

과학이 보인다

과학의 역사 & 동아시아의 과학 양재승



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 기술로 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?

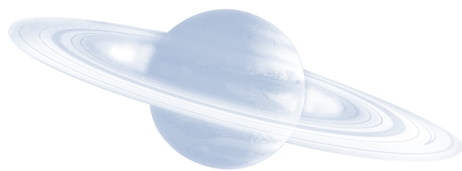
서양의 과학기술이 분석적이며 단순화된 가설과 증명에 근거한 반면 동양은 통합적이며 인간과 자연의 조화에 가치를 두고 있다. 세분화, 고도화된 현대과학이 융합을 통해 새로운 활로를 찾으려고 하는 것은 동서양 과학철학 패러다임의 조화라고 볼 수 있다.

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.

2016년 8월

고려대학교 명예교수

한국식량안보연구재단 이사장 **이 철 호**



머 · 리 · 말

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.

이책은 Part I. 과학의 역사와 Part II. 동아시아 과학으로 구성되어 있다. 제 1장 뉴턴과학의 완성 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 제 2장 산업혁명과 열역학 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), 백신, 합성섬유와 플라스틱을 다루었다. 19세기에 자연에 존재하는 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 제5장 원자력과 소립자에서는 발전(원자력), 그리고 라디오와 텔레비전 등의 가전제품, 반도체와 개인용 컴퓨터(PC), 유전자 등의 생명공학, 컴퓨터, 인터넷 등을 다루었다.

Part II. 동아시아의 과학은 크게 동아시아 전통과학과 유럽에서 들어온 근대과학 그리고 아직도 활발히 연구되고 있는 한의학의 세 부분으로 나누어 썼다. 한의학은 집중적으로 다룬 것은 동아시아 전통과학 가운데 지금까지 생활에 응용되고 연구되는 유일한 동아시아의 과학이기 때문이다. 제 6장과 7장에서는 고대 동아시아 문화의 저류인 중국의 전통과학을 다루었으며, 8장에서는 한중일 3국의 전통 과학기술의 중간 매개

자로서 한국의 역할을 기술했다. 제 9장과 10장에서는 한의학의 형성과 한중일 한의학의 특징을 다루었다. 이어서 유럽의 과학을 가장 먼저 소개한 일본의 근대과학(제 11장)과 중국의 근대과학(제 12장)을 소개했다. 마지막으로 제 13장에서 한국의 근대과학을 살펴보았다. 한국은 약 8,000년 전부터 신석기 문화가 시작되었고, 과학기술은 중국 문명의 영향을 받으면서 또 일본열도로 영향을 미치면서 이어져왔다. 따라서 이러한 정황을 글 사이사이에 더하여 동아시아 세 나라의 과학을 균형 있게 쓰려고 노력했다. 또 고대 중국의 과학이 유럽의 근대과학의 모태가 된 정황 등을 조셉 니덤(Joseph T. M. Needham)의 연구를 중심으로 설명했으며, 일본의 과학에서는 고대과학보다 근대과학에 역점을 두어 설명함으로써 테사 모리즈 스스키가 주목한 일본의 과학모형을 수용했다.

필자는 이 책이 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 한국식량안보연구 재단 이철호 이사장님과 김유원 사장님, 그리고 (주)한림원 김홍중 사장님과 편집진에게 이 자리를 빌어서 감사드립니다.

저자 양재승

Contents

추천의 글 2

머리말 4

Part I . 과학의 역사

들어가며 I >> 거대과학의 산물 12

제1장>> 뉴턴과학의 완성 19

여명기 | 그리스-로마 | 중세유럽 | 인쇄술 | 화포 | 항해시대 |
신대륙 아메리카 | 향신료 무역 | 도자기 | 먹거리 | 뉴턴과학 |

제2장>> 산업혁명과 열역학 53

증기기관 | 방직공업 | 제철 | 기차 | 대량 생산 | 석유 | 내연기관 |
자동차 | 비행기

제3장>> 분자의 화학반응 85

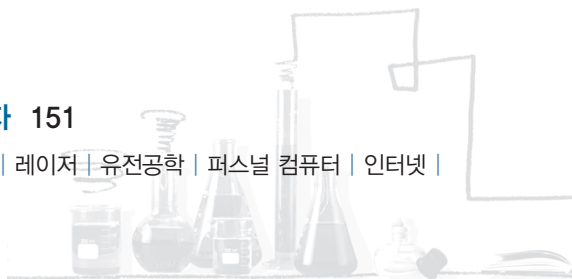
독일 과학 | 화약 | 염료산업 | 유기농업 | 항생제 | 페니실린 | 백신 |
합성섬유 | 광합성

제4장>> 전자기력의 이용 119

전기 | 전자기 | 테슬라 | 반도체 | 텔레비전 | 컴퓨터 |
통신 | 인공위성

제5장>> 원자력과 소립자 151

자유라디칼 | 전자 | 레이저 | 유전공학 | 퍼스널 컴퓨터 | 인터넷 |
복잡성과학



Contents

Part II . 동아시아의 과학

들어가며Ⅱ>> 과학의 기초는 동양에서 182

제6장>> 동아시아 전통과학 185

춘추전국시대 | 유가 통일시대 | 중국의 전제 관료제 | 분류적 사고 |
중국의 역법 | 주역 | 상수학 | 중국의 대수학 | 조선의 풍수 | 중국의
전통의술 |

제7장>> 분야별 과학기술 213

청동기 및 철기 | 농법의 진보 | 양잠술과 비단 생산 | 도자기 | 치수 |
나침반 | 화약 및 화약 무기 | 종이 및 활자 | 대운하

제8장>> 동아시아 과학기술의 전파 245

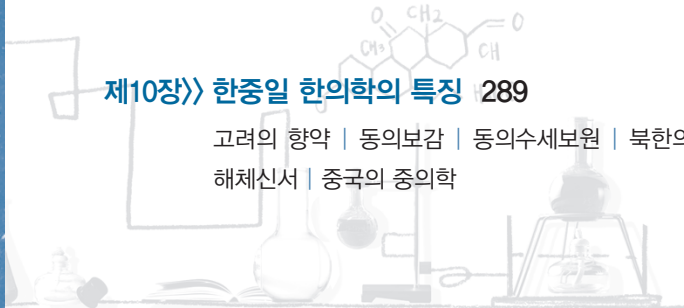
한반도 문화의 일본 전파 | 세종의 과학영농 | 조선의 주자학 |
발효기술 | 대체의학

제9장>> 한의학의 형성 267

한의학의 뿌리 | 기 조절 | 음양오행설 | 경락설 | 침구 | 황제내경 |
상한잡병론 | 이시진의 본초강목 | 손사막의 천금요방 | 금원사대가

제10장>> 한중일 한의학의 특징 289

고려의 향약 | 동의보감 | 동의수세보원 | 북한의 한의학 | 일본의
해체신서 | 중국의 중의학



제11장>> 일본의 근대과학 303

일본 에도시대의 국학운동 | 메이지유신 | 모방과 개선 | 산업입국 |
가전산업 및 자동차 | 컴퓨터 | 반도체 생산 | 전자부품재료 산업 |
일본 모델의 탄생 | 노벨상

제12장>> 중국의 근대과학 341

모택동시대 | 개혁과 개방 | 군민검용정책 | 자동차와 컴퓨터 | 중국
의 자동차 산업 | 중국의 기업전략, 수직분열 | 중국의 기업

제13장>> 한국의 근대과학 369

수출입국 | 중화학공업화 | 기간산업 | 대한민국 100대 기술

맺는 말>> 전통에서 미래로 383

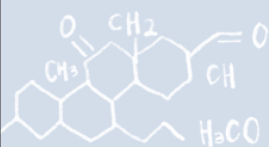
참고문헌>> 391





Part I

과학의 역사



들어가며 I

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 오르는 것이다.

물리학자들은 핵을 발견했고 곧이어 핵의 내부를 들락거릴 수 있는 중성자도 발견했다. 그리고 우라늄과 같이 과포화 상태인 원자 속으로 남는 중성자를 들여보내면 핵 전체가 흔들리다 떨기 시작하고 끝내는 폭발한다는 것도 알아냈다. 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.

1940년 봄, 영국의 오토 프리시(Otto Frisch)와 루돌프 파이얼스(Rudolf Peierls)는 핵폭탄이 실질적으로 가능함을 영당국에 구체적으로 보고했다. 즉 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 정도이며, 우라늄 농축이우라늄 235와 우라늄 238의 분리핵심 과제로 부각되어 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 Segrè)는 느린중성자에 의한 플루토늄의 유효단면적(Effective Cross Section)이 우라늄 235의 1.7배라는 사실을 발견하여 플루토늄 폭탄의 크기를 더 줄일 수 있게 되었다.

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 연쇄 반응을 이용한 것이다. 다시 말하면 원자폭탄은 우라늄 235나 플루토늄 239가 임계질량을 넘도록 해 연쇄적으로 핵분열할 때 내는 커다란 에너지를 무기화한 것이다.

1942년 9월에는 핵분열로 인해 방출되는 어마어마한 힘을 폭탄 제조에 활용하려는 맨해튼 프로젝트(계획)지고 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, 시카

고 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 헨 포드 플루토늄 생산용 원자로를 가동해 대량 생산에 들어갔다.

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 이루어졌다.

1945년 8월 6일, 히로시마에 TNT 12,500톤의 우라늄탄 꼬마(Little Boy)가 폭발했다. 상공에 떨어진 폭탄의 중심은 온도가 즉각 섭씨 2,000만도 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 똥보(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 끝

났다. 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 가능하게 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 대

통령에게 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 산업화로 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 국가정책 사업으로 시작한 것이다. 스물세 쌍의 사람 염색체에 있는 A, T, G, C의 네 문자로 구성된 31억 개의 염기 서열을 밝히는 이 계획이 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 사람에게 이르면서 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.

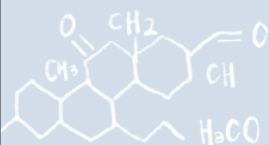
지금 미국의 최신 병기들은 대부분 다른 나라들이 갖추지 못한 것들이고 그런 병기들이 주는 전술적 우위는 대단하다. 게다가 그런 병기들이 다른 나라들보다 훨씬 앞선 민간 정보처리기술들과 결합하여 성능이 양자적 도약(Quantum Leap)을 했다. 그래서 미국은 전쟁이 일어날 때마다 새로운 방식으로 전쟁을 했으며, 미국에 맞선 이라크, 세르비아, 아프가니스탄은 제대로 대응하지 못했다. 걸프 전쟁에선 토마호크 순항 미사일(Cruise Missile)과 스텔스(Stealth) 항공기가 큰 몫을 했고, 코소보 전쟁에선 정밀 폭탄이 정교한 작전을 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 군사 시설에 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.

제1장

뉴턴과학의 완성

1. 여명기	21
2. 그리스-로마	23
3. 중세유럽	27
4. 인쇄술	29
5. 화포	33
6. 항해시대	38
7. 신대륙 아메리카	40
8. 향신료 무역	42
9. 도자기	44
10. 먹거리	47
11. 뉴턴과학	49



제1장

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 실험 중심의 과학은 조직적인 연구 집단을 요청했으며, 보다 엄밀한 객관성을 확보하게 되었다.

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 물러가면서 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 하나



의 전환점이었다. 밭을 갈고 동물을 우리에 가두어 기르면서 사람들은 정착생활을 시작했다.

농경은 야만에서 문명으로의 전환을 상징하는 사건이

었다. 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 도구들을 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 알아내면서 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 전차 부대끼리 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 찌르기용의 장창(약 2.4미터)과 호플론(Hoplôn)이라는 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 불가결했

는데, 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 구름 같이 화살을 날리고 난 후 전열이 흐트러진 잔당들을 총 공격해 소탕해 왔는데, 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 알렉산더(Alexandros)가 그리스 과학의 열매들을 가지고 정복전쟁에 나섰다. 커다란 바위를 최대 사방 800야드까지 날려 보낼 수 있는 토션 캐터펄트(Catapult; 투석기), 돌맹이를 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 장

악하고 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 하부조직을 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 방수 성질이 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 사용되었는데 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 꼭 조여야 했으므로 한두 시간만 말을 타고 달려도 엉덩이와 사타구니에 온통 멍과 물집이 생겼다. 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 휘둘러 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 휘둘러 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 전투용 도끼나 장검으로 그들을 사정없이 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 마구박

에 없었다. 그러나 목에 거는 가죽 띠는 말이 힘을 쓰면 숨통을 조였다. 한 사람만 올라타고 달려도 말의 숨이 막혔기 때문에 이러한 마구로는 말의 전인력을 수송에 이용할 수 없었다. 결국 로마는 이탈리아의 곡물을 말로 로마까지 수송할 수 없었다. 그러나 중국인들은 말의 가슴에 두른 딱딱한 멍에 대신에 훨씬 더 우수한 붓줄 마구를 사용했다. 말의 목에 거는 띠를 없애고 무게가 말의 가슴과 경골에 실리게 했다. 붓줄 마구는 나중에 중앙아시아를 거쳐 유럽으로 전래되었다. 가장 효율적인 마구는 쇠골걸이 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 뿜는 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 뿜는 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 로마제국의 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, 목

수, 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 그리스 로마 문명의 사회적·정치적 틀이 붕괴했고, 고전 지식의 주요 중심지들은 쇠퇴하기 시작했다. 529년에 비잔틴 제국의 유스티아누스(Justinianus) 황제는 아테네의 아카데메이아와 리케이온을 폐쇄했고, 641년에는 아랍인이 알렉산드리아의 박물관에 남아 있던 유산을 파괴했다. 도로와 다리, 수로교, 빌라를 비롯해 도시문명의 기반도 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 모



오고 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 힌두 교도에게서 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 빗길도 잘 받아들이고 질기고 오래간다. 또한 비단처럼 원하는 모양으로 마름질할 수도 있으며, 폴로 감쪽같이 이어 붙일 수도 있다. 중국인은 500년경부터 종이에 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 하나 하나 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 활판 인쇄가 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 과학과 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 베

스트렐러가 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 화약으

로 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 대나무나 쇠로 만든 관 안에다 화약, 돌멩이, 납 알갱이, 도끼류의 파편 등을 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 기병대는 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 낱알이 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 탄환을 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 꼭꼭 누른 흙과 벽돌로 쌓아 낮고 두껍게 만들고 그 앞에 있는 거대한 도

랑에 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 포격으로 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.

스페인도 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 아퀴버스(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 바로 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 경량 화함으로써 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 초반 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 전함파 상선의 설계에 차이가 나타나기 시작했다. 전함파는 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 깎리선으로 지중해를 항해했다.

14세기 험한 대서양 바닷길에 돛이 한 장인 코그선이 등장했고, 15세기에는 지중해 연안 국가의 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 캐리벨선 선단을 조직하여 대서양 바닷길을 개척하기 시작했다. 이어서 스페인은 캐리벨선보다 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 캐리벨선으로 적재량이 대략 100톤 정도였다. 그 뒤 7년 후에는 바스코 다 가마(Vasco da Gama)가 배수량이 400톤에 이르는 대형 캐리벨선인 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 60킬로그램)

램인데 화물선의 적재 하중은 대략 1,000톤 정도였으니 배 한 척이 실어나르는 화물은 낙타 1만 6,000여 마리가 실어나르는 물량과 맞먹었다.)

7. 신대륙 아메리카

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

록, 항해자들의 보고서, 의사들의 해부학 보고서 등 다방면으로 새로운 지식이 확대되었다. 더 이상 책에만 의존할 수 없었으므로 식물원, 해부 실, 천문대 등을 마련했으며, 경험적 관찰을 중시했다. 이 점에서 아메리카는 유럽인들의 지식 틀을 바꾸는 데에도 크게 기여했다.

8. 향신료 무역

15세기 중반 포르투갈 탐험가들은 남쪽으로 아프리카 북서 해안의 베르데 곳까지 내려갔다. 1483년, 디오고 카오(Diogo Cao)는 베르데 곳에서 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 세



계에서 유일하게 정향나무(Eugenia Aromatica)가 자라는 곳이었다. 수세기 동안 몰루카 제도 주민들은 육두구와 정향을 재배해서 이곳을 방문하는 아랍, 말레이, 중

국 상인들에게 팔았고, 육두구는 아시아와 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 않도록 방수창을 달았으며 바퀴 달린 발사대에 대포를 고정하는 방법을 개발했다. 1545년, 4문 60파운드 큰 대포와, 12문 32파운드 반 대

포, 그리고 그밖에도 수많은 소형 대포들로 뻘뻘하게 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 얇은 도자기의 재료인 고령토(磁土, 陶

土)가 발견되자, 송대(宋代)에는 자기를 완성했으며, 징더전(景德鎮)을 중심으로 대량 수출을 시작했다.

고대의 연질토기는 흡습성이 있기 때문에 불편한 점이 많았다. 이는 노천 가마에서 구웠기 때문에 온도를 올려도 고작 700~800도의 저온 밖에 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(鹿廬)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 앞다투어 이



를 구입했다. 그 결과 유럽으로 수출된 도자기 수는 17세기 초반 50년 동안에만 해도 무려 300만 개가 넘었으며, 그 덕분에 네덜란드 동인도회사는 큰돈을 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. 이때면 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 제분공장이 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 동베이(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 있

음을 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, 터키로 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(이stanbul)에 등장했고 1645년에는 카페 ‘플로리안’이 이탈리아

의 베네치아에서 문을 열었다. 이듬해에는 로마, 1650년에는 영국의 옥스퍼드, 1652년에는 런던, 1672년에는 파리, 그리고 1679년에는 함부르크에도 문을 열어 카페는 커피를 즐기고 다양한 정보를 교환하는 사고장이 되었다. 1696년 뉴욕에 커피하우스가 등장하면서 커피는 미국에서 빠르게 대중화되었고 서부개척시대에는 필수 음료가 되었다.

프랑스, 이탈리아, 스페인, 포르투갈, 그리스 등의 남유럽은 ‘포도주 문화권’이다. 포도주는 이집트와 페니키아를 거쳐 고대 그리스로 전해진 후 로마에서 남프랑스와 이베리아반도 등으로 퍼져나갔다. 오늘날 보르도(Bordeaux), 브르고뉴(Bourgogne), 샹파뉴(Champagne), 그리고 라인 강 유역은 포도주 주산지이다. 증류주 위스키나 브랜디는 영국, 네덜란드, 스칸디나비아제국 등 북유럽에 퍼져 ‘위스키 문화권’을 형성하고 있다. 증류주의 원료는 이집트나 서아시아에서는 대추야자, 터키나 발칸반도에서는 포도, 인도나 스리랑카에서는 야자나무의 수액인 토데, 태국이나 인도네시아 등의 동남아시아에서는 쌀이나 사탕수수를 사용했다. 기타 독일, 체코, 슬로바키아, 오스트리아의 중유럽과 미국 등은 ‘맥주 문화권’이다.

11. 뉴턴과학

태초부터 오늘날까지 태양과 달은 매일 동쪽에서 떠서 서쪽으로 진다. 우리는 하늘에 붙어 있는 해가 뜨고 지므로 밤낮이 생기며, 태양의 고도가 1년을 주기로 높아졌다 낮아졌다 하므로 사계절이 생기는 것처럼 느낀다. 그러므로 지구가 우주의 중심이며 하늘이 지구를 중심으로 하루에 한 바퀴씩 돈다는 지구 중심의 우주체계는 옛날 사람들에게는 훨씬 자연스러운 생각이었다. 그래서 일반인들은 프톨레마이오스(Claudios

Ptolemaeos)가 주장한 안정된 지구 중심의 우주체계에 만족하고 있었다. 이 체계는 아리스토텔레스의 과학과 중세의 신학이 결합되어 중세 전체를 지배한 세계관이었다. 이 우주체계의 가장 큰 특징은 지구를 중심으로 모든 천체가 완전한 원운동을 한다는 점이다. 그들은 원을 처음도 없고 끝도 없으며 중심으로부터 거리가 일정하기 때문에 가장 완벽한 도형으로 보았다. 그래서 아름답고 영원히 변화하지 않는다고 생각되는 천체는 이런 조화로운 원운동이 걸맞다고 생각했다. 이후 1,400년 동안 이 주장이 천문학의 진리로 군림해왔다.

그러나 지구를 우주의 중심에 두고 모든 천체들이 원 궤도를 그리며 지구 주위를 돈다고 믿었던 이들에게 행성들이 앞으로 나아가다가 갑자기 멈춰 서는가 하면 다시 뒤로 후퇴하는 복잡한 운동은 설명하기 어려웠다. 결국 중세에 이르러서는 태양계 전체를 나타내는 데 무려 80여 개의 원이 필요했다. 1543년, 코페르니쿠스(Nicolaus Copernicus)는 자신의 저서 『요약(Commentariolus)』을 완성했다. 여기서 그는 태양은 우주의 중심이며 지구는 태양의 중심을 도는 한 개의 행성에 불과하다는 주장을 폈다. 코페르니쿠스의 체계나 프톨레마이오스의 체계는 태양과 지구의 위치를 바꾼 것 이외에 다른 점이 거의 없다.

브라헤(Tycho Brahe)는 면밀한 관찰을 통해 데이터를 수집하고 수집한 데이터의 분석에 기초한 가설을 정립한 후에 이 가설을 다시 검증하는 엄격한 방법론을 채택하여 천체를 관측했다. 그의 제자였던 케플러(Johannes Kepler)는 우선 화성에 관한 자료를 분류하고 보정하기 시작했다. 그 결과, 실제 데이터와 가설에서 얻어지는 계산된 위치가 서로 맞지 않았지만 타원 가정하에서는 잘 들어맞았다. 화성 탐구에서 사용한 방법을 태양계 내의 다른 행성에도 적용해보았더니 모두 잘 들어맞았다. 행성의

운동 궤도가 타원이라는 케플러의 제1법칙을 발견한 것이다. 케플러는 다음 작업으로 행성들의 운동속도를 탐구하기 시작했다. 시간의 변화에 따른 행성들의 위치 변화를 추적하여 분석해본 결과, 모든 행성이 공전 운동을 할 때 면적속도가 일정하게 유지된다는 케플러의 제2법칙을 발견했다. 케플러는 이어서 공전운동 주기의 제곱은 운동 반경의 3제곱에 비례한다는 케플러의 제3법칙도 발견했다.



어떤 현상의 기본 원리를 알아내기 위한 첫 단계는 그 현상에 대한 관찰이다. 다음 단계는 이러한 관측 자료를 분석함으로써 어떤 규칙성을 찾은 것인데, 그 결과로 얻게 되는 것이 경험법칙이다. 이러한 법칙이 기존의 이론으로 설명되지 않는 경우에는 새로운 이론을 만들어야 한다. 이를 위하여 새로운 가설이 도입된다. 이러한 새 이론은 경험법칙을 설명할 뿐만 아니라 새로운 현상을 예측해주는 보다 일반적인 형태를 지닌다. 그리고 가장 중요한 마지막 단계로, 새 이론에 의하여 예측된 현상은 실제로 검증되어야 한다. 여기에는 보통 실험적 방법이 도입되며 이러한 검증을 거침으로써 새 이론은 새로운 지식으로 받아들여진다. 케플러의 법칙은 행성의 운동을 정확하게 기술할 수 있었지만 그것은 관측 자료를 바탕으로 한 경험법칙이었을 뿐 행성이 왜 그렇게 운동하는가를 설명할 수 없었다.

케플러의 법칙이 발표된 지 약 100여 년 후에 뉴턴(Isaac Newton)은 질량을 가지는 모든 물체에 성립하는 중력의 법칙을 발견했다. 뉴턴은 거리의 제곱에 반비례하고 질량의 곱에 비례한다는 만유인력의 법칙과 운동

의 3법칙(가속도의 법칙, 관성의 법칙, 작용 반작용의 법칙)을 이용하여 행성의 운동을 완벽하게 설명할 수 있었다.

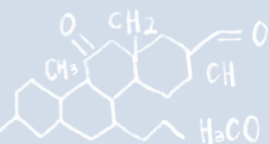
뉴턴 역학체계를 통해 인간은 자연의 참모습을 상당 부분 이해하게 되었다. 뉴턴의 운동방정식은 시간에 대해 두 번 미분된 미분방정식이다. 뉴턴은 힘의 정의에서 힘을 시간에 대한 운동량의 변화율로 정의했고(한 번 미분) 그 운동량은 또 시간에 따른 위치 변화이므로(또 한 번 미분) 결국 힘은 시간에 대하여 위치의 변화를 두 번 미분하게 된다. 이 힘의 정의와 작용한 힘을 연결해 만들어지는 운동방정식을 풀려면 시간에 대해 두 번 적분하는 것이 일반적인 방법이다. 그러므로 초기의 위치와 속도 등 주어진 상태에서 출발하여 시간에 따라 그 상태가 어떻게 변할 것인가를 결정할 수 있는 것이 뉴턴의 역학체계이다. 관측자가 원하는 대로 얼마든지 정확하게 운동 상태를 알 수 있다는 뉴턴체계는 그동안 어둡기만 했던 우주를 밝히는 질서의 빛이었다.

뉴턴에 의해 밝혀진 중력은 매우 작은 크기의 힘이다. 그러나 매우 먼 거리까지 미친다. 전자기력도 중력과 마찬가지로 멀리까지 힘이 미치며 힘의 세기에서는 중력에 비해 훨씬 커 원자 및 분자의 형성 등에서 주도적인 역할을 한다. 그러나 별과 같은 거대 구조의 경우에는 존재하는 물체들의 대부분이 양전하와 음전하의 균형을 이루고 있어 중력이 주요한 힘으로 작용한다. 즉, 태양계, 은하, 우주의 형성과 구조를 결정하는 데 주요한 역할을 하는 것이 바로 중력이다.

제2장

산업혁명과 열역학

1. 증기기관	55
2. 방직공업	57
3. 제철	60
4. 기차	64
5. 대량 생산	67
6. 석유	69
7. 내연기관	72
8. 자동차	74
9. 비행기	78



제2장

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 제니방직기(다추방직기)를, 아크라이트(Richard Arkwright)는 수력방직기를, 1779년에 크럼프턴(Samuel Crompton)이 물(Mule)방직기를 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 증기술을 발명하면서 관심을 받기 시작했다. 증기술은 돌려서 꼭 닫으면 증기가 솥 밖으로 빠져나오지 않도록 한 용기로 이런 증기술에서는 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 분



리된 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 이상 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 로켓호를 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 생산

하기로 하고 북아메리카에서 생산된 면화를 대량으로 확보하여 면화를 자아서 실을 만들고 천을 짰다.

면화 섬유는 기껏해야 2~3센티미터 정도밖에 되지 않기 때문에, 이것을 잘 빋어서 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 방직기를 만들었다. 이것만으로도 노동자 한 사람이 한 번에 여러 가닥의 실을 방적할 수 있었다. 최초의 모델에는 방추가 여덟 개밖에 없었지만 나중에는 80개 이상의 방추가 달린 제니방직기가 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 찾기 전에 충분히 팽팽하게 당길 수 있었다. 더구나 수력을 사용함으로써 제니방직기보다 빠른 속도로 작업을 수행할 수 있었다. 제니방직기는 가내수공업에 많이 사용되었던 반면 아크라이트의 수력방직기는 공장으로 확산되었다. 이후 방

적기를 집대성한 사람은 크롭프턴이다. 그는 제니방적기와 수력방적기를 조합하여 1779년에 물방적기를 발명했다. 수력방적기가 생산한 실은 튼튼하기는 했지만 거칠었고 제니방적기가 생산한 실은 가늘기는 했지만 쉽게 끊어졌다. 물은 롤러 사이로 실이 끌어당겨지는 방법은 수력방적기에서, 앞뒤로 미끄러지는 이동식 운반대는 제니방적기에서는 빌려왔다. 이를 통해 크롭프턴은 방적기에서 생산되는 실의 품질을 크게 향상시켰다. 물방적기가 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. (물방적기가 자동화된 이후에, 1850년대에는 회전하는 고리를 통한 링(Ring) 방식이 확립되었고, 1870년대부터는 원심력을 활용한 로터(Rotor) 방식이 도입되었다. 방직 부문에서는 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 갈등이 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 초보적이거나 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 가공기술이 발달함에 따라서 점차로 철이 사용되는 분야가 늘어나기 시작했다. 철을 얻기 위해서는 적지 않은 에너지가 필요하다. 철기문화보다 청동

기문화가 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 용해되는 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 고로기술을 이용해 주조 대포의 대폭적인 증산을 도모했다. 영국은 사정거리가 긴 이 주조 대포를 가볍고 빠른 깰리선에 신고서, 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.

멜감이나 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 버리어 서로 잇는 것도 불가능했다. 결국 영국의 제철업자들에게는 어떻게 하면 스웨덴산이나 러시아산 철의 대용품(단철)을 만들 수 있는냐가 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 석

탄으로 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 퍼들법은 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 흡입 공기를 가열시켜 노의 온도를 높게 유지시키는 전로와 평로를 개발했다. 이 방법으로 다량의 강철을 녹일 수 있었다.

베세머와 지멘스의 방법에는 스웨덴산, 스페인산, 북미의 슈퍼리어호

수산 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 윌리엄 헤드리(William Hedley)가 트레비식의 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 바뀌로 전달되어야만 하는 증기기관차는 아주 복잡한 기술구성체였다. 서로 맞물리면서 움직여야 하고, 서로 긴밀하게 얹혀 있는 부품들의 수나 속도 및 사용되는 성분 물질과 연관되어 발생하는 부하 능력은 정지해 있는 증기기관들에 비하면 비교가 안 되게 크고 많았다. 반면, 이들 문제들에 부딪쳐 사람들이 설계상의 아이디어나 구조적인 아이디어로 해결할 수 있는 공간은 협소하기 그지없었다. 구조상의 결함, 질 나쁜 공작 재료나 생산 기술상의 부주의는 바로 선로 파괴나 구동축들이 꺾 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 스프레

이그(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 자기 부상열차는 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 거미줄 처럼 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 농

장에서 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 일

상생활을 편리하게 해준 기술이 발달한 시기였다.

6. 석유

지구를 둘러싼 지각은 두께가 100~200킬로미터 정도로 금이 간 달걀 껍데기처럼 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 실 새 없이 분출하며 그 열기로 인하여 지각의 판들은 보통 1년에 10센티미터씩 이동하고 있다. 이 때문에 판들은 서로 부딪치고 눌러 산맥을 형성하고 잡아 늘어져 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 번



째로 많은 원소이다. 공기 중에는 전체의 1퍼센트인 750기가톤의 탄소가 있으며, 대개 높은 상공에서 보온성이 큰 막(껌데기)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 지구의 탄소 3퍼센트를 서로 주고받는다. 생물의 사체가 쌓이면서 만들어진 화석연료인 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 병커시유가 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 가

옥을 덮히고 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 개발

도상국들은 대부분 석유 수출이 가장 중요한 자원이다.

원유는 주로 VLCC(Very Large Crude Carrier)라는 매우 큰 유조선(25만~30만 배가톤)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 수는 없지만, 일로 바뀌지 못한 열에너지는 열기관에 남아 기관의 온도를 높인다. 즉, 열기관에 공급된 열에너지는 일로 바뀐 열에

너지와 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 독일에서 뿐 아니라 프랑스의 파리에도 진출해 판매되었다. 벤츠는 1892년이 되어야 비로소 사륜차를 생산했는데, 인기가 좋아 생산량이 급증했다.

유럽의 자동차산업과 밀접하게 관계된 것은 자전거의 발명과 확산이었다. 자전거는 1860년대 프랑스에서 처음 개발된 후 영국으로 건너가 크게 발전했다. 이런 자전거의 확산이 자동차와 직접 연결되었다. 처음에

는 자전거를 생산하던 업체가 자동차 생산으로 전업하는 일이 아주 많아졌다. 그중에서 성공한 대표적인 회사는 프랑스의 ‘푸조’와 독일의 ‘오펔’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 복

합 상점인 물이 생겨났고, 이런 대형 쇼핑센터는 시민 생활의 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 기술린 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 개발되었다. V형 대형 엔진과 OHC(Over Head Camshaft) 형식의 실린더헤드가 일반화되고 슈퍼차지, 터보차저 등의 경

주용 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(Beetle)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 무장한 전자장비에 의해 조절되기 시작한 것이다. 이 밖에 에어백이나 브레이크를 조절하는 ABS시스템(Anti-lock Brake System) 그리

고 최근 장착되기 시작한 GPS(Global Positioning System) 등은 자동차를 좀 더 쓸모 있고 편리하게 만들었다.

1935년 일본은 최초로 닛선(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 도요렛의 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 30퍼센트를 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, 가변밸브 타이밍, 린벤엔진, 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(GDI 엔진)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 시

험했다. 결국 끝 부분이 앞으로 흰 날개를 찾아내 몇 초 동안 공중으로 날아올 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 경량화되어 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) 렌즈

를 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 혁
명적인 전략 무기가 될 가능성이 컸다.

피스톤 방식 내연기관으로 프로펠러를 돌려 항공기의 추진력을 얻는
데는 두 가지 제약이 있다. 첫째, 단위 출력당 엔진 자체 무게가 상대적
으로 무거워 항공기의 고성능화 및 대형화에 큰 제약이 있다. 둘째, 프로
펠러를 이용한 추진 방식은 프로펠러의 회전속도가 공기역학적 이론에
의해 음속 이하로 제한된다. 이러한 이유로 프로펠러 추진 방식으로는
항공기의 속도가 시속 500~600킬로미터 이상으로 올라가는 게 불가능
했다. 위와 같은 문제를 동시에 해결한 기술이 제트엔진기술이다. 1930
년, 영국의 휘틀(Frank Whittle)은 후방 노즐을 통해 고속으로 연소가스를
분출하는 추진 방식을 제안했으나, 당시 기술로는 제트엔진의 핵심 구성
요소인 전방 공기압축기 및 후방 터빈의 기계적 효율이 너무 낮았다. 이
후 개발 자금의 부족으로 지지부진하다가 1941년에야 휘틀엔진을 장착
한 제트추진항공기 ‘글로스터’가 처음으로 비행에 성공했다. 그러나 독
일의 오펜하우젠(Hans J. P. von Ohain)은 피스톤 방식 왕복엔진의 진동 문제, 소
음 문제 등을 해결하기 위한 방편으로 동일한 구동축에 의하여 회전·작
동되는 터보식 공기압축기 및 터빈으로 구성된 제트엔진의 기본 아이디
어를 제시했다. 이후 오펜하우젠은 항공기 제작자인 하인켈(Ernst Heinkel)과 공
동으로 연구를 수행하여 1937년 세계 최초의 제트엔진 가동에 성공했고
그 이듬해 제트기 비행에도 성공했다. 이 기술들을 발판으로 독일은 제2
차 세계대전 중인 1941년에 최대 속도가 시속 870킬로미터에 달하는 제
트 전투기 Me262를 개발하였고 이에 자극받은 미국, 이탈리아 등 세계

열강들이 경쟁적으로 제트전투기를 개발하면서 제트엔진 항공기시대가 본격적으로 개막되었다.

일반적인 터보제트엔진의 작동 원리는 일렬로 연결된 개방식 원통 통로상에서 회전식 압축기에 의해 공기가 흡입·압축된 후 연결된 연소기 내로 유입되어 이곳에서 분사되는 연료와 혼합되어 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 작동 시킨다.

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 해운업계에서

도 그리고 우주 탐험에서도 필수가 되었다.

1946년, 제트동력 여객기를 발명한 드 하빌랜드사(De Havilland)는 첫 번째 제트기인 코메트(Comet)를 판매하기 시작했다. 코메트는 최대 속도 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 발표하여 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 시장을 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 설립

한 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 맥도넬 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



제3장

분자의 화학반응

1. 독일 과학	87
2. 화약	89
3. 염료산업	92
4. 유기농업	94
5. 항생제	98
6. 페니실린	101
7. 백신	105
8. 합성섬유	109
9. 광합성	112

$= 0$
 H
 $.CO$



제3장

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, 반데르발스결합의 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 탄소가 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 인공향생제도 개발했다. 또한 콜타르에서 소독제인 페놀을 만들었고 페놀에서 인공플라스틱을 만들었다. (과학과 기술의 주도권은 19세기 초까지는 영국과 프랑스

스에 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.

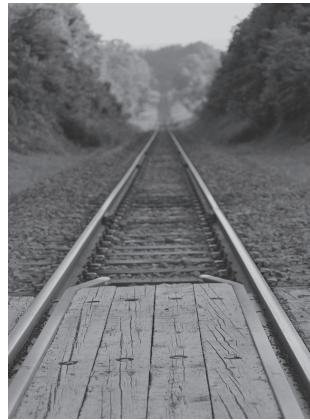
또한 리스트는 경제를 발전시키는 요소는 생산성을 높이는 능력이며, 높은 생산성은 전 국민의 교육과 과학기술에 의해 좌우된다고 주장했다. 이러한 영향으로 프로이센은 1825년부터 의무교육을 실시한 결과, 1846년 무렵에는 적령기 아이들의 입학률이 82퍼센트에 이르렀다. 그리고 1860년대에는 입학률이 97.5퍼센트였으며, 독일의 문맹률은 전 세계에서 가장 낮았다. 실험실, 연구소, 대학원과 과학기술 전문 간행물 등

도 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 기술경쟁력은 급격히 상승했다. 오스카 폰 밀러(Oscar von Miller)가 주도한 장거리 송전에 뒤이어 독일의 전력산업은 1895년에 2만 6,000명을 고용하던 걸음마 단계에서 1913년에는 전기 제품이 국제 무역량의 절반을 차지하는 데까지 이르렀다.

독일의 화학공업은 유스투스 폰 리비히(Justus von Liebig) 같은 위대한 연구자들의 주도로 아널린 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 관세동맹

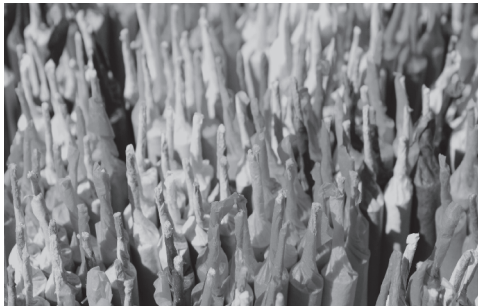
과 그의 국가철도계획의 영향을 받아 1835년에 뉘른베르크에서 뤼트까지 6.1킬로미터에 달하는 철도가 생긴 이래 철도는 사방으로 퍼져나가 석탄과 철을 빠르게 수송했다. 1870년에서 1913년 사이에 철도의 총 연장 길이는 두 배로 늘었다. 독일의 철강과 공학의 병행 발전은 근대적인 상선 건조에 곧바로 적용되었다. 처음에는 증기 추



진(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 기적 소위 한강의 기적은 제1차 세계대전 이전에 구축한 이러한 토대가 회복된 것이다.)

2. 화약

고대 중국에서 만든 화약은 구성 성분인 질산염(초석), 황, 탄소의 비율이 주먹구구식이었다. (질산염은 화학식이 KNO_3 인 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 고을수록 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 $4\text{KNO}_3 + 7\text{C} + \text{S} \rightarrow 3\text{CO}_2 + 3\text{CO} + 2\text{N}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{K}_2\text{S}$ 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 니트로글리세린(NG; Nitroglycerin)이라는 액체로 된 훨씬 더 강력한 휘발성 폭발물을 개발했다. 그러나 이것은 너무 민감하여 거의 사용되지 못했다. 그러다 노벨(Nobel) 부자가 구조토와 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(Cyclotrimethylenetrinitramine)와 HMX8(Cyclotetramethylenetetranitramine)는 각각 제1차 세계대전

과 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 아름다운 불꽃이나 자동차의 에어백, 조종사의 비상탈출 장치, 건설 현장에 없어서는 안 되는 화약 리벳공구(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 독일

의 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. 그러나 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. 헤스트(Hoechst)와 바이엘사(Bayer and Company)도 합성 알리자린 시장을 나눠 가졌다. 바스프와 헤스트는 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 합성 물감, 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 Farbenindustrie Aktien-Gesellschaft)을 설립했다. (이 거대 화학그룹은 제2차 세계대전 후 원래의 바스프, 뢰프, 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, NO₂를 만들어내는데 비가 오면 땅에 떨어져 비료가 되기도 한다. 또 리조비움(Rhizobium)속에 속하는 뿌리혹박테리아는 공기

의 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 교란작용을 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℃, 175기압에서 암모니아의 수율을 8퍼센트로 높일

수 있었다. 이어서 바스프에서는 값비싼 오스뮴을 대체할 촉매와 적절한 고압 반응 기구를 찾는 작업 끝에 하버-보슈 제법(Haber-Bosch Process)을 개발하여 1910년 여름부터 파일릿 플랜트에서 암모니아 생산에 들어갔다. 1913년 9월부터는 하루 20톤의 생산이 가능한 공장에서 대규모 생산을 시작했다. 이 암모니아는 질산으로 바뀌고 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 수질 오염과 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 소비

자, 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 만들어진 친환경적 먹거리 생산 방식으로 다국적 농산물과 경쟁할 수 있도록 했다. 휴경과 윤작으로 땅을 보호하고 유기사료만 먹인 가축의 분뇨로 퇴비를 만들고 별목한 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 축산 분뇨의 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 친

환경 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 현대의 약품들을 만들어냈다. 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 억

제 및 중풍 예방에도 탁월한 효능이 있는 것으로 승인받은 바 있다.)

인류는 오래전부터 빵과 술을 만드는 데 미생물을 이용해왔지만 미생물의 존재



를 안 지는 그리 오래되지 않았다. 1835년에 이탈리아의 바시(Agostino Bassi)는 누엣병을 일으키는 곰팡이를 처음 발견했으며, 1843년에 미국의 홈스(Oliver W. Holmes)는 산욕열의 원인이 미생물이라는 사실을 밝혔고, 헝가리의 제멜바이스(Ignaz P. Semmelweis)는 손을 소독하지 않은 의사에 의해 산욕열이 전염되는 것을 증명했다. 1865년, 영국의 리스트어(Lord J. Lister)는 소독약을 사용함으로써 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. Löffler)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. 뢰스트는 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 항생제 군을 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. 비타민

B 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. 프론토실레드가 인체에 들어오면 분해되어 설파닐아미드(sulfanilamide)가 만들어진다. 그런데 엽산을 합성하는 미생물 박테리아의 효소는 p-아미노벤조산 분자와 설파닐아미드 분자를 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 노트툼(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 갖고 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 쬔어 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 침출발효법이 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-아

미노 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 가변 부분에 NH_2 기가 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 끝가지는 암피실린의 끝가지에 OH기가 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 육탄당핵에 연결된 구조를 하고 있는 ‘아미노글리코시드 항생물질’이었다. 왁스

면은 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 쓰였다. 이렇듯 20세기 들어 해열제, 진통제, 소염제, 중추 신경 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, 숄폰아마이드가 있다. 일곱째, 세균, 리케차, 일부 바이러스 감염 질환에 사용할 수 있는 클로람페니콜, 클로르 테트라사이클린, 옥시테트라사이클린, 에리스로마이신 등이 있다. 또한 니스타틴, 트리코아신 등은 항진균제로 사용한다. 1953년에 개발된 사르코마이신은 미생물 종양 치료제이다.

7. 백신

인류역사와 같이한 천연두, 기원전 1만년 경에 나타나 하늘이 준 형벌이라는 의미에서 천형(天刑)이라는 말을 종종 쓴다. 원래는 사지가 썩

어 들어가고 눈썹이 빠지는 한센병을 일컫는 말이다. 오늘날에는 에이즈(AIDS)를 떠올릴 것이다. 지금처럼 의학이 발달하기 전에는 전염속도와 치사율 면에서 이러한 질병을 능가하는 질병들이 수도룩했다. 결핵, 홍역, 콜레라, 말라리아가 그랬으며 최근까지도 여러 번이를 통해 전 세계를 괴롭히는 인플루엔자도 빼놓을 수 없다. 14세기 중엽부터 17세기 중엽까지 300년 동안 유럽을 완전히 초토화시킨 흑사병(페스트)도 마찬가지다. 살덩이가 썩어서 검게 되는 이 질환은 유럽인구의 3분의1을 몰살시키며 악명을 떨쳤다. 그 가운데서도 가장 잔인했던 질병은 천연두다. 20세기에만 사망자수가 3억 명에 달했다.

