추운 겨울 아침 창가에 피어 있는 얼음 꽃, 이리저리 얽히고설킨 나무 잎맥의 모양, 번개의 모습 등의 무질서하면서도 복잡한 모양을 설명할 새로운 기하학이다.

학문적으로 복잡계는 경제학 개념으로, 원인과 결과의 관계는 하나의 원인에 하나의 결과가 대응한다는 단순 관계의 설정에 대한 비판에서 시작되었다. 최근에는 경제학뿐 아니라 사회학, 물리학, 화학, 생물학 등 여러 분야에서도 복잡계에 관심이 높아지고 있다. 이들 서로 다른 학문 사이의 유기적인 관계 속에서 복잡계는 다양한 분야에 널리 적용될 수 있음을 보여준다.

결론

21세기 한국의 미래 모습

21세기 한국의 미래 모습

18세기 후반 영국에서 증기기관을 사용하여 대형 기계를 움직이는 공장제 공업이 탄생했다. 석탄이 연료로서 보급되고 철의 생산이 늘어났다. 기선이나 기차가 만들어졌고 사회가 급속하게 풍족하고 편리해졌다. 영국은 지금까지 없었던 새로운 기술, 기계, 상법 등이 개발되자 자유주의 시장경제를 채택했다. 누구라도 자유롭게 물건을 만들어 팔 수 있는데, 그것의 좋고 나쁨은 소비자들이 판단하여 선택·구매한다는 경제체제이다. (정치에서도 누구든 입후보할 수 있으나 유권자에게 많은 표를 받은 자가 당선되고 가장 많은 당선자를 낸 정당이 정권을 잡도록 했다.)

산업혁명은 일련의 기술혁신이었다. 18세기 후반 영국에서 시작되어 19세기에 서구나 북미, 일본으로 퍼진 공업화 현상이다. 이어서 진행된 19세기 말의 전기기계와 내연기관의 발달, 20세기 초에 있었던 화학공업의 확립과 전파미디어의 보급도 중요한 기술혁신이었다. 산업혁명이 연 근대 과학기술은 어느 나라에서도 통용되는 보편적인 것으로 사물을 보는 관점이 객관적이었다. 만유인력의 법칙이나 증기기관이나 시장원리 등은 세계 어디에서도 통용될 수 있었다. 정치와 사회 분야에서도 근대 언론의 등장에 이은 여론 개념의 등장으로 타당한 지식의

생산을 제도화하게 되었다.

자본주의는 그 탄생 이래 기술혁신으로 단계적으로 발전해왔다. 산업혁명은 영국에서 철강, 방직기 및 증기기관과 더불어 시작되었다. 이어서 전기, 내연기관 및 화학산업의 확장을 동반했다. 이러한 산업혁명은 먼저 농업에, 뒤이어 제조업에 근본적인 변화를 가져왔다. 근대 공업사회를 대상으로 한 경제학에서는 가격은 수급에 의해 변동하나 가치는 일정하다고 생각해왔다. 예를 들면 철강 1톤의 가치는 60만 원인데, 시장 가격은 40만 원으로 하락하면 공급은 줄고 수요는 늘어나기 때문에 얼마 안 되어 수급 관계가 역전되어 1톤에 80만 원까지 오른다는 것이다. 결국 가격은 수급 관계로 가치의 주위를 위아래로 왔다 갔다 할 수 있으나 가치 그 자체는 변하지 않는다. 뉴턴역학에서 에너지 불변의 법칙과 같은 발상이다. 근대 공업사회의 경제재정 운영은 이러한 가치 불변의 가설 위에 세워져 있었다.

20세기의 모든 국가는 전 세계적으로 생산되는 과학적 지식에 따라 경제적 정체성을 받아들이고 경쟁체제로 흡수되었다. 더하여 미국이 기초과학에의 막대한 투자를 통해 과학의 주도권을 잡아가면서 집중의 논리가 강화되었다. 규격 대량생산은 상품을 정형화하고 예상되는 사용가치를 고객에 제공하여 안정감을 주었다. 삼성이나 LG의 텔레비전이나 맥도날드나 롯데의 햄버거, 힐튼이나 호텔신라의 트윈룸 등은 사용가치를 보증해준다. (20세기에 보급된 대량 생산형 상표는 이로써 이익을 얻었다.)