천연두의 역사는 사실상 인류의 역사나 마찬가지다. 선사시대에 시작되어 아프리카 북동부에서 처음으로 농업이 정착된 대략 기원전 1만년 경에 나타난 것으로 알려져 있다. 그곳에서 고대 이집트 상인들에 의해 유럽과 인도로 퍼져나간 것으로 짐작된다. 천연두와 닮아 있는 피부 병변의 최초의 증거는 이집트의 파라오 람세스 5세(기원전 1156년 사망)의 미이라로 된 얼굴에서 발견되었다. 비슷한 시기에 고대 아시아 문명권에서도 천연두 흔적을 볼 수 있다. 비슷한 시기인 기원전 1112년경 중국에서 천연두가 묘사되었고 인도에서는 산스크리트 텍스트에 언급돼 있다. 천연두의 창궐은 종종 중대한 역사적 사건으로 이어졌다. 유럽 각국에서는 군주나 왕족이 천연두로 갑작스레 사망한 후 누가 왕위를 계승하느냐 하는 논란이 정치 및 외교 문제로 비화되는 일도 있었다. 아메리카 신대륙에는 알려지지 않았던 천연두는 16세기 스페인과 포르투갈 정복자들에 의해 전해져 원주민 인구를 격감시켰다. 특히 화려한 문명의 아즈텍과 잉카제국의 급작스러운 미스터리의 멸망 배경에는 천연두가 있었다. 유럽인과 달리 신대륙 사람들은 이 끔찍한 전염병에 대한 면역력이 전혀

없었던 까닭이다.

천연두에 걸리면 고열과 함께 얼굴과 손발을 비롯한 온몸에 물집이 잡힌다. 차차 시간이 지나면서 물집에는 고름이 차오르고, 결국 딱지가 앉았다가 떨어지면 피부에는 움푹 들어간 흉터가 남는다. 소위 ‘곰보자국’이라고 부르는 흉터다. 천연두는 치명적인 질병이다. 그러나 운 좋게 회복된다 해도 얼굴에 흉한 상처를 남겼다.

18세기 초 영국의 여성 작가 메리 몬터규(Mary W. Montagu)는 제너에 앞서 천연두 백신 개발에 있어서 빼놓을 없을 정도로 중요한 인물이다. 그녀는 작가이면서도 뛰어난 미모를 갖추고 있었다. 남편은 외교관이었다. 사교계에서 단연 두각을 나타내는 인물이었다.

이이제이(以夷制夷)라는 말이 있다. 오랑캐를 이용하여 오랑캐를 제압한다는 뜻이다. 백신도 마찬가지다. 독(균)으로 독을 제압하는 이독제독(以毒制毒)의 원리다. 약한 병원균(항원)을 몸에 주입하여 강력한 병원균에 저항할 수 있는 항체를 만들 수 있기 때문이다.

신체는 정교한 소우주다. 외부 침입자로부터 우리의 몸을 보호하는 면역체계라고 불리는 방어시스템을 잘 갖추고 있다. 박테리아나 바이러스가 침입하더라도 이에 대항할 수 있는 진지를 구축할 수 있다. 면역반응은 가장 강력한 방어수단이다. 항체는 측정한 박테리아나 바이러스를 인식하는 단백질로, 이들에 달라붙어 다른 면역세포들에게 신속한 중화반응이 필요하다는 신호를 보낸다. 각 항체는 특정한 박테리아나 바이러스와 결합하여 무력화시킨다.

우리는 이러한 항체를 갖고 태어나지는 않지만 위험에 처해 있을 때 그에 대한 대처방안으로 항체를 만들어 낸다. 예를 들어 우리는 수두에 대한 항체를 가지고 태어나지는 않지만 수두바이러스에 노출이 되면, 시

간이 다소 걸리지만 점진적으로 이를 퇴치할 수 있는 충분한 항체를 만든다.

그렇다면 왜 백신이 필요하겠는가? 몸이 다 알아서 할 건데 말이다. 그러나 몸은 갑작스러운 외부의 침입자에 대해 방어능력을 구축하는데 어느 정도 시간이 걸린다. 다시 말해서 충분한 항체가 만들어지기 전에 바이러스의 파괴력에 압도당해 죽고 마는 경우도 있다. 백신의 역할이 바로 그렇다. 유사시를 대비해 충분한 항체를 구축하는 일이다. 이러한 항체를 만들기 위해서는 몸이 바이러스에 직접 노출돼야 한다. 그래서 인체가 안전할 수 있도록 독성을 아주 약화시킨 바이러스나 또는 죽은 바이러스를 주입하여 면역반응을 이끌어 낼 수 있다. 백신의 원리다.

인류가 처음으로 백신의 원리를 발견한 역사적인 기록은 기원전 429년 그리스의 역사학자 투키디데스다. 그는 당시 아테네에서 천연두에 걸렸다가 회복된 사람은 다시는 이병에 걸리지 않는다고 기록했다.

고대 중국에서는 900년경에 인두접종(제너가 발견한 우두접종과는 구별됨)이라고 부르는 원시적인 형태의 예방접종이 사용되고 있었다. 특히 14세기와 17세기 사이에 인두접종이 행해졌다. 천연두에 걸린 환자의 고름을 소량 채취하여 분말로 만들어 코나 피부를 통해 건강한 사람에게 투입해 천연두를 예방하는 방법이다. 이 인두접종은 동서문명의 가교인 터키를 거쳐 18세기 초 영국에 도착했다. 당시 천연두는 가장 전염성이 강한 병으로 사망률이 20퍼센트에 이르렀다. 그러나 인두접종을 한 사람들의 사망률은 훨씬 낮았다. 그러나 독성이 너무 강해 건강한 사람도 천연두에 걸려 사망하는 부작용이 부지기수로 발생했다.

바로 이 시기에 몬테규 부인이 등장한다. 인두접종 방법을 영국에 소개하고 인두접종의 공식적인 인가를 정부로부터 얻어내는데 앞장선 일

등공신이다. 또 이 인두접종 기술은 제너가 우두접종 기술을 고안해 내는데 커다란 영감을 불러일으켰다. 그러나 제너는 이러한 방법은 그렇게 권장할만한 방법이 아니라고 생각했다. 천연두는 워낙 무서운 질병이었기 때문에, 예방을 위해 실시한 인두접종 때문에 도리어 천연두에 걸려 죽는 사람이 많았다. 다른 방법이 있을 거라고 확신했다.

견습생시절 그는 가축이 옮기며 비교적 위험성이 적은 질환인 우두에 걸렸던 사람은 천연두에 걸리지 않는다는 사실과 이들이 천연두에 우연히 또는 고의로 접해도 감염되지 않는다는 사실을 발견했다. 왜냐하면 소젖 짜는 일을 하는 여자들은 이상하게도 천연두에 안 걸린다는 속설이 이미 널리 퍼져 있었기 때문이다. 이 현상을 깊이 생각한 결과 그는 소의 우두가 사람의 천연두를 막아낼 뿐만 아니라 우두를 다른 사람에게 옮겨서 계획적으로 천연두를 막을 수 있다는 결론을 내렸다.

1796년 5월 14일 그는 이런 가설을 입증하기 위해 사상 최초의 우두접종 실험을 실시했다. 실험 대상자는 소젖을 짜는 사라 넬름(Sarah Nelmes)라는 젊은 여자였다. 우두를 금방 앓아 손가락에 종기가 나 치료해 달라며 그를 찾은 환자였다. 제너는 넬름의 손가락 상처에서 물질(농균)을 뽑아 자신의 집 정원사의 아들 제임스 핍스(James Phipps)라는 8세 소년의 팔에 접종을 했다. 주사기가 발명되기 이전이었기 때문에 핍스의 팔에 상처를 낸 다음 나뭇조각에 고름을 묻혀서 상처 부위에 문지르는 방법으로 주입했다. 이 소년은 얼마 지나지 않아 미열이 나고 약간의 병변이 나타났다. 그러나 10일이 지나자 완전히 회복돼 접종을 하기 전의 상태로 건강한 모습이 되었다. 첫 단계 실험은 일단 성공적으로 끝난 셈이다. 그러나 마지막 관문이 남아 있다. 그로부터 한달 반이 지난 7월 1일 제너는 그 소년에게 이번에는 천연두 환자에게 뽑은 농균을 다시 접

중했는데 아무런 병도 생기지 않았다. 천연두 항체가 생긴 것이다. “아하, 바로 그거야!” 말로 표현할 수 없는 희열의 순간이었다. 겉으로 보기에 중두법은 간단해 보인다. 적당량의 우두균을 접종하면 그만이다. 마치 오늘날 예방주사처럼 말이다.

8. 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 야교의 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 제



품을 만드는 가공법도 발명했다. 이 제품은 베이클라이트라는 이름으로 1910년에 독일과 미국에서 생산되었다.

많은 탄소유기화합물들은 석유나 석탄과 같은 화석연료로부터 얻어진 다. 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. 고분자 화합물은 대개 질기고 단단하면서도 부드러운 고체 성질이 있어서 자연스럽게 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 계통적

으로 연구했다. 그는 중합체의 녹는점이 인접한 고분자 물질의 교차 결합이 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 동료는 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 실험 장치를 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($-\text{CO}-\text{NH}-$)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.)

9. 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 물면지말 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. 홍

색 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 흡수능력이 더욱 높아진다.)

식물의 엽록소 클로로필은 약 200개가 협력하여 광합성을 수행한다. 클로로필에 빛을 쬔면 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 반응중

심이 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 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ 가 되어, 기체 상태의 이산화탄소(CO_2)가 고체 당($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)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; Adenine Triphosphate)과, 환원된 니코티나마이드 아데닌 디 뉴클레오타이드 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 효소들

이 녹아 있어서, 명반응에서 형성된 ATP와 NADPH를 이용하여 이산화탄소(CO_2)를 유기탄소화합물로 바꾸는 일을 한다. CO_2 의 C를 받아들이기 위한 이러한 화학적인 회로가 칼빈회로(Calvin Cycle)이다. 칼빈 등은 리불로스 2인산(RuBP; Ribulose Bisphosphate)이라는 C_5 물질이 둘로 나뉘어져 CO_2 의 C를 받아들이고 두 개의 C_3 의 물질 포스포글리세르산(Gal-3P; Phospho glycerate)을 만든다.

이렇게 칼빈회로에서 가장 중요한 단계는 5탄당인 리불로스 2인산과 이산화탄소(CO_2)를 두 개의 3탄당인 포스포글리세르산으로 바꾸는 단계이다. 즉, $\text{RuBP} + \text{CO}_2 \rightarrow 2(\text{Gal-3P})$. 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_2 와 O_2 를 식별하는 능력이 없어서 CO_2 가 참여하면 당이 만들어지고 O_2 가 참여하면 1분자의 포스포글리세르산(Gal-3P)과 1분자의 쓸모없는 포스포글리콜산(Phosphoglycolate)을 만들어 유기물의 양이 줄어든다. 지구에 광합성 생물이 탄생했을 때 O_2 가 반응을 저해하리라 생각하지 못한 결과일 것이다.

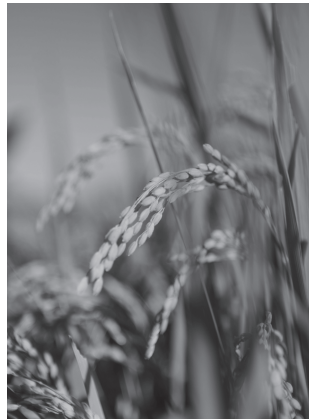
산소 발생형 광합성이 시작되자 대기에는 산소가 들어차 생물은 산화성 스트레스를 받았다. 그러자 산소를 조절하기 위한 식물의 피드백 메커니즘으로 광호흡(Photorespiration)이 생겼다. 광호흡은 식물의 정상적인 미토콘드리아 호흡과는 달리 햇빛이 있을 때만 일어난다. 이 과정을 통해 식물은 산소를 섭취하고 이산화탄소를 방출한다. 보통의 호흡과 유사

하지만 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 더뎈다. 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_2 의 농도를 수십 배 높여서, 양적으로 O_2 의 접근을 막는 방법을 개발했다. 구소련의 과학자들은 이러한 현상을 C_4 의 물질을 만드는 것(C_4 형 식물)이라고 주장하고 이러한 회로를 헛취-슬랙 회로라고 불렀다. 이런 식물은 C_4 형 물질인 말산(Malate)이 유관속초세포로 CO_2 를 가져와, 칼빈회로 주위에 떨어뜨려 이산화탄소 농도를 높여 줌으로써 광합성량이 높아져 식물의 생장이 매우 왕성하다. C_4 형 식물에는 옥수수, 사탕수수 등과 같이 생장이 왕성하며, 금방동사니과와 명아주과, 쇠비름과 등과 같이 번식력이 강하다. 이는 C_4 형 식물은 C_3 형 식물보다 광합성의 능률이 높다는 사실을 말한다. 한편 작물은 C_3 형 식물이 대부분이다. 이는 아마 오랜 세월에 걸쳐 사람에게 보호되어왔기 때문에 C_3 형인 채로 광합성을 계속해온 것으로 생각된다. 대체로 온대 지방의 식물에서는 C_3 형이 그대로 유지된다. 이는 루비스코 주위로 CO_2 를 보내는 데는 ATP라는 에너지를 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 단세포 식물에 의해 이루어지고 있다. 지구에는 25만 종의 식물들이 서로 다른 환경조건에서 자라고 각기 특별한 기능을 가진 유전자들을 가지고 있다.



벼는 현재 알려진 외떡잎식물 중 계놈의 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 계놈 지도도 완성되었다. 벼는 열두 쌍의 염색체 위에 3만 7,544개의 유전자를 담은 3억 8,900만 개의 DNA로 구성돼 있었다. 벼의 계놈 지도를 통해 가뭄이나 냉해, 병충해 등에 강한 벼 품종 개발의 길이 열렸으며, 궁극적으로 식량문제를 해결할 수 있는 길이 열렸다.



제4장

전자기력의 이용

1. 전기	121
2. 전자기	124
3. 테슬라	128
4. 반도체	131
5. 텔레비전	134
6. 컴퓨터	138
7. 통신	143
8. 인공위성	146

= 0
H
CO



제4장 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 전자기학이라는 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, 텔레비전, 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 발견

한 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 수학적 공식으로 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 뫼스헨브루크(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. 그리고 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 만

들어서 이것을 마분지로 분리시켜 높이 포개어놓았다. 이 판 더미를 유리관 속에 넣고 소금물을 부었다. 그러자 이 금속판에서 불꽃이 튀었다. 판들 사이에서 일종



의 전기가 생성된 것이다. 불타는 판 더미의 양쪽 끝에 구리선을 고정시키고 전기가 이 선을 따라 이동하는 것을 확인했다. 불타는 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 시작하여 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 자

기가 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. 그리고 자석이 그 쇠고리 속으로 들락거리게 하면서 전류계가 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 수학적 공식을 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 자연에 관해 지

금까지 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 가속운동으로 이루어진다는 것을 1887년에 헤르츠(Heinrich R. Hertz)에 의해 실험적으로 확인되었다. 1885년, 그는 서

로 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 만 들었다고 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 레지널드 페션던(Reginald A. Fessenden)이 전파의 도움으로 음악과 시 낭송을 수백 킬로미터 떨어진 곳으로 보내는데 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 등으

로 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 발전



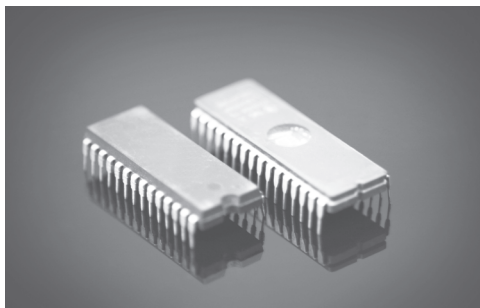
과 더불어 전력 생산이 급격히 증가했는데, 증기터빈이란 증기가 직접 회전축을 돌리는 방식이다. 수력 또한 전기를 만드는 데 중요한 역할을 하기 시작했다. 스칸디

나비아와 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 줄었다. 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 운영을 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 열린 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 옮



기는 데 결정적인 역할을 하였다. 텍사스인스트루먼트(Texas Instruments)는 이 트랜지스터를 라디오 등 가정용 전자제품에 쓰이도록 노력하여 반도체 업계의 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 정

도 들어 있으며 18미터 이상의 텅스텐 와이어가 웨이퍼의 통로에 증착되었다. 조그만 칩 위에 이처럼 수많은 회로를 담는 것은 핀 머리에 로스 앤젤레스의 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 사용하

는 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 생산체제와 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 레지널드 페션던이 개발한 새로운 기술을 이용



해 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 방

송은 제2차 세계대전이 끝날 때까지 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 에어컨은 전류의 주파수 그 자체를 바꾸어 컴프레서의 회전수를 조절한다.

전자레인지에 내장된 마그네트론(Magnetron)이라는 장치는 원래 군사용 레이더의 발전기(교류전기를 일으키는 장치)로 쓰던 것이다. 1945년에 미국의 스펜서(Percy Spencer)는 이 마그네트론을 실험하던 중 호주머니 속에 넣어 두었던 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 쏘여서 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 텔레폰켄의 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 인터랙티브 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 기계에 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 자

료들을 컴퓨터용 소프트웨어의 원형이라 할 수 있는 천공테이프 프로그램밍 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 재고 관리 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 자기 디스크도 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 시

작했다. 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(Optical Character Reader), 광마크판독기(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 열어놓았다. 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 경제적인 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 통신 시간과 고비용의 추적장치가 문제가 되자 자연히 언제나 통신이 가능한 정지궤도가 부각되었다. 1963년, 휴즈 항공사가 신콰 1호를 최초로 정지궤도를 향해 발사했으나 실패하고, 곧이어 발사한 신콰 2호가 부분적인 성공을 이뤘다. 그리고 1964년, 신콰 3호가 태평양 상공 정지궤도에 안착하여 동경올림픽을 중계하는 등 위성의 놀라운 위력을 보여주었다.

텔스타, 릴레이, 실험을 실행하는 동안 영국, 독일, 프랑스, 이탈리아, 브라질, 일본에서 위성지구국을 운영했으며, 1964년 8월에 세계적인 규모의 상업 위성망인 인텔샷(INTELSAT)을 설립했다. 1965년 4월 대서양의 정지궤도에 발사된 인텔샷 1호 위성인 얼리버드를 시작으로 1967년엔 태평양 상공, 1969년엔 인도양 상공에 인텔샷 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 있다. 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 83.5킬로그램의 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 발사

했고 계속해서 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 15센



티미터에 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, 고체부스터로켓, 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 텔

레비전을 시청하고 있다. 또한 기상위성을 이용하여 현재의 기상 상태는 물론 향상된 일기예보 능력으로 커다란 기상 재난을 예방할 수 있다. 개인 휴대전화를 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 인텔샷 4호가 국제통신기구인 인텔샷(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 랜드샷은 농경, 지질학, 수심 측량, 토지 이용 등에 활용할 지구 표면의 사진을 보내오기 시작했다.



제5장

원자력과 소립자

1. 자유라디칼	153
2. 전자	155
3. 레이저	159
4. 유전공학	164
5. 퍼스널 컴퓨터	170
6. 인터넷	172
7. 복잡성과학	176

= 0
H
CO



제5장 원자력과 소립자



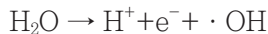
19세기 말, 흑체의 복사, 광전 효과, 원자의 스펙트럼 등을 관측했는데, 이러한 현상들은 기존의 이론으로는 설명되지 않았다. 그리하여 플랑크(Max K. E. L. Planck)의 양자가설, 아인슈타인의 광양자설, 보어의 원자론, 드브로이의 물질파 등이 제안되어 이러한 미시 현상들을 설명했으나, 이들은 모두 기존의 이론체계들과는 모순을 빚는 것들이어서 엄청난 학문적 혼란을 야기했다. 이러한 가운데 슈뢰딩거(Erwin Schrodinger)와 하이젠베르크(Werner K. Heisenberg)를 비롯한 일군의 물리학자들은 체계적인 새 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 $h(6.625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec})$ 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 더

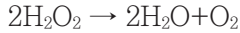
욱 일반화된 이론으로 정착되고 있다. 또한 양자이론의 등장으로 물질의 기본 구조가 인자 수준에서 밝혀졌고, 이러한 성과는 물리학뿐만 아니라 화학, 전자공학 등의 발전에 큰 영향을 주고 있다. (양자역학을 도입한 전자현미경이 발명되면서 더 작은 영역까지 관찰할 수 있으며, ‘터널링 효과’를 이용하여 물질 표면의 원자 분포까지도 관찰할 수 있다.)

1. 자유라디칼

방사선을 쬔면 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($\cdot\text{OH}$), 과산화수소(H_2O_2), 과산화라디칼($\text{O}_2\cdot^-$)이 차례로 생긴다. 생물 손상의 90퍼센트 이상이 이 중간물질들 때문에 일어나고 있다. 그 첫 단계는 다음과 같다.



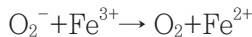
여기서 H^+ 는 양성자(전자 하나를 잃은 수소원자), e^- 는 분리된 전자, $\cdot\text{OH}$ 는 히드록실라디칼(Hydroxyl Radical)이라는 자유라디칼이다. 히드록실라디칼은 수십억 분의 1초 내에 모든 생물 분자들과 반응하며 연쇄반응을 시작해 손상을 퍼뜨린다. 히드록실라디칼은 모든 단백질, 지질, DNA를 마구잡이로 공격하여 자유라디칼 연쇄반응을 일으킴으로써 손상이 넓은 곳으로 퍼진다. 방사선이 물에서 전자 하나를 더 떼어내면 이번에는 중간물질로 과산화수소(H_2O_2)가 생긴다. 과산화수소는 화학적으로 산소와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



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.



세 번째 중간물질인 과산화라디칼($\text{O}_2 \cdot^-$)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.



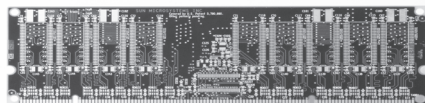
비타민C는 어떤 물질이 산화되는 것(전자를 빼앗기는 것)을 막아주는 전자 공여체로 우리 몸에 이용되고 있다. 비타민C는 수용성이라 막으로 둘러싸인 한정된 공간에 농축될 수 있으며 반응 산물이 매우 안정적이다. 비타민C는 전자를 내주고 아스코르빌 자유라디칼이 된다. 아스코르빌라디칼은 전자의 위치 이동(공명) 덕분에 구조가 안정적이다. 그러나 반응이 느리기는 하지만 보통 전자 하나를 더 내주고 불안정한 디하이드로 아스코르브산이 되어 저절로 파괴된다. 따라서 자유라디칼 연쇄반응이 끝나려면 우선 자유라디칼 두 개가 서로 반응해 쌍을 이루지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

자유라디칼은 주로 산소분자가 끼어 있는 반응에서 생기며 자유라디칼

의 양이 많아질수록 산화성 스트레스가 쌓인다. 전염병, 방사선피폭, 염증 등 대다수의 생리적 스트레스는 산화성 스트레스의 증가를 불러온다. 그러나 산화성 스트레스가 없다면 우리는 병원체에 대해 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 NF κ B 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 흐름이다. 1902년에는 러더퍼드(Ernest Rutherford)가 α 선의 실체를 밝혔다. 또 1911년에는 α 선 산란 실험에 관한 연구를 통해 원자 안에는 ‘핵’이 있으며 핵 주위에 음전하의 전자가 매우 얇은 전자구름을 이루고 있다고 결



론지였다. 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 있다. 원자의 중심에는 양전기를 가진 무거운 핵(핵자)이 있고 그 주위를 전자가 돌고 있다. 원자의 화학적 성질은 핵 주위의 전자의 상태에 달려 있다. 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 방출 되는데, 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 궤

도의 일부가 비어 있었다.

1922년, 콤프턴(Arthur H. Compton)은 에너지값이 큰 X선, 다른 말로하면 파장이 짧은 X선을 전자에 쏘이면 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 만들고 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^{-20} 센티미터보다 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 거치지 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 값을 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 가까이에선 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 100만분의 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 같으나 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 만



들 수 있다는 가설을 세웠다. 그런데 제2차 세계대전 당시 사격 통제장치의 핵심 부품으로 사용되던 독일산 고품질 유리를 대체하기 위한 연구 중 미국의 마

이먼(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 낱알의 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 쬔거나 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 눈에 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 된다. 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 클래드를 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 클래드와

의 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 빛)이다. 이 파장 영역의 근적외선은 유리에 가장 흡수되지 않아 통신에 적합하다. 디지털 통신에서는 센 빛을 1, 약한 빛을 0으로 보는데, 반도체 레이저는 1초에 10^{10} 번 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 인터넷을 사용하면 0.0008초가 걸린다.

원소의 주기율표에서 III족과 V족의 원소가 화합되어 만들어진 GaAs, 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 측정하

는 데 이용하고, 지구와 달 사이의 거리를 정밀하게 재는 데에도 쓰인다. 또 강한 레이저 펄스를 표적물질에 쏘여 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 간단한 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 쬔어 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. 산업 혁명은 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 레이저

를 통해 인간이 앞으로 얼마만큼의 혜택을 받을 수 있게 될지 그것은 아무도 알 수 없다.

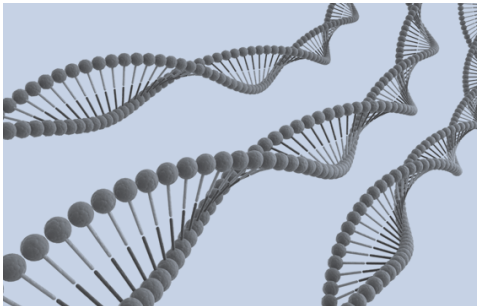
4. 유전공학

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 쏘여줌으로써 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. 이듬해 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 복제과정을 추측할 수 있었다. 한 달 뒤 이들은 새로운 상보 나선들이 합성될 때 원래의 DNA의 나선들이 주형으로서 작용한다는 반보전 가설을 내놓았다. DNA는 두 개의 나선

이 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 얹혀 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 있다. 이 구조로 DNA의 자가복제(Replication)나 mRNA의 전사(Transcription), 그리고 단백질의 합성 등이 이루어진다. 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 있게 된다. 즉, 제한효소는 특정 염기서열만을 자르므로 DNA 표지가 가능하게 되어, 긴 DNA를 수백에서 수천 염기쌍 조각으로 만들어 길이에 따라 분리한다면 DNA 단편



을 한층 잘 해석할 수 있었다. 또 어느 생물의 DNA 단편을 플라스미드 벡터(운반체)라 불리는 원형의 DNA 속에 삽입시켜 박테리아 숙주 속으로 집어넣고 원하는 만

큼 이 클론(Clone)조각들을 생산해낼 수도 있게 되었다.

1975년에는 DNA의 염기배열을 읽어내는 시퀀스기술이 개발되었다. 염기를 분리하기 위해 점액이 응축되어 있는 매우 작은 모세관으로 DNA를 흘려보냄으로서 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, 스톨(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 조스타크(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 물리스(Mullis)가 PCR(Polymerase Chain Reaction)법(Process for amplifying nucleic acid sequences; USP 4683202)이라

는, 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, 물리스(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 반복 배열수의 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 폴리메라

아제는 대장균(*E. coli*)의 DNA 폴리메라아제I 이었는데, DNA를 단일나 선으로 풀기 위해 온도를 올리면 이 효소가 파괴되므로 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 있다.

1992년, 아피메트릭(Affymetrix)사의 포더(Fodor) 등에 의해 DNA 마이크로어레이(DNA microarray, Array of oligonucleotide on solid substrate; USP 5445934) 기술이 등장했으며, DNA 데이터 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 생명 현상이 이 유전자와 관련 있으며 심지어 감기 같은 외부 감염성 질환조차 유전자의 개인별 특성과 관련이 있다. 따라서 유전체는 생명이 매 순

간 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. 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 프로그램들은 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 운영체제들을 찾았다. 그것들에 맞는 프로그램들이 많이 있을 터이고 다른 기계들과 잘 연결되리라 생각했기 때문이다. 그래서 일찍 시장에 나와 표준의 자리를 차지한 것들은 기계든 운영체제든 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 한 쪽을 ‘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. 2^2 가지의 구성을 만일 n 개라면 2^n 가지를 동시에 병렬적으로 처리한다.

6. 인터넷

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

를 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.

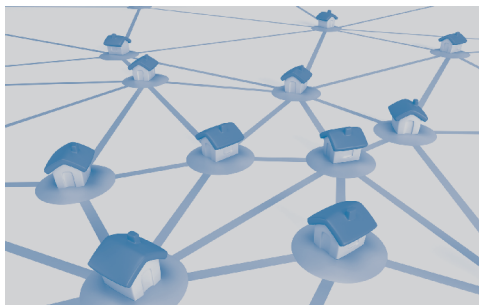
1962년, 클라인 록은 컴퓨터 네트워크의 기본적인 원리인 패킷 교환(Packet Switching)을 제안했다. 패킷 교환이란 정보를 나누어 보내는 방식이다. 정보를 보내기 전에 이를 패킷으로 나누고 이것들을 어떤 때는 서로 다른 통신선을 이용하여 보낸 후 도착지에서 다시 이를 조합하는 방법이다. 또 영국의 도널드 데이비스(Donald Davies)도 고속 통신회선 위에서 패킷 교환 방식이야말로 대단히 효율적인 컴퓨터 통신망을 구축하는 데 필수라고 생각하고 패킷과 패킷 교환 방식을 고안했다. 1969년 아르파는 데이터의 전송 방식에 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 공

식 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 국방부로 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 출현했다. 웹은 기존에 키보드로 명령어를 직접 입력하여 문자정보를 검색하는 서비스와는 달리 마우스로 원하는 곳을 클릭하면 모든 경로를 무시하고 원하는 정보에 직접 접속이 가능한 방법이다. 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 있다. 월드와이드웹의 등장

이전에도 유즈넷이나 고퍼 등 인터넷에서 사용되는 뉴스 그룹 형태의 인터넷 사용 시스템이 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.com>의 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 향해 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 네트유평민(디지털 노마드)을 발견한다. 많은 전 세계의 네트유평민들은 사이버 공간에서 새로운 형태의 경제, 정치, 문화공동체를 건설해가고 있다.

7. 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 초기 조건에 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 되돌아오

지는 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 얹히고설킨 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.



Part II

동아시아의 과학

= 0
H
CO



들어가며 Ⅱ

과학의 기초는 동양에서



원래 인류는 사냥꾼이자 채집가였다. 그러다 기원전 8000년 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 기록체제로 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 이집

트에서는 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.

18세기 이전에 유럽에서 행했던 소박하고도 절망적인 농업과 기원전 4세기 이후에 동아시아 국가에서 행했던 우수하고 진보된 농업은 도저히 비교 상대조차 되지 못한다. 발달된 쟁기를 만들어낸 동아시아인만이 괴로운 노동에서 해방될 수 있었다. 그리고 마침내 동아시아인의 쟁기가 유럽에 전파되고 난 후에야 유럽에 농업혁명이 일어날 수 있는 계기가 마련되었다. 동아시아인은 농기구 이외에도 효율적인 마구를 발달시켰다. 수학은 동아시아에서는 ‘산학’이라고 불렸고 역법이나 실용적인 목적의 계산에 주로 사용했다. 따라서 그 내용이나 방법에서 고대 그리스에서 유래해서 발전한 유럽 수학의 전통과는 크게 달랐다. 증명 위주의 기하학보다는 해를 얻는 것을 중요시한 대수학의 성격이 아주 강했다.

중국 4대 발명의 하나인 나침반과指南車(指南車) 발명의 핵심은 무형의 지구 자기력 원리의 발견이다. 중국에서 발명한 나침반의 활용으로 전천후 항해의 새로운 시대가 열렸다. 또 화약은 송나라 때 크게 발달했다. 화약의 재료가 되는 유황과 초석은 원래 모두 약재였다. 동한의 채륄(蔡倫)은 선인들의 경험들을 토대로 나무껍질, 낡고 떨어진 어망, 낡은 천, 삼베 등을 원료로 하여 글을 쓰기에 적합한 식물섬유 종이를 만들었다. 종이의 발명은 인류의 문화 전파에 크게 기여했다. 조판 인쇄술은 일찍이 춘추전국시대에 발명된 인장 조각과 돌 탁본의 방식이 발전된 것이다. 이와 같이 중국은 인쇄술(종이), 화약, 나침반(자석)을 발명했다.

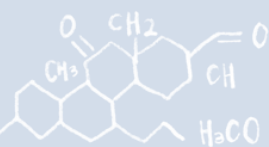
근대과학은 17세기의 유럽에서 탄생했는데, 그 당시의 발명과 발견들

은 위와 같이 대부분 수세기 전에 중국에서 이루어진 과학기술에 힘입은 것이다. 유럽은 이런 유산을 계승하여 만국공통의 보편적인 과학과 기술을 발전시켰다. 산업혁명은 서유럽을 생존경제에서 성장경제로 진입하게 한 대변혁이었다. 산업혁명의 주요인은 급속도로 이루어진 기술혁신이었다. 이 산업혁명으로 서구 경제는 동아시아에 우위를 확보했다. 과학기술의 발전에 적합한 가치체계와 사회 형태를 가진 곳은 물론 유럽, 특히 영국이다. 그래서 일본은 말할 것도 없고 소련 등도 영국을 모델로 하여 근대화를 추진해왔다. 중국은 1840년에 발발한 아편전쟁에서 영국에 패한 뒤 서구와 일본에 거둬 영토를 잠식당했다. 이러한 근대화의 충격으로 중국적인 것을 타도하고 서구적인 것으로 바꾸어야 한다는 운동이 일어났다.

제6장

동아시아 전통과학

1. 춘추전국시대	186
2. 유가 통일시대	188
3. 중국의 전제 관료제	191
4. 분류적 사고	194
5. 중국의 역법	195
6. 주역	199
7. 상수학	201
8. 중국의 대수학	204
9. 조선의 풍수	207
10. 중국의 전통의술	209



제6장

동아시아 전통과학



1. 춘추전국시대

중국의 고대문명도 중동이나 이집트의 고대문명과 같이 신화적 바탕을 가지고 있었다. 그런데 그러한 흐름이 주(周)나라의 역성혁명과周公(周公)의 작업으로 방향을 틀어 공자의 인문주의로 집대성되었다. 공자는 종교적 신앙의 대상이 되는 존재에 관하여 그것을 부정하는 것이 아니라 오히려 경외하는 마음을 품어주되, 그것과 나와의 철저한 ‘거리감’을 유지해야 한다고 했다. 거리감을 유지하는 끊임없는 동적평형(動的平衡)의 방법을 통하여 공자는 신적 존재를 나의 존재로부터 차단시켰을 뿐 아니라 그 종교적 경건성의 모든 의미를 인문정신 속에 포섭했다. 신적 세계와 나와의 거리가 유지될 수 있을 때만이 참된 삶이 성립한다는 것이다. 이렇게 중국정신이란, 신이라는 초월자의 전제 없이 인간이 인간으로서의 존엄성을 보장받으며 물신적(物神的) 욕망에 이끌림 없이 천인합일(天人合一)의 조화로운 공동체



를 유지하는 데 있다.

전국시대 ‘제자백가(諸子百家)’의 출현은 중국 사상이 본래 다양한 가능성을 내포하고 있었음을 말한다. ‘백가구류(百家九流)’라는 다양한 사상가 또는 학파는 사상의 여러 가지 원형을 낳았다. 여기서 구류, 즉 아홉 개의 중요한 학파 가운데 기축을 이루는 것은 ‘도가’, ‘유가’, ‘묵가’, ‘법가’였다. 도가는 반사회성을 표방하는 단 하나의 학파이다. 국가 사회를 버리고 개인에 일관하여 다른 사람을 위해서는 머리카락 하나 움직이려 하지 않는 ‘이기주의’로 향했다. 그 대극에 서는 것이 묵가이다. 소아를 멸하고 대아에 살며 남을 위하여 생사를 돌보지 않는 철저한 ‘이타주의’의 입장을 취한다.

도가-묵가의 중간에 서는 것이 유가이다. 유가는 양자의 중용을 골라서 ‘별애(別愛)’, 즉 ‘인(仁)’을 타이른다. 그것은 가족의 질서를 지탱하는 ‘서열화된 사랑’을 모든 사회로 확대한 것이다. 그리고 예는 인의 외적 표현이라고 간주한다. 유가가 성문화되지 않는 예를, 법가가 성문화된 법을 사회생활의 질서의 원리로 했으며, 그 중간적인 원리를 따르는 것이 묵가이다. 그들은 집단 내 규칙을 성문화하고 그것을 성원에게 외우게 했는데, 내용은 윤리적인 것이었다. 또 도가는 무정부주의의 입장에 서고 묵가는 군주를 인민의 합의에 의해 뽑힌 것이라고 본다. 이 권력의 부정과 만인에 기초를 두는 권력 사이에서 법가는 한 사람의 전제군주에 의한 권력 지배를 주장한다. 중국의 존재론은 도가에 의해 확립되었다. 장자(莊子)는 ‘혼돈(카오스)’으로부터 ‘질서(코스모스)’로라는 신화적 우주생성론을 형이상학으로 비약시켰다. 이 경우 질서의 형성은 악이며 궁극적 가치인 혼돈의 죽음이었다. 그런데 혼돈에서 질서로의 과정은 자연, 즉 저절로 그러한 것이었다. 질서의 행위를 강조한 것이 법가이다. 형체에 명

명(命名)한다는 행위, 즉 형명(形名)을 통하여 혼돈으로부터 질서가 형성된다. 그 구체적 표현이 바로 법이다. 그에 반해 고대의 성왕이 제도를 부여했다는 유가에는 존재론이 매우 결여되어 있다. 고작 ‘명분을 밝혀야 한다’고 주장할 뿐이다. 이윽고 그들은 도가의 우주론을 수용하여 질서를 반가치로부터 가치로 역전시킨다. 그리고 혼돈으로부터 질서로의 과정을 저절로 그러한 것으로 간주하면서도, 자연의 도를 체득한 성인에 의해 인륜이 정해졌다는 도가와 법가의 중간에 서는 존재론을 만들어냈다. 인간학의 자연주의적 기초 부여는 이렇게 주어졌다.

묵가의 창시자 묵자(墨子)는 이름이 적(翟)이고 노나라 사람으로 목공 출신이다. 묵가의 구성원 대다수가 사회의 하층민으로 생산노동과 과학연구 활동에 종사하는 사람들이었다. 『묵자』란 책은 모두 71편이었으나 현재는 53편만 전해진다. 그 중 『경상(經上)』, 『경하(經下)』, 『경설상(經說上)』, 『경설하(經說下)』, 『대취(大取)』, 『소취(小取)』 이렇게 여섯 편을 ‘묵변(墨辯)’이라고 부르며 여기에는 중국 초기의 역학, 물리학 및 기하학의 연구성과가 기록되어 있다. 『경상』에는 ‘미이시(彌異時)’와 ‘미이소(彌異所)’를 이용해 시간과 공간을 정의했다. 즉, 구체적인 시간(時)과 공간(所)을 종합하여 시간과 공간 관념을 형성하고 있다. 『경상』에서 ‘운동’은 물체의 위치가 움직이는 것이며 ‘정지’는 물체가 어떤 곳에서 일정한 시간 동안 머무는 것이라고 했다. 물체의 운동은 반드시 시공에서 이루어져야 하고 운동, 시간, 공간, 삼자 간에 밀접한 관계가 있다고 했다. 또한 힘을 형태가 흥분한 상태라고 정의를 내리고 물체가 운동하는 원인이 힘이라고 보았다.

2. 유가 통일시대

먼저 묵가가 법가의 입장을 취하는 진(秦) 제국에 의해 박멸되었다. 묵가

집단의 주장과 힘은 두려워할 만한 것이었다. 이어서 법가가 유가의 입장을 취하는 한(漢) 제국에 의해 이빨 뽑혀지고 관료제 자체 내부로 해소되었다. 농업사회는 드러내놓고 법치주의를 관철하기에 적합한 사회체제가 아니었던 것이다. 유가는 가족윤리 이외는 어떠한 이론적 지주도 갖지 않았다. 그런 만큼 다른 모든 학파로부터 사상을 빌려올 수 있었다. 그때 그들은 언제나 중용의 길을 택했다. 이로써 농업사회 위에 군림하여 전제군주를 받드는 관료제에 가장 적합한 사상체계가 형성되었다.

‘인’이라는 공적 가치만을 들고 출발한 유교는 공공막막(空空漠漠)하고 융통무애(融通無碍)하여 도가를 포함한 모든 학파로부터 탐욕스럽게 개념을 차용하고 학설을 탐식하여 사상을 감싸들며 오직 하나의 정통적인 학파로 성장했다. 한편 도가는 자연성 자체의 표현으로서 관료제를 이면에서 떠받쳤다. 이것이 유가 승리의 비밀이며 도가의 존재 이유였다.

진의 멸망으로 ‘인위’라는 모티브는 중국사상사에서 거의 찾아보기 어렵게 되었다. 한나라 말에 불교가 도입되어 오랫동안 중국의 사상은 도교와 유교와 불교 사이를 왕복하게 된다. 10세기에 사상가들이 유불선세 갈래의 가르침을 종합하게 되었고 그 결과가 오늘날까지 중국의 지배적 사상체계가 된다. 이 사상적 전환이 송대에 있었기 때문에 이것을 ‘송학(宋明理學)’이라고도 한다. 이 새 사상가들은 자기들이야말로 정통 유교의 계승자라고 믿었고 이것을 ‘신유학’이라 했다.

이 새로운 유학 운동에는 새로운 방법, 혹은 신기구가 필요했다. 그것이 다름 아닌 약 1,700자 밖에 안 되는 『대학(大學)』이라는 자그마한 책이었다. 여기에서 이들은 ‘지식을 넓히기 위해서는 사물의 이치를 탐구해야 한다(治知在格物)’는 구절에 주의



했다. 이러한 이유에서 ‘주자학’에서 핵심적이었던 이 ‘격물(格物)’의 노력이 윤리적인 목표를 가지고 정(靜)과 경(敬)의 상태에의 침잠을 추구했다.

주자학에서 아주 중요한 ‘리’는 사물의 존재나 현상의 발생을 위한 일종의 필요조건을 나타낸다. 리와 함께 사용한 또 하나의 개념이 ‘기’이다. 기는 취(聚), 산(散), 굴(屈), 신(伸), 승(昇), 강(降) 등 여러 형태의 작용과 움직임을 겪지만, 이것들은 기의 고유한 성질로 외적인 작용을 필요로 하지 않는다. 즉 어떤 현상이 일단 기의 어떤 작용과 운동으로 인한 것이라고 규정되면 그 현상은 충분히 설명되었다고 여겨졌고, 더 이상의 설명이 요구되지 않았다. 기의 운동과 작용들에 의해 일어난 여러 자연현상들을 주자학자들은 그냥 당연한 것으로 받아들였다.

대부분의 자연현상은 사람이 직접 지각한다. 자연현상들은 지각 가능한 성질과 물리적인 효과를 수반하며 ‘형이하’에 속한다. 따라서 자연현상들은 당연한 것으로 그냥 받아들여졌다. 주자학자들이 이런 식으로 자연현상들을 단순히 받아들이기만 했기 때문에 ‘진공’, ‘무한’, ‘운동’과 ‘동인(動因)’, ‘원자의 불가분성’, ‘물질’과 ‘공간’, ‘혼합물에서의 원소의 존재 양태’등 근본적이고 이론적인 문제들을 생각할 기회가 없었다. 이렇게 중국사상가들은 지각의 확실성에 중점을 두고 과학적으로 추상화하려 하지 않았다. 즉 주자학자들은 현실세계의 실재성을 받아들인다는 사실이 내세 위주의 불교 교리와 구별되는 점이라 생각했으며 그 실제세계에 유용한 개념들에 대해서조차 생각할 수 없게 만들었다. 중국인의 사상 표현은 단편적이어서 자연의 사물과 현상 사이의 전체적인 연관을 직관적으로 파악하여 ‘도(道)’ 또는 ‘리(理)’라고 불렀다. 중국사상에 분석적 방법이 결여된 것은, 유용성의 한계 이상으로는 분석적 사고를 펼치려 하지 않은 중국인의 ‘사고 패턴’에 있다. 이러한 기술적 사고에서는 경험적

으로 축적된 지식이 더 쓸모가 있다. 이러한 사고에는 무릇 완전함은 오직 자연 스스로 꾸미는 것이라는 자연주의 사상이 바닥에 깔려 있다. 그 좋은 보기가 17세기 중국의 온갖 생산기술을 집약한 백과전서 『천공개물(天工開物)』이다. 이 책은 벼, 배, 용광로, 그리고 대포, 지뢰 등의 제조기술을 소개하고 있으며, 무엇보다도 농경기술에 중점을 두고 있는데, 농경기술은 천(天)과 지(地)의 관여가 없는 ‘개물(開物)’, 즉 인공만으로는 훌륭한 기술이 이룩되지 않는다는 사상을 전개하고 있다.

중국 전통과학은 달력, 치료, 점복, 생산기술 및 전쟁 등에 이용되는 실용적 지식으로 이루어져 있었고, 이론적이거나 ‘지적’인 흥미로 탐구되지는 않았다. 따라서 이 전통들은 중국의 학문세계의 주류인 ‘유가’로부터는 상당히 고립되어 있었으며, 종사자들은 ‘사’라고 불리는 중국 전통 사회의 정치적·사회적·지적 지도계층의 구성원보다 뚜렷하게 낮은 지위에 있었다. 따라서 중국 전통과학 지식 또한 유학자들에게 제대로 흡수되지 못했고, 그에 따라 중국 전통유가학문에서 과학적 지식이 차지하는 위치는 보잘것없었다. 따라서 중국에서 근대과학이 생길 수 없었던 이유로는 (1) 자연관의 차이, (2) 학문의 대중화 부족, (3) 기술발전에 대한 사회적 요청의 부재, 그리고 (4) 유가학자들의 법칙의 수량화와 수학적 내용에 대한 과학적 이해 부족 때문이라고 할 수 있다.

3. 중국의 전제 관료제

중국의 지식인은 원천적으로 관료였다. 관료는 공적 가치에 관계되며 공적 가치의 실현에 관여하는 일을 한다. 공자는 노나라의 국정을 담당했지만 얼마 후 여러 나라를 방랑하며 그의 정치적 이념을 실현할 무대를 찾아 나선다. 고난에 찬 방랑생활 끝에 그는 후진 양성이라는 교육자

의 길을 선택하는데, 교육자로서 공적 가치를 옹호하기로 한 것이다. 그의 교육은 한나라 때 국가윤리로 채택되었으며 이후 2,000년 동안 그 위치를 계속 유지해왔다. 유가사상에 바탕을 둔 중국의 관료제가 발달한 것이다.

‘유교’에서의 ‘수신제가’라는 교육은 ‘치국평천하’의 달성에 의해 비로소 완결된다. 즉 관료로서의 정통성이 주어진다. 관료인 것을 거부하는 것은 사적 가치를 택하는 것으로 ‘도교’이며 ‘불교’이다. 송나라의 철학자들이 말하는 ‘이단’이었다. 이로 인해 지식인 관료로서의 정치적 실천과 공적 가치의 실현은 중국의 두드러진 특징이 되었다. 지식인은 먼저 공적 가치의 체현자여야 한다. 공적 가치는 이미 고대 성인의 언행에 표현되어 있으므로 고전적 교양이 학문의 중심이 된다. 새로운 사상은 고전의 주석 또는 성인의 언행의 해석이라는 형태를 취한다. 지식 그 자체의 추구는 반가치로써 배척된다. 중국의 학문이나 사상은 지식인 관료의 실천



지향에 의하여 방향 지어진 것이다. 유가 자체가 주로 인간과 사회의 문제에만 관심을 둘 뿐 자연세계에는 관심을 갖지 않았다. 지식인의 교양이 고전적 혹은 문학적인 그것을 중심으로 하고 있었기 때문에 그들은 흔히 정치적 으로도 무능했다.

중국의 모든 천문학자, 그리고 거의 대부분의 수학자는 관리였다. 중국에서는 기술자, 장인들도 관료적 성격을 지니고 있었다. 민간에서의 수공업 생산은 광범한 영역에 걸쳐 있었지만, 중요한 산업은 국유화되고 관리의 감독 아래 대

규모의 토목공사가 행해졌다. 그러나 중국의 관료를 구성하는 엘리트는 유학자들이었으며, 이들이 관장하는 관영과학은 아마추어적인 판단에 의해 운영되었다. 이 때문에 이들의 통솔 아래에 있는 하급 기술 관료들은 무사안일하게 일상 업무에 종사하는 데 그쳤다.

근대 산업사회는 분업의 세분화를 전제로 성립되었다. 근대 산업사회는 전문적 능력에 의해 인간을 평가하는 사회이다. 그리고 그 능력을 돈으로 환산 한다. 이는 중국 전통의 관료적 사회주의적 방식과는 반대된다. 유교의 사대부들이 권력을 장악함으로써 중국에서는 발견과 발명을 통해 명성을 얻을 수 없었다. 중국에는 상류 지식층의 모든 사람이 관료가 되기만을 원함으로써 과학기술 분야에 능력 있는 인재가 유입되지 못했다.

또 전통 중국에서는 상인계층이 형성되지 못했다. 중국의 상인은 사회적으로 가장 존경받지 못하는 계층에 속했다. 명나라 농촌에도 거미줄처럼 촘촘하게 연결된 방직업 네트워크가 있었으나 방직업주들은 방직으로 번 돈을 농업 생산에 투자하거나 건축, 토지 구매, 혼인, 출산과 같은 ‘가족 경제’에 투자했다. 이러한 투자 성향은 당시 사회가 인간의 본질을 더 중요시했기 때문이다. 상인계급만이 과학연구에서 필요한 ‘손(기술)’과 ‘두뇌(학문)’의 결합을 이룰 수 있는데, 이들이 힘을 펴지 못함으로써, 중국 사회에서는 ‘이론(학문)’과 ‘기술’이 융합할 기회가 없었다.

중국은 인간과 자연의 조화를 찬미했을 뿐 자연을 정복하려는 욕망이 없었으며 과거시험 등으로 관리가 되면 자손 몇 대까지 잘살 수 있었으므로 상인이나 수공업자는 천시되었다. 사업 투자도 정부의 수탈 때문에 불안정했으며 길드 조직은 관료에게 뇌물을 바쳐야 했다. 과학자의 발명권 같은 것은 그냥 빼앗겼다. 게다가 중국의 지배계층들은 자신들이 세상의 중심이고 자신의 국가가 가장 크고 가장 강하다고 생각했다. 그러

니 바다를 건너 멀리 나갈 필요도 없었고, 과학기술을 이용하여 다른 국가를 제압할 필요도 없었다.

이렇게 중국에서 역사상 아무리 많은 천재적 과학자들이 태어나고 아무리 많은 혁신적 기술들이 발명되었어도 여기에 관심과 지원이 없었기 때문에 이 분야의 발전은 불가능했다. 또 다양성을 거부하는 유교사상이 지배하는 나라라서 창조성과 독창성이 나오기 어렵다. 더욱이 청나라 말의 중국은 두 가지 중독, 즉 아편 중독과 고전 중독에 걸려 있었다.

4. 분류적 사고

중국인이 실재세계의 현상적인 다양성을 인식하기 위해 취한 방법은 ‘분류’였다. 낱알을 들어가면서 하는 기술(記述)과 그 분류에 의한 서술적 사고이다. 일례로 명(明)나라 이시진(李時珍)의 『본초강목(本草綱目)』에는 각각의 종(種)에 대해 먼저 문헌, 민간, 지방에서 사용되는 별명을 열거한다. 이어서 산지 및 식물학적 특성을 기술한다. 그런 다음 약물로서의 용법과 효용이 역시 여러 문헌으로부터의 인용을 통해 상세하게 논해진다. 『본초서(本草書)』는 『농서(農書)』나 『약전(藥典)』과 같은 기술서(技術書)의 성격을 띠고 있다. 기술적(技術的) 실천에 필요한 것은 지시적 기능을 띤 ‘교범(教範)’을 말한다. 중국 지식인의 실천 지향은 기술적인 생각을 인간적 실천의 전 영역으로 확대시킨다. 질서는 만들어지는 교범이다.

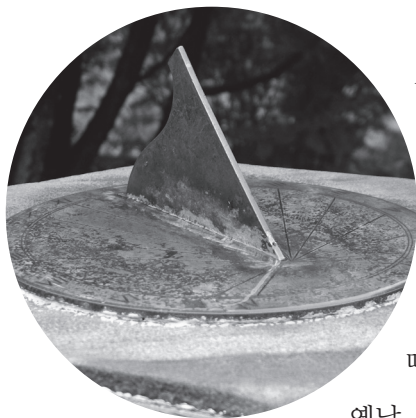
세계의 다양성은 양(量)으로 투영된다. ‘양적 관계’에서 어떤 규칙성이 발견된다면 ‘통일상(統一象)’을 그릴 수 있다. 중국인은 양적인 관측, 관찰, 측정, 실험, 조사, 계산, 기록, 설명, 사색에서 많은 자료를 남기고 있다. 천체의 위치와 운동에 관한 ‘역계산(曆計算)’, 악기의 ‘음정(音程)’, 제기(祭器)나 수레(車)나 의복(衣服)의 ‘규격(規格)’, 인구에 관한 것, 관직의 정원과 등

급에 관한 것, 형법의 양적 규정에 관한 것, 화폐나 경제정책이나 토목사업에 관한 것, 이것들은 양적인 서술이다. 중국의 수학이 양(量)의 수학, 즉 대수학(代數學)이었던 것 같이, 천문학도 대수학적 천문학으로 천체의 운동은 모두 가상적인 구면상에서 적도좌표계의 양으로 파악된다. 즉 중국인은 천체 운동을 하늘의 ‘역수(曆數)’로 파악했다.

전통 중국에서는 음악을 ‘예악(禮樂)’이라고 하여 예(禮)와 결합할 정도로 매우 중요시했고, 그에 따라 음악의 기초가 되는 화음에 대한 논의는 ‘율학(律學)’이라고 하여 화음을 이루는 음을 내는 현이나 관의 길이들 사이의 간단한 수적 관계가 중요하게 다루어졌다. 중국의 음정은 관(管)의 부피에 의해 결정되는데, 그 기본적인 음정을 나타내는 12개의 관의 부피에는 ‘수적(數的) 비례관계’가 성립하고 있다. 아울러 역법(曆法)분야와 결합되어 ‘율력(律曆)’이라 불리기도 했다. 중국 수학이 기하학적이 아니고 늘 대수적이었던 것처럼, 중국의 예악은 원초적인 파동 이론에 충실했다. 이러한 양적 인식과 양적 사고는 중국인이 자랑하는 것이었다.

5. 중국의 역법

옛날 사람들이 천체를 관측했던 가장 중요한 이유는 시간을 측정하기 위해서였다. 먼저 오늘 해가 뜬 시각부터 내일 다시 해가 뜰 때까지의 시간이 대략적인 ‘하루’가 된다. 밤하늘에 두둥실 떠 있는 달의 모양을 주의 깊게 관찰하는 사람이라면 초승달에서 다음 초승달까지 또는 보름달에서 다음 보름달까지의 간격을 계산할 수 있을 것이다. 이것이 바로 ‘한 달’이라는 시간 단위의 등장이다. 1년을 측정하기 위해서는 먼저 한 자루의 막대기를 땅 위에 수직으로 세워둔다. 그리고 태양이 남중했을 때 막대기의 그림자 길이를 잰다. 매일매일 그림자의 길이를 관찰해보면 계



절의 변화에 따라 길이가 변한다는 사실을 알 수 있다. 북반구에 위치한 곳에서는 동지 때의 해그림자가 가장 길고, 하지 때는 가장 짧다. 결국 해그림자가 가장 긴 때부터 다시 그 길이로 돌아올 때까지의 시간을 재면 그것이 1년이 된다.

옛날 사람들은 이런 방법으로 ‘하루’와 ‘한 달’

그리고 ‘1년’의 길이를 측정할 수 있었다.

인류가 농경생활을 시작한 이래 해야말로 농사를 짓는 데 없어서는 안 되는 천체였다. 햇빛이 강한 계절에는 만물이 왕성하게 자라고 비도 많이 오지만, 햇빛이 약한 계절에는 식물들이 시들고 마르며 비 대신 차가운 눈이 내린다는 것을 경험적으로 알았고, 아울러 이러한 현상이 1년을 주기로 반복되는 것도 알았다. 그것을 하나의 종합적인 체계로 만들어낸 것이 역법(曆法)이었다. 따라서 역법이란 1년 동안의 사계절의 순환이나 달의 위상 변화와 같은 자연현상의 법칙적 질서를 수학적으로 체계화한 것이다.

농경사회에서 ‘역(曆)’은 필수적인 생활의 지침이 된다. 중국의 역법은 경험적으로 관측된 주기들을 사용한 계산법에 의존했다. 북송의 심괄은 “도는 하늘에 있다. 그것을 관측 기계에 갖추게 하면 도는 기계 속에 있다. 도가 기계에 갖추어져 있으면 일월오성은 기계 속에 파악되고 하늘과는 상관이 없어진다. 하늘과 상관이 없다면 하늘에 있는 것을 인식하는 일은 어렵지 않다”고 하여 기계에 파악된 천체는 인식 기능의 대상이 된다 했다.

옛날 동아시아에서 사용했던 역법의 체계는 음력과 양력을 결합시킨

‘태음태양력(太陰太陽歷)’이었다. 태음태양력에서 한 달의 길이는 달의 운동을 기준으로 정하고, 1년의 길이는 태양의 운동을 기준으로 결정한다. 따라서 한 달은 대략 29.5일이 되고 1년은 365일 정도가 된다. 결국 음력 열두 달의 길이는 대략 354일이 되어 양력 1년의 길이인 365일과 약 11일의 차이가 나타난다. 달의 주기는 29.530588일이고 지구의 주기는 365.242216일이므로, 이 두 개의 주기는 서로 맞아떨어지지 않는다. 그러나 중국의 고대 농사력에서는 음력에서 큰 달을 30일로 하고 작은 달은 29일로 했다. 그러면 19개 음력 년에 일곱 개의 윤달을 더한 일수는 19개 양력 년과 거의 대등하다.

중국인들은 춘추 중엽에 이미 19년 동안에 일곱 차례의 윤달을 설치하는 ‘19년 법’으로 음력과 양력을 조절했다. 이는 기원전 433년에 그리스 사람 메톤(Meton)이 발견한 ‘메톤 주기’보다 160여 년이나 앞섰다. 춘추 이후 진나라에서는 ‘전옥력(顓頊曆)’을 사용했고, 한무제(漢武帝) 시기의 ‘태초력(太初曆)’에서는 1년을 365와 4분의 1로 정했다. 이는 로마 대제 카이사르의 율리우스력과 같은 방식지만 시기적으로는 200년이나 빠르다.

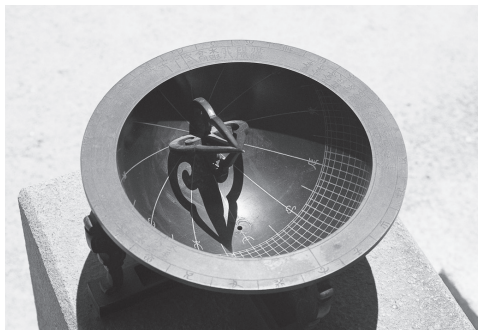
원나라에 이르러 중국 판도가 유럽과 아시아의 두 대륙에 걸치자 중국의 문화는 여러 면에서 모두 새로운 요소를 받아들이게 되었다. 결국 곽수경(郭守敬) 등은 새로운 역서를 만들어 1280년에 반포했는데, 그것이 『수시력(授時曆)』으로 1년을 365.2415일로 잡고 있다. 이는 지구가 태양을 도는 실제 주기와 26초 차이밖에 나지 않는다. 『수시력』은 중국 전통역법을 계승 발전시킨 것으로 각종 천문 의기를 정비하여 천문 관측에 신중을 기했고, 과거의 역법을 참작함과 아울러 새로운 계산법을 사용하여 각종 천문상수를 재정리했다. 그 결과 『수시력』은 역대 중국역법 가운데 가장 뛰어난 것으로 평가되었고, 이후 400년 동안 『수시력』을 능가하는

역법이 만들어지지 않았다. 그렇지만 『수시력』은 일월식을 계산하는 면에서 완전하지 못한 점이 있었기 때문에 이슬람 역법서인 『회회력(回回曆)』을 일부 병용하여 그 결점을 보완했다. 『수시력』은 지금 사용되는 그레고리력의 1년 주기와 같지만 그레고리력보다 300여 년이나 빨랐다.

조선조 세종의 『칠정산(七政算)』은 원나라 때 중국에서 제작했던 곽수경의 역법 『수시력』을 서울 기준으로 고쳐 계산하는 길을 연구해 완성한 작품이다. 칠정(七政)이란 태양과 달, 5행성(水, 金, 火, 木, 土)을 뜻하니 ‘칠정산’이란 이 일곱 천체의 운동을 계산하는 방법이라는 의미이다. 『칠정산』의 내편은 중국의 전통역법을 소화해낸 결과물이고 외편은 아랍 역법을 국내에 처음 소화해 들여온 결과물이다.

『칠정산』의 완성으로 조선의 천문학자들은 서울의 위도를 기준으로 천체의 위치를 미리 계산해낼 수 있었고 일월식을 비롯한 각종 천문 현상을 정확하게 예보할 수 있게 되었다. 당시 세계적으로 이러한 수준의 천문역산학을 보유하고 있었던 나라는 중국과 아라비아 그리고 조선뿐이었다.

한편 중국의 역법은 ‘하늘을 관찰하여 백성에게 시(時)를 주는 것이 제왕의 의무’라는 ‘관천상수인시(觀天象受人時)’를 실행하기 위해 발달했다. 중국의 황제는 우주의 시간에 맞추어 농사지을 수 있도록 달력을 만들어 백성에게 나눠주어야 했다. 이것은 ‘하늘의 명을 받아 제도를 고친다’는 ‘수명개제(受命改制)사상’과도 연결된다. 중국의 역대



왕조는 건국의 정당성을 정치사상적으로 뒷받침할 수 있는 수단으로써 천문학의 정비와 천문역법을 발달시켰다. 천명을 받아 황제가 되면 역법 등 기본적인 제도를 새로이 고쳐야 한다. 중국 역법의 이러한 성격상, 개혁을 할 때는 일-월-행성 등에 관한 온갖 천문상수를 형이상학적인 설명으로 꾸민다. ‘천문정수’를 ‘음률’과 결합시킨다든지 ‘역수’와의 연관을 시도하는 따위가 그것이다. 실용과 사변(우주관)이 이중으로 얹혀서 ‘역’은 고대 중국에서 국가의 대전으로 성립했다.

농업 생산의 필요에 따라 사람들은 평균 15일마다 하나의 절기를 만들어 1년을 24절기로 구분했다. 실질적으로는 태양의 위치와 시 운동에 의거해 정한 일종의 역법이다. 기원전 104년 등평(鄧平) 등이 제정한 ‘태초력(太初曆)’에 정식으로 24절기를 정하고, 24절기의 천문적 위치를 명확히 했다. 태양이 황경 0도에서 황경을 따라 15도 움직이는 시간을 하나의 절기라고 했다. 매년 360도를 운행하니 1년에 24개의 절기를 지나고, 한 달에 두 개의 절기를 지난다. 매월 첫 번째 절기를 ‘절기’라고 하는데 입춘, 경칩, 청명, 입하, 망종, 소서, 입추, 백로, 한로, 입동, 대설, 소한이 절기에 속하고, 매월 두 번째 절기를 ‘중기’라고 하는데 우수, 춘분, 곡우, 소만, 하지, 대서, 처서, 추분, 상강, 소설, 동지, 대한이 이에 속한다.

6. 주역

약 4,000년 전 하(夏)나라 우(禹)임금이 치수 공사를 하던 중, 물속에서 기어 나온 거북이 등에 있는 무늬를 보고 낙서를 했다. 낙서의 수는 가로, 세로, 대각선의 합계가 모두 15가 되는 3차 ‘마방진’이었고, 이것은 숫자 속에 숨겨진 우주의 질서로 생각되어 ‘기문둔갑술(奇門遁甲術)’로 발전했다. 원래는 1에서 9까지의 숫자가 가로 셋, 세로 셋의 배열로 놓였을 때 그 합이



어느 방향으로나 15가 되는 모양을 기본으로 한 무늬에 지나지 않았으나 이 교묘한 숫자 배열로부터 사람들은 우주의 수학적 질서, 즉 ‘주역(周易)’의 세계에 깊은 관심을 갖게 했다. 또 1년을 만드는 열두 달

과 한 달을 만드는 30일, 그리고 그것을 합쳐 나오는 360일이라는 숫자에도 모두 큰 의미를 부여했다. (피타고라스는 동아시아로부터 전해진 이 낙서, 마방진 등의 지식을 얻은 후, 수와 수적 비례 그리고 조화에 대한 연구 끝에 ‘수는 만물의 척도’라는 말을 남겼으며, 사물은 수들로 구성되어 있고 수는 사물과 닮아서 사물 그 자체라고 정의했다. 따라서 동아시아의 ‘상수원리’가 서양 수학의 기본 개념이 되었다.)

중국 철학의 관점에서 볼 때 『주역(周易)』은 음양의 상호작용으로 인해 만물이 생성된다는 것을 설명하고 해석한 책이다. 부드러움과 강함이 함께하면서 그 속에서 변한다는 것이 역(易)의 핵심 사상이다. 『주역』은 내용이 풍부하고 다루고 있는 분야도 아주 광범위하다. 천문, 지리, 사람의 일상사 및 자연과학에서 사회과학에 이르기까지, 생산에서 생활에 이르기까지, 제왕과 재상이 나라를 통치하는 방법에서부터 백성의 처세와 지켜야 할 도리에 이르기까지 아주 상세하게 다루었다. 일분위이(一分爲二), 대립과 통일의 우주관, 유물주의와 변증법의 방법론을 활용하여 우주 만물의 발전과 변화의 법칙 및 대립과 통일의 법칙을 명시했다. 뿐만 아니라 이 세계관을 활용하여 8괘를 통해 자연계 및 사회와 사람 본연의 각종 정보를 예측한다.

은(殷)나라 말에 주(周) 문왕(文王)이 64괘의 단사를 썼다. 기본 요소는 양(-)효와 음(-)효이고 이효(二爻)를 겹쳐놓으면 8괘, 즉 건(乾: 별), 곤(坤: 땅), 진(震: 우뢰), 간(艮: 산), 이(離: 불), 감(坎: 물), 태(兌: 연못), 손(巽: 바람)이 된다. 그리고 8괘를 다시 겹치면 64괘가 된다. ‘경(經)’은 64괘의 괘상, 괘명, 괘사, 효사 네 부분이다. 괘사는 전 괘의 뜻을 해석하고 효사는 효 하나하나의 뜻을 해석한다.

모든 괘는 양효(陽爻)와 음효(陰爻)로 구성된다. 만약 양효를 1로 하고 음효를 0으로 하면 이진법의 2는 10이 되는 규칙에 따라 건부터 곤까지 64괘는 모두 0과 1로 나타낼 수 있다. 예를 들어 제1괘인 건괘는 111111=63, 제2괘는 011111=62, 제3괘는 101111=61이 되고 이렇게 쭉 배열해나가면 제62괘는 010000=2, 제63괘는 100000=1, 마지막 1괘는 000000=0이 된다. “오직 0과 1만 존재하는 이진수는 형식이 간결할 뿐만 아니라 우주의 모든 양(量)을 나타낼 수 있다.”(음양 8괘를 통하여 처음으로 이진수의 개념을 제기한 것이다.)

한나라 이후 『주역』에도 변화가 찾아온다. 한무제의 “백가를 배척하고 오로지 유교의 사상만을 존중하자”는 정책으로 오경박사(五經博士)를 설치함으로써 『주역』은 나라를 다스리는 경서로 자리를 잡게 되었다.

7. 상수학

중국인에게는 존재는 부동의 실체가 아니고 움직이며 멈추지 않는 것이었다. 움직여 멈추지 않는 존재를 ‘기(氣)’라고 부른다. 만물은 기에서부터 생성하여, 기로 소멸 되어간다. 중국인은 기의 운동 가운데서 윤회하는 세계의 기본적인 패턴을 찾아낸다. 기는 우주에 충만한 연속적물질(에너지)이다. 그에 관련해서 중국에는 원자론이 존재하지 않는다. 그것을 만

들어내지 않았을 뿐만 아니라 인도의 극미(原子)설도 받아들이지 않았다. 기는 말하자면 연속적인 장(場)이며, 기의 운동은 흔히 파동의 이미지를 통하여 파악된다. 그 운동의 기본적인 ‘패턴’은 태양의 운동에 바탕을 둔 사계절의 변화 가운데서 나타난다. 봄부터 여름에 걸쳐서는 양기가 신장하고 음기가 쇠퇴하는 과정, 가을부터 겨울에 걸쳐서는 양기가 쇠퇴하고 음기가 신장하는 과정이다. 음양의 기의 파동적인 리듬은 1년을 주기로 하여 순환한다. 음기 앞에는 양기가 있고 양기 앞에는 음기가 있다. 더욱이 양기라는 것은 기가 가볍고 빠르게 운동하는 상태(動)이고, 음기라는 것은 기가 무겁고 느리게 운동하는 상태(靜)로, 비교 개념일 뿐 본래는 단 하나의 기가 존재하는 데 지나지 않는다. 따라서 음양의 기의 순환은 상호 전화라고 볼 수도 있다. 이 음양의 기의 상호 전화와 순환적 변화에 기 운동의 기본적 패턴이었다.

물론 개개의 실재(實在)는 기의 복잡한 형성물이며, 더욱이 동류간(同類間; 음기-음 기, 양기-양기) 및 이류간(異類間; 음기-양기)에 특정의 상호작용이 있기 때문에, 그 패턴은 극히 다양한 변화를 만들어낸다. 이리하여 개개의 사물과 현상 혹은 그 유(類)에 대해 하나하나의 고유한 패턴을 탐구하지 않으면 안 된다. 결코 일률적으로 논할 수는 없다. 주자는 대학에서 ‘격물(格物) 치지(致知)’를 강조했는데, 그것은 개개의 사물과 현상 가운데에서 고유한 패턴을 탐구하는 것을 의미했다.

뿐만 아니라 중국인은 패턴을 양의 인식에다 결부시키려고 노력했다. 역의 원리는 이진법(二進法)에 의한 패턴의 표시이다. 음과 양, 건(-)과 곤(-), 오늘날의 방식으로 말하면 0과 1의 여러 가지 배열 방법, 즉 패턴에 의해 여러 가지 사물과 현상을 분류하고 표시하려 한다. 기본적인 패턴은 여덟 가지가 선택된다. 그것은 이진법의 세 자릿수까지의 수에 해

당한다. 그리고 8의 2승, 즉 64, 2진법으로 말하면 여섯 자릿수까지의 수에 의하여 사물과 현상의 모든 패턴이 표현된다. 또는 무한히 다양한 패턴도 결국은 64가지의 패턴에 귀착한다고 생각한다. 그것이 바로 역의 64괘이다. 괘(卦)의 의미 부여는 각각의 괘에서 음양의 배열 방법과 괘 상호 간의 배열의 변화 방법에 의하여 주어진다. 왜냐하면 그것은 각 패턴에서의 음양의 배치와 상호 전화 및 순환적 변화의 양상을 가리키는 것이기 때문이다. 양적 인식과 패턴 인식을 결합하려는 노력은 이응고 ‘상수학(象數學)’이라고 불리는 학문을 낳았다. 역의 이론을 기초로 하여 수와 패턴의 통일적 이론을 쌓기 위하여 송의 철학자 소강절(邵康節)은 몇 개의 도식(圖式)을 채용했다. 하나는 만물의 패턴을 이끌어나가는 우주생성론적 도식이다. 주렴계(周濂溪)의 태극도설(太極圖說)로 말하자면 태극으로부터 음양이, 음양으로부터 사시(四時)가 생긴다고 하는 도식을, 소강절은 1에서 2가, 2에서 4가, 4에서 8이라는 무한한 수의 2분할로 전개하여 1, 2, 4, 8이라고 하는 기본적인 수에 원소나 성질 등에 의한 의미를 부여하면서 만물과 그 고유의 패턴을 이끌어낸다.

다른 하나는 역사적 시간의 패턴 도식이다. 1년은 12월, 1월은 30일, 1일은 12 각(刻), 1각은 30분이라는 시간 단위에 착안하여, 이 12와 30이라는 수의 조합을 1년을 단위로 하는 역사적 시간에 끼워 넣어 순환적인 역사의 여러 가지 주기를 이끌어냈다. 그 최대의 주기는 2만 8,211조 990만 7,456억 년이라는 엄청난 것 이었다. 소강절의 상수학은 다양한 사물이나 현상의 패턴을 간결하고 통일적인 수의 이론으로 구성하려는 의도로 시도되었지만 방대한 숫자의 유희라는 바닥 없는 늪에 빠져들어 갈 수밖에 없었다.

그러나 지금이라면 중국인이 목표했던 것이 무엇이었는데가를 우리들은

이해할 수 있다. 역의 이진법과 라이프니츠에 의한 이진법 발명과의 관계는 이미 잘 알려져 있다. 오늘날의 정보과학에서의 이진법과 패턴 인식에 대해서도 새삼스럽게 설명할 필요는 없을 것이다. 역과 상수학에는 정보과학으로의 싹이 내포되어 있었다. 여기서 논한 것과 같이 중국인은 근대과학을 뛰어넘어 현대과학의 과제를 만지작거리고 있었다. 그러나 거기서 근대과학이 태어날 수는 없었다.

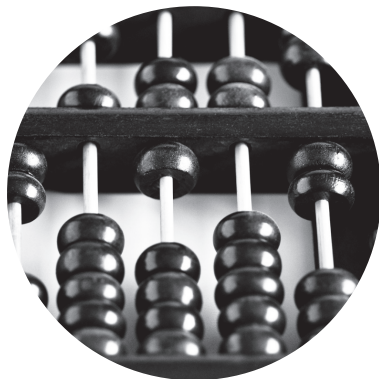
8. 중국의 대수학

전통 중국에서 ‘수학’은 ‘산학’이라고 불리었고, ‘산가지’를 써서 ‘역법’이나 실용적인 목적의 ‘계산’에 사용했다. 이러한 대수학이 중국에서 발달한 이유는 그들이 자연현상을 양적으로 파악하는 방법을 즐겨 썼기 때문이다. 대수학은 국가의 재정 회계 등과 관련이 있는 실무적인 지식으로서만 아니라, 고급 관리인 학자층의 교양으로도 필요했다. 즉 중앙집권적인 중국의 관료제 사회는 대규모의 치수, 관개, 곡물 수송 등을 필요로 했는데, 이러한 산업과 관련해서 학자 관료는 수리공학에도 관심을 기울여야 했다.

산가지는 중국 고대에 2,000년 동안 씬하는 데 중요한 역할을 했다. 그러나 사회가 발전함에 따라 계산기술에 대한 요구가 높아지고 산가지가 점차 수요에 부응하지 못하게 되면서 주판이 생겼다. 주판의 원리와 기본 방법은 산가지와 대체로 비슷하나 주판이 더 편리하고 발전된 형태로 계산이 간결하고 속도도 훨씬 빨랐다. 주판은 산가지의 세 가지 특징인 아홉 개 숫자 부호와 0의 개념, 자리 잡기 원리, 십진법을 갖추었 뿐만 아니라 아홉 개 숫자 부호와 0의 부호를 나타내는 방법도 같다.

가장 널리 알려진 주산 서적은 정대위(程大位)가 지은 『산법통종(算法統宗)』

으로 주산의 규칙과 계산 법칙에 대해 전반적으로 설명해놓았다. 주산 구결(口訣; 외우기 쉽도록 요점만 정리하여 만든 어구)은 오경(吳敬)의 『구장산법비류대전(九章算法比類大全)』이 가장 유명하다. ‘주판’은 일반 백성이 사용하기에 적당했을 뿐만 아니라 글을 모르는 사람들도 어려움 없이 ‘주판’을 이용하여 계산할 수 있었다.



중국의 주산은 점차 한국 및 일본, 인도, 미국, 동남아시아의 여러 나라로 전파되었다.

진한 시기에 중국에서는 오늘날까지 영향을 미치는 수많은 수학 저서가 쏟아져 나왔다. 중국 최초의 천문수학 저서인 『주비산경(周髀算經)』, 『구장산술(九章算術)』도 이 시기의 것이다. 『주비산경』은 천체와 수학을 다룬 천문역산 저서로, 주로 개천설에 대해 토론하고 유명한 피타고라스 정리도 제시하고 있다. 『주비산경』과 거의 동시에 나온 수학 저서 『구장산술』은 246개의 응용문제 해법을 비롯하여 산술, 초등 기하, 초등 대수 등 다방면의 내용이 포함되어 있다. 이 책에는 분수 사칙연산, 비율 구하는 법, 피타고라스 정리를 이용한 측량상의 문제 등이 기록되어 있다. 음수에 대한 개념과 음수와 양수의 가감법칙이 있으며 이 밖에도 제곱, 세제곱, 일원이차방정식의 해법과 연립일차방정식의 해법 등에 관한 많은 문제를 설명하고 있다. 『구장산술』의 수학체계는 실제적인 계산에 치중해 있다. 삼국 양진 남북조 시기에는 훌륭한 두 명의 수학자 유휘(劉徽)와 조충지(趙沖之)가 배출되었다. 유휘는 『구장산술』에 문자로 주석을 달았다. 그의 주석 내용은 상세하고 풍부하면서도 원서의 잘못된 점을 바로잡고

새로운 견해를 많이 내놓고 있으며, 수많은 수학 원리와 증명을 만들어 보이고 있다. 이것들이 각종 계산법에 응용되면서 유헤는 중국 전통수학 이론체계의 기초를 세운 창시자 중 한 사람이 되었다. 유헤는 『구장산술』에 주석을 더한 것 외에도 『중차(重差)』를 펴냈다. 할원술(割圓術)을 만들어 극한 개념을 활용하여 원 면적과 원주율을 계산했으며 십진분수, 작은 단위수 및 미수(微數)를 창의적으로 계산하려 했다. 또 수많은 중요한 수학 개념에 정의를 내리고 율(率)의 역할을 강조했으며 직각 삼각형의 성질을 활용하여 중차술을 만들어 보급시키고 고유의 정확한 측량법을 확립했다. 또 유헤 원리를 제시하여 직선형 입체 부피 계산법의 이론체계를 확립했으며 모형, 도형, 예제를 활용하여 관련 계산법을 논증하고 설득력과 응용성을 강화함으로써 중국 전통수학의 체계를 형성했다.

유헤에 이어 200년 뒤 남북조 시기에 조충지(祖冲之)가 원주율을 계산했다. 진한 이전 사람들은 지름이 1일 때 원주가 3이라는 주삼경일(周三徑一)로 원주율을 삼았는데 유헤는 원에 내접하는 정96각형일 때 원주율이 3.14라는 것을 계산했다. 그런데 조충지는 이전 사람들의 계산과 원리의 기초 위에 파이가 3.1415926에서 3.1415927 사이임을 제시했고 파이 분수 $22/7$ 와 $355/133$ 근사치를 취해 원주율을 표시했다. 이 중 $355/133$ 에서 얻은 여섯 자리 소수가 3.141929이고, 분자분모는 1,000 이내 가장 접근한 파이값의 분수이다. 조충지가 계산해낸 이 원주율을 유럽 수학자들은 이로부터 1,000년이 지난 후에야 얻을 수 있었다. 조충지는 자신의 아들 조궁과 함께 구의 체적계산법(體積計算法)도 구했다. 즉 평행한 두 평면 사이에 놓은 두 개의 입체가 이 두 평면에 평행되는 평면에 의해 잘렸을 때, 두 절단면의 면적이 동일하다면 이 두 입체의 체적은 같다는 것이다. 조충지가 발견한 1,000년 뒤 이 원리는 서양에서 카발리

에리(Francesco B. Cavalieri)가 재발견했다.

『사원옥감(四元玉鑑)』은 주세걸(朱世傑)의 역작으로 총 세권, 288문제로 되어 있다. 이 책의 모든 문제는 방정식의 해를 구하거나 연립방정식을 구하는 것과 관련이 있다. 이 가운데 사원의 문제 일곱 개, 삼원의 문제 13개, 이원의 문제 36개, 일원의 문제 232개가 나와 있다.

명나라 주재욱(朱載堉)은 1584년 『율학신설(律學新說)』을 완성하고 처음으로 12평균율 이론과 계산법을 제기함으로써 각 음계 간의 비율을 정확하게 재정립했다. (이는 서양보다 100여 년 앞선 것이다.) 그는 12평균율 이론에 따라 세계에서 처음으로 ‘현준(弦準)’을 개발했다. 그는 개평방(開平方; 제곱근 구하기)과 개입방(開立方; 세 제곱근 구하기)의 수학연산을 율학에 응용하여 두 음계 간의 음주파 차이가 1.059463094라는 결과를 얻었으며, 수치를 소수점 아래 십몇 자리까지 정확하게 나타내어 가장 완벽한 등비수열을 유도했다. 이로써 각 음계 간에는 음 높이 간격이 같다는 것을 알아내어 음률상에서 음계의 조바꿈 문제를 성공적으로 해결했다. (현재 12평균율의 이론은 세계 각국에서 광범위하게 응용되고 있다.)

9. 조선의 풍수

풍수(風水)란 대지를 흐르는 ‘기(氣)’를 읽어내어 만대에 걸쳐 사람들에게 좋은 영향을 미치도록 기의 흐름을 살린 집이나 묘지, 도시를 디자인하기 위한 이론 내지 방법론이다. 생기(生氣)는 바람을 타면 흩어지고 물에 닿으면 머문다고 한다. 풍수에서는 보통 산맥에 따라 기맥이 있다고 알려져, 그 기맥이 평지에 도달하여 힘을 담은 장소가 좋은 땅이 된다. 현실의 존재방식을 논리적으로 설명하려는 것이 음양오행론이고 그 논리에 의해서 생활의 존재방식을 개선하려는 구체화의 하나가 풍수술이다.

풍수술은 기에 의해서 대지의 형세를 판단하고 조작해서 그 땅의 길(吉)을 얻고 흉(凶)을 피하려는 것이다. 지형의 판단은 ‘득수(得水)’를 으뜸으로 하고 ‘장풍(藏風)’을 다음으로 한다. 기의 면에서 볼 때 풍수사는 보통 사람에게 보이는 기를 볼 수 있고 갖가지 도구를 이용해서 기를 다스릴 수 있어야 한다. 중국의 장례식에는 힘을 지닌 도사나 승려가 의례를 주관했다. 한편 조선조에서는 풍수사가 힘을 지니고 있었다. 이것이 조선에 풍수가 성행했던 원인 중 하나이다.

조선시대 민중들은 풍수란 묘지의 길흉을 나타내는 법술(法術)이라 생각했다. 묘지(陰宅)는 부모를 비롯한 선조들의 안택이며 주택(陽基)은 자손의 안택이었다. 근본이 되는 부모나 선조에게 잘하는 것이 자손의 번영을 위해서도 중요한 것이라고 생각하여, 살아 있는 자들의 주택보다 묘지가 길상의 자리에 자리 잡게 되기를 크게 바랐다. 더구나 조선조는 주자학을 철저히 사회에 적용했기 때문에 선조의 묘지를 좋은 자리에 잡는 것은 효의 실천이 된다고 생각했다. 이렇게 해서 묘지의 선정에는 풍수설이 이용되었고 풍수에 의해 자손의 번영을 기원하는 것이 중요시되어왔다.

풍수는 단순히 지형, 방위 등의 판단만으로 끝나는 것이 아니라 지형, 방위 등의 구조상의 결함을 주물(呪物)로써 보충한다는 주술적 측면이 있



었다. 어떤 주물을 사용하느냐에 따라 신령스러운 가르침이 있기도 해서 풍수설은 무속과도 깊은 연관이 있었다. 따라서 풍수를 늘 마음에 간직하는 문화도 융성하

게 되었다.

17세기는 위기의 시대였다. 왜란 후 호란이 잇따라 일어났을 뿐 아니라 이른바 소빙기(小氷期) 현상의 자연재해가 연속되어 사회적 불안이 극도로 고조되고 있었다. 태양의 흑점 활동의 쇠퇴로 기온이 전반적으로 강하하면서, 가뭄과 홍수 등이 번갈아 왔으며 기근이 연속되고 전염병이 자주 돌아 사람들이 수없이 죽어가 사회적 위기감이 높아졌다. 이 사회적 상황은 인구 200~300만이나 감소되는 결과를 가져왔다. 이러한 사회의 불안 고조가 ‘도참설’을 유행시키는 온상이 되었다. 나라의 근본지인 도읍을 잘못 선택하여 이런 재난이 계속 일어난다고 생각하기도 했으며, 풍수의 주술적 특성을 수용한 『정감록』이 등장하여 사회변혁을 기대하는 풍조가 타나기도 했다. 『정감록』은 구원적인 의미를 담고 있으나 현실성은 크게 뒤지는 것이었다. (당시 선조-광해군은 허준에게 당대 의술의 총정리 작업인 『동의보감』을 편찬하게 하고 『벽역신방(僻疫神方)』 등 전염병 치료에 관한 책을 쓰게 했다. 김육(金堉)은 세제의 쇄신에 앞장서 대동법(大同法)의 조속한 시행을 촉구하고, 상공업 진흥, 화폐의 보급 등을 주장했다. 또 송시열(宋時烈)처럼 주자(朱子)의 진휼책(賑恤策)이 모든 것을 해결해줄 수 있다는 주장 아래, 주자 절대주의의 길을 걷는 사람도 있었다.) 풍수는 어떤 면에서 조선 지리사상의 뿌리였다. 하지만 개화 시기 외국에서 공부한 지도자들은 한국을 미신이 설치하는 나라라며, 이 미신을 타파하는 것이 생활을 투명하게 할 수 있는 첫걸음이라고 주장했다. 이들이 말한 미신 중에는 점쟁이나 관상가, 풍수사 등이 포함되어 있었다.

10. 중국의 전통의술

고대 중국인들의 관념 속에서 질병은 역귀가 오는 것으로 여겨져 무(巫)

는 능히 귀신을 쫓을 수 있으며 따라서 질병도 치료할 수 있다고 생각했다. 또한 의(醫)도 능히 병을 치료할 수 있어서 고서에서는 항상 ‘무의(巫醫)’라는 말이 사용되었다. 고대 중국의 의사들은 호흡, 소화, 순환의 기능에 대한 많은 문헌을 남겼는데 음 양의 본성상 양은 상승하고 음은 하강하므로 기관을 상승하는 호기는 양에 속하며, 양으로 분류되는 신체기관인 심장과 폐가 호기와 연관된다. 반면 하강하는 흡기는 음에 속하며, 음에 속하는 기관인 간장 및 신장이 연관된다. 비장은 그 중 간에 위치하여 호기와 흡기를 모두 받아들인다. 사람이 숨을 들이마시면 들이마신 공기는 음의 기운에 의해 비장을 통과하고 심장과 폐를 우회하여 간장과 신장으로 직접 하강한다. 반대로 숨을 내쉴 때는 비장으로 들어온 공기가 양의 기운에 의해 심장과 폐로 상승한다.

또 섭취한 음식물은 위장으로 내려간다. 위에서 비장의 영향을 받아 수곡의 단맛, 매운맛, 짠맛, 쓴맛, 신맛, 즉 ‘오미’는 각각 담백무미한 기, 역겨운 기, 향기 나는 기, 뜨거운 기, 악취 나는 기 등 다섯 종류의 기(氣)로 변한다. 이러한 다섯 가지 기가 각각 오미에 대응하고 각각 오행에 대응하며 다시 오장에 대응한다. 다섯 가지의 기는 비장의 영향을 받아 물 성분과 혼합되면서 붉게 변해 혈액을 산출한다. 결국 섭취한 음식물은 위장에서 비장의 영향을 받아 변화하며, 그 불순한 부분은 위의 밑 부분 유문(幽門)으로 배출되고 순수한 부분은 기가 되어 위의 윗부분 분문(噴門)을 통해 밖으로 배출되어 혈액이 된다.