오늘날에는 정보통신 신기술로 전화, 오디오비주얼 및 전산기기의 3영역이 융합되었다. 정보통신 신기술은 제2차 세계대전 중 영국이 독일의 비밀 메시지를 해독할 목적으로, 그리고 미국이 원자폭탄을 만들 목적으로, 엄청난 계산 능력을

가진 기계(컴퓨터)를 발명하면서 시작되어 인터넷 및 정보통신 기술로 이행되었으며 이제는 지식을 자본화하는 데이터베이스의 단계에 와 있다.

오늘날은 정보통신의 신기술로 재화와 서비스 간의 경계도 없어지고 있다. 이로부터 인간, 아이디어 및 이미지 사이의 관계가 핵심을 이루는 '무형재의 경제'가 나타나고 있다. 생산물의 내용이 갈수록 정보로 채워지고 생산물들 간의 상호작용성이 강화되면 될수록 생산물의 본질 자체가 변하게 되어, 생산물은 더 이상 일정하게 결정된 가치를 가진 대상이 아니라 부가가치를 창출하는 서비스를 낳을 수 있는 진화적인 대상이다. 여기서 유형의 물질적 생산물은 대개 서비스 유통에 필요한 '숙주'로 기능하며 기업과 고객 사이에 지속적인 서비스 관계가 형성되도록 해준다. 또 서비스의 개인별 맞춤 생산이 가능하게 됨으로서 표준화된 재화의 대량 생산에서 특수화된 서비스의 생산으로, 즉 패키지서비스(은행, 보험 및 투자의 연계)로 이행했다.

생산물의 무형화와 정보통신 신기술 덕분에 운송비는 대폭 축소되고 기술, 자본, 상품 및 서비스의 국제 이동이 아주 쉬워졌다. 생산물은 사이버 공간(Cyber Space)으로 이행하고 있다. 전자산업의 경우 국제무역의 비율은 이미 50퍼센트에 달한다. 하이테크의 세계적 전파 및 제3세계의 값싼 인건비와 더불어 세계경제는 다국적기업들의 네트워크로 변모되어가고, 이렇게 해서 등장한 공장 없는 기업은 구상, 마케팅 및 판매 등 고부가가치를 갖는 활동에만 전념한다.

과거에 우리는 선형의 세계에 살고 있었다. 거기에서는 모든 것이 독립적으로 존재하고 낱낱

이 쪼개질 수 있고 그래서 예측 가능했다. 그러나 21세기의 비선형의 세계에서는 모든 것이 다른 것과 연결되어 있다. 그래서 행위자들의 상호작용 또한 예측할 수 없다. 이제 네트워크 지식사회는 지식과 네트워크의 복합적 부상에 대응하고 자기 조직(Self Organizing)의 과정을 추구하는 21세기 한국의 미래적 모습이다. 각 산업의 지구 생산 네트워크에서 다양한 형태의 모방하기 어려운 지식을 창출하고 이를 지켜갈 수 있는 표준설정 능력, 브랜드, 마케팅 능력, 연구개발 능력 등을 갖추어나가야 한다. 우리에게 필요한 것은 그것을 잘 알아볼 수 있는 눈이다.

참고 및 인용 문헌

| 국내 문헌 |

강신익, 『몸의 역사, 몸의 문화』, 휴머니스트, 2007.

강태훈, 『클릭을 발명한 괴짜들』, 궁리, 2005.

게리 맥크라켄 · 피터 스톳, 유창모 · 윤진희 · 차동우 옮김, 『핵융합-우주의 에너지』, 북스힐, 2007.

곽영직, 『곽영직의 과학캠프』, 해나무, 2008.

김광웅 엮음, 『우리는 미래에 무엇을 공부할 것인가』, 생각의나무, 2009.

김도연, 『우리시대 기술혁명』, 생각의 나무, 2004.

김미선, 『수소 혁명의 시대(살림지식총서 184)』, 살림, 2005.

김영식, 『과학, 역사 그리고 과학사』, 생각의나무, 2008.

김영식, 『역사와 사회 속의 과학』, 서울대학교출판부, 1994.

김영식 · 박성래 · 송상용, 『과학사』, 전파과학사, 1992.

김용석 외, 『인문학의 창으로 본 과학』, 한겨레출판, 2006.