혈액순환의 과정은 먼저 위의 내관인 중초(中焦)에서 시작되어 위의 윗부분 분문을 통해 밖으로 나아가 식도, 즉 상초(上焦)로 올라간다. 혈액은 상초로부터 ‘수태음’이라는 혈관으로 흘러 들어가 흉부에서부터 엄지손가락 끝에 이르기까지 혈액이 공급된다. 다음으로 ‘수양명’이라는 혈관의

로 흘러들어가 식지(食指)손가락 끝으로부터 머리까지 환류한다. 그런 후 머리에서 ‘족양명’이라는 혈관을 타고 혈액은 머리로부터 새끼발가락 끝까지 하강한다. 그렇게 혈관에서 혈관으로 유입되어 흐르는 동안 혈액은 신체의 20개 혈관을 통과한다. 전신을 한 바퀴 돈 다음에 출발점으로 되돌아온 혈액은 출발점에서 다시 순환하기 시작한다.

중국의 전통의술은 (1) 건강과 질병에 관한 이론적 탐구와, (2) 약물 및 기타 처치법으로 질병을 치료했고, 아울러 (3) 일반적인 섭생과 여러 건강 비법들을 중시했다. 이러한 중국의 전통의술은 인체 내의 기관들보다 그 기능들을 중요시했다는 점에서 서양과는 차이를 보였다. 즉, 그들은 ‘간’이나 ‘신’과 같은 용어로 간장, 신장과 같은 구체적 기관들만을 가리킨 것만이 아니라, 그 기관들과 관련된 기능들을 함께 가리켰다. 심지어는 해부학적으로 알 수 없는 삼초(三焦)를 오장육부의 하나로 포함시키기까지 했다. 또 침, 뜸 등의 처치법은 독특한 것이며, 본초(本草)에는 동물, 식물, 무기물의 약효를 포함한 많은 지식을 분류, 정리하고 있다.



제7장

분야별 과학기술

1. 청동기 및 철기	214
2. 농법의 진보	218
3. 양잠술과 비단 생산	223
4. 도자기	227
5. 치수	230
6. 나침반	233
7. 화약 및 화약 무기	235
8. 종이 및 활자	237
9. 대운하	241

= O
H
CO



제7장

분야별 과학기술



1. 청동기 및 철기

석기인들이 알맞은 돌을 찾던 중 자연동(순구리, Copper)이란 광석을 발견했다. 지표에 있는 동광석은 적동광, 납동광이나 공작석 또는 산화동이므로 솥으로 태우면 쉽게 환원되어 구리를 얻을 수 있다. 우연히 발견한 자연동은 여러모로 돌보다 편리했지만 워낙 연해서 잘 찌그러져 곧 쓸모가 없어졌다. 그러나 어느 지방에서는 자연동에 비소, 주석이나 니켈이 함유된 것이 있어서 이런 합금으로 만든 동기(銅器)는 자연동보다 훨씬 단단하고 강해 더욱 편리했다. (청동이란 구리와 주석의 합금으로 주석의 함량이 많을수록 합금의 경도가 높아진다.) 청동기는 고대 사회를 규정하는 중요한 유물로 위정자들만이 가질 수 있는 것이어서 청동 단검은 더욱 중요한 위치를 차지했다.

청동기는 은대 이후 크게 발달하기 시작했다. 구리는 금속 중에서도 너무 무른 편이라 무기나 도구로 사용하기 어려운 데 비해, 구리를 주석이나 아연(鎳)을 섞어 만든 합금으로서의 청동은 강도가 세 배가량 높아져 일찍부터 무기, 제기 등을 거쳐 농기구의 제작에도 청동이 사용되기 시작했다. 이미 약 1,000도의 열을 내어 흑도(黑陶)를 굽고 있던 고대 중

국민들은 그보다 온도를 더 높여 청동을 주조하는 기술을 일찍부터 개발하고 있었다. 동주시대의 청동 제련, 주조기술은 빠르게 성장했다. 이 시기의 수공업 기술을 다룬 『주례고공기(周禮考工記)』는 중(구리5 주석1), 도끼(구리4 주석1), 창(구리3 주석1), 칼날(구리2 주석1), 화살촉(구리3 주석2), 거울(구리1 주석1) 등 여섯 가지 청동기 제작의 합금비율(金六劑)을 상세하게 기술하고 있다. 전쟁이 빈번했던 탓에 병기의 주조가 발전했는데 특히 오(吳)나라와 월(越)나라의 보검은 예리한 칼끝으로 천하에 이름을 떨쳤다.

춘추전국시대 말부터 중국은 제철 부문에서도 독보적인 기술을 선보이는데, 수직용광로가 주철을 제련하는 주요 설비로 자리 잡게된다. 쇠를 녹이는 기술은 고대 중국 강철 제련에서의 중대한 발명으로 간편하면서도 효과적인 제련기술이다. 탄소 함량이 높은 가단주철에 열을 가하여 반 액체 상태로 만든 후 철광석 가루를 넣어 뒤집어서 반죽하는 작업을 되풀이하면 주철 속의 탄소 원소가 계속 침출되고 산화되어 중탄소강 또는 저탄소강을 얻을 수 있다. 만약 뒤집어 반죽하는 작업을 계속하면 탄소 함량이 더욱 낮은 연철(軟鐵; 탄소를 0~0.2퍼센트 함유한 쇠)을 만들 수 있다.

한나라 때의 『태평경(太平經)』에는 쇠를 녹이는 기술이 명확히 기록되어 있으며 하남성(河南省) 공현(鞏縣)의 고대 제련 유적지에서 도 이 기술로 제작된 쇠 동전과 쇠를 녹였던 용광로가 발견 되었다. 특히 한나라에 이르러 국가가 경영하는 제철 작업장의 기술이 더욱 정밀해지면서 주철의 대량 생산이 가능해졌다. 용광로의 바람을 일으키는 풀무는 가족으로 제작되었다. 이 풀무는 한나라 때 한 단계 더 업그레이드되어 피혁으로 제작된 바람주머



니와 목제 골조로 구성되었는데, 바람이 들어가고 나오는 입구가 있다. 여러 개의 풀무를 연결하여 사용하면 풍량이 늘어나 화력을 높일 수 있어서 용광로의 온도를 섭씨 1,200도 정도까지 신속하게 올릴 수 있었다.

중국의 것에서 찾아볼 수 없는 한국 청동기 기술의 특징은 청동기의 성분에 아연이 혼합되어 있다는 것이다. 구리와 주석의 합금인 청동은 주석의 양으로 그 굳기를 조절한다. 여기에 납을 넣어서 표면을 매끄럽게 하고 아연을 섞어서 황금 빛의 재질이 좋은 ‘아연-청동 합금’을 만든다. 보통은 구리 75퍼센트와 주석 25퍼센트 정도를 합금하는데, 한국 청동기에는 초기 것부터 아연이 포함되어 있었다. 그런데 아연은 섭씨 420도의 비교적 낮은 온도에서 녹기 시작해서 섭씨 950도가 되면 수증기가 되어 날아가버리는 금속이다. 그래서 섭씨 1,000도까지 가열된 구리와 주석에 아연을 섞어 주물을 만드는 일에는 특별한 기술이 필요하다. 중국에서는 이러한 아연-청동 합금이 한나라 이전에는 거의 찾아볼 수 없고 송(宋)나라 때까지도 드물게 나타난다. 즉, 중국의 높은 기술로도 기원전 1세기경까지 실용화되지 못했던 것을 우리는 기원전 7~5세기경에 이미 만들어냈다.

한국 청동기의 특징은 청동뿐만 아니라 거푸집 기술에서도 나타나고 있다. 중국은 대부분 진흙 거푸집을 사용했던 데에 비해 한국에서는 돌 거푸집을 많이 썼다. 이 돌 거푸집은 나중에 활석 거푸집으로 발전한다. 활석 거푸집은 주조물 표면의 질이 뛰어나고 수명이 반영구적이라는 점에서 오늘날의 금속 거푸집, 즉 금형과 가장 비슷한 것으로 평가받고 있다. 그밖에도 한국의 옛 청동기 기술자들은 밀랍 거푸집 등을 적절하게 사용해 훌륭한 청동기를 만들었다. 따라서 우리의 청동기문화는 토착 기술의 전통 위에 다른 북방계 문화를 수용해서 새로운 접목과 변용을 시

도한 수준 높은 기술을 가지고 있었다. 그리고 철기문화로 연결되어 삼국시대의 과학기술을 발전시키고 일본에 우수한 문화를 전파했다.



철기는 주조(Casting Iron)

와 단조(Forging Iron)의 방법으로 제작되었다. 주조법은 청동기와 마찬가지로 돌 거푸집에 쇠물(선철)을 부어서 만드는 기술이고, 철을 두드려 만드는 기술은 단조법이다. 단조법은 철을 반쯤 녹인 상태에서 두드리면서 불순물을 제거하고 철을 강하게 만든다. 이 방법을 쓰기 위해서는 용광로, 풀무, 망치, 집게, 모루 등의 장비가 필요하다. 삼국시대에는 이 두 가지 방법이 다 사용되었지만 지금처럼 철광석을 제련해서 철을 만들지는 못했다. (철광석은 구리 광석이나 주석광석과는 비교할 수 없을 정도로 높은 온도에서 녹기 때문에 당시의 기술로는 어려웠다.) 대신 철광석보다 열에 잘 녹는 사철을 바닷가나 호숫가, 강바닥에서 채취해 철로 제련했다. 낙동강 일대에는 품질이 좋은 철이 많이 났고, 그곳에 자리 잡았던 변한(弁韓)은 제련기술이 발달했다. 변한의 기술자들은 철 정이라는 덩이쇠를 만들어 낙랑과 일본에 많이 수출했다.

철제 농기구가 널리 쓰이기 시작한 것은 삼국시대인 4~6세기에 이르러서이다. 이 시기에 들어서야 비로소 습이나 파비 등과 같이 같이 도구, 팽이나 쇠스랑 등과 같이 땅을 고르는 도구, 호미나 살포 등과 같은 풀뽑는 도구, 낫과 같은 추수 도구를 고루 갖추고 농사를 지었다. 또한 도끼와 칼, 끌과 대패, 톱의 제작은 건축기술의 발전을 가져왔다.

2. 농법의 진보

중국은 광활한 영토와 방대하고 비옥한 토지를 가지고 있다. 여기에 일찍부터 벼, 밀, 수수, 조 등의 씨를 뿌리고 심기 시작했다. 은나라 때의 파종은 흩어 뿌리던 원시적인 ‘산파법’을 개량하여 밭이랑과 이랑 사이에 일정한 간격을 만드는 ‘조파(법)’를 했다. 또 서주시대에는 잡초를 없애고, 밭을 깊게 갈았으며, 밭이랑을 넓게 했다. 이때에는 매년 경작하는 토지 중 3분의 1을 돌아가면서 쉬게 하는 ‘윤경법(輪耕法)’의 기원이 된 ‘삼포제(三圃制)’도 시작했다. 또한 수수, 피, 삼, 보리, 콩 등 다섯 종류를 섞어서 파종하여 이들 중 한두 종류가 재해를 만나 수확을 못 하더라도 나머지는 재해를 피할 수 있게 했다.

서한시대 범승지(范勝之)는 밭을 크고 작은 조그만 구덩이로 나누어 재배하는 ‘구전법(區田法)’을 제창했다. 파종하는 곳에는 1척(33센티미터) 깊이의 고랑을 파고 부패한 식물을 비료로 넣어주었다. 또 조과(趙過)는 돌아가면서 경작하는 ‘대전법(代田法)’을 시도했다. 밭에 넓고 깊게 1척 깊이의



고랑을 파서 그 속에 각종 곡물을 심고 싹이 나면 성장 속도에 따라 묘목에 흙을 북돋아주었다. 여름철이 되면 밭고랑에 뿌리가 깊이 박혀 바람과 가뭄을 견딜 수 있었다. 첫해의 고랑은 다음해에 이랑으로 변하고 첫해의 이랑은 다음해에 고랑으로 변한다. 이렇게 고랑과 이랑을 서로 바꾸면서 깊게 갈아 거의 곱절의 수확을 얻을 수 있었다.

범승지는 또한 “눈 속에 종자를 두었

다가 파종하면 두 배 이상의 수확을 거둘 수 있다”고 했다. 중국의 서북 일대에서는 지금도 보리 파종에 이 방법을 사용하고 있다. 동지 이후 파종하기 전에 종자를 눈 녹인 물과 섞어 49일간 담가두는 데, 이를 ‘칠칠소맥(七七小麥)’이라고 부른다. 이러한 ‘춘화법(春化法)’과 비슷한 ‘최청(催靑)’은 바깥의 조건, 특히 온도를 이용하여 생물의 발육 단계를 조절하는 것이다. 이로 인해 병충해와 추위에 대한 저항력이 높아졌다. 이 방법은 먼저 오곡의 파종에 이용되었고 후에 점차로 채소 및 기타 농작물에까지 확산되었다. 최청은 동물의 각종 부화에도 이용 되어 ‘누에게기 최청’도 있다.

『범승지서』는 서한 시기의 중국 북방 특히 관중지방의 경작 제도에 관해 종합해서 쓴 책으로 경작 원리의 기본 방법과 원칙을 담았다. 예를 들어 경작하기에 가장 좋은 시간은 비가 오기 전이나 온 후인 취시(趣時), 토양의 비옥함과 습기를 유지하는 무분택(務糞澤), 땅을 일구고 잡초를 뽑고 평평하게 하여 토양을 부드럽게 만드는 화토(和土), 제때 풀을 뽑고 제때 거두어들이는 조서조확(早鋤早穫) 등이 들어 있다. 또한 조, 봄밀, 벼, 팔, 겨울밀, 콩, 대마와 들깨를 포함한 10여 종 작물의 재배법과 각종 섬유 작물에 대해서 기록해놓았다. 부식(副食)에 관한 내용도 다루었다. 뿐만 아니라 모든 작물의 종자 고르기에서 파종, 수확, 저장에 이르기까지의 방법을 정확하게 서술했다.

우리는 이랑에서 작물을 재배하고, 제초를 철저히 하는 것을 지극히 당연하게 생각하고 있다. 그러나 이 일은 실제로는 유럽의 경우 18세기가 될 때까지 행해지지 않았던 작업들이다. 중국인들은 적어도 기원전 6세기에는 이를 시행했으며, 따라서 농업의 가장 실제적인 면에서 보면 중국은 서양보다 무려 2,200년이나 앞섰다. 기원전 3세기의 『여씨춘추(呂氏春秋)』에는 다음과 같은 기록이 있다. “이랑을 만들어 작물들을 기르



면 서로 성장을 방해하는 일이 없으므로 결실이 빠르다. 가로 이랑은 반듯반듯하게, 세로 이랑은 기술적으로 만들어야만 한다. 열

이 똑바르면 바람이 조용히 빠져나가기 때문이다.” 처음에는 고랑을 따라 손으로 씨를 뿌리고 두둑을 세웠다. 기원전 1세기에는 다혈식(多穴式)의 씨뿌리기 기계가 등장하여 씨를 조파(줄 따라 뿌림)하는 비율이 증가했다. 그와 더불어 능률적인 제초 기술도 전파되었다.

기원전 5~6세기경 중국에서는 금속 가공법이 독자적으로 발달함으로써 주철로 된 팽이가 보급되었다. 주철 중에서도 잘 깨지지 않는 가단주철(可鍛鑄鐵)이 개발된 기원전 3세기경에는 팽이를 비롯한 모든 농기구의 수명이 현저하게 연장되었다. 그 후 기원전 1세기경에는 개량형 팽이가 널리 보급되었다. 호미 혹은 개량형 팽이는 작물에 손상을 주지 않고 주변의 잡초를 제거할 수 있었고, 여러 가지 낱을 바꿔 끼울 수도 있었다. 이것은 한마디로 기술의 놀라운 진보였다.

기원전 4세기에는 틀 모양의 쟁기를 공식적으로 장려했다. 견고한 네모꼴 틀의 구조와 고성능이면서 강하고 무거운 보습, 새로운 발토판 등은 그것만으로도 다른 어떤 지역보다 대단히 진보된 것이었다. 하지만 아마도 그 이상으로 중요했던 것은 쟁기 날과 쟁기 자루의 간격을 자유롭게 조절함으로써 경작의 깊이를 정확하게 조절할 수 있었던 조절 가능한 쟁기 버팀목을 활용한 것이었다. 이 새로운 조절기술에 의해 농민은 이제 어떤 상태의 흙에도, 어느 계절에도, 여러 가지 기후 조건과 작물에 맞추어 쟁기를 갈아 끼울 수 있게 되었다. 쟁기는 이제 만능 도구가 된

것이다.

기원전 1~2세기에는 네 종류의 발토판이 쟁기에 이용되었다. 발토판은 흙의 표면보다 위에서 쟁기가 휘어진 부분으로, 일구어낸 흙을 한쪽으로 조용히 뒤엎어 말끔한 이랑을 만듦으로써 작업을 원활하게 진척시킨다. 발토판과 보습의 사이는 매끄럽게 이어져 있다. 발토판의 형태와 각도는 다양하기 때문에 거기에 따라 흙을 뒤엎는 방식과 떨어지는 방식이 여러 가지로 달라진다. 이 중국식 쟁기는 잉글랜드에서 스코틀랜드로, 네덜란드에서 미국과 프랑스로 전파되었고, 19세기에는 강철 구조를 사용한 근대식 쟁기가 탄생했다. 유럽의 농업혁명에서 이보다 더 중요한 것은 없었다.

화북(華北) 지방에서는 적어도 3,000년 전에 누에치기가 이루어졌지만 강남 지방에서는 한나라 때에야 누에치기와 모시삼의 이용 방법이 보급되었다. 고대 화북 등지의 뽕나무 종류는 대체로 꾸지뽕나무, 비술나무, 산유자나무 등이었다. 현재에도 요동, 요서, 산둥, 사천 각처의 구릉지대에서는 고대의 산유자나무 누에치기를 주요 부업으로 삼고 있다. 남북조시대 이후 중원 지역은 빈번한 패권 다툼으로 뽕나무밭이 거의 파괴된 반면 강남 지역은 잠사사업이 주요 수입원이 되었다. 후위는 170년간 적극적으로 농사를 권장하고 양잠을 부과하는 권농과상(勸農課桑)정책을 진행시켜 북방을 통일했다.

이때 가사협(賈思勰)은 12만여 자 10권 92편으로 구성된 『제민요술(齊民要術)』을 저술했다. 이 책은 각종 농작물, 채소, 과수, 대나무 등을 과학적으로 분류하고 그 재배법을 담았으며 가축, 가금(家禽)의 사육, 농산품의 가공과 양조, 저장과 부업 등도 설명했다. 이 책에 기술된 지리적 범위는 황하 중·하류 지역으로 가뭄 지구의 경작과 곡물 재배 방법부터, 과수

접붙이기 기술, 가축·가금의 거세 사육과 여러 종의 농산품 가공 경험, 토지 이용 및 돌려짓기(윤작), 촘촘히 심어 가꾸는 정경세작(精耕細作), 종자 선별, 토지의 습기 유지를 위한 견해에 이르기까지 다양하다.

원(元)나라 때 사농사(司農司)에서 편집한 『농상집요(農桑輯要)』는 고대부터 원나라에 이르기까지의 방대한 분량의 농서를 편집한 것으로 작물 재배, 가축, 가금, 양잠, 양봉의 사육 등을 설명하고 있으며, 특히 면화와 저마는 풍토에 따라 재배가 제한되지 않는다고 했다. 같은 시기에 왕정(王禎)이 지은 『농서(農書)(37권)』 역시 면, 마 등 경제 작물을 심을 것과 농기구의 개량을 제창하고 있다.

명(明)나라 말 서광계(徐光啓)의 『농정전서(農政全書)』 역시 우수한 농학 저술이다. 『농정전서』는 60권 12부문의 50여만 자에 걸친 방대한 저술로 역사적으로 농업 생산, 농업정책과 관련 있는 옛날 서적 『경사전고(經史典故)』와 여러 사람의 의론(議論)을 소개했고 북방 특히 북경, 천진 지구의 둔병(屯兵)과 황무지 개간을 주장했다. 내용은 토지 이용, 각종 경작 방법, 농전 수리, 농사 기구, 농사철, 개간, 재배 총론(나무 가꾸기, 누에치기, 가축 기르기, 물고기 기르기, 꿀벌치기, 집짓기, 가정 일용기술 등)을 포괄하고 있으며, 흉년에 백성을 구하는 역대 구황(救荒)정책과 조치를 상세하게 고찰하고 있다. 그는 흉년이 드는 시기인 황년(荒年)은 야생식물로 해결이 가능하다고 하면서 책 속에 400여 종의 야생식물을 직접 실험하여 밝히고 있다.

서광계는 춘추시대부터 명나라 만력(萬曆)시대 이전까지 메뚜기가 끼친 재해 역사를 기록하고 분석하기도 했으며 흉년이 드는 것을 철저히 막기 위해서는 수리 시설을 대대적으로 강화해야 한다고 했다. 즉 서북 지역에서 막대한 운송 노동력과 비용을 낭비해가며 동남 지역의 식량을 운송해오는 것보다는 서북 지역의 황무지를 개간하고 수리시설을 건설하여

서북 지역을 식량 생산기지로 만드는 것이 낫다는 것이다. 『농정전서』는 중국 고대농업 과학기술을 집대성한 저서로 백성들의 노동과 생산, 발명, 농학, 식물학 관련 지식을 다루었을 뿐만 아니라 초기곤충학 지식과 서양의 수리 원리 및 새로운 방식의 양수 기구 등도 싣고 있다.

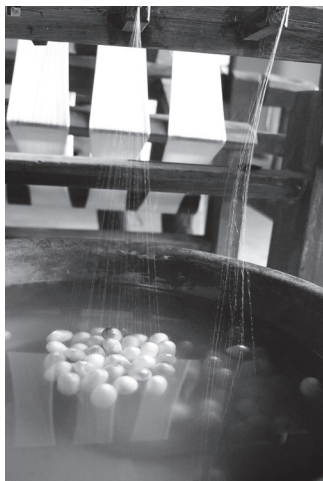
3. 양잠술과 비단 생산

누에는 뽕잎을 먹이로 하는 야생 곤충인데, 누에를 길들이기 전부터 사람들은 실을 뽑아 쓰는 법을 알고 있었다. 야생누에가 길들여지기까지는 상당히 오랜 기간이 걸려 약 5,000년 전 무렵에야 누에를 집에서 키울 수 있었다. 갑골문에는 누에, 뽕나무, 견사, 비단 등의 글자뿐 아니라 뽕나무 신에게 제사를 올리고 관리를 파견하여 누에치는 일을 감독하는 것과 관련된 글이 보인다. 이후 양잠업은 북쪽 지방에서 크게 발전했다. 춘추시대에 편찬된 『시경』에서는 아녀자들이 뽕잎을 따서 누에를 치는 바쁜 모습을 생동감 있게 묘사하고 있다. 중국은 세계에서 제일 먼저 비단을 생산한 나라로 일찍이 기원전 2000년 전에 누에고치에서 실을 켜는 물레인 ‘소차(績車)’와 베틀에 딸린 씨를 푸는 ‘기저(機仔)’를 발명했다.

『회남자』에서는 고대 중국인들이 처음에는 풀솜실인 ‘괘사루(結絲縷)’로 원시적인 비단을 만들었다고 기록하고 있

다. 이후에 간단한 직기가 발명된 후 대량 생산이 가능했다. 『시경』 「소아편」 대동에는 베틀의 북인 ‘저유(仔柚)’에 대한 기록이 있다. 이런 방직기는 끊임없는 개량을 거치면서 마침내 한나라 진





보광(陳寶光) 부인이 ‘제화기(堤花機)’를 만들었다. 제화기는 120개의 발판인 ‘섭(構)’을 이용하여 60일이면 꽃 비단한 필을 만들었다. 제화기는 날이 갈수록 더욱 간단하게 진보되었다. 발판인 섭 역시 감소해 삼국시대 때에 마균은 12섭을 완성했고, 남조 때에 일반적으로 2섭을 사용했다. 이런 개량된 제화기는 방직품을 더욱 정교하게 만들었고, 사용하기에도 더욱 간단하고 편리하여 빠르게 각지로 보급되었다. 이후의

방직기는 모두 이런 제화기를 개량한 것이다. 비단이 생산되기까지는 여러 단계를 거친다. 먼저 누에를 쳐서 누에고치를 생산해야 한다. 누에치는 그 자체가 환경 사이클에 적합하다. 즉, 누에로부터 나오는 부산물은 논에 비료로 사용되며 뽕나무는 관개수로의 독이 침식되는 것을 막아 준다. 다음은 거미줄같이 가는 실을 누에고치에서 뽑고 두세 줄의 실을 꼬아 명주실을 만든다. 이 실은 사용하기 편리하게 적당한 크기의 실감개에 감고 여러 가지 다양한 방법으로 처리한다. 즉, 명주실을 길게 꼬아서 여러 개의 실을 함께 꼬는 방사과정과 색상을 내는 염색과정을 거친 후 직물을 짠다.

비단을 짜기 위해서는 먼저 고치에서 실을 켜야 한다. 고치는 같은 크기의 것들을 골라 물에 충분히 적신다. 물에 젖지 않은 고치는 물 위에 뜨기 때문에 충분히 삶아지지 않는다. 고치를 삶으면 실 사이의 간격이 부풀어 올라 실이 풀려나 오게 된다. 고치의 실을 풀기 위해서는 실 끝을 찾는 게 중요하다. 고치실 마디는 벚짚으로 만든 솔로 툭툭 빔어내면 그

끝이 술에 걸려 올라오는데 그 실 끝을 끌어올린다. 보통 7~9개의 고치에서 풀려나온 실을 실 모으개를 통해 한꺼번에 일레에 감는다. 실을 꼬아 튼튼하게 만드는 기구도 있다. 이렇게 얻어진 명주실은 베틀에서 비단 천으로 짜낸다.

뛰어난 날염기술, 오색찬란한 무늬, 빛깔 및 품종을 바탕으로 비단은 황제와 문무대신의 위용을 드러내고 여인의 아름다움을 돋보이게 하는 최고의 물건이 되었다. 장건이 서역을 개척한 후 비단은 중국의 주요한 대외 교역품이 되었다. 중국의 비단은 자급자족이 가능했을 뿐만 아니라 독일, 페르시아와 유럽 사람들이 제일 좋아하는 상품이 되어 팔려나갔다. 1300년 무렵 중국의 비단 공업은 세계에서 가장 발달했다. 견직물 무역은 아시아와 유럽의 대륙 교통로 ‘비단길(絲之路)’을 발달시켰다. 비단은 휘황찬란한 동방 문명을 대표했다. 누에알과 양잠 방법은 3,000년 전에는 한국으로 2,000년 전에는 일본과 베트남으로 1,600년 전에는 중앙아시아 여러 나라로 퍼져나갔다.

그동안 중국은 비단 생산의 비밀을 지키기 위해 누에, 누에알, 뿔나무 씨앗을 중국 밖으로 내가는 것을 금했다. 그러나 14세기부터 이탈리아에 누에치기가 퍼졌으며 북부 이탈리아의 베네치아, 루카, 피렌체 같은 도시들은 비단 브로케이드(Brocade)와 비단 벨벳으로 유명해졌다. 한때 이탈리아가 정치적으로 불안해지자 비단 직조공들은 프랑스로 이주했고 리옹과 그 주변 지역이 새로운 양잠업의 중심지가 되었다. 또 16세기 후반에는 종교 박해를 피해 옮겨간 영국의 매클리스필드와 스피틀필드가 비단의 중심지가 되었다.

18세기 초 일본에서는 누에알의 전문적인 거래가 이루어졌다. 농민들은 누에 양육 전문가로부터 누에알을 구매했는데, 누에알 생산자들은 선

별 양육이라는 연속과정으로 누에알의 품질을 개선했다. 일례로 사토 도모노부는 각종 누에나방을 키우는 기술을 습득하여 당시의 유행에 맞는 색깔과 감촉의 누에실을 뽑아 내는 잡종누에를 생산했다. 누에농가는 시행착오와 계획된 실험을 통하여 누에치기 기술을 개발했다.

19세기까지 일본 비단 생산업자들은 매우 간단한 실감개를 사용했다. 누에실을 손으로 꼬아 목제 감개에 감는 방법이다. 직조공들이 직물에 복잡한 모양을 만들 수 있고 발로 구동하는 큰 키 직조기(다카바타)가 16세기 후반에 중국의 비단 장인들에 의하여 항구도시 사카이에 들어왔다. 이 직조기는 다시 교토(京都)의 니시진(西陣) 지역으로 전파되어 그곳의 비단 제조기술발전에 큰 공헌을 했으며 에도시대의 후반부에는 훨씬 복잡한 밀대식 직조기(가라비키바타)의 개발을 촉진했다. 시장이 제한되고 계급이 엄격히 구분되는 일본에서 부의 창출은 대량 생산보다는 전문화되고 기준에 맞는 다양한 제품을 생산하는 데 있었다. 결국 에도시대의 비단 제조업에서 가장 놀라운 발전은 원자재의 가공에 있지 않고 누에치기 자체에 있었다.

비단은 피브로인, 세리신의 단백질로서 양모나 머리카락처럼 알파-아미노산(α -Amino Acid)으로 이루어져 있다. 즉, 비단은 좌우 양끝에 산기(Acid Group; COOH)와 아미노기(Amide Group; NH₂)가 있는 한 종류의 아미노산 단위가 반복된 것으로 알 파-아미노산 중 가장 작은 곁가지를 가진 글리신(Glycine), 알라닌(Alanine)과 세린(Serine)의 세 가지 아미노산이 비단의 약 85퍼센트를 이루고 있다. 또 비단의 단백질 사슬과 단백질 사슬 사이에 형성된 인력은 서로를 끌어당겨 접히고 주름진판 구조를 형성한다. 규칙적으로 반복되는 주름진 판 구조에 속하는 아미노산의 작은 곁가지들은 신축성, 광택, 부드러운 촉감을 제공하고, 주름진 판 구조에 속

하지 않는 아미노산의 결가지들은 섬광, 염색성을 제공한다.

4. 도자기

도자기는 도기(陶器)와 자기(瓷器)가 합쳐진 말로 도기는 도토(陶土), 즉 우리가 흔히 찰흙이라고 부르는 붉은색의 진흙으로 구운 것을 말하고 자기는 자토(瓷土), 즉 불순물이 섞이지 않은 희고 고운 찰흙으로 구워 만든 것을 말하는데, 자기는 도기가 어느 정도 발전한 후에 나타난 산물이다.

중국 도자기의 역사는 8,000년에 이른다. 중국 도자기는 여러 시대를 거치면서 발전의 발전을 거듭했다. 토기는 와질토기(灰陶; 회색 토기), 검은 간토기(黑陶), 백색 토기(白陶)에서 무늬를 넣은 경도(硬陶), 채문토기로 발전한다. 초창기 토기로 가장 유명한 작품 중 하나는 진시황릉 부장품 갱에서 출토된 병마용(兵馬俑)이다.

다음 시기에 유명했던 도자기는 당삼채(唐三彩)이다. 당삼채는 당나라의 채문토기 공예품으로 주로 노란색, 녹색, 흰색의 유약을 칠해 만들었기 때문에 당삼채라고 불린다. 당삼채에는 말, 낙타, 여인, 용머리 잔, 악은 인형, 베개 등이 있다.

마지막으로 더 꼽아볼 만한 도자기는 자사(紫砂) 도자기이다. 자사 도자기란 자줏빛의 점토로 만든 유약을 바르지 않은 도자기이다. 철의 함량이 높은 자줏빛 점토를 섭씨 1,200도의 고온에서 구워 만든 것으로 외관이 정교하면서 곱고 감촉이 부드러우며 매끄럽고 윤이난다. 강소성(江蘇省) 의흥(宜興)에서 나는 찻주전자는 열에 강하고 차를 우려내면 차향이 오래가며 차 본연의 맛을



음미할 수 있음은 물론, 하루가 지나도 맛이 변하지 않는 장점이 있다.

일반적으로 자토는 고령토(高冷土), 석영(石英), 장석(長石), 막래석(莫來石) 등을 함유하고 있으며 철의 함량이 낮고 섭씨 1,200~1,300도의 온도에서 굽는다. 표면에 칠한 유약은 반드시 자기와 함께 고온에서 굽는데, 이 과정을 거치면 자기는 백색을 띠게 되고 강도가 우수해진다. 또한 흡수성은 거의 없고 있더라도 흡수율은 1퍼센트 이하이며 두드리면 금속성 소리를 낸다. 납 유약의 등장과 청자와 백자 기술이 경쟁적으로 발전을 거듭한 후, 기술이 무르익은 청자가 자기를 주로 대표하게 되면서 중국 자기는 빠르게 발전 단계로 접어들고 송나라 때에는 전성기를 맞았다.

이 무렵에는 정(定), 요주(耀州), 군(鈞), 자주(磁州), 용천청자(龍泉青瓷), 경덕진청백자(景德鎮靑白瓷)의 6대 요(窯; 가마)가 있었는데 모두 민간 요로 시장의 수요를 대기 위하여 제품을 생산했다. 왕실용 도자기를 생산하는 5대 관요(官窯)는 여요(汝窯), 가요(哥窯), 정요(定窯), 군요(鈞窯), 경덕진요(景德鎮窯)로서, 여요는 청자(靑瓷), 가요는 개편(開片), 정요는 백자(白瓷), 군요는 요변(窯變), 관요는 분청(粉靑), 경덕진요는 영청(影靑)으로 유명했다. 그 밖에도 북방의 자주요(磁州窯), 남방의 길주요(吉州窯) 등의 민요가 빼어난 자태와 소박한 품격으로 민간에서 크게 사랑받았다. 이렇듯 송나라의 도자기공예는 역대에 누적된 공예기술을 바탕으로 비약적인 발전을 이루었다.

명청시대의 자기 생산은 경덕진(景德鎮)을 중심으로 활발하게 이루어졌다. 예를 들어 영락연간(永樂年間)에는 압수배(壓手杯), 선덕연간(宣德年間)에는 청화자기, 성화연간(成化年間)에는 청화가채(靑畫加彩)와 계강배(鷄缸杯), 홍치, 정덕연간(正德年間)에는 단색유(單色釉)자기, 가정과 만력연간(萬曆年間)에는 수출용으로 만든 외소자(外銷瓷)가 특히 유명했다. 이들 자기는 ‘종이처럼 얇고 거울처럼 밝으며, 눈처럼 하얗고 종소리처럼 영롱했다’.

7,000~8,000년 전 신석기 시대의 빗살무늬토기(節目文土器)로부터 시작된 한국 전통 도자기의 생산은 삼국시대에 이미 벌써 1,200도 이상의 온도에서 환원분위기로 구워내는 고도의 수준에 이르렀다. 그 생산량의 정도를 고분에서, 특히 신라와 가야 고분에서 대량으로 발견되었다. 삼국시대 때에는 토기 표면에 연유계(鉛釉系)인 녹유(綠釉)토기와 갈유(褐釉)토기가 발달한다. 이러한 국내 기술을 토대로 고려청자는 9세기경에 중국 절강성 월주요(越州窯) 청자기술의 영향을 받으며 시작되었다. 중국의 청자와 기형, 굽받침과 문양에서 유사성을 나타내는 발전기를 거쳐서, 12세기 중반부터 13세기 초반까지는 비색(翡色)과 부드러운 곡선과 상감 기법의 창안으로 고려 특유의 청자를 완성시키는 절정기를 맞는다. 반 건조된 도자기 태토를 무늬대로 파내고, 파낸 곳을 알루미나(Alumina)가 많이 들어 있는 백토와 철분이 많이 들어 있는 붉은 흙으로 메꾸어 초벌구이를 하면 하얀색과 검은색으로 발색한다. 이 위에 유약을 시유하여 다시 소성한다. 흑상감과 백상감에 의한 학, 구름, 꽃, 버드나무와 오리 등으로 우아하게 장식된 청자는 그야말로 걸작 도자기이다.

이후 까다로운 상감 장식이 손쉬운 인형 장식으로 바뀌면서 실용성과 기능이 강조된 기형으로 서서히 변형해 조선 초기의 분청 사기로 발전 계승되었다. 조선의 백자와 청화 백자가 다시 중국의 영향을 받았음을 나타내는 반면 여러 종류의 분청사기는 대체로 한국민의 소박성, 자유로움, 멋을 나타내고 있다.

임진왜란 때 조선 정벌에 나섰던 일본 규슈(九州) 아리타(有田) 지방의 영주였던 나베시마 나오시게



(禍島直茂)는 조선에서 무려 156명의 조선 도공을 일본으로 끌고가 상당한 대우를 해주었다. 조선의 장인들은 아리타 마을 근처의 산악 지역에 풍부했던 새로운 도자기 재료인 고령토를 발견하고 이를 개발했다. 아리타의 도공들은 17세기 무렵 어려운 실험을 거쳐 중국의 다채식 자기의 화려한 장식과 경쟁할 수 있는 유약을 개발했다. 17세기 후반기에 아리타의 도자기는 일본의 몇 안 되는 주요 수출 품목의 하나가 되었다. (당시 도자기 제조는 산업의 중추였으며 백자를 빚을 줄 아는 조선의 도공은 세계 최고의 하이테크 엔지니어였다.) 이 마리아키(伊万里焼)로 알려진 이러한 도예품은 히젠(肥前)에서 나가사키(長崎)로 운반 되어 그곳에서 네덜란드 상인에 의해 세계 각지로 수출되었다.

사쓰마(薩摩)에서도 나에시로(苗代) 강변의 조선인 도예촌이 이 같은 공헌을 했다. (1653년에 네덜란드 동인도회사를 통해 처음으로 이들이 만든 도자기 2,200개를 유럽에 수출했으며, 1664년에는 4만 5,000개의 도자기를 수출할 수 있었다. 30~40년 동안 200만 개의 도자기가 네덜란드 상인들에 의해 동남아와 유럽으로 수출되었다.) 19세기 초에는 해마다 수십만 개의 도자기가 일본에서 거래되었다. 영주들 수입의 상당한 부분이 도자기 생산과 판매에 대한 세금에서 나왔다.

5. 치수

황하는 상류에서 대량의 모래를 싣고 하류까지 흐르는데 상류의 세찬 물결도 하류에 다다르면 완만하게 흘렀기 때문에 바다 어귀에 점차 흩어 쌓였다. 이 때문에 황하 하류는 장마와 함께 무시로 범람했다. 신(新) 왕조의 장옹(張戎)은 물이 흐르는 속도와 모래가 쌓이는 관계를 보고 “물은 낮은 곳으로 흐르며 특성상 흐르는 속도가 빠르면 침식력도 커진다.

따라서 강바닥이 점점 깊이 팽수록 물의 피해도 줄어든다. 황하는 모래를 많이 함유하고 있는데, 물 한 말에 진흙이 여섯 되나 된다. 그렇기 때문에 지금처럼 황하와 위수로 논밭을 관개한다면 물의 흐름은 느려지고 모래가 강바닥에 쌓인다. 따라서 물이 불어나면 곧 범람한다. 그리고 제방을 막으면 모래가 쌓여 강바닥이 지면보다 높아져 아주 위험해지기 때문에 황하로 논밭을 관개하지 못하도록 막아야만 강물이 거침없이 흘러 자연스럽게 수해를 방지할 수 있다”고 했다. 이후 “제방을 쌓아 물을 한 곳으로 몰아 물의 힘으로 흙모래를 막아내는” 장옹의 이론은 치수의 기본 원칙이 되었다. 가로(賈魯)가 황하를 막는 공사를 진행할 때는 가을 장마철이어서 물이 많고 물살이 급해서 시공하기 대단히 어려웠다. 그래서 그는 돌을 가득 실은 큰 배 27척을 연결하여 강바닥에 가라앉혔다. 이것이 돌배 독인 ‘석선제(石船堤)’이다. 또한 반계훈(潘季訓)은 30년 동안 황하를 네 번 치수하면서 1,500킬로미터의 제방을 쌓았다.

사천분지(四川盆地)로 불리는 성도 평원은 면적이 17만 제곱킬로미터이며, 주위가 3,000~4,000미터의 높은 산으로 둘러싸여 있는 분지이다. 분지 서쪽에는 7,000~8,000미터 이상의 높은 산이 있어 해마다 산의 물과 눈이 성도 평원으로 녹아내려 민강(岷江)은 늘 범람했으며, 장마가 지난 후에는 일부 지방의 가뭄 피해가 극심했다. 기원전 316년 진(秦)나라 혜왕(惠王)이 촉(蜀)나라를 멸망시킨 후 이빙(李冰)을 촉군(蜀郡) 태수(太守)로 임명하자 이빙과 그의 아들 이랑(二郎)은 민강의 지형과 물의 흐름을 세심히 관찰했다. 그런 후 민강이 계곡에서 빠져나와 평원으로 흘러들어가는 관현(灌縣) 일대에 제방을 쌓았다. 이곳은 시공이 비교적 용이한 지역이었다. 그들은 이 지역에 대나무 광주리(족룡)에 자갈돌을 가득 담아 제방을 만들어 물줄기를 갈라놓음으로써 물의 흐름을 원활하게 했다. 이

제방을 ‘어취(魚嘴; 물고기의 주둥이 모양)’라 했다. 어취는 민강을 두 줄기로 나누었는데, 하나는 외강(外江), 즉 민강의 본줄기이고 다른 하나는 내강(內江), 즉 도강(都江)이다.

그리고 내지의 수전관개를 편리하게 하기 위해 내강의 물줄기를 끌어들이 또 하나의 물줄기인 산봉우리 같은 ‘산취(山嘴)’를 뚫었는데 이를 ‘이퇴(裏堆)’라고 했다. 그리고 어취와 이퇴 부근에 물길잡이 공사를 하여 물줄기가 자연스럽게 내강으로 흘러들어 가게 했을 뿐만 아니라, 내외강의 수량이 적당히 분배되어 흐르게 했다. 어취의 역할은 봄에 내외강의 수량을 조절하는 것이다. 그런데 여름이 되면 물이 많아져서 물 가르는 역할이 감소되는데, 이때 ‘이퇴’가 두 번째로 물 줄기를 나누는 역할을 한다.

그리고 해마다 상강(霜降) 때가 되면 외강의 물이 흐르지 못하도록 막아놓고 강 바닥을 정리했다. 그런 후 입춘(立春)이 되면 외강의 제방을 열어놓아 물이 흐르게 했다. 외강의 바닥 정리가 끝나면 다음에는 내강의 물을 막아놓고 강바닥을 정리 한 후, 청명(靑明) 때에 다시 내강의 수문을 열어 물이 흐르도록 했다. 이와 같이 내외강의 바닥 정리가 모두 끝난 이후에는 내외강에 동시에 물이 흐르도록 했기 때문에 발갈이에 충분한 물이 제공되었다.

강물을 막을 때는 ‘마사(馬樣)’가 사용되었다. 이것은 세 개의 나무막대기를 묶어 삼각 다리를 만든 것으로 여기에 대나무 광주리에 자갈돌을 가득 담아 물을 막았는데, 이를 ‘압반석(壓盤石)’이라 하여 마사다리를 누르는 데 사용되었다. 여기에 대나무 잎과 줄기, 점토 등으로 채워서 임시로 물 흐름을 차단했다. 마사를 물을 막을 수 있었을 뿐 아니라 수량을 조절할 수도 있었다. 이러한 임시 물 막음 설비는 시공이 간편하다는 이점이 있다.

도강언(都江堰)은 성도 부근의 14개 현 500만 무(畝)의 수전(水田)에 충분

한 물을 제공해주었다. 이 때문에 성도 평원은 2,000여 년을 내려오며 줄곧 물자가 풍부한 땅 천부지국(天府之國)이 되었다. 도강언의 관개는 천연적인 지형을 이용하여 수많은 수로를 종횡으로 뚫고, 관개와 배수를 통일시켰을 뿐만 아니라, 수많은 지류에 배까지 통행하도록 했다. 또한 수로를 수리하거나 강바닥을 정리할 때에도 현지에서 자재를 구할 수 있었기 때문에 매우 편리했다.

6. 나침반

선진(先秦)시대의 중국인은 철광을 찾는 중에 자철광, 즉 자석을 자주 만나곤 했다. 『관자(管子)』에는 “산에 자석이라는 것이 있는데 이 자석 아래에는 금과 구리가 나온다”고 쓰여 있으며, 『산해경(山海經)』에도 비슷한 기록이 나온다. 자석의 특징은 아주 오래전부터 발견되었다. 『여씨춘추(呂氏春秋)』 9권 「정통편(精通篇)」에 “자석은 철을 부르거나 또는 끌어들이다”는 내용이 나온다. 그리고 동한(東漢) 초엽인 50년경에는 자석의 자극성을 발견했다. 이후 중국인들은 자석을 길잡이 도구로 이용하기 시작했다.

중국 고대의 나침반인 ‘사남’은 경도 5.5도에서 6.5도 사이의 천연 자석으로, 이 자석철로 만든 ‘순가락’과 점치는 판인 ‘식(根)’으로 구성되었다. 왕충(王充)은 『논형(論衡)』에서 사남의 모습과 형태와 사용법을 기록하고 있다. 사남은 천연 자석 한 개를 통째로 순가락 모양으로 만들었는데 손잡이 부분은 남극을 가리키며 중심은 순가락 밑 부분 정중앙이다. 이 순가락을 매끄러운 지반에 놓는데, 지반의 밖은 네



모지고 안은 둥글며 사방에 간지 네 개를 새겨 스물네 방향을 만들었다. ‘사남’의 출현은 자석의 양극 성질을 인식한 사람들이 자석을 실제적으로 응용한 것으로 볼 수 있다.

중국인들은 길이가 2촌이고 넓이가 2푼인 얇은 철판을 물고기 모양으로 만들어서, 자석화한 ‘지남어(指南魚)’도 만들었다. 이 지남어를 물그릇 위에 띄워놓으면 남북극을 간단하게 찾을 수 있다. 지남어 다음으로 ‘지남침(指南針)’이 나왔다. 지남침이란 자석화된 작은 철심인데 손톱 위나 그릇 가장자리에 올려놓고 돌리거나 혹은 중간 구멍에 가는 줄기를 꽂아 물 위에 띄워놓으면 아주 활발하게 움직이며 남극을 가리켰다. 11세기 말 심괄(沈括)은 밀랍을 입힌 실을 자석 바늘 중간에 꿰어 공중에 달아놓고 회전이 잘되도록 했다.

북송(北宋)시대 증공량(曾公亮)은 『무경총요(武經總要)』에 인공으로 자화(磁化)하는 방법을 기록해놓았다. 지구 자기장을 이용해 철에 자성이 생기도록 만드는 것이다. 즉, 붉게 달군 철을 자오선 방향으로 놓고 철 분자를 지구의 자기장 방향으로 배열하여 자성을 갖게 했다. 심괄(沈括)은 『몽계필담(夢溪筆談)』에 또 다른 인공 자화법을 설명했다. 당시의 기술자들은 자석을 바늘에 비벼서 바늘이 자성을 갖도록 했다. 이는 천연자석의 자기장 작용을 이용한 것으로, 바늘 내부의 자구(磁區)의 배열을 한 방향으로 만들어 바늘이 자성을 나타내게 하는 방법이다.

사남이 발명되자 급속도로 군사, 농업, 일상생활, 지형 측량 등 다양한 분야에 사용되기 시작했다. 『평주가담(萍洲可談)』에 “밤에는 별을 보고 낮에는 해를 보며 날이 흐릴 때는 나침반을 본다”고 했다. 원대에 이르러 나침반은 항해에서 없어서는 안 될 중요한 도구가 되고, 나침반을 이용한 항해까지 했다. 항해한 후 어느 지점에 도착하고 어느 바늘의 방향을

선택할 것인지 등 항해 내용을 일일이 표시해서 항해의 주요한 근거로 삼았다.

7. 화약 및 화약 무기

중국인들은 ‘연단술(煉丹術)’에서 황과 초를 사용하여 연소될 수 있는 화약을 발명했다. 600년 전후 손사막(孫思邈)은 그의 저서 『단경(丹經)』에서 ‘유황법’과 유사한 화약 처방을 기록하고 있다. “유황 2량, 초석 2량을 잘게 부수고, 세 개의 쥐엄나무인 백각자를 섞어 사기단지 속에 넣고 땅속에 묻어둔 후에, 향아리 입구를 막고 숙탄 3근을 사용하여 굽는다. 만약 이때 조심하지 않아 탄 조각을 단지속에 떨어뜨리면 화약이 반응해 불이 난다.” 서한 말기 365종의 약물을 기록한 『신농본초경(神農本草經)』에는 유황을 성(性)보존약물인 중품약 중의 제3종에 넣고 있다. 또한 한, 위, 진, 육조(六朝)시대의 ‘단서’에는 유황에 관한 많은 언급이 있다. 이는 유황이 고대 ‘연단술’에서 중요한 위치를 차지하고 있음을 나타낸다.

초석은 화약 속의 산화제이다. 중국인들은 화약의 폭발력 차이는 이 초석 함유량의 차이로 결정되는 것을 알았다. 『신농본초경』에서는 초석을 불



로 장수약이라는 상품 약의 120종 중 제6종에 넣고 있다. 일찍부터 적열(積熱; 체중이나 소화 불량)과 혈어(血; 피멍) 등의 치료에 사용되어 의료 효과를 발휘했기 때문에, 이 초석을 ‘소석(消石)’이라고도 불렀다. 이후에 초석이 전간(간질이나 치매)과

풍현(중풍) 등의 병증에도 치료 효과가 있음을 발견했다.

‘연단’은 ‘단’이라는 불로장생약을 목적으로 했다. 중국 연금술 ‘연단’은 자연에서 일어나는 장기간의 변화들을 짧은 시간과 좁은 공간 속에서 인간의 힘으로 일으키려는 시도였다. 연단가는 초석, 유황, 목탄을 혼합하여 불을 붙이면 극렬한 반응이 나타나는 것을 알았고, 당대의 연단가는 이 세 가지 물질이 아주 쉽게 연소하는 약이 될 수 있다는 중요한 경험을 했다. 불이 나는 약이라고 일컬어지는 이 약이 바로 화약이다. 하지만 화약은 불로장생 문제를 해결할 수 없었으므로 연단가들은 화약에 특별한 흥미를 느끼지 못했다.

화약 제조법이 연단가에서 군사기들의 손에 넘어가면서 화약은 중국 고대 4대 발명품 가운데 하나가 되었다. 송대에 화약은 무기로의 발전을 거듭했다. 『송사병기(宋史兵記)』에 의하면 970년 병부 영사 풍계승(馮繼升)이 화전법을 조정에 올렸다. 이 방법은 화살대 앞부분에 화약통을 달아 불을 붙인 후 화약 연소를 이용해 뒤로 뿜어내는 기체의 반작용의 힘을 이용해 화살촉을 발사하는 것이다. 1000년, 송신위(宋神衛) 대장 당복(唐福)은 자신이 만든 불화살, 화구, 화질러 등의 화기를 조정에 바쳤다. 1002년, 기주단연리(冀州團練使) 석보(石普) 역시 불화살과 화구 등의 화기를 만들었다.

화약은 12세기 말경에 이슬람을 거쳐서 서양세계에 전래되었으며 15세기에 접어들면서 화약 무기가 사용되기 시작했다. 화약 무기인 화포는 성을 공격하는 무기로 활용되어 성에 의존하던 봉건시대의 전술을 깨뜨렸고, 기사 위주로 구성된 중세시대의 기병대는 쇠퇴했다. 이후 꾸준한 기술 개발에 힘입어 화약 무기는 보다 경량화되고 발사 속도가 증가하여 전장의 주요 무기로 자리 잡았다.

8. 종이 및 활자

한자의 최초 형태는 중국 상대(商代)와 서주(西周) 시기에 거북의 등껍질, 동물의 뼈에 문헌을 새긴 ‘갑골문’이다. 갑골문은 상형, 지사, 회의, 가차, 형성, 전주 등 여섯 가지 종류의 한자 구조를 갖추었다. 뿐만 아니라 갑골문은 쓸 때 미적인 아름다움까지 내재되어 있었다. 왼쪽으로 긋고 오른쪽으로 긋고 옆에 쓰고 거꾸로 쓰는 등 형식이 고정되어 있지 않았다. 글자 구조는 네모를 기본 형태로 하지만 여러 크기와 형태로 변화가 가능했다. 당시의 왕들은 미신을 믿었기 때문에 모든 일에 거북의 등껍질이나 동물의 뼈를 가지고 점을 쳤으며 관련 있는 일들을 거북의 앞껍질에 새겨 문서 자료로 왕실사관에 보관했다. 갑골문헌에는 당시의 천문, 역법, 기상, 지리, 주변 나라, 혈통, 가족, 인물, 직업, 정벌, 형벌, 농업, 목축, 사냥, 교통, 종교, 제사, 질병, 보육, 재앙 등을 아우르고 있다. 갑골문을 쓰는 일은 귀족 중에서도 지식인이 담당했으며 이 사람들을 정인(貞人) 또는 무사(巫史)라 불렀다.

약 3,500년 전 중국인들은 거북이 등껍질과 소뼈 위에 문자를 새겼으며 약 3,000년 전 무렵에는 죽간과 목간이 나타났다. 중국인들은 대나무를 몇 푼 너비에 1~2자 길이로 쪼개 죽간 하나에 8~9자에서 30~40자씩 기록한 다음 가죽 끈이나 실 줄로 편(編)을 만들었다. 기원을 전후하여 죽간 대신 비단이 사용되었는데, 비단은 원가가 너무 높아 보급이 쉽지 않았다. 춘추전국시대를 지나 진나라와 한나라의 통일은 문자의 형식을 일치시켰으며, 비단이나 죽간, 목간으로 책을 만드는 것이 점차 보편화되었다. 누에고치는 아교질



이 있어 두드리면 그 끈끈한 아교질이 자리 위에 달라붙는다. 이렇게 두드리 실을 뽑은 다음 돛자리의 실을 거두고 나면 자리 위에 가느다랗고 찢득찢득한 얇은 실들이 붙어 있는데 이것이 ‘혁제’이다. 혁제는 비단보다 훨씬 싸면서도 글을 쓰는 데는 비단과 큰 차이가 없었기 때문에 사람들은 점차 혁제를 많이 사용했다.

동한시대에 채륜(蔡倫)은 나무껍질, 삼 뭉치, 형짚 조각 따위로 종이를 만들었다. 그가 만든 종이 ‘채후지’는 이후 개조를 거쳐 생산량을 많이 늘렸다. 중국의 삼국시대에는 채후지 외에도 벚짚으로 만든 초지, 삼으로 만든 마지, 나무로 만든 각지와 고기 그물로 만든 망지 등이 있었다. 진대(晋代) 이후 경제가 발전하면서 제지술이 장강 유역과 강남 일대에도 전해졌고, 식물섬유를 이용하여 만든 ‘염계등지’가 유명했다. 그리고 대나무를 원료로 종이를 대량으로 생산하기 시작하면서 비로소 비단 대신 종이가 널리 사용되었다.

고려 종이의 원료는 재배하기 쉽고 잘 번식하며 가공하기도 쉬운 닥나무이다. 이 펄프를 햇볕에 말려서 표백한 후 나무 반침대나 돌 반침대 위에 올려놓고 방망이로 두드려서 곱게 뺀 후 나무로 만든 통(녹조)에 넣고 물을 부어 풀어준 다음 점착제를 섞어 잘 휘저어준다. 그런 후 이 펄프를 녹조 위에 놓인 뜸틀발에 붓고 그것을 전후좌우로 흔들어서 얇게 골고루 퍼지게 한다. 그런 후 온돌 바닥에 한 장씩 옮겨서 포개어놓아, 수분을 빼고 건조판에 붙인 다음 햇볕에 말려 완성한다.

먼 옛날부터 동아시아에는 ‘인장’과 ‘탁본’이 널리 사용되고 있었다. 이를 바탕으로 ‘조판인쇄술’이 나타났다. 책 원고의 글자를 다 쓴 뒤 글자가 있는 면을 ‘나무판’에 붙여 글자를 새겼다. ‘조판인쇄’는 한 번 새기면 수백 권에서 수천 권까지 찍어낼 수 있어 문화 전파에 큰 역할을 했다. 그

렇지만 판을 새기는 데 힘이 많이 들고 보관에도 큰 공간이 필요하며 형태가 변하거나 썩어서 훼손되기도 했다. 또 조판에 틀린 글자를 발견하면 완전히 새로 새겨야 했다.

1042~1048년, 필승(畢昇)은 찰흙(膠泥)을 이용해 글자를 만들었는데, 한 글자씩 만든 후 불에 구워 굳히는 방법을 사용했다. 나무 재료를 이용해서도 활자를 만들었는데, 나무무늬 짜임새가 어떤 것은 성기고 어떤 것은 조밀하며 비를 맞거나 물이 묻으면 쉽게 붙어 모양이 틀어졌다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 활자를 ‘쇠붙이’로 튼튼하게 만들고 활자를 판에 고착시키는 점착성 물질과 ‘금속활자’에 잘 묻는 ‘기름먹(유성먹)’을 개발했다. 고려는 ‘송연묵’이라는 ‘유성먹’을 개발함으로써 세계 최초의 금속활자를 발명했다. 15~16세기에는 금속(동)활자가 성행하여 만 권에 달하는 『고금도서집성(古今圖書集成)』을 인쇄하기도 했다.

고려정부는 부처의 힘을 빌려 외적을 물리치기 위하여 1236년 대장경 판각에 나서서 1251년 완성했다. 『팔만대장경(高麗八萬大藏經)』을 간행할 당시 수기(守其)를 책임자로 한 교감자들은 우리나라에서 유통되던 대장경 판본뿐만 아니라 송과 거란의 대장경을 교감하여 『고려국 신조대장교정별록(高麗國 新雕大藏校正別錄)』 30권을 작성했다. 『팔만대장경』은 목판의 재료가 되는 나무의 선정에 주의했고 목판의 준비과정에서는 여러 공정을 가하여 목판의



부식과 트임을 방지했다. 경판의 판각이 끝나면 경판 표면에 먹을 바르고 그 위에 다시 옷칠을 했으며 경판을 견고하게 보존하기 위하여 마구리를 구리판으로 장식한 후 못질했다.

조선의 태종은 목판인쇄의 어려움을 극복하기 위하여 금속활자 인쇄를 적극 추진했다. 1403년에 만들어진 ‘계미자(癸未字)’는 그러한 노력의 결과였다. 조선의 활자 인쇄술은 세종이 즉위한 후 1420년에 두 번째로 개정한 ‘경자자(庚子字)’에서 한 단계 진전되었다. 이때에는 조판용 동판과 활자를 평평하고 바르게 만들어 서로 맞도록 개량했다. 그 결과 인쇄 중 밀랍을 녹여 사용하지 않아도 활자가 움직이지 않고 잘 인쇄되어 하루 20여지의 인쇄량에 이르렀다. 1434년의 ‘갑인자(甲寅字)’로 조선의 청동활자 활판인쇄술은 완성되었다. 활자는 큰 글자와 작은 글자를 막론하고 세로의 크기가 서로 같았고 네모반듯했다. 그리하여 옆줄이 정연하게 수평선을 맞추었고, 글자 사이의 공간도 일정하게 유지되었다. 판짜기에서도 대나무와 파지 등으로 빈 곳을 메우는 조립식으로 발전했다. 대형 판본임에도 그 인쇄 능률은 하루에 40여지를 찍어낼 수 있을 정도로 개량되었다. 갑인자는 조선의 대표적인 관주활자(官鑄活字)로 사용되었다.

세계 최초의 금속활자 인쇄본으로 인정되는 『고금상정예문(古今詳定禮文)』, 현존하는 세계에서 가장 오래된 금속활자 인쇄본인 『백운화상초록 불조직지심체요절(白雲和尚抄錄佛祖直旨心體要節; 직지심경)』과 조선왕조의 금속활자 인쇄술 등은 조선의 독보적 인쇄술을 잘 보여준다.

일본의 인쇄술은 16세기 후반까지는 종교서적이거나 중국 고전의 재출판에 한정되어 있었다. 그러나 상인계층의 새로운 부가 형성되면서 서정적인 소설에서부터 풍자에 이르기까지 또는 시에서 백과사전에 이르기까지 온갖 종류의 세속적인 서적의 출판이 활성화되었다. 이동식 인쇄

기법이 이용되기도 했으나 목판인쇄가 일반적으로 선호되었다. 대도시에는 수입한 중국 작품을 파는 중고 전문서적상과 서점도 생겼다. 상업적인 도서관에서는 책을 살 여건은 못 되나 독서에 열정이 있는 사람들에게 책을 대출해주었다. 19세기의 첫 10년 동안 오사카에는 300여 개, 에도에는 600여 개 이상의 사설 도서관이 었다. 도시뿐만 아니라 시골을 다니며 글을 읽을 줄 아는 농부들에게 책을 빌려주거나 파는 이동 도서관 서점도 늘어났다.

9. 대운하

수나라는 대흥(大興; 서안)에 수도를 정했는데, 동북 지역과 동남 지역의 양식과 세금을 통제하기 위하여 584년 수문제(隋文帝)는 ‘광통거(廣通渠)’를 팠다. 광통거는 서북쪽의 위수(渭水)를 끌어들여 동쪽으로 동관(潼關)을 지나 황하와 연결되어 낙양까지 이어진다. 또한 587년에는 ‘산양독(山陽瀆; 회안)’ 운하를 팠는데 이것은 ‘한구(溝)’를 전면 수리한 것이다. 그리고 수양제 605년에는 ‘통제거(通濟渠)’를 팠다. 통제거는 낙양에서 서쪽의 곡수(谷水)와 낙수(洛水)의 물을 끌어들여 동쪽으로 옛 물길인 양거(陽渠)를 따라 황하로 들어간다. 이는 다시 영양(滎陽)에서 북쪽의 황하와 만나고 옛 변하(汴河)의 물길을 따라 개봉(開封)을 거쳐 동남으로 꺾여 흐른다. 그리고 지금의 기현(杞縣), 수현(睢縣)을 지나 상구(商丘)에 이르러 동남쪽으로 기수의 옛 물길을 따라 하읍(夏邑), 영성(永城), 안휘성의 숙현(宿縣), 영벽(靈璧), 사수(泗水), 강소성의 사홍(泗洪), 우이(盱眙)를 거쳐 회수와 합류되어 ‘회남운하(淮南運河)’와 서로 만난다. 통제거는 황하와 양자강을 이어주는 최초의 수리공사로 총 길이가 1,000여 킬로미터이며 수나라 때의 운하 중 가장 중요했다.

610년에는 ‘강남하(江南河)’를 팠다. 강소성 진강(鎮江)에서 시작되어 상주

(常州), 무석(無錫), 소주 등지를 거쳐 항주에 이르는 이 운하는 총 길이가 330여 킬로미터이다. 강남하는 대운하의 최남단으로서 통제거와 서로 이어져 동남 지역 운수의 대동맥으로서 당송시대 이후 중원 지역과 양자강, 회하 지역의 경제문화 교류와 발전을 크게 촉진시켰다.

또 수양제는 100여 만 명의 인력을 동원하여 ‘영제거(永濟渠)’를 뚫다. 영제거는 하남성 북부에 있는 무척현(武陟縣)의 심수(沁水)로부터 급현(汲縣)에 이르고, 청수(清水) 아래의 기수(淇水), 둔수하(屯水河), 청하(清河)를 지나 천진(天津)에 닿는다. 이후 고수(沽水)는 상간하(桑干河)와 만나 탁군(啄郡)에 이른다. 영제거는 지금의 위하(衛河)를 수리하여 낙양과 탁현을 수로로 이어놓은 공사였는데, 항로의 길이가 1,000여 킬로미터로 수나라 동북지역의 양식을 조절하는 동맥이었다. 수나라 시대의 통제거와 영제거, 강남하의 총 길이는 2,400여 킬로미터에 달하며, 이때 이미 대운하의 규모가 갖춰졌다. 이 세 개의 운하를 파는 데는 모두 6년이 걸렸다.

원나라는 수도를 대도(大都; 북경)에 정했다. 강남에서 배를 이용하여 곡물을 수송하는 원대의 조운(漕運)은 수나라 때의 운송로를 이용했으므로 돌아야 했다. 즉, 통제거를 거친 후 영제거를 따라 북으로 올라와야 했으며 중간에 육로를 거쳐야 했기 때문에 노력과 시간 및 경비가 대단히 많이 들었다. 이런 불리한 조건을 개선하기 위하여 1283년 쿠빌라이(Khubilai Khan)는 이오가치에게 제령에서부터 황 하구에 이르는 ‘제주하(濟州河)’를 파게 했다. 제주하는 문수(汶水)와 사수(泗水)의 두 물줄기가 제주하를 거쳐 각기 남북 운하로 흐르게 했으므로 운하의 수량이 증가했다.

1289년에는 마지정(馬之貞)과 변원(邊源)이 설계하여 ‘회통하(淮通河)’를 뚫다. 회통하는 동평(東平) 부근의 안산(安山)에서 시작하여 수장(壽張), 요성(聊城)을 거쳐 문수를 수원으로 하여 임청(臨淸)에 이른후 위하(衛河)로 흘러든

다. 회통하는 길이가 120여 킬로미터로 남북을 운하로 이어놓아 남쪽에서 오는 물자가 직접 통현(通縣)까지 닿았다. 그러나 회통하 구간은 강바닥의 높이 차이가 14미터나 났다.

또 1292년에는 곽수경(郭守敬)의 건의에 따라 ‘통혜하(通惠河)’를 뚫다. 통혜하는 창평(昌平)의 신산(神山)과 옥천(玉泉) 등의 물을 끌어들여 북경을 지나 통현의 고려장(高麗庄)을



거쳐 백하(白河)로 이어지는데, 길이가 82킬로미터이며 20개의 갑문이 설치되었다. 원나라 시대의 제주하, 회통하, 통혜하의 개통으로 대운하가 완성되었다.

대운하는 총 길이가 1,700킬로미터로 세계에서 가장 일찍 만들어진 가장 긴 인공강이다. 대운하는 북경에서 시작하여 천진(天津), 임청(臨淸), 제령(濟寧), 회음(淮陰), 강도(江都), 소주(蘇州)를 거쳐 항주(杭州)에 이른다. 이들 지형은 복잡하며 높이차이가 40미터나 된다. (북경은 해발 35미터이지만 천진은 거의 바다 수면과 비슷하다. 또한 남쪽으로 가면서 점점 높아져 황하와 만나는 제령 부근의 높이는 전체 운하에서 가장 높은 39미터이다. 다시 남쪽으로 내려가면서 점차 높이가 낮아져 장강 이남은 다시 바다 수면과 거의 같다. 따라서 21개의 수문을 만들었다.)



제8장

동아시아 과학기술의 전파

- | | |
|------------------|-----|
| 1. 한반도 문화의 일본 전파 | 246 |
| 2. 세종의 과학영농 | 249 |
| 3. 조선의 주자학 | 253 |
| 4. 발효기술 | 256 |
| 5. 대체의학 | 260 |

= 0
H
CO



제8장 동아시아 과학기술의 전파



1. 한반도 문화의 일본 전파

고대 동아시아에서는 중국이 압도적인 힘으로 영향력을 주변으로 확대시켰으며 그 영향은 일본열도에도 전해졌다. 벼농사와 청동기 및 철기를 아울러 사용한 야요이 문화는 한반도 남부로부터의 집단적인 이주를 통해 형성되었다. 4세기 무렵부터 6세기 중반에 걸쳐 한반도와 일본열도 각지에 성립된 작은 국가들은 차츰 강력한 왕을 중심으로 통일된 고대국가를 형성했다. 이러한 변화를 주도한 것은 고구려였는데, 중국 동북 지역에서 조선 북부에 걸쳐 세력을 확대한 고구려는 4세기 초반 조선 북부에서 중국의 지배를 타도했다. 그리고 현재의 중국 동북 지방과 조선 북부에서 확고한 지배권을 장악한 광개토대왕 시대에는 동아시아의 대국으로 성장했다. 이 시기 고구려는 최전성기를 맞이했다.

고구려와 공격과 방어를 전개하며 조선 서남부에서 급성장한 백제는 지금의 서울을 도읍지로 하는 강력한 고대국가를 형성했고, 이를 바탕으로 중국의 왕조와 일본 열도에 성장하던 왜의 작은 국가들과도 연계하여 국제적인 지위를 높여갔다. 또 한반도 동남부에서는 작은 국가였던 사로(斯盧)가 경주를 도읍지로 세력을 확대하여 4세기 후반에는 신라로 이름

을 바꾸어 중국에 사신을 파견할 정도로 성장했다.

백제와 신라에 둘러싸인 조선 남부 지역 낙동강 중하류의 가야(加羅) 지방을 거점으로 삼은 작은 국가들도 통일된 왕조를 건설하기 시작했다. 하지만 이 지역은 백제와 신라에 둘러싸여 있어 두 세력 모두에게 압박을 받았다. 이들은 연합전선을 형성했지만 백제와 신라와 어깨를 나란히 견줄 만할 정도로는 성장하지 못했다. 이 때문에 이들은 바다를 건너 일본열도 남부의 왜인 국가들과 연계하여 유리한 상황을 만들려는 움직임도 두드러졌다.

규슈 지방을 중심으로 서일본에서도 왜인의 국가 형성이 진행되어 백제와 가야와의 왕래가 활발히 이루어졌다. 서일본의 작은 왜인 국가들은 드디어 5세기에 들어와 야마토(大和)를 중심으로 일본열도를 통일하여 ‘야마토 조정(大和朝廷)’을 형성했다. 백제와 가야의 유력자들은 규슈 북부와 주고쿠, 긴키(近畿)의 지역적 왕국의 왕이나 야마토 조정과 가까운 관계를 맺기도 했다. 따라서 고분시대에 해당하는 5세기 일본의 선진 기술은 거의 대부분이 조선에서 온 이주민을 통해 전해진 것이다. 특히 백제가 망한 후 일본에 정주한 백제의 귀족과 지식인들은 고대 일본의 학술, 사상, 문학을 일거에 바꾸었다.

『일본서기』를 보면 463년 백제에 기술자를 초청하기 위해 사람을 보냈다. 554년에는 천문학교수인 천문박 달력교수인 역박사, 의학교수인 의학박사, 제약 기술자인 채약사, 군 지휘자, 유교경전을 가르치는 오경박사, 승려, 악사 등을 교대시켰다. 그리고 588년에는 사원 건축 기술자와 장식 전문가인 사공, 탑의 노반을 만드는 기술자인 노반박사, 기와를 굽는 기술자인 와박사, 화가인 화공을 보냈다. 602년에는 백제의 승려 관륵(觀勒)이 천문학, 역법, 둔갑방술에 관한 책들을 전했고 일본에서는 젊음이

들을 선발해 이를 배우게 했다. 한편 650년 백제의 조선 기술자는 중국에 사신을 보낼 때 쓸 견당선을 제작했다. 항해용 돛대가 두 개고 150명을 수용할 수 있는 대형 범선의 건조는 백제의 기술자들에 의해 처음 이루어진 것이다. 그 이후 일본인들은 안전도가 뛰어난 이 배를 타고 중국과 교류했다. 일찍이 4세기 말부터 베 짜는 직조기술, 금속 제품을 만드는 야금기술, 술을 빚는 양조기술 등을 전수받은 일본은 6~7세기에는 백제의 생활양식과 문화에 깊숙이 젖어 있었다. 대표적인 백제인의 유적으로 일본 나라(奈良)시에 있는 도다이지(東大寺) 대불을 들 수 있다.

고구려도 일본에 많은 것을 전했는데 대표적으로 승려 담징(曇徵)을 꼽을 수 있다. 610년, 담징은 여러 가지 색깔의 물감을 만드는 채색기술을 가르치고 종이와 벼루, 먹을 보급했다. 그가 그렸다는 호류지(法隆寺)의 금당벽화는 나라시대 일본의 대표적인 미술품으로 유명하다. 또한 그는 유교경전인 오경을 가르치고 일본에 맷돌을 처음으로 전하기도 했다.

신라가 일본에 영향을 미친 것으로는 약제학과 의학의 전파가 있다. 414년 신라의 명의 김무(金武)는 일본에 건너가 천황 민교데이(允恭帝)를 치료하고 병을 고쳐 주었다. 김무가 일본 천황을 치료했다는 사실은 5세기 신라의 높은 의학 수준을 말해준다. 9세기 초에 편찬된 의서 『대동유취방(大同類聚方)』에는 신라 의사의 처방전이 기록되어 있다. 처방전에는 신라 고어가 그대로 표기되어 있는데, 이는 일본에서 고유의 신라 약재들이 사용되었음을 보여준다. 또한 각각의 병마다 여러 가지 약재를 활용한 복합 처방도 볼 수 있다. 즉 한두 가지 약물로만 처방하지 않고 다양한 약재를 섞어서 사용했다. 당시 신라의 의학은 중국과 같은 수준으로 발전했으며 일본으로 건너가 고대 일본의 의학과 약재학의 기틀을 마련했다.

2. 세종의 과학영농

고대 이래 우리나라 농정의 책임자는 왕이었다. 그러나 왕이 할 수 있는 일은 기술 개발보다는 신앙적인 제례에 의존하는 것이었다. 휴한농법이 존속한 고려시대까지는 이러한 농정의 주는 신앙적인 제례의식이었다. 삼국시대에서 통일신라까지의 시기에는 왕의 조상신들에 대한 제사의 비중이 컸다. 그런데 후삼국시대 지방호족들이 새로운 지배층으로 등장한 이후로는 호족들이 앞세운 지방 수호신에 대한 제사가 큰 비중을 차지했다. 고려시대 제의 행사로 가장 비중이 컸던 농경 개시제인 연등회(燃燈會)나 추수제인 팔관회(八關會)는 모두 해당 지역의 산천신이나 서낭당에 모셔진 유력 호족의 시조에 대한 제사를 중심으로 이루어졌다.(연등회, 팔관회는 조선시대에 혁파되어 향리에서 극히 제한적으로 전승되다가 조선 후기 서민사회의 놀이문화의 발달과 함께 재등장했다.)

고려 말 신흥 사대부들이 받아들인 신유학은 불교와는 전혀 다른 세계관을 가지고 있었다. 불교는 이 세상을 가환(假幻)으로 보면서 내세의 행복을 추구함으로써 현실 생활을 개선하려는 지가 약할 수밖에 없었다. 이에 반하여 신유학은 삼라만상을 있는 그대로 받아들이면서 만물이 성장하는 까닭을 하늘의 뜻으로 풀이하고 사람도 그러한 하늘의 뜻을 본받아 “생명이 있는 것을 살리는 덕(生生之德)”을 실천하는 것을 제일의 사명으로 삼아야 한다는 사상을 제시했다. 천인합일(天人合一)의 우주관, 인생관이 바로 그것이었다.



그러한 하늘의 뜻(天道, 天理)을 현세에 실현하는 주체는 왕이었다. 신하들에게는 왕이 받은 이러한 천명을 실현하는 데 모든 힘을 바치는 것이 도리요 충성이었다. 고려 말, 조선 초의 신유학자들은 신유학의 폭넓은 사상 중 이러한 새로운 왕 정관을 어느 면보다도 중요시했다. 새 왕조의 왕들은 ‘먹는 것이 곧 백성의 하늘(食則民天)’이란 유가(儒家)의 명제의 실현을 왕정의 최대 과업으로 삼아 농정의 비중을 높였다. 신유학에서도 하늘과 신의 도움(天佑神助)을 빌었으나 하늘의 시혜만을 기다리는 것이 아니라 사람이 하늘의 뜻에 부합하는 일을 스스로 다하면서 하늘의 조우(助佑)를 기다리는 것으로 자세를 바꾸고 있었다. 그 최선의 노력에서 과학성을 띤 업적들이 나왔다.

세종대왕의 농정은 제위 11년에 『농사직설』을 편찬한 것을 신호로 적극적으로 뛰어들기 시작했다. 고려 말 이래 하삼도 지방에서 이미 개발된 새로운 상경법의 농경 기술자들을 그 이북 지역으로 확대 보급시켜 나갈 목적으로 노농들로부터 새 기술들을 채방하여 간요하게 정리하여 책을 펴다. 이 책은 당시 도민이 많이 이루어지고 있던 함경도, 평안도 지방에도 보내졌다. 남쪽의 발달한 농업기술을 북쪽에서도 시행해보려고 한 것이다. 화약 병기의 개발도 농정과 전혀 관하지 않았다. 당시 두 지방의 사민은 변경 방어력을 높이기 위한 인력과 경제력 증대를 목표로 한 것으로 이곳에서의 화약 병기는 그들의 안전한 농사를 보장하는 역할을 하고 있었다.

『농사직설』의 편찬을 통하여 재삼 확인된 농정의 요체는 농사의 시기를 잘 지키는 문제였다. 한 해 농사의 성패는 농민들이 농사 시기를 제대로 지킬 수 있느냐의 여부에 달려 있다는 인식이 높아졌다. 휴한법에서 상경법으로 바뀐 농법은 농사의 경작과정이 세밀해져 농시를 제대로 지

키지 못했던 이전에 비하여 많은 차이를 가져왔던 것이다. 세종대의 농정에서는 급시(及時), 가을갈이, 거름주기 등을 강조했다. 그런데 이렇게 농시를 강조하던 세종은 자기 나라 연월일을 제대로 측정하는 방법도 제대로 갖추지 못했다는 사실을 깨닫는다.

조선은 중국의 책봉국으로서 한 해 동안 사용할 달력(冊曆)을 정조사(正朝使)가 연경(燕京)에 가서 천자로부터 받아왔다. 그런데 사신이 돌아오는 때는 신년을 맞이 한 후 수십 일이나 지난 뒤이므로 그동안에는 달력이 없었다. 이 공백을 메우기 위하여 서운관(書雲觀)에서 따로 임시로 만든 것을 사용하다가 사신이 당도하면 중국에서 받아온 것과 대조하는 절차를 거쳤다. 그런데 역법(曆法)이 미발달했기 때문에 서운관에서 임시로 만든 것이 틀리는 경우가 많았다. 그러한 일이 자주 되풀이되는 것은 국왕으로서, 특히 농사를 강조하는 시대의 국왕으로서는 수치요 모순이었다. 그리하여 세종은 서울 경복궁의 위치를 기준으로 한 정확한 조선의 역법, 즉 연월일 계산체계를 새로 만들기로 했다. 이런 것을 만들어두면 중국에서 받아온 것과 굳이 비교하는 절차도 필요없을 뿐만 아니라 농시를 강조하는 국왕의 입장도 떳떳할 수 있었다.

세종은 신하들로 하여금 먼저 위치 측정 기구부터 만들게 했다. 그리하여 간의, 소간의, 혼의, 혼상 등의 기구들이 그 14년에서 18년 사이에 먼저 만들어졌다. 그다음에 시각 측정기구의 제작 순서로 들어가 앙부일구, 자격루, 현주일구, 천평일구, 정남일구, 일성정시의, 규표 등이 16년에서 19년 사이에 만들어졌다. 이런 기구들을 만들어 위치와 시각 측정이 이루어진 다음에 역법 산정의 순서로 24년에 『칠정산내편』과 『칠정산외편』을 완성시켰다. 내편은 본국력이란 별칭이 붙었고 외편은 회회력을 고쳐 쓴 것이었다.

내편은 일년의 길이를 365.2425일, 한달의 길이를 29.530593일로 계산할 정도로 높은 정확도를 과시했다. 『칠정산내편』은 그 자체로 달력은 아니다. 그러나 그것은 언제든지 달력으로 전환시킬 수 있었다. 실제로 사용하는 달력은 외교상 중국으로부터 받아오나 이처럼 거의 완벽한 역법을 가지고 있으면 중국 책력을 받아온 뒤에야 비로소 온전한 책력을 소지하는 상황이 되는 종속성도 해소될 뿐만 아니라 왕의 입장도 모든 면에서 떳떳해졌다.

위치 측정과 시간 측정기구까지 모두 갖춘 시점인 19년에 세종대왕은 궁중(경복궁) 후원에서 몸소 1결(결)의 땅을 갈아 조 2홉을 뿌려 농사를 직접 지었다. 그것은 의례적인 선농행사가 아니라 모든 농사과정을 몸소 다 해보는 것이었다. 시험 농사를 직접해본 것이다. 왕이 그동안 만든 각종 천문기구와 시계들을 경희루 주위에 배치해두고 후원에서 직접 농사를 지었다. 왕은 11년에 편찬한 『농사직설』의 농사법을 따라 그대로 지었다. 연구의 성과를 실천에 옮기는 일이었다. 왕이 농서에 규정

된 대로 해본 농사는 당시 경기도 지방의 일반 농가에서 거두는 소출보다 몇 배나 더 되었다. 왕은 백성들이 자신처럼 농사를 짓지 못한 것은 농사의 때를 제대로 지킬 수 없었기 때문이라고 판단하고 관리들이 농사철에 농민들을 부역에 동원하는 것을 금했다. 왕은 이 정도로 합리적인(과학적인) 농정을 펼쳤다. 세종은 농사짓는 방법이 바뀔에 따라 전지(田地)의 등급도 새로 조정할 필요성을 느꼈다. 그는 『농사직설』을 간행하여 보급한 해인 12년부터 전세제도의 개정에 관한 논의를 시작하여



26년에 최종안을 확정했다. 전지의 등급은 3등급에서 6등급으로 세분화되었다. 세종 23년, 세자가 땅을 파서 스민 정도를 살펴 강우량을 재는 것은 부정확하다고 생각해 강우를 담는 그릇을 구리로 만들었다. (서양에 비하여 무려 200년이나 앞선 측우기의 발명이었다.) 이 측우기의 발명은 각 고을의 흉풍의 정도를 평가하는 문제의 어려움을 덜어주었다. 이로써 전세 결정에서 연분 9등제가 확정되었다. 세종대왕의 새로운 농정체제는 24년의 『칠정산 내편』의 완성과 26년의 전세제도 확정으로 마무리 단계에 접어들었다. 낮은 평지에 개간된 수많은 수전들이 아직 천수답 상태로 남아 있는 것이 가장 큰 나머지 숙제였다. 하천수에 대해 많은 연구를 해온 문종은 즉위한 후 천방을 새로운 해결책으로 선택했다. 천방은 이후 제언과 함께 넓은 낮은 평지의 천수답들을 점차 관개답으로 바꾸어가는 데 큰 역할을 했다.

3. 조선의 주자학

『대학』이란 작은 책은 특히 성리학이 강조한 소위 사서(四書)의 하나로 지도자가 되기 위한 학문 수련의 과정을 설명하고 있다. 지도자가 되기 위해서는 우선 격물(格物)을 통해 지식을 넓히고(致知) 뜻을 정성스럽게 하며(誠意) 마음을 바르게 가져야 한다(正心). 그다음에 자신의 몸을 다듬고(修身) 집안을 다스린 후에야(齊家) 드디어 나라를 다스릴 수 있고(治國) 천하를 평정(平天下)할 수 있다는 것이다. 즉 “치국평천하”의 이상을 위해서는 모름지기 격물을 제대로 해야 함을 말한다. 그런데 격물이란 다른 아닌 사물의 이치를 연구한다는 뜻이다.

독학자 서경덕은 이 세상에서 가장 근본이 되는 것은 바로 우주를 가득 채우고 있는 ‘기(氣)’라는 사실을 깨달았다. 조선시대에 크게 성행했

던 성리학에서는 ‘이(理)’와 ‘기(氣)’를 기본으로 말했지만 기야말로 가장 중심임을 강조한 학자는 이 땅에서는 서화담이 처음이었다. 말하자면 그는 조선의 주기설(主氣說)의 창시자였던 셈이다. 그 후의 우리나라 유학계는 퇴계 이황(退溪 李滉)이 지배적이었고 따라서 주리설(主理說)이 더 성행하고 보이지만 서화담의 주기적(主氣的) 태도는 율곡 이이(栗谷 李珣)를 거쳐 홍대용(洪大容)과 최한기(崔漢綺)에 이르러 강하게 표출되었다. 우주는 텅 비어 있다고 생각되기 쉽다. 하지만 원래부터 우주란 빈 곳이 아니라 기로 충만하다. “끝없는 것이 태허(太虛)이고 시작이 없는 것이 기이다. 허(虛)란 다름 아닌 바로 기 그것이다. 허가 본래 무한하니 기도 또한 무한하다.” 그의 글 ‘이기설(理氣說)’에 나오는 말이다.

그의 이와 같은 주기론은 중국 송나라 때에 크게 발달한 성리학의 영향을받아 나온 것임에 분명한데, 그는 특히 송의 사상가 장재(張載)의 사상을 받아들였다. 장재가 주기론이었던 데 비해 그의 후배인 주희(朱熹)는 ‘이기’를 함께 말하는 입장을 보였다. 우리 역사에서는 중국의 장재와 주희에 해당하는 인물이 바로 서경덕과 이황으로 나타났다. 또한 서경덕은 장재와 같은 시기 송나라의 철학자 소옹(邵雍)의 영향도 강하게 받았다. 소옹은 중국 전통적인 상수학(象數學)을 크게 발전시킨 사상가였다. 여하튼 서경덕은 이 땅에 주기론적 자연관을 심어주었고, 또 상수학을 도입하여 이지함(李之菡)으로 하여금 『토정비결(土亭秘訣)』을 지을 정신적 터를 마련해놓았다.

주자학이란 유학의 일파로 12세기 중국 남송의 주희가 확립한 학설이다. 조선에는 13세기 말부터 14세기에 걸쳐 전해졌다. 신하는 주군을 정성으로 섬기고 자식은 부모를 잘 시중드는 것을 최고의 기준으로 삼아 국왕의 권력을 강화하기 위한 정치 지배의 원리로 작용했다. 또 양반지

주는 각지에 서원을 세워 주자학을 공동체의 운영 원리로 삼는 등 사람들의 일상생활에까지 깊이 관여했다. 더욱이 외적의 침입에 대항하기 위해서도 주자학은 유일 정통한 사상으로 간주되었다. 따라서 주자학의 이해를 둘러싸고 다양한 계파 사이에 논쟁이 일어나 양반관료 내부의 주도권 싸움(당쟁)이 생겨났다. 16세기 말부터 도학의 선비들이 정치를 담당하면서 이른바 사림정치(士林政治)가 실현되었다. 그러나 이때부터 도학의 선비들이 배타적 독선과 당파적 이기심에 빠져 분열하여 당쟁을 벌였다. 영조는 당파의 대립을 해소하기 위하여 탕평정책을 추진했지만, 당파에 빠진 도학자들은 도학 이념을 끌어들여 자기 당파의 정당성을 확보하기 위한 명분을 찾는 데만 급급했다. 도학자들이 자신의 정당성을 내세우기만 할 뿐 스스로 자신의 과오를 성찰하지 못하면서 도학은 대중의 교화를 위한 기능도 상실하고 국가의 안위를 염려하는 충성심도 허상이 되어 버렸다. 조선 초기에는 도학 이념이 불교를 개혁 대상으로 삼았지만 조선 후기가 되면 도학이 개혁 대상이 되어버린 것이다. 이러한 국면에서 외래종교로서 18세기 말에 자리 잡기 시작한 천주교와 19세기 말에 전래되기 시작한 개신교가 있었으며, 자생종교로서는 19세기말과 20세기 초에 집중적으로 일어났던 신종교 및 민족종교가 출현하여 도학체제의 조선사회를 개혁하는 중요한 동력이 되었다.

우리 민족은 조선왕조가 끝나갈 무렵 ‘개벽’의 꿈을 키웠다. 그 꿈인즉 ‘새 세상’이 온다는 것이다. 그래서 이 개벽을 믿는 우리 민족은 부지런히 서양을 배웠고 과학을 배웠고 서양의 정신문명의 뿌리인 기독교를 받아들였다. 20세기는 분명 우리 민족의 ‘개화’의 역사였다. 그리고 학문, 문화, 과학, 종교, 예술, 경제, 기술, 정치 모든 분야에서 많은 업적을 쌓았다. 그런데 개화의 신념을 안고 개화의 역사와 같이 살아온 20세기의 한

국민에게는, 아니 동아시아인에게는 새로운 우려가 생기기 시작했다. 우리 민족이 개화되면 될수록 미개로 다시 빠져들어 간다는 우려였다. 신화의 탈출을 지향하고 달려왔는데 또다시 신화 속으로 진입하고 있는 자신의 모습을 발견하기에 이른 것이다.