김용호, 『세계화 시대의 공력 쌓기(SERI 연구에세이 026)』, 삼성경제연구소, 2005.

김우겸, 『한의학과 현대의학』, 서울대학교출판부, 2003.

김 호, 『조선의 명의들(살림지식총서 278)』, 살림, 2007.

김홍종, 『수학으로 과학보기』, 궁리, 2005.

김희준, 『과학으로 수학보기』, 궁리, 2005.

김희준, 『김희준 교수와 함께하는 자연과학의 세계 1, 2』, 궁리, 2003.

노엘 그로브, 『세계의 역사와 사건』, 내셔널 지오그래픽 협회출판, 1997.

노우드 러셀 핸슨, 송진웅 · 조숙경 옮김, 『과학적 발견의 패턴-과학의 개념적 기준에 대한 탐구』, 사이언스 북스, 2007.

니시야마 기요시, 이정환 옮김, 『3일 만에 읽는 나노의 세계』, 서울문화사, 2007.

니혼게이자이 신문사, 김동광 옮김, 『과학기술 프런티어 100』, 까치, 1996.

다나카 마사타케, 신영범 옮김, 『재배식물의 기원』, 전파과학사, 1992.
도쿠마루 시노부, 이정한 · 손영수 옮김, 『전파기술에의 초대(Blue Backs B34)』, 전파과학사, 1982.
로버트 L. 월크, 이창희 옮김, 『아인슈타인이 이발사에게 들려준 이야기』, 해냄, 2001.
로버트 M. 헤이즌 · 제임스 트레필, 이창희 옮김, 『과학의 열쇠』, 교양인, 2005.
루카 프라이올리, 이충호 옮김, 『기술의 역사–세상을 바꾼 사람들의 이야기』, 사계절, 2004.
리더스 다이제스트, 『재미있는 과학기술의 세계』, 동아출판사, 1992.
리처드 로빈슨, 신현승 옮김, 『왜 버스는 세 대씩 몰려다닐까』, 한겨레출판, 2007.
리처드 로즈, 문신행 옮김, 『원자폭탄 만들기 1, 2』, 사이언스 북스, 2003.
마가렛 체니, 이경복 옮김, 『니콜라 테슬라』, 양문, 2002.
마루카와 도모오, 『현대중국의 산업』, 중앙공론신사, 2007.
막스 페루츠, 민병준 · 장세헌 옮김, 『과학에 크게 취해』, 솔, 2004.
맛시모 몬타나리, 주경철 옮김, 『유럽의 음식문화』, 새물결, 2001.
민창기 · 김종명, 『기술여행』, 벽호, 1999.
박금식, 『과학문화와 기업의 만남(SERI 연구에세이 062)』, 삼성경제연구소, 2006.
박기학, 『자연과학입문』, 녹문당, 2008.
박병상, 『내일을 거세하는 생명공학』, 책세상, 2002.
박성래, 『친절한 과학사』, 문예춘추, 2006.
박익수, 『청소년을 위한 위대한 발명, 발견』, 전파과학사, 1986.
박태현, 『처음 읽는 미래과학 교과서–세 번째 이야기, 생명공학』, 김영사, 2007.
배우철, 『생물학 무기(살림지식총서 023)』, 살림, 2003.
백종민, 『전자기, 맥스웰의 스파크』, 성우, 2002.
복잡계 네트워크, 민병원 · 김창욱 엮음, 『복잡계 워크샵』, 삼성경제연구소, 2006.
비토리오 주니치, 남경태 옮김, 『20세기 세계역사–대변혁의 시대』, 사계절, 2005.
빌 브라이슨, 이덕환 옮김, 『거의 모든 것의 역사』, 까치, 2003.

사키가와 노리유키, 문성원 옮김, 『재미있는 화학이야기(이야기과학시리즈 4)』, 예문당, 2006.

서울대학교 공과대학, 『공학에 빠지면 세상을 얻는다』, 동아사이언스, 2005.

서울대학교 자연과학대학 교수 31인, 『21세기와 자연과학』, 사계절, 1994.

서울대학교 자연대학 교수 외, 『과학, 그 위대한 호기심』, 궁리, 2002.

손제하, 하일식 옮김, 『조선이 일본에 전해준 하이테크 이야기』, 일빛, 2005.