원래 한국 기독교는 민족의 문제에 동참하고 함께 수난을 경험하며 십자가를 짊어진 모습을 보였으나, 이후 교회의 존립과 선교의 편의나 수월성을 훨씬 넘어서는 유리한 특권을 형성했고, 지극히 현실 중심으로 물질 중심, 성장 중심, 외형 중심의 교회가 되어 축복 강조적인 신앙으로 변했다. 현대는 인간 위에 군림하고, 과학 지식이나 도덕규범 및 법질서와 충돌하며, 다른 종교와 갈등하는 독선적 종교가 아니라 인간을 위해 봉사하고, 대립의 논리가 아니라 조화의 논리로 화합을 이끌어가며, 종교가 저지를 수 있는 온갖 악과 과오를 끊임없이 성찰할 수 있는 성숙한 종교를 필요로 한다.

4. 발효기술

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 Triphosphate; 아데노신 3인산)를 에너지로 얻어 살아간다. 사람들은 이러한 발효과정에서 효모가 만들어내는 알코올을 음료로 이용하는 것이다. 쌀을 원료로 만드는 막걸리의 효모는 쌀에 들

어 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 부각부각 솟아오른다. 맥주는 대맥을 받아시켜 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 원산지라 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 가



지, 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. 청국장도 고구려의 기마 민족들이 콩을 삶아서 말안장 밑에 넣고 다님으로써 말의 체온에 의해 자연 발효시킨 것으로 발효 기간이 2~3일로 가장 짧다. (지금은 콩과 벧짚에 붙어 있는 미생물을 이용해 만든다.) 고추장은 장 빛는 솥씨에 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 능력을 올리자면 연속 발효를 해야 한다. 연속 발효는 일정량의 배지를 계속 공급해줌으로써 미생물이 이것을 쉬지 않고 이용하도록 하는 것이다. 이렇게 발효과정을 연속화함으로써 발효 능력이

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 준연속 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 유물로 연속 발효를 하면 이때의 희석률은 0.1이 된다. 한 시간 동안에 총 액량의 10분의 1이 교환

되고 있다는 뜻으로 발효조 속의 배지가 완전히 교환되는 데는 10시간이 걸리는 셈이다.

신선한 배지가 계속적으로 공급되면 발효조 속의 균은 쉴 틈 없이 성장한다. 그와 동시에 흘러나가는 액에 따라 유실되는 균도 있다. 생장으로 인해 들어가는 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.

5. 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 점액, 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, 이노제나 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 지식체를 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 증세에 해당하는지를 파악해가는 구조를 가지고 있다.

모든 종교, 철학, 정치 이념 그리고 의학이나 과학은 생각(神), 즉 신념 체계이다. 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 십이경맥과 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 전체



의 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. 발 반사요법은 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 나타

낸다. (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 미래를 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 과목

이며, 400년 전에 출간된 『동의보감』이 임상의 지침서로 삼고 있다. 오
행은 상호 영향을 주고받는 관계의 형식으로 병에 대해 추론하는 배움의
양식일 뿐이다. 같은 동아시아권이라 해도 한국, 북한, 중국, 일본 한의
학의 시술 형태는 많이 다르다.



제9장

한의학의 형성

1. 한의학의 뿌리	268
2. 기 조절	271
3. 음양오행설	273
4. 경락설	274
5. 침구	276
6. 황제내경	278
7. 상한잡병론	280
8. 이시진의 본초강목	282
9. 손사막의 천금요방	284
10. 금원사대가	285

= 0
H
CO



제9장

한의학의 형성

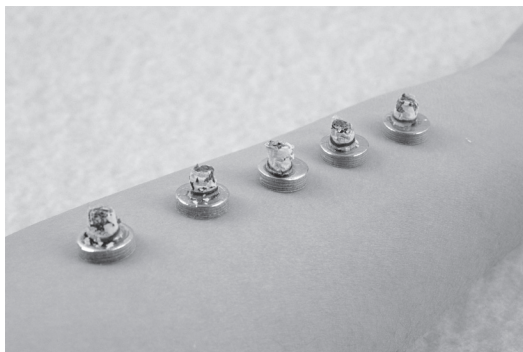


1. 한의학의 뿌리

인류는 모두 그 발생 초기부터 자기의 건강을 지키는 의학이나 약물에 대한 지식을 경험 속에서 피냈다. 고대 중국에서도 간단한 상처를 치료하는 방법이나 초근목피와 동물의 장기 등의 자연물을 사용한 약리요법이 행해졌다. 그러나 고대에는 수술적인 방법이 경험의학보다도 더 활발하게 이루어졌다. 은대(殷代)에는 조상의 영이 자손의 행복을 지키고 때로는 뒤탈을 생기게 한다고 생각했으므로, 병을 치료하는 데 초자연적인 힘에 의지하기 위하여 환자를 대신하여 인형을 만들어 이 인형에서 병마를 퇴출시키는 등의 여러 가지 방법이 행해졌다. 이러한 수술적인 방법으로 환자를 치료하는 의사를 중국에서는 무의(巫医)라고 불렀다.

그러나 고대사회에서도 무의만이 치료에 임한 것이 아니라, 주례(周禮) 속에서 식의(食醫), 질의(疾醫), 양의(瘍醫), 수의(獸醫) 등의 전문적인 구별이 보이듯 경험의학도 일찍부터 발달해왔다. 당시의 의성(醫聖) 편작(扁鵲)은 병이 낫지 않는 여섯 가지 이유를 들고 있다. 첫 번째 불치는 환자가 제멋대로 구는 것, 두 번째 불치는 금전을 아껴 몸을 생각하지 않는 경우, 세 번째 불치는 의식(衣食)이 환자에게 맞지 않는 경우, 네 번째 불치는 음

양과 장기가 안정하지 않는 경우, 다섯 번째 불치는 몸이 약하여 약을 먹을 수 없는 경우, 여섯 번째 불치는 무당을 믿고 의사를 믿지 않는 것이다. 아마 당시의 민간



의술에는 주술적인 방법에 의한 의사, 즉 무의가 유행하고 있었다고 생각되는데 편작은 무의를 믿는 폐해를 확실하게 지적하고 경험의학을 믿어야 함을 주장했다.

한의학은 한나라 시대에 이미 『황제내경』의 침구술(鍼灸術)을 중심으로 하는 물리요법이나 양생법(養生法)과 ‘상한론’의 약물요법, 그리고 ‘본초(本草)’라는 약물학으로 일단 완성되어 이후 2천년 동안 이어졌다. 『신농본초경』은 당나라 시대에 소실되었으나 그 내용은 역대 본초경 속에 남아 명청대에 이르기까지 큰 영향을 미쳤으며, 명나라 이시진(李時珍)의 『본초강목(本草綱目)』이 나오기까지 이 책의 분류법이 본초 분류의 표준으로 계승되어왔다. 자신의 체계를 이룬 이후에도 불교의학(아유르베다의학), 독자적인 체계를 이룬 도교의학, 그리고 근대에 와서는 근대 서양의학과의 만남을 통해 끊임없는 변화를 거듭하고 있다. 그런데 불교가 중국에 도입되었지만 불교는 기존의 문화를 배척하지 않았다. 오히려 불교는 그것이 도입된 지역의 전통문화와 융합되어 새로운 모습의 불교로 재탄생하는 면모까지 보였다. 유목민의 국가인 금원시대에는 오히려 한의학이 더욱 융성하여, 전근대의 한의학 이론을 한 단계 높인 것으로 평가받는 금원사대가(金元四大家)를 배출했다.

그러나 제국주의와 함께 들어온 근대 서양의학은 기독교적인 세계관을 바탕으로 유일신을 강요했으며 기존의 전통문화를 배척하고 말살했다. 근대 서양의학은 거의 모든 면에서 전근대의 한의학과 배치될 뿐만 아니라 동아시아의 근대화가 제국주의에 의한 식민지화와 함께 이루어졌기에 이러한 점이 더욱 강화되었다. 이러한 상황 속에서 한의학은 끈질기게 살아남았다.

한의학에 쓰이는 약재를 본초(本草)라고 한다. 이러한 약재에 관한 지식은 동한시대에 『신농본초경(神農本草經)』이라는 책으로 집대성된다. 한편 남부 지역에서는 고온 다습한 지역적 특성상 각종 전염병이나 유행병이 많았고 이런 사정으로 외부의 나쁜 기운에 의해 생긴 질환의 진단과 치료를 집대성한 『상한잡병론(傷寒雜病論)』이 나온다. 이처럼 한의학은 다양한 문화와 풍토속에서 축적된 경험을 황로학이라는 틀 속에서 융합해낸 총체적인 이론 및 임상체계이다. 여기에는 독자적인 진단체계와 변증 체계, 그리고 치료체계가 있으며, 치료의 방법으로는 침구와 약물요법은 물론, 기공이나 방중술, 음악과 미술, 문학 등 거의 모든 분야를 포괄하는 방대한 체계인 것이다.

서양의학에서는 여러 가지 기기를 이용하여 병인(病因)을 탐색하고 그 원인을 알아내면 그 원인에 대한 치료를 진행해가는 것뿐이다. 따라서 병인을 알아내면 오로지 그것을 공격하여 없애는 약을 치유될 때까지 투여한다. 이에 반해서 한의학 치료는 병인에 대해서는 서구식만큼 깊이 추구하지는 않으나 환자가 고통을 받는 모든 증상을 가볍게 만드는 데에는 무엇을 투여하면 좋은가(수증 치료)를 진찰 할 때마다 잘 생각해서 결정한다. 한의학에서는 질병의 진행 방식이나 그에 대한 환자의 저항력 등에 대해서 그때마다 면밀히 관찰해서 대응하도록 하는 셈이다. 따라서

같은 ‘감기’라고 생각되는 증상에도 그 초기, 중기, 말기에 따라 투여하는 약을 바꿔가고 한편에서는 환자의 고뇌를 제거함과 동시에 다른 한편에서는 환자의 몸 상태에 따라 면역력을 높여 저항력을 기르도록 약을 바꿔간다.

감기가 들기 시작한 초기라면 갈근탕(葛根湯)보다도 계지탕(桂枝湯)이 좋고, 만일 노인이나 어린아이라면 향소산(香蘇散)을 투여하는 것이 좋고, 갈근탕으로는 이미 늦었다고 생각될 때에 진찰을 받는다면 계마각반탕(桂麻各半湯)이라든가 시호계지탕(柴胡桂枝湯)이 처방될 것이다. 또한 병세가 심하고 환자의 저항력이 떨어져 있다면 소시호탕(小柴胡湯), 백호가인삼탕(白虎加人蔘湯)을 투여할 것이고 그래도 충분하지 않으면 각종 항생물질도 사용한다. 한방에서는 매일 환자를 진찰하고 그 증상과 몸 상태가 어떻게 변화되었는가를 잘 관찰해서 그것에 대응하여 방제도 바뀌가는 특징이 있다.

2. 기 조절

동아시아(중국)문화에서 생명은 천지의 기운에서 온 것이라 여긴다. 장자는 “온 천하가 하나의 기운일 뿐이다(通天下氣耳). 사람이 태어나는 기(氣)가 모인 것이다. 모이면 태어나고 흩어지면 죽는다(人之生, 氣之聚也, 聚則爲生, 散則爲死).”했다. 또 『황제내경(黃帝內經)』은 “하늘이 덮고 땅이 실으니 만물이 다 갖추어진다. 사람보다 귀한 것은 없으니, 사람은 천지의 기운으로 생겨나고 사시의 법칙에 따라 성장한다(天覆地載, 萬物采備, 莫貴於人, 人以天地之氣生, 四時之法成).”했다.

기는 한의학 이론의 근본적인 출발점이다. 한의학에서 몸은 우주의 시초인 태역(太易)의 단계에서부터 시작되어 기가 생성되고 형체가 갖추어지며 만질 수 있는 물질이 생김으로써 완성된다. 따라서 우리의 몸은 개

방적이고 유동적인 기의 체계로서 다른 몸들과 그리고 우주와 하나가 될 수 있는 시스템이다.

기원전 3세기 천지만물의 생멸과 변화를 기의 모임과 흠어짐에 의해 설명하는 사고방식이 성립되면서 음양을 성질이 상반되는 두 종류의 기로 설정하고, 음양 2기에 의해 천지자연의 운행을 설명하기 시작했다. 음양의 대립과 통일이 모든 생성, 발전을 규제한다고 보는 것이다. 『황제내경(黃帝內經)』의 「소문」에서는 ‘음양’으로 사람의 생리적인 문제를 분석하고 있다. ‘음양론(陰陽論)’으로 사람의 내부 장기를 ‘장(臟)’과 ‘부(腑)’로 나누고 있는데 장은 심장, 간장, 비장, 폐, 신장이 포함된 5장을 가리키고, 부는 담, 위, 대장, 소장, 방광, 삼초(三焦)의 여섯 부위를 가리킨다. 여기서 장은 내부조직이 충실하고 저장과 분비 기능을 가진 기관을 가리킨다. 반면 부는 속이 텅 빈 관을 가진 기관을 가리키는데 흡수된 것들을 전달하고 용해하는 기능을 한다. 따라서 오장과 육부가 지닌 속성이 다르므로 오장을 음이라 한다면 육부는 양이라 한다. 인체의 부위에서부터 장부, 경락 등 각 구조물 간의 상관관계, 병리변화, 진단, 치료에 이르기까지 모든 분야에서 음양은 중요한 역할을 담당한다. 『황제내경』의 음양론은 순환이 지닌 대칭성의 아름다움을 갖추고 있다.

고대 동아시아인들은 오행이라는 다섯 가지 요소(木火土金水)를 생각했고 이 다섯 가지 행(行)들이 서로를 부추기거나 억제하는 복잡한 상생(相生)과 상극(相剋)의 관계 망으로 얽히게 했다. 오행설은 중국문화 특유의 이론으로, 천지만물을 나무(木), 불(火), 흙(土), 쇠(金), 물(水)의 다섯 가지로 나누고, 이 다섯 가지 사이에 상생과 상극의 관계가 있다고 보고 이를 따지는 것이다. 예를 들어 만일 목(木), 화(火), 토(土), 금(金), 수(水)의 순서에 따라 배열하면 그것들 사이에는 인접한 것은 상생(比相生), 간극이 있는 것은 상

극(間相剋)인 관계가 맺어진다. 나무(木)를 태우면 불(火)을 일으키고, 불(火)은 재나 흙(土)을 생기게 하며, 흙(土)은 금속(金)을 생기게 하고, 금속(金)에서 물(水)이 생겨나며, 물(水)은 나무(木)를 성장하게 한다는 의미로, 즉 목은 화를 낳고(木生火), 화는 토를 낳으며(火生土), 토는 금을 낳고(土生金), 금은 수를 낳으며(金生水), 수는 목을 낳는 것(水生木), 이것이 상생이다. 한편 목은 토를 이기고, 화는 금을 이기며, 토는 수를 이기고, 금은 목을 이기며, 수는 화를 이기는 것, 이것이 상극이다. 즉 나무는 흙을 착취하여 성장하기 때문에 목극토(木剋土), 또한 마찬가지로 원리로 토극수(土剋水), 수극화(水剋火), 화극금(火剋金), 금극목(金剋木)이 된다.

3. 음양오행설

음양오행설은 자연의 운행에는 천리인도(天理人道)라고 할 어떠한 이치가 있을 것이라 생각하고, 당시까지 경험해온 사실을 정리하고 분류하여 경험의 통일 혹은 이론화 작업을 한 것이다. 즉 ‘음양오행설’이란 음, 양의 2기와 수(水), 화(火), 목(木), 금(金), 토(土)의 오행으로 자연현상이나 인간, 사회의 현상을 설명하는 사상이다. 한의학에서는 이 이론을 활용하여 인체 장기들 사이의 관계를 분석하며, 치료할 때에도 이러한 상생, 상극의 관계를 운용하여 어느 방향에서 시작해야 하는지를 확정한다. 다시 말하면 이 오행을 사람 몸속의 다섯 가지 장(肝心脾肺腎)에 대응시켜 목-간(木-肝), 화-심(火-心), 토-비(土-脾),



금-폐(金-肺), 수-신(水-腎)의 관계가 성립하며 각 장의 운행은 오행의 운행과 동일하다. 예컨대 목에 속하는 간장은 화에 속하는 심장을 북돋우지만 토에 속하는 비장을 억제한다. 따라서 목에 속하는 간장을 치료하려면 직접 간을 강하게 하는 약을 써도 되지만 수에 속하는 신장을 강하게 하는 약을 써서 간접적인 효과를 기대할 수도 있다.

한의학에서 인체의 구조는 음양론으로 설명하고 인체 내부의 순환 원리는 오행론으로 설명했다.

그렇다면 오행설은 왜 5가 아니면 안 되었을까? 그것은 부분들 사이에서 이중의 순환적 관계, 즉 목→화→토→금→수→목이라고 하는 상생 관계와 목→토→수→화→금→목이라고 하는 상극 관계를 설정할 수 있는 것은 부분의 수가 5일 때에야 비로소 가능해지기 때문이다. (삼각형은 애초부터 서로 대각선을 그을 수 없다. 사각형에는 두 개의 대각선을 그을 수 있지만 두 개의 대각선은 연결되어 있지 않다. 오각형에서야 비로소 다섯 개의 대각선을 차례로 한 바퀴 돌리는 것이 가능하다. 결국 이중의 순환 관계가 부분계 사이에 성립하는 것이다. 육각형은 대각선이 두 부분으로 분리되어버린다. 칠각형에서는 더 많은 관계가 성립한다. 그러면 너무 복잡해진다.)

4. 경락설

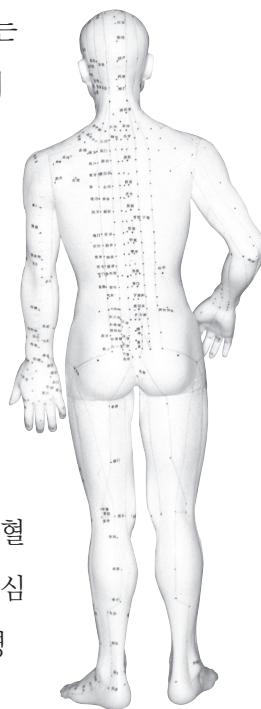
의학 방법론으로서 음양오행설이 성공한 것은 계통론적인 접근을 했기 때문이다. 더욱이 중국의 고전의학은 인체의 통일을 지탱해주는 ‘경락(經絡)’을 발견했다. 한마디로 오장육부라고 불리는 부분계로 파악했다고는 해도 하나의 유기체를 전체적으로 작동하는 기구라는 독자적이고 유일한 답을 제출한 것이다. 경락은 오장육부와 연결되어 있고 약물 역시 경

락과의 연관에서 고려된다.

경락은 신체를 세로로 달리는 십이경맥과, 경맥으로부터 가지를 쳐서 가로로 퍼진 분지들을 결속하고 경맥 사이를 연락하는 낙맥(絡脈)을 합한 말이다. 따라서 경락은 전신의 기혈을 운행하고 각 부분을 조절하는 통로로 마치 거미줄처럼 인체 내외에 분포하여 유기적으로 연결되어 있다. 12경맥(十二經脈), 기경8맥(奇經八脈), 15낙맥(十五絡脈), 손락(孫絡), 12경근(十二經筋) 및 12피부(十二皮部) 등이 이에 속한다. 이러한 경락(經絡)은 병을 진단하는 개념적틀을 제공해줄 뿐만 아니라 그렇게 진단된 병을 치료하는 실제적 장소이기도 하다.

원래 경락의 출발은 혈관이었다. 혈액의 파장이 바로 맥이다. 그러나 인체의 속을 연결하는 경맥부터는 실체구조로 보지 않는다. 경락은 이런 실체구조와 비 실체구조를 연결하는 것이니까 성격이 혼합되어 있다. 분명히 육부(六腑)까지는 물질이었는데 오장(五臟)으로 들어서는 순간 물질이 아니다. 그리고 나올 때는 다시 물질이다. 겉에 있는 경락은 실재하지만 속에 있는 경락은 오형으로 맞춘 것이다.

경락이란 인체의 기혈(氣血)을 운행케 하는 통로이며, 표리상하(表裏上下)를 소통하게 하고, 장부와 기관을 ‘연계’하는 조직계통이다. 경락의 통로에는 경혈이 촘촘히 분포되어 있어 은침과 쑥뜸 등으로 경혈을 자극하면 특정 감각이 경락을 따라 전달되고 몸과 심리상태에 변화가 나타난다(순경감전현상; 循經感傳現象). 가령 장부에 병변(病變)이 생기면 언제나 경락을 통해 피부

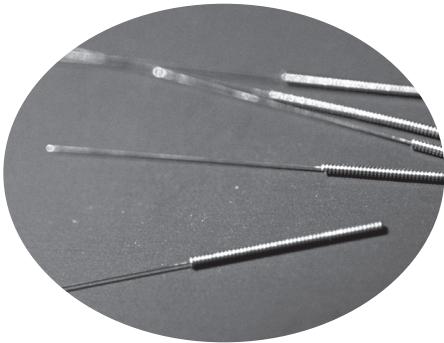


에 반영된다. 그러므로 침이나 뜸으로 경혈을 자극하면 경혈과 관계있는 병의 증상을 치료할 수 있다.

5. 침구

고대 인류가 상처가 나거나 병이 있는 특수 부위를 석편으로 찔렀더니 통증이 완화되고 치유가 빨라진 것을 우연히 발견했는데 이것이 ‘침구(鍼灸)’의 기원이 되었다. 『황제내경』에는 복희씨가 만든 아홉 가지 종류의 장침(長針), 대침(大針), 원침(圓針), 호침(毫針), 봉침(鋒針), 참침(鏑針), 시침(銀針), 피침(鈹針), 원리침(圓利針)에 대한 기록이 나온다. 최초의 금침과 은침은 하북성 만성(滿城)의 서한시대 유승의 묘에서 발견되었으며, 침구는 대략 석편(石片), 석침(石針), 골침(骨針), 대나무침, 청동침, 철침, 금은침의 순서로 변화 발전되었다.

춘추전국시대 침구학은 비약적인 발전을 맞는데, 『황제내경』에는 그에 대해 비교적 체계적으로 쓰여 있다. 『황제내경』 총 153편 가운데 81편이 ‘침구’에 관한 기술이다. ‘침법(鍼法)’을 주로하며 보조로 ‘구법(灸法)’을 이용했다. 『황제내경』은 “작은 침을 이용하여 몸의 경맥(經脈)의 유통을 원활히 한다. ‘혈기(血氣)’의 균형을 유지하고, 기(氣)가 순행하거나 역행하는 길목을 잘 다스리는 데는 침밖에 없다”고 했다.



위진시대의 황보밀(皇甫謐)은 『침구잡을경』을 씀으로써 침구의학에 지대한 영향을 미쳤으며 북송 초 왕유일(王惟一)은 고금의 침구학 업적을 집대성하여 『동인수혈침구도경(銅人俞穴鍼灸圖經)』 세 권을 편찬했으며 또한 동인(銅

나) 2구를 제작하여 침 놓는 자리를 일목요연하게 볼 수 있게 했다.

또 만물은 오행(五行), 즉 화(火), 수(水), 목(木), 금(金), 토(土)로 대표된다. 이 다섯 가지 사이의 상호 원조와 상호 제약의 관계로써 사물의 변화를 해석한다. 상생 속에 상극이 있고 상극 속에 상생이 있으며, 상생과 상극이 공존함으로써 비로소 사물의 내부와 사물 사이에 상대적 평형이 유지되면서 부단히 발전할 수 있다. 이러한 음양과 오행은 상호 관련되며 분리할 수 없는 것으로 모두 장부(臟腑)와 경락(經絡) 등 인체 조직, 장기의 내재 관계를 인식하는 데 이용된다. 이와 같은 것을 토대로 인체의 생리와 병리, 진단과 치료의 진행을 분석하고 연구하며 해석한다.

장부는 인체의 여러 장기를 말하고, 그 속에서 중흥으로 달리는 생명의 기가 통과하는 통로가 경락이다. 우리 몸의 생리적 기능과 병리적 변화는 장부와 경락을 통해 보여주므로 증후(症候)를 판별하고 치료하는 데 중요한 기초가 된다. ‘장(臟)’이란 심(心), 간(肝), 비(脾), 폐(肺), 신(腎)의 ‘오장(五臟)’을 포괄한다. ‘심’은 혀에 그 모습을 드러내며, 혈액순환(血液循環)을 관장하고 오장을 주재하며 정신과 사고의 중추가 되므로 생명활동의 중심이 된다. ‘간’은 눈으로 그 모습을 드러내며 혈액을 저장하고 그 양을 조절하며 근육운동(筋骨運動)을 주도한다. 눈은 간으로부터 영양을 얻어서 비로소 밝게 볼 수 있다. ‘비’는 입으로 그 모습을 드러내며, 위장에서의 소화(消化)와 흡수(吸收)를 돕고, 영양분을 전신에 수송하고, 혈액 제조의 원천이 되며, 오장육부와 사지 골격이 모두 비로부터 영양을 의뢰하며, 후천(後天)의 본이 된다. ‘폐’는 코에 그 모습을 드러내며, 호흡(呼吸)을 주재하고 백맥(百脈; 모든 맥)을 모아 전신을 채우는 장기이다. ‘신’은 귀에 그 모습을 드러내며, 골수(骨髓)와 오액(五液; 인체의 각종 체액)을 주재하며, 체내 수액대사(水液代謝)의 평형을 유지하게 하고 발육(發育)과 생식(生殖)에 으뜸가

는 장기이다. 고대인은 신을 선천(先天)의 본이라 했다.

『황제내경』에 의하면 ‘부(腑)’란 담(膽), 위(胃), 대장(大腸), 소장(小腸), 방광(膀胱), 삼초(三焦)의 육부를 말한다. “전화물이불장(轉化物而不藏)이요, 고실이 불능만야(故實而不能滿也)”라 하여 소화와 흡수 및 배설의 장기라 했다. 음식물을 먹고 흡수된 영양분이 ‘정기’가 되어 혼과 더불어 혈액에 내장되며 주로 신과 간을 거쳐 폐를 중심으로 하여 전신에 전파되고, 소화는 위와 비를 주로 하여 이룩되며, 소장과 대장을 거쳐 외부로 배설되고, 소장과 대장에서 흡수된 수분이 좌신(左腎)을 거쳐비 뇨작용으로 오줌이 되어 방광을 경유하여 외부로 배출되고, 생식은 우신(右腎), 즉 명문(命門)에서 이루어진다. 이러한 모든 생명현상을 초경험적(超經驗的) 삼초의 힘으로 설명하려 했다.

6. 황제내경

『황제내경』에서 인간은 자연의 영향에서 벗어날 수 없다고 말한다. 사계절의 기후 변화, 밤과 낮의 일간(日間) 변화, 그리고 각 지방의 물과 흙, 식습관 등이 인 체에 영향을 미친다. 그러므로 인체의 생리(生理)와 병리(病理)를 이해하려면 자연 조건의 영향에 유의하지 않으면 안 된다. 또 음양오행(陰陽五行)이란 인체의 생리 적, 병리적 변화를 인식하고 설명하는데 이용하는 이론 및 방법이라고 정의하고 있다. 자연계의 사물의 변화는 모두가 음양(陰陽)의 대립과 조화라는 양면으로 되어 있다는 것이다. 이러한 양면에 내재하는 관련성과 상호작용과 부단한 운동이 사물의 성장과 변화 그리고 소멸의 근원이다. 그리하여 모든 물체의 발생과 발전을 ‘음양’의 변화로 해석하고 인식해야 한다고 이해된다.

또 만물은 오행(五行), 즉 화(火), 수(水), 목(木), 금(金), 토(土)로 대표된다.

이 다섯 가지 사이의 상호 원조와 상호 제약의 관계로써 사물의 변화를 해석한다. 상생 속에 상극이 있고 상극 속에 상생이 있으며, 상생과 상극이 공존함으로써 비로소 사물의 내부와 사물 사이에 상대적 평형이 유지되면서 부단히 발전할 수 있다. 이러한 음양과 오행은 상호 관련되며 분리할 수 없는 것으로 모두 장부(臟腑)와 경락(經絡) 등 인체 조직, 장기의 내재 관계를 인식하는 데 이용된다. 이와 같은 것을 토대로 인체의 생리와 병리, 진단과 치료의 진행을 분석하고 연구하며 해석한다.

장부는 인체의 여러 장기를 말하고, 그 속에서 중형으로 달리는 생명의 기가 통과하는 통로가 경락이다. 우리 몸의 생리적 기능과 병리적 변화는 장부와 경락을 통해 보여주므로 증후(症候)를 판별하고 치료하는 데 중요한 기초가 된다. ‘장(臟)’이란 심(心), 간(肝), 비(脾), 폐(肺), 신(腎)의 ‘오장(五臟)’을 포괄한다. ‘심’은 혀에 그 모습을 드러내며, 혈액순환(血液循環)을 관장하고 오장을 주재하며 정신과 사고의 중추가 되므로 생명활동의 중심이 된다. ‘간’은 눈으로 그 모습을 드러내며 혈액을 저장하고 그 양을 조절하며 근골운동(筋骨運動)을 주도한다. 눈은 간으로부터 영양을 얻어서 비로소 밝게 볼 수 있다. ‘비’는 입으로 그 모습을 드러내며, 위장에서의 소화(消化)와 흡수(吸收)를 돕고, 영양분을 전신에 수송하고, 혈액 제조의 원천이 되며, 오장육부와 사지 골격이 모두 비로부터 영양을 의뢰하며, 후천(後天)의 본이 된다. ‘폐’는 코에 그 모습을 드러내며, 호흡(呼吸)을 주재하고 백맥(百脈; 모든 맥)을 모아 전신을 채우는 장기이다.

‘신’은 귀에 그 모습을 드러내며, 골수(骨髓)와 오액(五液; 인체의 각종 체액)을 주재하며, 체내 수액대사(水液代謝)의 평형을 유지하게 하고 발육(發育)과 생식(生殖)에 으뜸가는 장기이다. 고대인은 신을 선천(先天)의 본이라 했다.

『황제내경』에 의하면 ‘부(腑)’란 담(膽), 위(胃), 대장(大腸), 소장(小腸), 방광

(膀胱), 삼초(三焦)의 육부를 말한다. “전화물이불장(轉化物而不藏)이요, 고실이 불능만야(故實而不能滿也)”라 하여 소화와 흡수 및 배설의 장기라 했다. 음식물을 먹고 흡수된 영양분이 ‘정기’가 되어 혼과 더불어 혈액에 내장되며 주로 신과 간을 거쳐 폐를 중심으로 하여 전신에 전파되고, 소화는 위와 비를 주로 하여 이룩되며, 소장과 대장을 거쳐 외부로 배설되고, 소장과 대장에서 흡수된 수분이 좌신(左腎)을 거쳐 비노작용으로 오줌이 되어 방광을 경유하여 외부로 배출되고, 생식은 우신(右腎), 즉 명문(命門)에서 이루어진다. 이러한 모든 생명현상을 초경험적(超經驗的) 삼초의 힘으로 설명하려 했다.

7. 상한잡병론

후한 말기 장사(長沙) 태수 장중경(張仲景)은 『소문(素問)』, 『침경(鍼經)』, 『난경(難經)』 등 고전 의서를 깊이 연구하고 처방을 널리 구하여 『상한잡병론(傷寒雜病論)』을 펴냈다. 상한(傷寒)이란 장티푸스나 인플루엔자 등 악성 유행병의 총칭이며, 잡병(雜病)이란 발열을 수반하지 않는 일반적인 만성병의 총칭이다. 이 책은 주로 약물에 의한 치료를 그 내용으로 하고 있다. 『상한잡병론』은 한의학의 변증논치(辨證論治)의 기본 법칙을 확립하고 발전시키는 데 크게 기여했다. 장중경은 『황제내경』 등 고전 의서의 기본 이론을 계승하고 풍부한 의료 경험을 결합하여 육경(六經)으로써 상한을 논하고, 장부(臟腑)로써 잡병(雜病)을 논하며, 이법과 방약을 포괄한 비교적 체계적 변증시치(辨證施治)의 이론체계를 세워 중국의학의 기초이론과 진단 및 치료를 긴밀하게 결합시켰다. 『상한잡병론』은 이후 상한에 관해서 기술한 『상한론(傷寒論)』과 잡병에 관해서 기재한 『금궤요략(金匱要略)』으로 나뉘어져 오늘날까지 전해지고 있다.

『상한론』은 상한의 발병에서부터 그 경과에 따라 변화하는 병의 흐름을ダイナミック하게 서술하고 있고 그때마다 그 변화에 대응하는 치료법이나 치료가 부적절 할 때 일어날 수 있는 병증과 그것에 대응하는 치료법까지 기술하고 있다. 장중경은 질병의 각종 증상을 사기(邪氣)가 들어온 경락과 장부의 깊이에 따라서, 그리고 환자의 체질에 따라서, 정기의 상태에 따라서, 병세의 강약에 따라서, 숙질 유무에 따라서 종합적으로 분석하여 발병의 규칙성을 찾아 치료 원칙을 확정지었다. 그는 창의적인 방법으로 외감과 열성병의 모든 증상을 여섯 개의 증후군과 여덟 개의 변증강령으로 귀결시켰다.

육경이라는 것은 태양(太陽), 양명(陽明), 소양(少陽), 태음(太陰), 소음(少陰), 궤음(厥陰) 등 여섯 개의 경락(經絡)을 가리키는데, 각각의 경(經)에는 족경(足經)과 수경(手經)이 있어 전부 12개의 경락을 포함함과 동시에 12개의 경(經)에 속하는 장부도 포괄한다. 예를 들면 태양경은 족태양경의 부, 즉 방광을 포함할 뿐만 아니라 수태양경의 부, 즉 소장(小腸)을 포함한다는 식이다.

이것의 임상적 의의는 다섯 가지가 있다. 첫째, 태양, 양명, 소양을 양증(陽證), 그 외 세 가지를 음증(陰證)이라고 하는 식으로 질병의 성질을 결정한다. 둘째, 태양병(太陽病)은 표(表), 소양(少陽)은 반표반리(半表半裏), 그 외는 리(裏)라고 하는 식으로 병의 정도를 결정한다. 셋째, 삼양병(三陽病)은 열증이 많고 삼음병(三陰病)은 한증이 많다는 식으로 한열의 경향이 결정된다. 넷째, 나쁜 기운과 좋은 기운의 소장(消長)과 증후의 특이점이 결정된다. 예를 들면 삼양경병은 실증(實證)이 많다고 하는 식이다. 마지막으로 입법처방(立法處方)이 결정된다. 즉 질병의 음양(陰陽), 표리(表裏), 한열(寒熱), 허실(虛實)에 의거해서 한(汗), 토(吐), 하(下), 화(和), 온(溫), 청(淸), 보(補), 소(消) 등의 치료법을 세워 치료의 방약을 결정한다. 예를 들면 태양

병은 신온해 표(辛溫解表; 자극성이 있는 몸을 따뜻하게 하는 작용의 약제에 의해 표를 해방하여 땀을 내게 하는 것)의마 황(麻黃), 계지탕(桂枝湯)이 좋다고 하는 경우이다. 이러한 방제는 엄격하고 정교한 조제법을 갖추고 있으며 증상에 따라 약을 더하거나 빼는 것이 가능하고 치료 효과도 뛰어나 현재까지 많은 의사들이 따르고 있다.

『상한잡병론』은 진단법과 약물을 주로 하는 치료법을 긴밀하게 결합한 최초의 임상의학서로, 그때까지의 경험 가운데 맥상(脈狀)과 증후(症候)와 약(藥)과의 관계가 지식으로 축적된 것을 집대성한 것이다. 춘추전국시대로부터 전한(前漢)에 이르는 시대에 의원은 집단으로서 존재했다. 그러다가 후한(後漢)에 이르러 의학의 학파는 해체되고 그중에서 개인의 저작이 나오기 시작한다. 이를 선언한 것이 바로 『상한잡병론』이었다. 장중경의 저서로는 이 책 외에도 『변상한(辨傷寒)』 10권, 『평병약방(評病藥方)』 1권, 『요부인방(療婦人方)』 2권, 『오장론(五臟論)』 1권, 『구치론(口齒論)』 1권이 있다.

8. 이시진의 본초강목

주(周)나라에서는 이미 사용하는 약물의 종류가 많아지고 투약 경험의 쌓이고 풍부해지니, 『주례(周禮)』, 『시경(詩經)』, 『산해경(山海經)』에 약물에 관한 기록이 나타나기 시작했으며 서한(西漢) 초기에는 약물에 관한 전문서적 『신농본초경(神農本草經)』이 나타났다. 이 책은 태고에서 한대(漢代)에 이르는 기간 동안 민간에서 축적한 약물에 관한 지식을 총괄한 것으로 몇몇 의가가 이어가며 저술한 것이다. 이 책에 실린 약물은 모두 365종이다. 그 가운데 식물약이 가장 많은 252종이며, 동물약이 67종, 광물약이 46종이다. 약물의 효용과 사용 목적에 따라 상, 중, 하로 나누었고 상품은 120종으로 일반적으로 독성이 약하거나 무독하며 흔히 ‘보양 약물’이

라 불리는 것들이었다. 중품도 120종이며 유독한 것과 무독한 것이 있는데 대개는 보양과 질병치료를 겸한 약이었다. 하품은 125종이며 보통 독성이 있는 것이 많아 오직 치료 목적으로 사용되는 약물이다. 이 책은 먼저 약물 이론을 적고 약물의 채취 시기와 저장법 등을 기술했다. 치료할 수 있는 주요 병증(病症)으로는 약 170가지를 들었는데, 거기에는 내과, 외과, 부인과, 안과, 이비과, 치과 등의 질환이 포함되어 있다. 약효의 대부분이 정확하며 오늘날에도 꽤 실용 가치가 있는 것들이다.

이시진은 『신농본초경』 이후 역대 본초서적의 각종 약물 관련 자료들을 다시 분석하고 정리하여 강(綱), 목(目) 등의 체계로 배열했다. 그는 『신농본초경』 이래로 1,000여 년 이상 이어져온 상, 중, 하 삼품 분류법을 깨고 약물을 물, 불, 흙, 금석, 풀, 곡류, 채소, 과일, 나무, 곤충, 어류, 조개류, 가금류, 짐승, 사람 등 16부로 구분하고 총 60가지를 실었다. 또 약품마다 강이라고 하고 강 아래에는 목으로, 강목이 뚜렷했다. 뿐만 아니라 약물의 교정, 이름, 집해, 정도, 수취, 맛, 치료, 발명, 부록, 참고 방제 등 약물의 지식을 체계적으로 기술했다. 그는 중점은 명확하게, 내용은 상세하게, 분량은 많으나 번잡하지 않게 만들었다.

『본초강목』은 모두 16부, 52권으로 이루어져 있다. 유명 저서에 실린 약물 1,518종과 이전 사람들의 경험을 바탕으로 수록한 374종 등 모두 1,892종이 실려 있으며, 그중 식물이 1,195종을 차지한다. 역대 본초 저서들의 핵심을 흡수했고 이전의 착오나 잘못된 점을 고치고 부족한 부분을 보충했다. 저서 앞쪽에는 약물을 그린 그림 1,100여 개를 실었다. 『본초강목』에 실린 각 종류의 참고 방제가 11,096개인데 내과, 외과, 부인과, 소아과, 이비인후과 등을 포함한 임상에 두루 쓰이는 방제를 모아 놓았다. 치료할 수 있는 범위는 일상적인 질병과 다발병을 위주로 방제

의 형태도 환약, 가루, 석고 등 종류가 많았고, 방제들은 과학적이고 간편하며 아주 실용적이다. 약학의 백과전서라고 할 『본초강목』은 『천공개물』과 『농정전서』와 함께 명대의 백과사전적 과학서적의 걸작 세 편이 되었다.

9. 손사막의 천금요방

수당시대는 정치가 통일되고 경제문화가 꽃피던 시기로 대내외적으로 교통이 발달되면서 외부에서 들어오는 약물이 날로 증가했다. 약물 사용에 관한 경험도 풍부해지고 약물학에 대한 종합 분석도 객관적이어야 할 필요가 있었다. 이런 사회적 분위기 속에서 손사막(孫思邈)의 『비급천금요방(備急千金要方)』, 『천금익방(千金翼方)』이 세상에 나왔다.

그가 쓴 『비급천금요방』은 모두 30권으로 이루어져 있으며 의학총론, 부인과, 소아과, 철교, 제풍, 각기, 상한, 내질, 응저, 해독, 급성질환, 식치, 평맥, 침구 등으로 구분하여 232문, 5,300개의 방제가 들어 있다. 『상한잡병론』이 하나의 병에 하나의 처방을 썼다면 손사막이 쓴 『천금요방』에는 하나의 병에 여러 처방을 제시하고 또한 장중경의 최고 처방을 융통성 있게 이용했다. 어떤 경우에는 두 개의 처방을 묶어 하나의 복방(復方)을 만들어 사용하면서 치료 효과를 드높이기도 했다. 또 어떤 경우에는 하나의 처방을 여러 개로 나누어 각 증상에 대해 치료를 하기도 했다. 『천금익방』은 『천금요방』의 보충으로서 모두 30권으로 구성되어 있으며 이전의 본초 저서에 사용되지 않은 약물을 수록하고 많은 처방과 치료법을 보충했다. 이 책에 수록된 약물은 800여 종에 이른다. 당나라 이전의 의약학 분야의 성과를 체계적으로 엮은 이 두 저서를 한꺼번에 일컬어 『천금방(千金方)』이라고 부른다.

10. 금원사대가

1115년에 북방의 이민족이 금나라를 세우고 1127년에는 북송을 멸망시켜 송의 왕실을 남쪽으로 쫓아내고 중국의 지배자가 되었다. 이어서 몽골족이 일어나 금나라를 멸망시키고 국호를 원이라 칭하고 1367년까지 중국을 지배했다. 이 금원시대에는 특이한 문화가 일어나 중국의학에 유파가 생겼다. 유완소(劉完素), 장종정(張從正), 이고(李果), 주진형(朱震亨)은 ‘금원사대가(金元四大家)’로서 당시 널리 성행했던 운기학설(運氣學說)을 중시했다. 하지만 실제 임상에서는 서로 강조하는 내용이 달라 독립된 학파를 이루었다.



‘한랭파(寒冷派)’로 불리는 유완소는 병을 일으키는 주된 원인을 화기(火氣)라고 지적하면서 병을 치료하기 위해서는 한랭 약물을 사용하여 심화(心火)를 내리고 신수(腎水)를 보강해야 한다고 했다. 유완소는 송나라 때 쓰인 『화제국방(和濟局方)』에 따라 치료를 행하는 국방과가 간편하게 처방하는 의학적인 폐해를 보고 복고 주의를 제창하고 소문의 주석서인 『소문현기원병식(素問玄機原病式)』을 저술

하여 의설을 주장했고 치료법으로는 장중정의 방법론을 응용하여 한랭의제를 많이 사용했다. 질병의 주원인이 열에 의한 것이 많기 때문에 화를 억제하기 위하여 사화제로서 사용한 것이었다.

‘공하파(攻下派)’로 불리는 장종정은 질병이 주로 인체를 침입한 사기(邪氣) 때문에 생긴다고 파악하고 치료의 방법으로 사기를 몸 밖으로 내보내는 땀 흘리기(汗), 토하기(吐), 설사(下)의 세 가지 방법을 강조했다. 장종정은 처음에는 유완소의 의방을 추종하고 소문, 난경 등을 연구했는데 후

에는 스스로 깨우쳐 상한론의 방법인 한토하(發汗, 嘔吐, 瀉下)의 3법을 실행하여 공격적인 치료법을 사용했다. 특히 병독의 배출을 꾀하기 위하여 하제를 많이 사용했다. 장종정의 저서 10부 중 『유문사친(儒門事親)』은 그가 가장 공들인 저작이다.

이고는 원기(元氣)의 충족 정도가 인체의 건강과 질병을 결정짓는 중요한 요인이라고 설명하면서, 오장육부 가운데 비장과 위장의 작용을 강조했다. 그가 ‘보토파(補土派)’로 불리는 것은 오행이론에서 비장과 위장을 토(土)에 속하는 장부로 보고 있기 때문이다. 이고는 장종정의 문인이었던 장원소(張元素)의 제자로서 “운기는 해마다 변하므로 고방으로는 현재의 병을 치료할 수 없기 때문에 새로운 시대의 질병에는 새로운 처방을 사용해야 한다”는 장원소의 운기설에 따라 유장파의 공격적 치료가 체력을 상하게 하는 폐해가 있음을 비판하고 전신의 체력 증강을 주안점으로 삼아 비위를 보하는 데 전념했다. 그것은 오행설에 따라 비가 토에 속하고 토는 만물의 어머니이므로 이것을 보하는 것이 치료의 근본이라고 주장한 것으로 그는 자기의설을 해설하여 『비위론(脾胃論)』을 썼다. 그의 주장에 기초하여 제창한 ‘보중익기탕(補中益氣湯)’은 오늘날에도 유명하다.

주진형에 따르면, 사람들이 가진 색욕이나 식욕과 같은 지나친 욕심이 몸 안의 상화(相火; 몸안에 있는 양기의 일종)를 격동시키게 되고, 그로 인하여 인체에는 항상 음정(陰精)이 부족하다고 한다. 결국 인체의 원기가 손상되고 질병이 발생한다는 것이다. 따라서 욕심을 줄이고 음식을 절제하는 등 마음을 다스려 건강을 지켜야 하고, 만약 병이 들면 음정을 보충하여 화기를 내려야 한다는 ‘자음(滋陰) 이론’을 전개했다. 주진형은 이고의 문인이었던 나지제(羅知悌)의 제자로서 이고의 심오한 원리를 닦아 유장이 3가의 설을 절충하여 자기의 학설을 크게 세웠다. 그는 질병을 외상과 내

상으로 나누고 비위가 쇠하면 전신이 병들기 때문에 비위를 보하여 원기를 끌어올리는 것이 병 치료의 요결이라고 설명하고 또 ‘양유여 음부족(陽有餘 陰不足)’의 설을 제창하여 양은 항상 넘치고 음은 항상 부족하며 기는 항상 넘치고 혈은 항상 부족하다고 설명했다. 또한 음을 항상 축축이 적시고 화를 내리는 것을 중요하게 여겨야 한다고 하며 ‘자음강화탕(滋陰降火湯)’을 만들었다.

유장파(劉張派)는 유완소와 그의 후계자인 장종정을 중심으로 한 학파로서 금나라의 대표적인 학파이다. 이주학파(李朱學派)는 원시대를 대표하는 학파로서 유장학파에 대한 비판적 입장에 섰다. 유완소와 장종정의 병인론(病因論)의 주된 특징이 오운육기(五運六氣)의 외적인 작용에 주목한 것이라면, 이고와 주진형은 오운육기의 작용에 따른 인체 내부의 정기(精氣)의 손상을 직접적인 질병의 원인으로 이해했다. 이처럼 금원시대에는 중국 의학이 두 학파로 나뉘어졌는데 그 의학 원리는 모두 음양오행설(陰陽五行說)과 오운육기설(五運六氣說)을 기초로 하고 있으며 또 장부경락배당(臟腑經絡配當) 및 인경보사설(引經報使說)을 이용했다. 이 설들은 원래 『황제내경』의 침구요법에 관한 이론들이 성리학의 영향을 받아 더욱더 사변적으로 된 것들이다.

금원사대가의 이론 중에 유완소와 장종정이 주장한 화열(火熱)과 공사(攻邪)를 패도(霸道)라고 한다면, 이고와 주진형의 토(土)와 음(陰)을 보충하자는 주장은 왕도(王道)에 비유할 수 있다. 만약 인체를 각각 음양을 포함하는 태극에 비유하고 질병을 음양의 불균형이라고 한다면, 패도는 넘치는 부분을 없애는 일을, 왕도는 부족한 부분을 늘리는 일을 담당하는 것이다. 궁극적으로 추구하는 목표는 ‘음양의 균형’이다.



제10장

한중일 한의학의 특징

1. 고려의 향약	290
2. 동의보감	291
3. 동의수세보원	292
4. 북한의 한의학	294
5. 일본의 해체신서	295
6. 중국의 중의학	299

= 0
H
.CO



제10장

한중일 한의학의 특징



1. 고려의 향약

우리나라의 민족 의학은 고조선시대에 이미 싹트기 시작하여 고려시대로 들어오면서 민간의료 자료들이 한문으로 기록되기 시작했다. 그러나 이들 민간방의 특징은 종합 의서가 아닌 ‘향약(鄕藥)’을 위주로 하는 방식과 처방으로 산간벽지 등 의서가 없는 지역에서 간단히 치료할 수 있는 정도였다. 향약이란 중국의 의학체계인 한약(漢藥)과 당약(唐藥)에 대한 상대적 개념이다. 이런 제목을 가진 의서들로 『향약구급방(鄕藥救急方)』과 『향약고방(鄕藥古方)』이 있다. 『향약구급방』은 약재들을 한자 속어(우리말)로 표기했다. 고려 말에는 삼화자(三和子)의 『삼화자향약방(三和子鄕藥方)』이 집대성되었다. 향약 전통은 조선시대로 이어져 『동인경험방(東人經驗方)』이 추가된 『향약제생집성방(鄕藥濟生集成方)』 30권이 태종대에 간행되었다.

세종은 백성들이 쉽게 ‘향약’을 재배하고 채취하도록 지침서 『향약채취월령(鄕藥採取月令)』을 발행했다. 이 책은 160종의 약용식물의 성질과 약효 등을 기록하고 어떻게 건조시켜야 하는지도 설명하고 있다. 이 책이 완성된 후 더 큰 열매로 맺어진 것이 『향약집성방』이다. 『세종 실록 지리지(地理志)』에는 각 지방에서 어떤 약재가 나며, 그 가운데 중앙으로 공급 하

는 종류는 어느 것들인지 등이 밝혀져 있다.

또 세종은 원나라에 이르는 동안 축적된 의학 정보를 집대성할 목적으로 금원사대가의 의술을 정리하려는 계획을 수립했다. 이러한 노력의 결실은 『의방유취(醫方類聚)』라는 백과사전 프로젝트로 빛을 보았다. 1445년에 완성된 『의방유취』는 365권으로 출간되었는데 너무나 방대하여 1477년 266권으로 다시 정리하여 30질만 출간되었다.

2. 동의보감

조선의 한의학은 허준의 『동의보감(東醫寶鑑)』이 가장 우뚝한 봉우리를 이룬다. 이 책은 25권의 분량 속에 「내경(內經)편」, 「외형(外形)편」, 「잡병(雜病)편」, 「탕액(湯液)편」, 「침구(鍼灸)편」이 구분되어 있는데, 그 편리함 때문에 한의학의 중요한 고전이 되어 동아시아 각국에서 여러 차례 출간되었다. 허준은 수많은 의서와 학파들의 난립으로 혼미해진 상황에서 전통의학의 핵심을 찾아내 오류를 바로 잡으려 했다.

중국은 땅이 매우 넓고 지역마다 기후가 달라서 풍토병이 많다. 이런 상황에서 중국의 의원들은 병의 원인을 몸 외부의 요인인 풍, 한, 서, 습, 조, 화에서 찾게 되었고 주변의 기운에 따라 병을 나누었다. 의서도 그에 따른 증상과 치료 방법을 기록하는 방식으로 구성했다. 중국 의서에 많은 영향을 받은 조선 초기의 의서들도 자연히 위의 방법을 따랐다. 그런데 허준은 조선은 중국과는 달리 풍토병이 거의 없기 때문에 병의 원인이 외부보다는 사람 몸 내부에 있다는 생각을 가졌다. 『동의보감(東醫寶鑑)』은 몸을 안팎으로 나누어 신체와 그에 따른 병을 파악하고(내경; 內經, 외형; 外形), 여기에 속하지 않은 병을 따로 한 항목으로 묶었다(잡병; 雜病). 마지막으로 각 질병에 대한 치료 수단(탕액; 湯液, 침구; 鍼灸)을 두었다.

허준은 이 책에서 대략 230여 가지의 의서를 인용하고 있는데, 다른 책들과는 달리 그 출전을 꼼꼼히 밝혀놓았다. 참고서적 명을 살펴보면 총 86종의 의서 명이 나열되어 있는데, 선진 및 진한시대의 의서가 13종, 양진 및 남북조시대의 의서가 9종, 수당시대의 의서가 10종, 송대의 의서가 15종, 금원시대의 의서가 16종, 명대의 의서가 20종, 그리고 국내 의서가 3종이다.

『동의보감』의 특징을 요약하면, 실용주의 사상을 적용하여 각종 의서를 취사 선택하는 데 간편하면서도 실용성이 있으며, 의학사상의 중심인 ‘정기신론(精氣神論)’에 입각한 내장기의 생리기능의 변조와 정신수양의 섭생에 주관을 두고, 복약과 치료는 이차적으로 보고 있다. 약재는 국산 약재(鄉藥材)의 사용을 권장했으며, 고방의서를 고증하면서 인용한 학설이나 처방의 출처를 상세히 기록하고 있으며, 처방의 용량에 특히 유의하고 표준 용량의 기준을 세우는 한편, 복용법까지 명시하고 있다. 특히 허준의 의학사상은 『동의보감』 서문과 「집례」에 걸쳐 일관되어 자주적인 민족 의학의 토대를 완성하고 있다. 그 후 허준의 의학사상은 강명길(康命吉)의 『제중신편(濟衆新編)』, 황도연(黃道淵)의 『방약합편(方藥合編)』, 이제마(李濟馬)의 『동의수세보원(東醫壽世保元)』으로 이어졌다. 여기서 『제중신편』과 『방약합편』은 『동의보감』을 기본으로 그 내용을 발췌하고 체계를 간편하게 하여 임상의로 하여금 환자 진료를 편리하게 한 책이다.

3. 동의수세보원

이제마의 『동의수세보원』은 사상의학의 원리가 담겨 있는 책으로 사람을 장리(臟吏)와 성정(性情)에 따라 네 가지, 즉 태음인, 소음인, 소양인, 태양인으로 나누었다. 전통 한의학은 자연현상이 인체에 미치는 영향에 주

목하고 이를 음양오행의 상생 상극 개념으로 해명하려고 했으나 이제마는 인간을 사상구조 속에 존재하는 경험적 존재임을 검증하려고 했다. 그리고 이러한 경험적 관점에서 인간의 존재구조와 도덕문제를 재구성한 다음 질병 치료의 새로운 방법을 모색했다. 이처럼 우리나라 민족 의학인 한의학은 향약시대를 거쳐 조선조에 이르러 마음과 몸을 함께 다스리는 심신의학, 몸의 형상과 마음의 성정에 따른 체질의학이 나오면서 민족 의학으로서 자주 의학이 성립되었다.

음양오행과 사상구조는 추상과 경험적 방식의 차이로 구분할 수 있다. 즉 몸을 이해하는 이제마의 관점은 첫째, 인간의 지각과 행위 능력은 마음이 아닌 몸에 갖추어져 있다. 둘째, 지각과 행위능력은 몸의 보편적 기능이다. 몸에는 천기와 인사를 살피고 행하는 지각 기능, 그리고 지혜와 행업(행동과 사업)을 실행하는 기능과 함께 호선(好善) 오악(惡惡)과 사심(邪心)과 태행(怠行)의 기능도 있다. 이들 기능은 보편적 기능으로서 개인차가 없다. 셋째, 다만 구체적인 장부의 기능에는 선천적인 개인차가 존재한다. 폐비간신(肺脾肝腎)의 대소는 크기가 아닌 기능의 대소를 말하며, 이 기능의 대소는 선천적 차이를 의미한다. 이 차이를 근거로 체질을 유형화한 것이다.

19세기 개화기에 중화적 ‘구질서’에서 벗어나지 못했던 조선은 미국의 선교사들이 한반도 각지에 서양식 병원을 세웠을 때 ‘서양 의료’에 소극적이었다. 이후 일제가 병원을 통하여 제국의 경계선 확대를 꾀했을 때 ‘한의학’은 탄압을 받았다. 우리나라나 중국이나 해방 이전의 한의학은 다 같이 『황제내경』의 철학사상을 기본 이론으로 한 것으로, 우리나라는 허준과 이제마에 이르러 우리나라 사람의 체질, 기후, 풍토에 맞는 ‘동의학(한의학)’이 마련되었으나 체계적으로 재정립되지는 못했다. 이렇게 우

리나라의 한의학은 새로운 체계를 정립하지 못한 채 중국의 한의학이나 서양 의학을 따르고 있어서 정체성이 거의 없어졌다. 해방 후 1992년의 의학 분쟁으로 한의학은 제도권의 의학이 되었다.

4. 북한의 한의학

북한에서는 ‘한의학’이 실용주의적 입장에서 서양 의학과 공생했다. 질병 치료에서 협진은 물론 한의사가 진찰 방법에서 서양의학적 방법을 쓰거나 서양 의학 시술자가 한의학 적 치료 방법을 쓰는 등 두 의학의 경계가 허물어졌다.

북한은 한약 생산을 일찍부터 매우 중시했다. 생약의 재배와 채취는 의약품의 원료로서 한국 전후 복구 차원에서 더욱 중시되었다. 피마자, 치황, 천궁, 작약, 해바라기 및 참깨 등의 약초 및 공예 작물들을 농가 주위 휴한지 등에 재배하도록 장려했다. 1958년에는 400여 종의 생약을 859톤 채취하여 외국에 수출까지 했다. 1964년에는 생약 수매량이 5,867톤에 달했다. 1966년에는 분산되어 있는 약초 재배 기지를 정비하여 약초 생산을 전문화·집약화하고, 이에 대한 과학기술적 지도를 강화함으로써 단위당 수확고를 결정적으로 높였다. 1988년 한약이 그 자체로 효과도 좋고, 서양 의약품 수입의 어려움도 풀 수 있다는 필요성에서 약초의 재배 면적이 계속 증대되었고, 약초의 재배와 채취에 참여하는 기관이나 주민의 수도 크게 증가했다. 그리하여 1995년 1만 4,000정보(町步)의 면적에 단삼, 감초, 단너삼(황기) 등 100여 종의 약초를 심어 2,500톤의 약초를 채취했다. 한약 자원 생산에 관한 독려는 오늘날까지도 이어지고 있다.

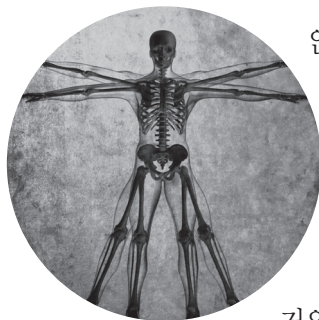
2003년 북한은 『고려임상의전』을 내놓았다. 이 책은 호흡기병, 순환기

병 등 20개의 계통별, 전문 과별로 나누어 총 500개의 질병을 다루어 한의학이 다룰 수 있는 거의 모든 질병을 포괄했다. 또한 각 질병마다 질병의 개념, 원인, 증상 및 진단, 변증(辨證), 예방, 치료를 담았고, 치료 방법으로는 변증치료, 경험치료, 사상치료(四象治療), 침뜸치료, 고려 전자치료, 수법치료(水法治療), 민간요법 등을 망라했다. 또한 일부 질병들에서는 구급치료, 신의 고려배합치료, 자연치료, 식사요법 등을 같이 다루었다. 진단법으로는 서양의학적 진단과 한의학적 진단을 같이 썼다.

5. 일본의 해체신서

일본의 한의학은 무로마치(室町)시대 말기에 명나라의 금원의학(金元醫學)을 도입하면서부터 점차 형성되어왔다. 초기에는 이주의학(李朱醫學)이 중심이었는데 그 의학은 음양오행설을 근간으로 하고 있었다. 이 유파는 아즈치(安土), 모모야마(桃山)시대에 마나세도산(曲直瀬道三)이 확립했기 때문에 ‘도산류(道三流)’라고 불렸다. 그 후에는 이 유파를 ‘후세파(後世派)’라고 불렀고 그 의학은 후세방(後世方)이라 했다. 에도시대 중엽에 『상한론(傷寒論)』을 연구하고 이것에 기초하여 치료를 행하는 유파가 일어났는데, 이것을 ‘고방파(古方派)’라고 하며 그 의학을 고방(古方)이라 불렀다. 고방파는 『상한론』과 『금궤요략(金櫃要略; 원래 ‘상한잡병론’)』 외에도 수당시대의 『외대비요(外臺秘要)』, 『천금방(千金方)』 등에 기초하여 치료를 행했는데, 그때 급성 열성병에 대한 치료법이 쓰여 있는 『상한론』을 열이 없는 만성병 치료에도 응용했다. 이점이 고방파의 커다란 특징 중 하나이다.

그 후 고방을 중심으로 하고 후세방의 약(처방)을 함께 이용하는 유파가 나타나 이 유파를 ‘절충파(折衷派)’라고 불렀다. 그러나 절충파는 후세방의 처방을 이용하면서도 후세파의 이론인 음양오행설에는 그다지 구애받지



않고 소위 입으로 전하는 비결(口訣)에 따라 그것을 이용하는 경우가 많았기 때문에 일부에서는 이 유파를 구결파(口訣派)라고도 불렀다.

이렇게 일본에서도 『황제내경』을 기본으로 한 의학이 형성되었으며 이런점에서 동아시아 3국이 거의 비슷한 체계를 가지고 있었다. 그러나 18세기가

되면서 3국 공통적으로 전근대적 사유에 대한 회의와 의문이 일어났다. 일본은 사변적인 성리학을 부정하고 실증적인 경향으로 흘렀다. 한의학에서는 고방파(古方派)의 『상한잡병론』이 중시되었다. 이들은 ‘내경의학(內經醫學)’의 아들이라 할 수 있는 소위 ‘이주(李朱)의학’을 강하게 비판했다. 이러한 흐름의 하나로 야마와키 도요(山脇東洋)는 의학을 공부하면서 가졌던 의혹을 해부를 통해 해결해보려 했다. 그의 해부학 책 『장지(藏志)』는 이렇게 해서 나왔다. 그러나 한의학은 ‘기(氣)’의 과학이다. 기는 몸을 통해 느끼는 것이다. 사람이 죽으면 기가 없어지고, 기가 없어지고 난 뒤의 그릇(藏府)인 몸은 더 이상 의미가 없다. 그러므로 이런 관점에서는 해부나 해부학은 의미가 없다. 해부학은 기의학인 한의학과는 아무런 관계가 없다.

일본에는 실용성을 추구하는 서학인 ‘난학(蘭學)’이 있었다. 이때 나온 『해체신서(解體新書)』는 근대화의 상징이 되었다. 이 책은 독일의 쿨무스(Johann A. Kulmus)가 펴낸 『Tabulae Anatomicae, 1743』를 번역한 것이다. 『해체신서』에서 해체는 장분(藏分)을 말한다. 장을 나누어 갈라 본다, 즉 해부한다는 말이다. 『해체신서』에 따르면 해부의 방법은 여섯 가지가 있다. 첫째는 뼈와 관절을 조사하는 것이고, 둘째는 선(편도선과 같이 분비작용을 하는 기관)이 있는 장소를 조사하는 것, 셋째는 신경을 조사하는 것, 넷

째는 맥관(脈管)의 주행과 맥이 닿는 곳을 조사하는 것, 다섯째는 장기(臟器)의 형상과 그 작용을 조사하는 것, 여섯째는 근육의 주행을 조사하는 것이다.

스기타 겐바쿠(杉田玄白) 등이 해부학 책을 번역하기로 한 것은 무엇보다도 당시 네덜란드의 뛰어난 기술에 대한 감명이었다. “생각하건대 네덜란드의 기술은 대단히 뛰어나다. 지식이나 기술 분야에서 사람의 힘이 미치는 한 궁구(窮究)를 다하지 않은 것이 없다. 그중에서도 가장 신속하게 세계에 은혜를 줄 수 있는 것은 의학이다.” “중국의 치료법이나 학설을 연구해보면 그것은 무리한 억지가 많고 더구나 모자란 곳이 있기 때문에 이것을 명백히 하려고 하면 점점 알 수 없게 되고 이것을 바로 잡으려고 하면 더욱 틀어져버려서 일상적으로 쓸 수 있는 치료법은 하나도 없다.” 이들에게 기존의 한의학은 완전하지 못할 뿐만 아니라 근본적인 한계를 가진 것이었다. 이들은 기존의 한의학이 갖고 있던, “병은 자연 속에서 자연의 일부인 몸 안의 음과 양이라고 하는 기가 어긋난 것”이 아니라 특정한 장소에 있는 몸의 구조의 이상에서 오는 것이라고 생각했다.

이들이 이러한 질병관을 갖게 된 데에는 배경이 있다. 첫째는 기존의 한의학이 외과가 아니라 내과를 중심으로 발달되어왔다는 점이다. 한의학은 기의학이기 때문에 거기에서는 몸으로 느끼는 기가 중요한 것이어서 그것을 가능하게 하는 구조적 실체로서의 내장과 신경은 의미가 없고, 오로지 기의 작용 기전을 밝힐 수 있는 내경과 경락만이 중요했다. 이런 점에서 외과라는 과목이 없었던 것은 아니지만 적어도 구조적 실체에서 직접 발생하는 질병, 예를 들면 골절과 같은 질환에서 일정한 한계를 보였다는 점이다. 둘째는 이러한 상황에서 일본에 도입된 초기의 서양의학은 남만류(南蠻類)나 화란류(和蘭類)라고 하는 외과가 중심이었다는

점이다. 그리고 이렇게 도입된 외과는 의학만이 아니라 네덜란드의 학문과 문명을 가리키는 난학 전반에 대한 신뢰와 명성을 가져왔다. 세 번째는 17세기 중반부터 시작된 ‘고의방파(古醫方派)’의 성립이다. 고의방파는 기존의 사변적인 한의학 이론을 부정하고 오로지 병 자체의 진행과정과 그에 대한 치료에 중점을 두었다. 특히 고의방파를 만든 고토곤잔(後藤良山)은 모든 병은 하나의 기가 머물러 막혀서 생긴다는 ‘일기류체설(一氣留滯說)’을 주창했다. 그에게는 일기(一氣) 그 자체보다는 그것이 특정한 장소에 머물러 막혀 있다는 사실이 더 중요했다. 이런데서 일본만의 고유한 ‘복진(腹診)’이 중요한 진단의 수단으로 발전한다. 이런 점에서 서양의 근대의학이 도입되기 이전에 일본에서는 기를 부정하면서 해부를 받아들일 내재적 준비가 되어 있었다.

『해체신서』를 번역한 사람들의 관심은 기가 어느 장소에서 막혔는지에 있었다. 이렇게 되면 기는 질병을 이해하는 과정에서 별의미를 가질 수 없다. 이제 기는 있어도 그만 없어도 그만인 것이다. 이런 상황에서 해체학, 곧 해부학의 도입은 그동안의 한의학의 단점으로 간주되는 외과를 보충하는 것은 물론 기를 배제한 내과의 성립을 가능하게 하는 획기적인 계기가 된다. 결국 『해체신서』가 해체한 것은 단순한 인체가 아니었다. 그것은 철학의 해체였으며 나아가 한의학의 해체였다.

일본은 『해체신서』의 번역과정에서 보여주듯 스스로 서양의학서를 번역하고 서양의학을 일본에 재구성했다. 이러한 수용된 서양의학은 이후 천황제와 제국의 이익을 위하여 적극적으로 이용되었다. 자연, 이전의 전통의학은 보완 의학의 모습으로서 한방(漢方)으로 만족해야만 했다.

6. 중국의 중의학

명나라 말기와 청나라 초기를 경계로 의학 분야에서 외부 문화의 영향이 다른 양상으로 나타났다. 그 이전에는 인도나 시암 등 중앙아시아, 남아시아, 서아시아 지역에서 의학이 전해졌지만 중국 전통문화와 본질적인 차이가 없었기 때문에 전체적으로 큰 충돌 없이 융합되거나 흡수되었다. 이후에는 완전히 이질적인 근대 서양의학 지식이 유입되었지만 중국의 한의사들은 여전히 “한의학과 서양 의학은 통한다”거나 “서양의학의 근원은 한의학이다”라는 태도를 보였다.

그러다가 아편전쟁에서 패한 후 일본이 메이지유신을 단행한 것처럼 중국에서도 한의학을 완전히 없애자는 주장이 제기되었다. 한의학은 생존의 위협을 느끼자 자신의 장점과 존재의 가치를 부각시켜 변호하고 상대방의 장점을 받아들여 자신의 가치를 더 높이는 작업을 한다. 또한 서양의학의 유입으로 한의학은 수많은 생명과학의 기본 지식을 갖추었다. 서양의학이 들어온 후에야 경락이 혈관이 아니라는 것을 알았고 경락과 장부가 무엇인지 고민하기 시작했다. 이런 사고를 바탕으로 ‘경락학설’과 ‘장상학설’ 등 한의학의 기초이론이 마련되었다.

한의학 치료의 가장 기본적인 특징인 동시에 서양의학과 가장 차별화되는 것이 ‘변증시치(辨證施治)’이다. 변증시치란 각종 증상과 체질 등의 조건을 종합하여 추상적으로 나타나는 증상, 예를 들어 허증(虛症), 실증(實症), 한증(寒症), 열증(熱症)과 같은 증상으로 치료법을 결정하는 행위이다. 이 개념도 서양의학이 들어옴으로써 확실해졌다.

20세기로 접어들면서 외국에서 서양의학을 배운 사람들이 급증했고, 그들은 귀국하여 여러 단체를 설립하면서 ‘의학의 근대화’를 강하게 주장했다. 이들은 곧 ‘한의학’의 복권을 꾀한 전통의학 종사자들과 충돌한다.

이후 근 30년 동안 한의학에 대해 서양의학으로 해석할 수 있는 부분은 과학이고 서양의학으로 해석할 수 없는 것은 비과학이라는 태도를 취해왔다.

이 동안에 한의학의 유효성을 몸으로 느낀 경험과 오랫동안 현대의학으로 치료할 수 없었던 질병이 한의학 처방으로 치료된 경험이 있어서 한방의 명맥이 지켜져왔다.

(한의학은 실용적인 치료의 학문이다. 한의학에서는 진단과 치료가 일체이다. 한의학은 선배들의 수많은 경험 위에서 틀을 갖춘 것이므로 왜 치료가 되는가에 대한 추구는 별로 이루어지지 않았지만 치료 효과는 높다. 또 한의학은 고대 중국의 자연철학에 그 근거를 구하고 자연과의 조화-순응이라는 형태로 생명을 받아 들이고 있다. 한의학 이론에는 동아시아 전통문화의 관념과 사유방식이 체현되어 있다.)

1949년, 사회주의 국가가 성립하고 모택동(毛澤東)이 지도력을 발휘하게 되면서 한의학은 새로운 시대에 맞게 중국의학으로 재발견되었다.

일반적으로 한의학은 철학이라고 하고 서양의학을 과학이라고 하는 것은 인식 방법이 한의학은 철학적이고 서양의학은 과학적이기 때문이다. 이렇게 볼 때 과학적 인식을 토대로 가지고 있는 세계인에게 한 의학을 알리려면 한의학의 철학적 방법이 과학적 방법으로 바뀌어야 한다.

인체와 질병은 모두 복잡하기 때문에 실제로 현대의학과 과학 사이에는 어느 정도 모순이 있다. 한의학에서는 세상에 똑같은 사람은 없기 때문에 똑같은 병을 앓는 사람도 없고 그래서 변하지 않거나 똑같은 치료법은 없다고 말한다. 이것이 한의학이 서양의학보다 뛰어난 부분이기도 하다. 그러나 똑같지는 않아도 대부분은 양의 차이만 있을 뿐이다. 그래서 한의학에서도 오랜 시험 끝에 일부 기본적인 치료 원칙과 처방을

만들 수 있으며 이를 기반으로 ‘미리 조제해놓은 한약’이 끊임없이 생산될 수 있었다. 현재 중국의 한의학은 이미 『황제내경』시대의 한의학이 아니며 20세기 초의 한의학과도 사뭇 다르다. 중국의 한의학은 현대화되었고 고대 한의학과 현대 한의학의 차이는 서양의학과의 차이보다 훨씬 더 크다.



제11장

일본의 근대과학

1. 일본 에도시대의 국학운동	304
2. 메이지유신	306
3. 모방과 개선	309
4. 산업입국	312
5. 가전산업 및 자동차	317
6. 컴퓨터	322
7. 반도체 생산	326
8. 전자부품재료 산업	327
9. 일본 모델의 탄생	329
10. 노벨상	334

= 0
H
CO



제11장

일본의 근대과학



1. 일본 에도시대의 국학운동

에도시대 전략적으로 가장 중요한 중심 지역은 쇼군(將軍)이 직접 통치했으며 나머지 지역은 다이묘(大名; 領主)의 지배를 받는 250여 개 이상의 영지로 나뉘어졌다. 그러나 다이묘들은 영지 내에서 무소불위의 권력을 가지고 있어서 중세유럽의 봉건제와 비슷했다. 이러한 일본의 분권화는 새로운 상품과 기술의 개발을 촉진했다. 경제력에서 다른 지역에 뒤떨어진다는 끊임없는 위기의식으로 영지들은 하나둘씩 상품을 개발하고 산업을 육성했다. 그러나 일본의 사회계급은 무사(士), 농부(農), 장인(工), 상인(商)이라는 네 계급으로 엄격히 나누어져 있어서 기술지식은 가족으로만 전수되었다. 한 가족의 농사법은 다른 사람들에게는 비밀이었다. 목공과 칠기 등 제조기술들은 십대 소년들이 기술 장인의 집에 살면서 교육을 받고 기술을 배웠다. 도자기 기술은 몇몇 가정으로만 전수되었으며 특수 마을에 모여 살았다. 간장, 정종, 면직물, 도자기와 같은 생필품도 각 지역에 한두 개의 특산품으로 전문화되어 있었다. 이렇게 17세기와 18세기에는 각 지역마다 독특한 기술력과 창조적 양식을 가진 숙련된 노동계층만 있었다. 국내시장이 소규모로 분할된 당시의 일본에서는 지

역의 자원과 전문성을 살려 상품을 개발하는 것이 유리했다. 이에 따라 칠기는 지역에 따라 금, 은, 진주를 비롯해 심지어는 달걀껍질이 사용되기도 했고 어떤 곳에서는 여러 가지 금속 조각을 섞어서 칠하기도 했다. 칠 속에 모양을 새겨 넣기도 하고 제품의 마무리 단계에도 특별한 기술을 사용했다. 일본은 이렇게 공예품만 하더라도 재료는 전혀 발달시키지 않고 같은 기술을 명인의 경지에 이르게 하는 이른바 자연주의에 뿌리를 두고 있다.



일본에서 장인 공동체가 생존하고 성장할 수 있었던 것은 상품과 아이디어의 전국적인 유통로와 관계가 있다. 에도시대 성곽 도시들은 상업 활동의 활기찬 중심지가 되었다. 특히 쇼군이 있는 에도는 인구 100만 이상의 거대도시로 다른 모든 지역의 온갖 상품이 유입되었다. 서부에서는 오사카가 일본 최대 곡창지대의 생산품이 거래되는 중심지였다. 1724년과 1730년 사이에 오사카에서 에도로 연간 면직물 1.3백만 톤, 간장 9.8백만 톤, 정종 1천 5백만 리터가 수송되었다. 에도시대의 일본에는 중국과 같은 사상적 제도적 제한은 없었다. 그렇지만 한 편으로는 중국문화를 강하게 숭배하고 다른 한편으로는 정치적 우월감을 같은 듯 이율배반적 감정이 공존했다. 18세기까지는 유교사상에 대항할 수 있는 건실한 사상체계는 불교뿐이었다. 그러나 불교와 유교 사이에 대립이 있다 할지라도 중국 학문의 우월성이 도전받는 일은 없었다. 그런데 18세

기 후반이 되면서 중국의 학문을 부정하는 사상가들이 나타나기 시작했다. 주로 국학운동과 결합된 학자 집안의 사람들이었다. 국학자들은 자기 나라 고전의 자유분방한 정신을 부활 시키고자 했다. “중국의 성인들이란 유학자들이 사람들을 감복시키고 정신을 어지럽히려고 만들어 낸 것이다. 중국의 서적과 가르침을 보편화하려고 노력하는 사람이 중국의 성인이다. 중국의 성인은 기만술을 가장 능숙하게 사용하는 패거리일 뿐이다. 중국의 정신인 당심(唐心)은 속임수이고 일종의 폭력이며 지(智)와 덕(德)과는 동떨어진 것이다.”

에도막부는 1790년대부터 양서(洋書)를 수집하기 시작했다. 1811년에는 덴몬가타(天文方)에 양서 번역센터를 설치했다. 후쿠자와 유키치(福澤諭吉)와 같은 사람들이 중심이 되어 사숙(私塾)을 대도시에 설립했고 주요한 각 번에서도 새로운 학문의 실익을 노려서 신학문의 진흥에 노력했다. 번역운동은 일본인의 정신 구조를 형성시켰다. 1850년대 외국의 배가 들어옴으로써 부득이 개항을 한 도쿠가와막부는 난학자의 양성에 전념했다. 당시에 설립된 난학센터 ‘가이세이조(開成所)’는 국가적 노력의 상징이었고, 전국 방방곡곡에서 등용된 인재를 집결시켰다. 각 번도 경쟁적으로 외국인 전문가를 고용했다. 이렇게 하여 양학 장려책이 전국 각지에서 갑작스럽게 강화되었다. 1860년대의 해외사절단은 일본을 통일된 하나의 나라로 생각하는 국가의식을 고양했다.

2. 메이지유신

19세기 중엽이 되면서 근대산업과 과학에 힘입어 서양의 힘은 노쇠한 동아시아 문명을 압도할 만큼 크게 성장했다. 두 차례의 아편전쟁에서 영국의 함포가 중국의 요새를 간단히 제압하는 모습을 통해 동아시아

는 산업발전을 무시하는 것이 얼마나 치명적인지 깨달았다. 메이지유신 이후 일본은 전면적인 서구화정책으로 가닥을 잡고 외국 과학자의 초빙, 대규모 해외유학정책으로 단기간에 서양과학의 연구전통을 도입했지만 중국은 토착 유교전통과 서구전통의 융합을 통한 일종의 ‘잡종’ 근대과학을 추구했다. 이는 양무운동 기간에 설립된 여러 근대적 연구기관, 무기 공장, 그리고 북양해군으로 결실을 맺었다. 그러나 1894년 청일전쟁에서 일본의 승리는 일본의 선택이 옳았다는 판단에 힘을 실어주었다. 이후 일본의 식민지가 된 한국은 물론, 중국도 전면적으로 서구과학을 도입했다.

일본의 서양문물 전래는 1542년 화승총의 도입으로부터 시작한다. ‘일본도’ 제조에서 볼 수 있듯 야금기술이 이미 높은 수준에 있었던 일본에서 총의 제조는 그리 어려운 일이 아니었으며, 곧 전국에 퍼져 전쟁의 성격을 크게 변화시켰다. 일본의 사무라이는 원래 무기나 축성 등 신분 성격상 기술과 연관이 짙고, ‘영주(大名)’로서 하천 관리나 식산 발전을 위해 기술에 관심이 높았다. 많은 영주들이 박물학을 비롯한 학문에 큰 관심을 가지고 영내에서 학문을 장려했으며, 무사계급뿐만 아니라 상인, 시민 가운데서도 난학(蘭學)이 성행했다. 또한 에도 말기에는 하층무사들이 양학(洋學)의 군사과학화를 담당하고 지방 농촌에 진출했던 난학 의사들이 ‘테라고야(寺小屋)’을 여는 등 교육 면에서도 큰 역할을 했다. 이를 통하여 일본은 과학기술을 광범위하게 흡수하고 보급할 수 있었다.

17세기부터 유럽에서 사용되어왔던 ‘반사식 용광로’는 췌물이 용광로 연료를 위로 직접 흘러가는 것이 아니라 분리된 방법으로 들어가게 함으로써 아치형의 용광로 지붕에서 불길의 췌물에 가해지도록 한 것이다. 시가(滋賀) 현의 수지타니 요스케는 네덜란드의 라이덴 시에 있는 정부 소

유 제철소의 작업을 기술한 책을 번역하여 시행착오 끝에 일본의 첫 반사식 용광로를 건설했고, 1853년에는 이 ‘주철공법’으로 대포를 만들었다. 1854년에는 쇼군도 반사식 용광로를 건설했으며 이후 1868년까지 열한 개의 반사식 용광로가 건설되었다.

1854년, 강한 지진과 해일로 배가 파손된 러시아의 푸티아틴은 쇼군과 대형 목제 범선을 건조하는 협약을 맺었다. 이 배는 1855년에 완성되었고, 협약에 따라 쇼군의 해군은 러시아의 설계도를 이용하여 여섯 척의 일본 전함을 건조했다. 또 사쓰마의 기술자들은 15마력 증기기관을 완성했고 이를 배에 설치하여 수레바퀴를 돌리는 데 사용했다. 1868년 메이지유신 때까지 쇼군은 이러한 전함을 45척 가지고 있었으며 전 영지에는 94척의 전함이 있었다.

서구의 위협에 대응하기 위해 일본은 총과 전함만큼이나 산업기제도 필요로 했다. 1866년, 사쓰마는 서양식 면직 공장에 필요한 기계를 구입하기 위하여 영국에 있는 올드햄의 플랫(Platt)형제사와 계약을 맺었다. 플랫은 면직기뿐만 아니라 공장 설립에 필요한 일곱 명의 전문 기술자 팀도 제공했다. 3,648개의 증기구동식 회전축이 달린 면직기가 1867년 작동되었으며, 3년 후에는 두 번째 서양식 면직기가 사카이에 설치되었다.

1868년 메이지유신 때부터 1912년 메이지 천황의 사망에 이르기까지 일본은 내각과 의회를 갖춘 중앙집권국가가 되었으며, 전국적인 철도와 전신망이 설치되었고 대규모 해양상인이 성장했으며, 아시아에서 가장 근대적이고 강력한 군사력을 보유하게 되었다. 메이지시대 말기까지 일본에는 3만 2,000개의 공장이 설립되었으며 80만 명 이상의 노동자가 생겨났다.

3. 모방과 개선

1882년에서 1884년 사이, 마에다 마사나는 방대한 보고서를 써냈다. 이 보고서는 일본 산업의 미래가 철도와 전신기술뿐만 아니라 양잠, 도자기, 그리고 사케 양조기술에도 있다고 주장했다. 그는 현(縣)의 연구소와 국립 연구소를 연결하는 전국적 연결망을 개발하면, 기술 지식을 근대과학에 연결시켜서 직관적인 기술과 직접적인 역진공학(Reverse Engineering)으로 기술혁신의 기초를 만들 수 있다고 주장했다. 이에 따라 에히메, 후쿠이, 야마나시, 교토에 있는 섬유연구소와 교토 시의 세라믹 연구소가 포함된 지방 연구소는 재정지원을 받았고 이들은 에도시대의 고유 기술을 크게 혁신시켰다. 메이지시대 기술의 대부분은 점진적으로 개선된 것이다.

그동안 일본 기업들은 연구 활동을 외부세계의 기술 지식을 공장 현장까지 전달하는 통로로 간주했다. 따라서 선진국의 기술을 도입할 때, 수입한 기계를 부품 하나하나 분해해본 다음 그것을 다시 조립하여 모방했다. 그러나 이러한 역진공학(逆進工學)은 자동차와 같은 분야에서는 가능하지만 화학공업이나 전자공업과 같은 분야에는 사용할 수 없었다. 일례로 구무라 세이타와 하타 이쓰조는 스즈키 무역회사로부터 합성섬유 비스코스를 생산할 것을 의뢰받았는데, 오랜 기간의 힘든 실험 후에 서구에서 발표한 비스코스 생산에 관계된 논문에는 비스코스 실을 만드는 데 필요한 핵심 과정이 생략되어 있음을 발견했다. 이후 여러 해 동안의 시행착오를 거친 후에야 겨우 인조 실크 비스코스 생산에 적용할 만한 기술을 개발할 수 있었다.

일본은 해외 제국을 건설하기 위한 첫 단계로 1894~1895년 청일전쟁을 일으키고, 1904~1905년 러일전쟁을 일으키면서 전략적인 고려로

민간조선소와 해운회사를 특별 지원했다. 또한 정부의 군수 공장도 산업기계(증기기관, 선박, 기어 등)를 생산하여 민간기업에 판매했으며, 훈련받은 노동자들이 민간기업에 고용되어 자기들이 배운 생산기술을 전수했다. 이 외에도 군사 수요는 걸음마 단계에 있는 첨단기술기업에 시장을 제공했다. 특히 일본의 중공업은 러일전쟁으로 군사기술과 함께 도약하여 함대를 제조하는 기술은 세계적인 수준으로 발전했고 화약이 대량 생산되었으며 무선통신기가 실용화되었다. 또한 전기동력이 증기동력을 추월하면서 새로운 동력원으로 자리 잡았다. 일본 산악지형의 급류는 수력발전에 이상적이었다. 1914년에서 1925년 사이에 일본의 전력 소모량은 30만 킬로와트시에서 1,500만 킬로와트시로 증가했으며, 1936년 일본은 세계에서 세 번째로 전력을 많이 소모하는 나라가 되었다. 전기의 보급을 위한 전력 생산기계뿐만 아니라 전기 구동기계에 이르기까지 급속한 수요가 뒤따랐으며, 이러한 기계를 생산하는 기술은 과학적 지식을 필요로 했다.



20세기 첫 10년 동안 도쿄 전기와 시바우라 전기는 미국의 GE와 합작했다. (1921년에 설립된 이 분야의 후발주자 미쓰비시 전기는 미국 파트너를 찾다가 웨스팅하우스에 주식 10퍼센트를 제공하고 기술 자료를 얻었다. 1899년에 설립된 일본 전기회사(NEC)는 웨스팅일렉트릭의 판매 및 서비스 자회사로 시작했다. 후지 전기는 일본의 후루카와와 협력한 독일의 지멘스가 설립했으며, 수입

상품의 판매에서 자체 상품을 생산하는 단계로 성장했다.) GE와의 합작으로 도쿄 전기는 가스주입식 텅스텐전구 생산기술을 얻을 수 있었다. 이 전구로 도쿄 전기는 일본의 전구시장을 독점했다. 1930년대에 GE와 합병한 RCA는 라디오 생산기술의 노하우와 갓 태어난 TV기술의 핵심을 도쿄 전기에 수출했으며, 도쿄 전기연구소는 GE에서 도입한 전기기술을 연구 개선하여 좀 더 값싼 재료의 사용으로 가격을 내리고 제품의 질을 개선했다. 즉 수명이 긴 이중코일램프를 개발했으며 전구에서 안개 빛이 나오도록 내부를 처리하는 독자 기술을 발명했다.

전기 공급이 늘어나고 수공업 생산에 과학 지식을 적용함으로써 전통 산업에도 의미심장한 변화가 일어났다. 1920년대 도자기 도시에서 석탄을 사용하는 가마와 기계식 풀무의 사용이 보편화되었다. 양조산업에서는 코지 곰팡이가 만드는 산을 처리하기 위해 소량의 알칼리를 첨가하는 새로운 기술의 개발로 발효 시간을 1주일 이상 단축했다. 1930년대 중반까지 수많은 대장간에서 전통적인 수작업이 동력망치나 벨트망치로 대체되었다. 1914년에서 1941년 사이에 적어도 50여 개의 지역 연구소가 설립되었는데, 이바라키(茨城), 도치기(栃木) 그리고 미카와(三川) 지역의 섬유연구소, 나가사키와 아리타에 있는 도자기연구소, 그리고 아가타와 니가타(新潟)의 양조연구소 등이 있었다.