스티븐 와인버그, 이종필 옮김, 『최종 이론의 꿈』, 사이언스 북스, 2007.

쑨자오룬 엮음, 심지언 옮김, 『지도로 보는 세계 과학사』, 시그마북스, 2009.

아이작 아시모프, 권루시안 옮김, 『아이작 아시모프의 과학 에세이』, 아름다운날, 2007.

안동완, 『세계의 비밀을 푸는 물리학 이야기』, 책세상, 2007.

알프레드 챈들어, 한유진 옮김, 『전자산업 100년사(베리타스 비즈니스 히스토리 002)』, 베리타스북스, 2006.

야마구치 마사야, 한명수 옮김, 『카오스와 프랙털(Blue Backs B128)』, 전파과학사, 1993.

에릭 뉴트, 이민용 옮김, 『쉽고 재미있는 과학의 역사 2』, 이끌리오, 1998.

에마 가스히로 감수, 『빛이란 무엇인가?–주변의 현상에서 최첨단 연구까지』, 뉴턴코리아, 2008.

예병일, 『인류를 구한 항균제들』, 살림, 2007.

예병일, 『전쟁의 판도를 바꾼 전염병(살림지식총서 276)』, 살림, 2007.

오오츠카 게이세츠, 김은하 · 변성희 옮김, 『한방의 특질』, 전파과학사, 1998.

오진곤 편저, 『현대과학의 이해–두 얼굴의 현대과학』, 전파과학사, 2003.

오진곤, 『서양과학사(현대과학신서 33)』, 전파과학사, 1977.

오진곤, 『틀을 깬 과학자들』, 전파과학사, 2002.

유병규, 『디지털 농업 시대』, 삼성경제연구소, 2007.

유영만, 『지식생태학(SERI 연구에세이 056)』, 삼성경제연구소, 2006.

윤봉준, 『선진 3국 부강기–영미일 그들은 어떻게 부강국가가 되었나』, 삼성경제연구소, 2008.

윤영수 채승병, 『복잡계 개론』, 삼성경제연구소, 2005.

이규태, 『한국인의 밥상문화 1, 2』, 신원문화사, 2000.

이내주, 『서양무기의 역사』, 살림, 2006.

이노우에 마사요시, 강석태 옮김, 『카오스와 복잡계의 과학』, 한승, 2002.

이면우, 『천문학 탐구자들』, 2003, 살림출판사.

이어령, 『디지로그』, 생각의나무, 2006.

이언 해킹, 이상원 옮김, 『표상하기와 개입하기-자연과학철학의 입문적 주제들』, 한울아카데미, 2005.

이영희, 『미시세계가 거시세계를 바꾼다-나노(살림지식총서 125)』, 살림, 2004.

이은희, 『하리하라의 생물학 카페』, 궁리, 2002.

이인식 외, 『세계를 바꾼 20가지 공학기술』, 생각의 나무, 2004.

이재열, 『미생물의 세계』, 살림, 2005.

이종필, 『신의 입자를 찾아서』, 마티, 2008.

이중원 · 홍성욱 · 임종태, 『인문학으로 과학읽기』, 실천문학사, 2004.

이천표, 『우물 밖 인터넷』, 동아시아, 2007.

이춘열, 『네트워크형 기업과 미래 경영전선(SERI 연구에세이 074)』, 삼성경제연구소, 2007.

이필렬 · 이중원, 『인간과 과학』, 한국방송통신대학교 출판부, 2001.

이필렬 · 최경희 · 송성수, 『과학-우리시대의 교양』, 세종서적, 2004.

이호중, 『신과학사』, 북스힐, 2002.

이 홍, 『지식점프(SERI 연구에세이 009)』, 삼성경제연구소, 2004.

이희진, 『정보기술은 시간을 어떻게 변화시킬까?(SERI 연구에세이 041)』, 삼성경제연구소, 2006.

일본경제신문사 엮음, 김계용 옮김, 『신소재혁명(현대과학신서 31)』, 전파과학사, 1984.

일본광합성연구회, 『광합성사전』, 학회출판센타, 2003.

장준식, 『차세대 지식산업을 찾아라』, 임송, 2007.

장회익, 『삶과 온생명』, 솔, 1998.

존 그리빈 엮음, 최주연 옮김, 『한 번은 꼭 읽어야 할 과학의 역사 1』, 에코리브르, 2005.

존 랭곤 외, 정영목 옮김, 『내셔널 지오그래픽의 과학, 우주에서 마음까지』, 지호, 2008.

존 로지, 정병훈 · 최종덕 옮김, 『과학철학의 역사』, 동연, 1999.

존 브록만 엮음, 안인희 옮김, 『과학의 최전선에서 인문학을 만나다』, 동녘사이언스, 2006.

지바현역사교육과학협의회 엮음, 김은주 옮김, 『물건의 세계사』, 가람기획, 2002.

찰리 라이리, 이충섭 옮김, 『물의 치유력』, 생각의나무, 2006.

최창현, 『복잡계로 바라본 조직관리(SERI 연구에세이 037)』, 삼성경제연구소, 2005.

칼 세이건, 김한영 옮김, 『에필로그』, 사이언스북스, 2001.

파스칼 누벨, 전주호 옮김, 『과학을 사랑하는 기술』, 울력, 2005.

페니 르 쿠터 · 제이 버레슨, 곽주영 옮김, 『역사를 바꾼 17가지 화학 이야기 1, 2』, 사이언스 북스, 2003.

피터 앳킨스, 이한음 옮김, 『갈릴레오의 손가락』, 이레, 2006.

하나가타 야스마사, 정난진 옮김, 『3일 만에 읽는 생활 속의 과학』, 서울문화사, 2007.

한국과학문화재단, 『교양으로 읽는 과학의 모든 것 1, 2』, 미래 M&B, 2006.

한양대학교 과학철학 교육위원회 편, 『과학기술의 철학적 이해』, 한양대학교 출판부, 2004.

호소야 에이키치, 김은하 옮김, 『한방의 과학』, 전파과학사, 1992.

홍성욱, 『과학고전선집–코페르니쿠스에서 뉴턴까지』, 서울대학교출판부, 2006.

홍성욱, 『과학은 얼마나』, 서울대학교출판부, 2004.

황 제, 이창일 옮김, 『황제내경』, 책세상, 2004.

A. L. 바라바시, 강병남 · 김기훈 옮김, 『링크』, 동아시아, 2002.

K. 메데페셀 헤르만 · F. 하마어 · H. J. 크바르베크제거, 권세훈 옮김, 『화학으로 이루어진 세상』, 에코리브르, 2007.

| 외국 문헌 |

Bryan Bunch, Alexander Hellemans, "The history of science and technology: A browser's guide to the great discoveries, inventions, and the people who made them from the dawn of time to today", Houghton Mifflin, 2004.

John Gribbin, "Science: A history", Penguin Books Ltd, 2003.

David Hamilton, "Technology, man and the environment", London: Faber and Faber LTD, 1973.

Lawrence James, "The rise and fall of the British empire", New York: St. Martin's Griffin, 1995.

James E. McClellan III, Harold Dorn, "Science and technology in world history: An introduction", Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1999.

National Geography Society, "Inventors and discoverers–Changing our world", Washington D.C.: National Geography Society, 1988.

National Geography Society, "100years of adventure and discovery", Hong Kong: A Times Mirror Company, 1994.

Geoffrey Parker, "The Times compact atlas of world history", London: Times Books, 1995.

Reader's Digest, "Marvels and misteries of the world around us", Reader's Digest of Japan, Ltd, 1979.

과학이 보인다

❶ 과학의 역사

인 쇄 2013년 3월 25일
발 행 2013년 3월 28일
전자책 발행 2015년 4월 30일
발행인 이철호(한국식량안보연구재단)
발행처 도서출판 식안연
주 소 서울시 성북구 안암로 145, 고려대학교 생명과학관(동관) 401
호**전 화** 02-929-2751 / **팩 스** 02-927-5201
이메일 foodsecurity@foodsecurity.or.kr
홈페이지 www.foodsecurity.or.kr
디자인 오정화
전자책 ISBN 979-11-863961-9-3
11,040원

이 전자책은 저작권법에 의하여 보호를 받는 저작물이므로 무단전재와 무단복제를 금합니다. 이를 위반하면 민 · 형사상 책임을 질 수 있습니다.

All rights are reserved. Produced in Korea. No part of this book may be reproduced in any form without permission in writing from the publisher.

본 콘텐츠는 PDF형식으로 서비스합니다.