1927년, 산업의 과학적 기초를 마련하기 위하여 이화학연구소(理研; 리켄)가 설립되었다. 독일의 카이저빌헬름연구소처럼 응용연구와 순수연구, 모든 분야에서 특수한 과제를 집중 연구하는 여러 개의 개별 연구실로 나뉘어 있었으며, 그 지위에 걸맞게 국가의 가장 뛰어난 과학자들이 배치되었다. 1928년, 소장 요코치 마사토시(大河内正敏)는 미쓰이(三井), 미쓰비시(三菱), 스미토모(住友) 등을 포함한 여러 회사들의 지원을 받아 '리

켄' 산하에 '이화학산업진흥회사'를 설립하고, 리켄의 연구 결과를 적용하는 기업들에게 '모험 자본'을 제공했다. 이 회사는 12년 후에는 60여개가 넘는 회사의 중심이 되었으며, 일본열도뿐만 아니라 한국과 만주에까지 진출하는 등 산업재벌로 성장했다. 리켄은 1939년까지 542개의 일본 특허와 136개의 해외 특허도 소유했다.

호리코시는 1930년대 완전히 새로운 금속으로 이루어진 단발비행기의 설계를 제안했고 1935년에는 시속 400킬로미터의 전투기를 생산했다. 호리코시와 동료 기술자들은 날개의 볼트와 스크루에 이르기까지 비행기의 모든 부품을 세밀하게 조사한 후 될 수 있는 한 최소화하고 경량화하여 4,000미터 상공에서 시속 500킬로미터 이상으로 날 수 있는 제로 전투기를 개발했다.

4. 산업입국

제2차 세계대전 후 미국은 일본의 경제성장을 꺾기 위해서 공산주의의 팽창을 막기 위해 기술개방을 선언했다. “다른 나라 국민들을 지원하기 위하여 우리가 제공할 수 있는 물질적 자원은 제한되어 있다. 그러나 우

리의 과학기술자원은 끊임없이 성장하고 있으며 무궁무진하다. 미국의 기술창고를 이들에게 열어주어야 한다.” 미국 기술의 이전과 함께 민간기업의 노무관리, 훈련, 품질관리 분야의 기술도 일본에 전수되었다. 이는 미국이 세계에서 가장 앞선 것으로 인정받던



분야였다. 이어서 1950년, 한국전쟁이 일어나자 일본은 전쟁에 사용되는 부품과 장비의 공급처가 되었다. 전쟁특수는 20억 US달러에 달했으며 차량 생산, 전자, 통신장비산업이 급속히 회복되었다. 기타 잠재적이었던 공업 능력이 눈을 떠 제조업의 대약진이 시작되었다. 제조업이 활력을 되찾자 주식시장도 활기를 띠어 한국전 직전의 닛케이 평균 주가는 90엔이던 것이 1953년에는 390엔으로 3년 동안 네 배 이상 성장했다. 1950년대 후반까지 일본 기업들은 전시에 사용했던 낡은 장비들을 교체했으며, 수입한 기술과 풍부한 노동력을 결합하여 경이적인 고도성장을 이룰 수 있었다. 1960년부터 일본 상품은 세계시장으로 급속히 파고들었으며 연구 활동을 하는 기업은 6,500개가 넘었다.

전쟁 전 서양으로 수출된 일본 상품은 싸지만 질이 나쁜 것으로 평가되었다. 이제부터는 품질관리(QC)가 필요했다. 품질관리 방식은 통계적 품질관리로 제품의 일부를 표본으로 추출하여 통계적으로 처리하는 방법이었다. 일본 산업계는 품질관리에 몰두했다. 품질관리를 직장의 각 작업 단위 수준에까지 적용하여 각 공정에 대해 다음 공정의 작업자는 평가자로서의 역할을 했다.

1950년대 미국에서 수치제어(NC)에 의한 공작기계가 미공군의 하청을 받은 기업과 매사추세츠 공과대학(MIT) 연구자들에 의해 발명되었다. 이 정보는 일본의 도쿄대학, 도쿄 공업대학, 통산성 기계기술연구소 그리고 기업의 연구자 사이에 급속하게 퍼져 나갔고, 후지쓰(富士通)는 1956년 NC공작기계의 ‘원형’을 만들어냈다. 이때 마키노가 관심을 가져 공동연구개발을 추진했고 그 ‘시작품(試作品)’이 1958년에 전시되었다. 1966년에는 마침내 상업적으로 성공한 NC선반이 탄생했는데 여기에는 트랜지스터의 IC(집적회로)가 이용되었다. 이는 컴퓨터에 직접 연결하는 직접수치제

어(DNC)기술로 발전했으며 이로써 1970년대부터는 로봇과 자동공장시대의 선두주자가 되었다.

일본의 기술자들은 조선기술에서 용접과 ‘블록’ 건조공법을 시작으로, 이음새의 양쪽을 용접하는 전통적인 방법 대신에 한 면만을 자동으로 용접하는 기술과, 설계도를 판금 위에 사진으로 나타나게 하는 전기인쇄표시 기술 등을 개선했다. 그리하여 1950년대 초에 2만 톤의 유조선, 1950년대 후반에 4만 5,000톤의 유조선, 그리고 1962년에는 13만 2,000톤의 니쇼마루의 진수식을 하는 등 일본은 전 세계 선박 건조량의 65퍼센트를 담당하게 되었다. 이 조선기술의 발달이 철강생산의 기술혁신을 촉진했으며, 철강기술의 발전은 자동차 등 다른 산업의 기술혁신을 지원했다.

일본의 제철산업은 다음의 요인으로 생산성을 높였다. 첫째, 1950년대 초에 오스트리아에서 개발된 기초산소공정은 용해된 철을 강철로 만드는 과정에서 공기를 사용하지 않고 순수산소를 사용했는데 일본이 이 기술을 소화했다. 둘째, 판재가공기계의 도입으로 얇은 강판을 생산할 수 있었으며, 연속주조공정을 사용하여 주철제품 생산에 드는 에너지를 크게 줄였다. 셋째, 조선이나 항공기산업용 특수철강 개발과 원광석의 시험 및 준비 공정이 개선됨으로써 고품질의 철강을 생산할 수 있었다. (1960년에 일본 제철산업의 생산성은 유럽의 2분의 1이며 미국 제철산업의 3분의 1이었는데, 1980년대 초에 이르러서는 생산성이 다섯 배 이상 증가하여 유럽과 미국을 앞질렀다.)

전략의 천재였던 프로이센의 몰트케(Moltke)는 ‘참모제도’를 만들어, 부대의 관리, 운영, 작전, 용병, 복지 등을 담당하는 참모에게 필요한 정보를 적시에 제공해 상황을 판단하게 하고, 그에 따른 계획을 수립한 후 그 내용을 해당 부대에 명령할 수 있도록 했다. 가쓰라 고고로(桂太郎)는 일본 육

군을 독일식으로 개편하면서 이러한 ‘참모조직’을 만들었으며, 청일전쟁은 물론 러일전쟁을 승리로 이끌고 제2차 세계대전까지 치렀다. 패전 후에도 이 제도는 사라지지 않았고 일본의 기업들은 이른바 ‘비서실’이라는 것을 만들었다. 전후 일본의 기업 그룹에서 이 ‘비서실조직(무역상사)’이 유망한 외국 기술을 발굴하고 기술도입을 위한 협상 역할을 함으로써 일본의 공업능력은 급속하게 발전해나갔다. (이후 세지마 류조(瀬島龍三)는 한국 기업 삼성에 이를 권유했고 이병철 회장은 이러한 비서실을 만들었다.) 1970년대에 들어서자 일본의 국민생활은 풍요로워졌고, 일본 제품은 어느 나라의 제품에도 뒤떨어지지 않을 정도로 높은 품질을 유지했다.

1973년 10월, 아랍석유수출기구(OPEC)의 여섯 개 가맹국은 원유의 가격을 무려 70퍼센트나 인상했다. 2개월 후에는 석유 가격이 네 배로 쯤 뛰었다. 일본에는 ‘광란의 물가’라는 인플레이션이 일어났고, 1974년 경제성장률은 마이너스를 기록했다. 일본은 에너지 소비가 적은 자동차 같은 가공조립산업과 극소전자공학(microelectronics), 전자산업으로 이행하게 되었다. 중후장대(重厚長大)에서 경박단소(輕薄短小)로의 이행이다.

전통적으로 일본의 기술은 자원안보에 강한 강박관념이 있었다. 기본적인 기술 지식이 기업들 사이에 신속하게 보급되고, 이 기본 지식의 수정을 놓고 격렬하게 경쟁하는 기술혁신의 구조는 일본에 독특한 맛을 불어넣었다. 일본의 근대기술 개발은 경이로운 속도의 ‘학습 과정’이었을 뿐 아니라 ‘끊임없는 혁신’의 과정이었다. 일본의 이러한 기술 지식은 같은 한자문화권인 대만이나 한국과 같은 나라에도 이행되었다. 일본 제품 투자 유입과 함께, 변영의 속성과 변영을 이룰 수 있는 독특한 아이디어가 유입되었다. 일본의 기술은 기술 습득을 위한 세심한 노력을 통해 나타나며, 대량의 수출품 속에 교묘하게 스며들어서 전달되었다.

1950년대 중반에 집적회로(IC)를 탄생시킨 몇 가지 특허가 미국 텍사스 인스트루먼트(TI)사와 페어차일드(FC)사로부터 출원되었다. 1961년에는 FC사가 ‘마이크로 로직’, TI사가 ‘고체회로’ 시리즈를 상품화했으나 고가로 수요가 거의 없었다. 집적회로(IC) 생산의 계기는 아폴로계획과 대륙간 탄도미사일의 개발이었다. 1961년의 케네디 연설에서 시작된 아폴로 계획으로 FC사는 미항공우주국(NASA)에 집적회로를 제공했다. 1969년의 달 착륙 때까지 NASA가 구입한 집적회로는 100만 개가 넘었다. 한편 1962년 미니트맨 미사일유도시스템에서는 TI사가 22개의 특수회로를 설계 제작했다. 이렇게 1962년부터 1960년대 후반까지 IC시장의 최대 고객은 미연방정부였다.

1968년에는 TI사가 1,400소자의 MOS 집적회로(금속, 산화물, 반도체를 기본 구조로 하는 집적회로)를, 인텔사가 1킬로비트 RAM(수시로 읽고 쓰기가 가능한 메모리)을 선보여 대규모 집적회로(LSI)시대를 열었다. 1971년 인텔사의 마이크로컴퓨터 4004가 1977년부터 시작되는 ‘PC시대’를 준비했다.

1979년 IBM사는 4킬로비트 DRAM(일정 시간마다 리프레시라 부르는, 다시 읽어들이는 동작이 필요한 다이내믹 RAM)을 사용한 대형 컴퓨터 4300을 개발하고, 글로벌시스템을 염두에 둔 분산처리 네트워크 구상을 추진했다. 이때부터 각 사이즈의 컴퓨터가 거대 시스템 속에서 계층화되었다. 1985년부터 1986년에 걸쳐서 32비트의 마이크로프로세서 유닛(MPU; 28~30만 트랜지스터)가 등장하고, 컴퓨터 네트워크에 중요한 워크스테이션의 개발이 진전되었다.

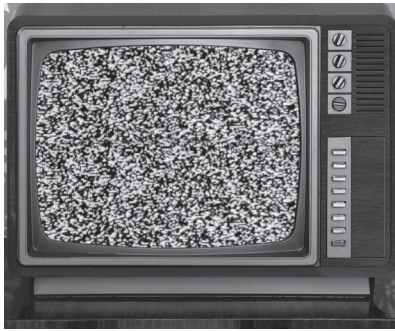
일본의 컴퓨터회사는 1960년 국내 컴퓨터의 27퍼센트를 생산했으나 1970년에는 60퍼센트로 증가했다. 통산성은 ‘행정지도’로 국내 메이커를 히타치(日立)－후지쓰(富士通), NEC(日電)－도시바(東芝), 오키(沖) 전기－미

쓰비시(三菱) 전기의 세 그룹으로 나누어 각 기업이 기술제휴로 신종 컴퓨터를 개발하도록 독려했다. 1974년 세 그룹의 연구조합은 각각 'M', 'ACOS', 'COSMO' 시리즈를 발표했다. 이로써 일본만이 국내시장을 IBM으로부터 방어할 수 있었다. 1976년 통산성은 '차세대 전자계산기용 대규모 집적회로 개발촉진보조금제도'를 만들었다. 4년간 계속된 이 프로젝트의 성공으로 일본은 대형 집적회로를 이용해 6만 4,000비트 기억용량의 마이크로칩을 개발할 수 있었으며, 이어서 25만 6,000비트와 1,00만 비트 칩을 개발했다.

또 일본은 1950년대부터 미국의 백색가전기술을 빠르게 받아들이면서 10년마다 세 종의 신기(神器)를 히트시켰다. CD플레이어, 게임기, 비디오녹화기(VTR), 워크맨 등이 이들 신기에 속하는 제품들로서 강력한 브랜드파워를 구축했다. 소니(Sony), 마쓰시타(Matsushita), 산요(Sanyo), 샤프(Sharp)가 세계시장을 지배하게 되었고, 이는 유례가 없는 일이었다. 이후 일본은 가전-전자-광학으로 이어지는 원천기술 확보에 주력했다. 그 결과 일본은 전자와 광학 부문에서도 세계 최고의 원천기술을 확보한 나라가 되었다. 자동차산업과 전자산업은 원래 미국이 기술적으로 가장 앞서 있던 산업이었는데 이것을 일본의 기술력이 능가한 것이다.

5. 가전산업 및 자동차

(가전산업은 음성송신기술을 바탕으로 발전했다. 음성송신기술이 소개되자 라디오 수신기와 부품제조업체들이 등장했다. 1941년 RCA가 최초의 상업용 TV 프로그램을 개시했으며, 제2차 세계대전 후 개발된 TV 모델 기술을 미국 기업들에 이전함으로써 산업의 표준이 되었고 TV(흑백)의 매출은 급증했다. 그 뒤 후속 제품인 컬러TV가 상업화되었다. 이에 대한



준비는 1930년대부터 시작되었는데 RCA가 주요 경로의 창출자였으며 1940년대 후반에는 필코, CBS, 제니스가 RCA의 경로를 따랐다. 유럽에서는 제2차 세계대전으로 텔레퐁켄(Telefunken)의 학습 기반이 해체되자 필립스가 통합된 역량을 회복

하여 RCA기술을 도입했다. CBS, 필코, 제니스는 1950년대 컬러TV 상업화의 마지막 단계에서 뒤처졌으며 RCA가 가장 두드러진 성과를 보였다. 1958년, RCA는 모든 미국 기업들에게 이 기술을 공개해야만 했으나 외국 기업들은 여전히 기술비용을 지불해야 했다. 그 때문에 RCA는 국내보다는 외국 기업들과의 관계에 적극적이었고, 이는 일본과 유럽의 컬러TV 분야를 발전시키는 계기가 되었다.)

이러한 기술을 기반으로 일본의 소니는 RCA의 삼색 컬러 튜브를 대체할 만한 트리니트론TV를 상업화했다. 또 필립스는 마쓰시타에게 RCA의 TV기술을 이전했다. 이때까지 RCA, 필립스, 마쓰시타, 소니는 새로운 기술을 접목한 제품을 상업화할 역량을 키워나갔다. 컬러TV 매출 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 개발해 1982년에 CD를 상업화했으며 이듬해 CD-ROM을 소개했다. 필립스는 그 후 소니와 함께 DVD를 개발했지만 CD 인터랙티브 개발 실패로 가전산업을 접었다. 미국과 유럽의 기업들이 더 이상 가전 제품을 생산하지 않자 중국과 동아시아의 기업들이 새로운 학습 기반을

구축할 수 있었다.

일본의 마쓰시타는 1987년 중국 베이징 시와 50대 50 합작으로 브라운관 공장을 건립했다. 히타치 역시 1981년 TV 생산 합작사를, 1989년 브라운관 생산 합작사를 설립했다. 이들 합자기업은 이후 TCL, 창흥, 칸자 등 중국 TV 생산 기업 성장의 기반을 제공했다. 2000년대 들어서 중일 협력은 일본의 기술과 중국의 생산 역량을 교환하는 방식으로 발전했다. 일본은 주력 제품의 기술을 중국에 이전하고, 세계시장을 대상으로 하는 생산기지로 중국을 활용하기 시작했다. 도시바의 경우 2000년 메이더에 이어, 2002년 샤오야, 향쯔 등의 가전 제조업체와 제휴해, 자사 브랜드의 냉장고와 세탁기를 중국에 위탁 생산하여 조달할 수 있게 되었다. 중일 간의 협력은 이제 단순 생산 OEM에서 합작 생산, 판매법인 설립 등 포괄적인 제휴로 확대되고 있다. 도시바는 2004년 TCL과 백색가전 분야에서 포괄적인 제휴를 맺었다. 지분을 절반씩 나눠 가진 합작법인을 설립하고, 함께 생산한 제품의 90퍼센트는 도시바 브랜드로, 10퍼센트는 TCL 브랜드로 판매하는 것이다. 산요의 경우 이미 하이얼과 함께 가전 분야에서 포괄적 제휴 관계를 유지하고 있다. 중국과 일본의 유통망을 서로 공유하고 있으며 기술적 교류도 이뤄지고 있다. 산요는 첨단기술을 기초로 하이얼의 제조기술 컨설턴트가 되겠다는 취지하에 하이얼과의 기술 및 노하우 교류에도 주력하면서 냉장고 등의 공동 개발도 모색하고 있다.

최근 일본 기업은 구조조정을 통한 집중화 전략을, 중국 기업은 M&A를 통한 사업 확장 전략을 펼치고 있어 중일 간의 협력은 더욱 강화될 것으로 예상된다. 산요의 경우 2005년 3월 1,715억 엔의 손실을 기록한 이후 대대적인 구조조정에 착수했다. 이에 따라 에어컨, 냉장고 등 가전

의 제후를 더욱 확대하려 하고 있다. 파이오니아 역시 DVD 레코더의 설계 및 생산을 중단하고 OEM으로의 전환을 꾀하고 있으며, PDP TV 공장 일부를 매각할 것으로 예상된다. 소니의 경우에도 해외 65개 공장 중 11개 공장을 폐쇄 혹은 매각할 계획이며, 15개 부실 사업군에 대해 제후 전환, 축소, 매각 등을 검토하고 있다. 이러한 구조조정은 JVC, 후지쓰 등으로 파급되고 있다.

1935년 일본에서는 최초로 댛션(Datsun)이 대량 생산되었으며 이듬해에는 도요타 모델 AA가 완성되었다. 1950년대에 들어 한국전쟁에 따른 특수 경기, 군수산업 기술자의 민수사업 대거 참여, 정부와 업계의 외국 차 진출 제한, 승용차 중심으로의 산업 전환 등에 따라 일본의 자동차산업은 비약적인 성장의 기반을 다졌다. 즉, 1955년 통산성에서 국민차구상계획을 수립했고 이에 자동차 메이커들은 미쓰비시 500, 스바루 360, 마쯔다 R360 등의 자동차들을 개발했다. 도쿄올림픽이 개최된 1964년 경을 전후하여 도로망이 정비됨에 따라 승차감이 뛰어나고 성능이 우수한 신형 자동차의 개발이 가속화하면서 도요렛의 코로나, 블루버드의 모델 410, 혼다의 S500 등이 발표되었다. 이미 1961년 일본의 자동차 생산대수는 100만 대를 돌파했고 1966년에는 230만 대로 성장했다. 그리고 1968년부터 불붙은 자동차 대중화(Motorization)로 내수 기반이 확장되면서 대량 생산과 저코스트 생산자로서 경쟁력을 키워갔다. 연료 소모가 적은 소형차급에서 완전경쟁우위를 확보한 일본은 1970년대 2차에 걸친 오일쇼크 당시 소형차에 대한 선호가 높아지면서 1974년에 자동차 268만 대를 수출하면서 세계 최대의 자동차 수출국이 되었다. 1980년 일본은 전 세계 자동차 생산의 30퍼센트를 차지하면서, 1994년 다시 미국에 추월당하기 전까지 세계 최대의 자동차 생산국으로 군림했다.

1980년대부터 본격화된 배출가스 규제는 모든 엔진을 적용 가능하도록 했다. 배출가스 정화를 위한 촉매가 사용되었으며, 정밀한 혼합기 제어를 위해 전자제어식 엔진이 등장하여 화학 및 전자 관련 업체가 엔진의 중요한 부품 공급원으로 부상했다. 성능, 배기, 연비의 세 가지를 만족시켜야 하는 엔진기술에서 일본은 빠르게 대응했다. 경주용 엔진에서 개발된 첨단기술을 일반 승용차에 적용하고, 연비 향상에 필요한 전자제어시스템, 다밸브엔진, 가변흡기시스템, 가변밸브 타이밍, 린변엔진, 터보차저, 가볍고 내구성이 뛰어난 신소재 등 수많은 신기술로 무장한 첨단 엔진이 계속 소개되었다. 1990년대 초에는 삼원 촉매를 적용한 전자제어식 다밸브엔진이 가솔린엔진의 기본 형식으로 자리 잡았다.

1996년에는 미쓰비시가, 1997년에는 도요타와 닛산이 기존 엔진보다 20퍼센트 이상 연비가 향상되고 우세한 성능을 갖춘 직접분사식 가솔린 엔진(GDI엔진)을 출시했고, 도요타는 가솔린엔진과 전기모터를 혼합해 1리터에 27.8킬로미터의 연비를 실현한 하이브리드 자동차 ‘프리우스(Prius)’를 발표하여 전기 자동차의 실용화를 선언했다. 또 독일의 폭스바겐은 고속 직접분사식(HSDI) 디젤엔진을 탑재한 세계 최초의 3리터 카(3리터의 연료로 100킬로미터 주행) 루포(Lupo)를 출시했다. 이로써 차세대 내연기관은 전자제어식 고속직접분사식 디젤엔진이 차지할 것임을 예고했다.

일본은 1955년 길이 23센티미터의 펜슬 로켓으로 시작하여, 개발 10년 만에 1,000킬로미터까지 100킬로그램의 화물을 운반할 수 있는 사운드 로켓 L(람다)-3형 개발에 성공했다. 그리고 이 대형 사운드 로켓을 잘 조합하여 소형 인공위성을 지구 궤도에 진



입시키는데 테스트용 우주발사체 L-4S를 개발한다. L-4S는 우주로 가는 최소한의 조건을 갖춘, 세계에서 가장 값싼 우주 로켓이었다. 하지만 L(람다)은 진정한 우주 로켓은 아니었다. 일본에서 우주발사체용으로 설계된 최초의 고체 로켓은 M(뮤우) 시리즈인데, 1963년부터 개발을 시작하여 1971년에 처음으로 인공위성을 궤도에 올려놓는데 성공했다. 이후 로켓의 성능과 유도 능력을 향상시킨 M-4S, M-3C, M-3H, M-3S 등 다양한 변형을 개발했으며, 1981년에는 소형의 탐사선을 지구 중력권 밖으로 보낼 수 있는 M-3S II 개발에 성공했다. 행성 간 탐사선을 발사할 수 있는 발판을 마련한 것이다. 이어서 일본은 미국의 로켓기술을 사들여 1994년 국산화율 100퍼센트의 H-2 로켓을 완성시켰다. H-2는 액체수소와 액체산소를 주엔진의 추진제로 사용하는, 세계에서 몇 안 되는 로켓 중 하나다. 이로써 일본은 자국의 위성뿐 아니라 타국의 위성을 발사할 수 있는 조건을 마련했다. 현재 일본은 H-2를 상업위성 발사 시장에 진출시키고자 높은 발사 성공률과 저가의 발사비용을 목표로 H-2A 개발을 지속하고 있다. 또 1997년부터는 현존하는 세계 최대의 단일 고체추진제 우주발사체인 M(뮤우) 로켓의 결정판 M-V를 개발하고, 1998년 일본 최초의 화성 탐사선을 발사하는 업적을 세우기도 했다.

6. 컴퓨터

IBM에 대항하여 일본 기업을 육성하기 위해 통산성은 1971년 3월 31일 ‘특정전자공업 및 특정 기계공업 진흥 임시조치법’을 공포했다. 또한 IBM의 자유화 공세에 대항하기 위해 행정지도로 같은 해에 국내 메이커를 히타치-후지쓰, NEC-도시바, 오키 전기-미쓰비시 전기의 세 그룹으로 나누어 각 기업이 기술제휴로 신종 컴퓨터를 개발할 수 있도록

독려했다. 세 그룹의 연구조합은 개발에 성공하여 1974년에 각각 M, ACOS, COSMO 시리즈를 발표했다. 여기서 일본 메이커가 하드웨어 측면에서 IBM을 완전히 추격했기 때문에, 같은 해 7월 1일에 컴퓨터 기술 도입 자유화를 실시했다. 이 중



형 컴퓨터 개발계획은 통산성의 일관된 정책의 견본을 제공한다. 즉 여러 가지 장벽을 만들어 국내 산업을 보호하고, 행정지도를 통해 연구조합을 결성하여 공동연구를 하게 하는 한편, 각 그룹을 서로 경쟁시키면서 외국에 대항할 만한 기술력을 확보한 후 자유화하여 시장을 개방하는 것이다. 이러한 방법은 다른 나라에서는 전혀 찾아볼 수 없었다. 일본만이 국내시장을 위해 IBM에 대항하는 컴퓨터를 개발했다. 1970년대 말에 유럽의 국가들이 ‘극소전자공학혁명(Micro-Electronics Revolution)’이라 부르며 일본의 방법을 흉내 내려 했지만 때는 이미 늦었다. 통산성이 육성해온 것과 같은 기업이 유럽에는 없었기 때문이다.

컴퓨터를 움직이는 마이크로칩은 전후 진공관에서 트랜지스터, IC(집적회로), LSI(대규모 집적회로)로 진화하여 소형화되고 있었다. 1970년대 중반 무렵, 미국에서 더욱 새롭고 강력한 집적회로를 개발하고 있다는 소식이 전해졌다. IC는 첨단산업의 쌀로 불리며 전체 극소전자공학 발전의 주춧돌이 되는 부품이다. 칩이 작으면 가전제품은 물론 결국에는 인체에도 들어갈 수 있다. 통산성은 이것을 미국에 제압당하는 것은 마치 OPEC에 석유를 제어당하는 것과 마찬가지로 때문에 향후 전개될 산업발전에서 매우 중요한 사건이라고 생각했다. 그래서 1976년에 ‘차세대 전자계산기용 대규모 집적회로 개발촉진 보조금’ 제도를 창설하고 미국의 움직임에 대항했

다. 역시 통산성의 주도로 연구조합이 결성되어 기업 간에 협조와 경쟁이 유발되면서 4년간 계속된 이 프로젝트는 성공적으로 끝난다.

FBI는 1980년 가을부터 IBM의 소프트웨어를 침해했다는 이유로 일본의 컴퓨터회사에 대한 조사를 시작했다. 호환 기종의 개발은 모델이 되는 기종의 OS(Operating System; 운영체제)를 복사하면 가능하다. 1970년대에 IBM은 OS를 누구라도 이용할 수 있게 했으나 1980년대에 미국정부가 저작권법을 개정하여 프로그램에 저작권을 인정하자 IBM은 OS의 저작권을 주장하기 시작했다. 이는 명백하게 일본을 겨냥해 미국정부와 IBM이 한 패가 되어 행한 조치였다.

1982년 6월 3일 미국의 FBI는 합정수사를 펼친 끝에 IBM의 OS를 불법으로 복사한 혐의로 히다치 제작소(日立製作所)와 미쓰비시 전기 직원 여섯명을 체포했다. 일본으로서는 충격적인 경험이었다. IBM은 후지쓰에 대해서도 호환 OS의 권리를 주장하여 제소했고 이 사건은 미국의 중재 위원회로 넘어갔다. 1987년에 중재 결정이 내려졌는데, IBM은 노하우(Know-How)를 제공하고 후지쓰는 대가를 지불하는 방식으로 결말지어졌다. 정보산업에서 소프트웨어는 국가나 기업의 경계를 넘어 손쉽게 복사가 가능하기 때문에 국가를 단위로 한 지적소유권으로 지배권을 강화하게 된 것이다.

TI의 특허 공세 이후에도 미국 기업들은 한국과 일본 기업들이 미국에 수출해야만 하는 상황을 전략적으로 이용하기 위해 관세법 337조에 근거한 특허분쟁 해결을 선호했다. 미국의 특허분쟁은 관세법 337조에 의한 방법 외에도 민사소송을 통해서도 가능한데, 미국 기업들이 관세법 337조를 선호하는 이유는 특허침해 물품의 미국 내 반입을 원천적으로 봉쇄할 수 있기 때문이었다. TI의 특허분쟁이 있는 지 20여 년이 지난

지금은 완전히 역전되었다. 이제 미국 기업들은 정보통신기술, 생명공학 등 하이테크산업에서 전 세계적인 주도권을 잡고 한 해에 수백억 달러의 특허 사용료를 챙기고 있다. 게다가 미국은 미국식 특허제도를 전 세계에 전파하고 있다.

1970년에서 1985년까지의 15년은 컴퓨터 하드웨어의 시대였다. 메인 프레임이나 PC가 화려하게 등장한 이 시기에 최고의 수익을 올린 업체는 IBM, 후지쓰, NEC였다. 하지만 지금은 DELL을 제외한 거의 모든 컴퓨터업체가 적자를 기록하고 있으며, 컴퓨터업체의 원조 IBM은 중국 기업에 사업을 매각해버렸다. 이후 1985년에서 2000년까지는 반도체의 시대라 할 수 있다. 수익 구조가 하드웨어에서 디바이스로 옮겨가 인텔, 삼성, 도시바 등이 막대한 이익을 창출해냈다. 하지만 2000년을 넘어선 시점부터 일부 독점시장을 가진 기업을 제외하고는 반도체업체의 수익률이 현저하게 나빠졌다. 대신에 한국, 대만 및 미국의 마이크론테크놀로지(Micron Technology, Inc.; 미국에서 유일하게 남은 DRAM 메이커) 등이 대두했다. 장치 메이커가 성장함에 따라 장비만 구입하면 누구나 DRAM에 진출할 수 있는 상황이 되자 한국의 삼성 등이 히트상품과 장비를 갖추음으로써 크게 성공했고, 파운드리 메이커(Foundry Maker)인 대만은 타사보다 먼저 첨단장비를 갖출 필요가 없어서 제조 코스트를 낮출 수 있었으므로 특화된 역량을 키울 수 있었다. 또 미국의 마이크론테크놀로지는 처음부터 코스트 경쟁력에서 이기는 것을 목표로 일본 반도체기업이 사용하는 마스크 매수의 절반으로 공정 플로를 구축하여 디바이스 자체를 더욱 작게 만들고 한 장의 웨이퍼에서 생산되는 칩수를 늘렸다.

이렇게 성숙화가 진행되면서 반도체는 무한경쟁 시대에 돌입했다. PC용 마이크로프로세서를 독점하고 있는 인텔(세계 1위), DRAM과 플래시메

모리 같은 메모리 반도체에서 압도적인 시장 점유율을 보이고 있는 삼성전자(세계 2위), 휴대전화의 심장부인 디지털 시그널프로세서 및 주변 리니어 IC로 압승을 거둔 텍사스 인스트루먼트(Texas Instruments, 세계 3위), 게다가 자사 브랜드는 없지만 세계 최대의 파운드리업체로 급부상한 타이완의 TSMC 등이 대표적이다.

7. 반도체 생산

한국 삼성전자에 저서 DRAM에서 철수하고 SoC로 전향한 일본 반도체 메이커를 가로막은 것이 타이완의 파운드리 TSMC였다. 소품종 대량 생산의 DRAM과 달리 SoC는 다품종 소량 생산이라는 특징이 있다. 이 SoC 분야에서, 설계는 하지 않고 반도체 제조만을 하는 파운드리 TSMC는 어떻게 세계를 제패했을까? 간단하게 말하면, TSMC가 일으킨 혁신의 진상은 설계를 전문으로 하는 팹리스 메이커, 설계한 반도체 지적 자산을 판매하는 IP(Intellectual Property) 벤더, 설계툴 메이커 등과 공동으로 SoC 플랫폼을 구축했기 때문이다.

전 세계에 다수 존재하는 팹리스는 세계 표준의 설계툴을 사용해 검증이 끝난 상태 혹은 실적이 있는 세계 표준의 반도체 설계자산, IP 코어를 이용하여 SoC를 설계한다. 그 설계자산을 셀이라 부른다. 파운드리는 셀에 적합한 공정 플로(프로세스)를 개발한다. 그 결과 팹리스, 설계툴 벤

더, IP 벤더 및 파운드리는 셀 라이브러리를 소유했다. 셀 라이브러리는 설계 데이터와 공정 플로가 1대 1로 대응한다. 즉 셀 라이브러리란 SoC의 카탈로그와 같은 것이다. 예를 들어, 이



플랫폼을 이용해 디지털 카메라용 SoC를 설계하는 것을 상상해보자. 설계자가 하는 일이란 “세계 표준의 설계틀을 구입하여 셀 라이브러리 중에서 디지털카메라에 딱 맞는 셀을 지정하는 것” 정도다. 셀만 지정하면 자동적으로 수율, 가격 및 납기를 알 수 있다. 따라서 설계자는 막대한 경제적 리스크를 짊어지는 일이 없어진다. 또, 신규로 설계한 회로가 잘 작동할지 걱정할 필요도 없다. 알맞은 조건과 알맞은 가격으로 비즈니스 플랜을 세울 수 있다.

참고로 2006년 현재 반도체 생산 순위는 (1) Samsung(한국), (2) Toshiba(일본), (3) TSMC(타이완), (4) Power Chip(타이완), (5) Intel(미국), (6) ProMOS(타이완), (7) Micron(미국), (8) UMC(타이완), (9) Elpida(일본), (10) STMicro(유럽)로서 21세기 세계 반도체 생산을 주도하고 있는 나라는 타이완이라고 할 수 있다.

홍하이(香港)는 중국에서 애플 아이폰과 아이패드를 위탁 생산하는 팍스콘의 모회사다. 중국 팍스콘의 거대 공장에는 약 100만 명이 근무하고 있으며, 회사의 연매출액은 130조 위안에 육박한다. 팍스콘은 저렴한 인건비를 무기로 크게 성장했지만 최근 인건비 상승으로 이익률이 하락, 샤프의 기술력을 접목하여 제품의 부가가치를 높인다는 계획이다. 앞서 일본의 주요 전자기업인 NEC는 중국 레노버와 PC사업을 통합했으며, 파나소닉도 중국 가전기업 하이얼에 산요의 냉장고와 세탁기사업을 매각한 바 있다. 중화권 업체들의 일본 진출은 갈수록 활발해지고 있다.

8. 전자부품재료 산업

2006년 현재 신에츠 화학(Shin-Etsu Chemical), 스미토모 화학(Sumitomo Chemical), 미쓰비시 화학(Mitsubishi Chemical), JSR, 닛폰 제온(日本 Zeon), 데

이진(Teijin), 도레이(Toray), 아사히 글라스(ASAHI GLASS), 돗판 인쇄(Toppan Printing) 등 ‘디지털 소재’에 주력하는 일본 내 전자재료업체들이 사상 최고의 수익을 올렸다. 구체적으로 (1) 다이닛폰 인쇄(액정용 반사 방지 필름; 70퍼센트), (2) HOYA(하드디스크용 유리기판; 80퍼센트), (3) 신닛테츠 화학(휴대전화용 이중 CCL 기판; 60퍼센트), (4) 데이진(DVD용 기판 재료; 80퍼센트), (5) 히타치 금속(액정회로제조용 금속 소재; 90퍼센트), (6) 아사히 글라스(플라즈마용 유리기판; 85퍼센트), (7) 후지 사진필름(액정용 시야각 보정 필름; 90퍼센트), (8) 스미토모 금속광산(액정용 이중 도금기판; 90퍼센트), (9) 닛폰 제온(디스플레이용 투명수지 필름; 70퍼센트), (10) JSR(TV용 TFT수직배향막; 90퍼센트) 등이다.

‘실리콘웨이퍼’ 시장은 신에츠 반도체가 세계 최고의 점유율을 차지하며 독주하고 있다. 여기에 SUMCO, 고마쓰 전자금속 등의 업체를 더하면 일본이 세계시장의 60퍼센트 이상을 차지한다. ‘포토마스크’ 역시 돗판 인쇄가 세계 최고의 자리를 차지했고, 그 뒤를 다이닛폰 인쇄가 버티고 있어 이 분야에서도 일본의 시장 점유율이 약 60퍼센트 정도로 추정된다. 실리콘웨이퍼에 도포하는 ‘포토레지스트’라는 약제 역시 JSR이 세계시장을 무대로 활약하고 있으며, 여기에 2위 기업 도쿄 응화공업(TOKYO OHKA KOGYO)이 가세하면 이 분야에서도 일본의 세계시장 점유율은 65퍼센트가 된다.

‘전자 디스플레이’ 분야에서는 더더욱 일본 압승의 도식이 뚜렷해진다. ‘액정패널용 컬러필터’에서는 돗판 인쇄가 세계 최고로 인정받고 있으며, 여기에 다이닛폰 인쇄, 스미토모 화학이 가세해 일본 제품 전체가 세계시장의 90퍼센트 이상을 차지하고 있다. 액정의 주요 부품 중 하나인 ‘편광판’도 닛토 전공(NITTO DENKO)이 세계 최고의 자리를 차지했다. 또한 스미토모 화학, 산리츠(SANRITZ), 폴라테크노(Polatechno) 등이 그 뒤를

따르고 있어 사실상 이 분야를 일본 제품이 독점하고 있다고 해도 과언이 아니다. 그 밖에도 세계 최고의 자리를 획득한 일본 기업은 수없이 많다. 최근에 테이진은 영상기록미디어의 주역인 ‘DVD 기판재료’ 부문에서 80퍼센트의 세계시장 점유율을 기록했다. 다이닛폰 잉크화학공업은 ‘STN(Super Twisted Nematic) 액정’ 분야에서 세계시장 점유율 70퍼센트를 차지한 최고의 업체이다.

2006년, 평면스크린이나 휴대전화, DVD플레이어, 디지털카메라 등 ‘고급 소비재 전자산업’에서 일본은 세계시장 점유율이 25퍼센트로 떨어졌으나 반도체와 회로기판, 그리고 레이저헤드 등 전자제품에 들어가는 중간재 부문에서는 여전히 50퍼센트대에 머물고 있다. 반도체 생산에 필요한 고급 접착제나 수지, 그리고 편광판 등의 ‘부품소재 부문’에서는 70퍼센트의 세계시장 점유율을 자랑하고 있으며, 반도체나 LCD패널 생산에 필요한 ‘고급기계시장’의 점유율도 50퍼센트가 넘는다. 이러한 상황은 ‘수익의 스마일리 곡선(smiley curve of profits)’의 관점으로 보면 바람직한 현상이다. 고수익 생산구조를 가진 일본 같은 국가는 스마일리곡선의 저점에 해당하는 ‘단순한 조립단계’만으로는 충분한 수익을 얻을 수 없으므로 경쟁이 상대적으로 덜하고 수익률이 훨씬 큰 ‘부품제조 부문’으로 옮겨가는 중이다.

9. 일본 모델의 탄생

18~19세기 산업혁명을 선도해나간 영국을 필두로 유럽은 글로벌 패권을 장악했지만, 20세기 초까지만 해도 제조업의 상당 부분은 수공업적 장인생산시스템이 지배하고 있었다. 이 수공업적 장인생산시스템의 특징과 한계는 다음과 같다. (1) 생산 과정을 수공업적 장인이 지배했

는데, ‘장인’은 경쟁력과 지배력을 유지하기 위해 자신의 노하우와 기술(Skill) 전파를 상당히 꺼리게 되고 이로 인해 산업노동자가 도제학습을 통해 기술을 습득하는데, 기술을 모두 익히기까지는 상당한 시간이 소요되었다. (2) 대부분의 부품 생산과 설계가 분산된 소규모 공장들에서 이루어졌으며, 이로 인해 부품의 표준화·규격화가 어렵고 대량 생산에 의한 규모의 경제 달성이 불가능했다. (3) 수공업적 장인의 비밀주의와 공장의 영세성으로 인해 체계적이고 적극적인 기술혁신이 어려웠다.

19세기 말~20세기 초, 테일러(Frederick W. Taylor)에 의해 주창된 테일러리즘은 구상(Conception)과 실행(Execution)의 분리를 추구한다. 즉, 경영진이 작업과정을 철저하게 분해·연구하여 기술과 공정 지식을 체계화한 후, 누구나 실행 가능한 단순 조작들로 작업과정을 세분화하고, 각 단순 조작들에 대한 동작연구·시간연구 등을 통해 그 작업 방식들을 표준화했다. 그 결과 숙련 지식과 공정 지식이 더 이상 노동자들의 권력이 아니라 경영자들의 권력으로 바뀌게 되었으며, 노동자들은 경영진이 제시하는 규율과 작업지침하에 단순노동을 반복하는 대체 가능한 객체로 전락했다.

한편 1913년 포드자동차 공장에서 ‘T형 자동차’ 생산을 위해 처음으로 모습을 드러낸 포디즘은 컨베이어벨트에 의한 일관생산공정과 부품의 표준화·규격화였다. 작업의 속도가 컨베이어벨트의 속도에 종속되기 때문에 경영진은 작업의 과정과 속도를 더욱 철저하게 통제할 수 있었다. 포디즘에서도 각 작업 단계별 동선연구·동작연구 등을 통해 최적의 작업 방식이 구축되고, 그 방식에 기초한 적정 작업 시간을 계산해 각 작업 단계별 최적 인원 배치와 최적 컨베이어벨트 이동 속도가 도출되었으며, 조립공정의 노동은 규격화되고 단순화되었으며, 노동자는 언제

든지 대체 가능한 ‘살아 있는 기계’로 전락했다. 그러나 이러한 테일러-포디즘은 기존의 수공업적 장인생산시스템에 비해 생산성을 획기적으로 끌어올렸기 때문에 비로소 표준화된 제품을 저가에 대량 생산할 수 있는 길을 열어주었다. 테일러-포디즘은 노동 과정의 따분함과 지루함으로 인한 노동자들의 이탈을 방지하기 위해 상대적으로 고임금을 제공함으로써 수많은 공장 노동자들이 의미 있는 소비 주체가 되어 대량 생산에 걸맞는 대량 소비의 시대가 열렸다.

테일러-포디즘을 선도적으로 도입·확산해나간 미국은 그 우월한 생산성을 바탕으로 점차 세계의 공장으로 우뚝 섰고, 제2차 세계대전 이후 유럽 역시 미국에서 탄생·발전한 테일러-포디즘을 적극적으로 수용하면서 미국과의 생산성 격차를 해소하여 1950년대, 1960년대 번영의 기틀을 마련했다.

테일러-포디즘은 컨베이어벨트에 의한 일관 생산 공정하에서 대량 생산을 추구하기 때문에, 경쟁우위를 확보하기 위해서는 ‘규모의 경제’가 매우 중요해진다. 또한 경영진과 노동자들은 서로 적대적이다. 노동자들은 언제든지 교체 가능한 부품에 불과하며 경영진이 강요하는 지루하고 따분한 작업 과정을 단순 반복해야 한다. 노동자들은 경영진의 일방적인 권력으로부터 스스로를 보호하기 위해, 또는 더 많은 금전적 보상을 요구하기 위해 스스로 단결해야 한다. 이것이 테일러-포디즘하에서 ‘노동 조합’이 매우 높은 결집력과 협상력, 정치력을 발휘할 수 있었던 배경이었다.

1960년대 중반을 넘어서면서 장기호황에 따른 잉여노동력 고갈 및 노동자들의 생활수준 향상으로 테일러-포디즘의 한계가 점차 표면화되었다. 잉여노동력이 점차 고갈되어가므로 경영진은 마음에 들지 않는 노동자들

을 쉽게 축출할 수가 없다. 노조의 파워도 세고 실직할 경우 새로운 직장을 구하기도 예전에 비해 어렵지 않으니 노동자들도 작업과정에 대한 불만을 공식적·비공식적으로 표출하는 데 주저하지 않는다. 이로 인해 불량률, 결근률, 자발적 이직률이 높아진다. 또한 적대적 노사 분위기 속에서 노조가 언제 집단적인 태업 혹은 파업에 돌입할지 모르므로 회사는 이에 대비하여 각 공정별로 충분한 재고를 확보해야 한다. 높은 불량률에 따른 생산성 저하, 높은 결근률과 이직률에 따른 고용비용 증가, 높은 재고유지 비용 등으로 인해 테일러-포디즘의 이윤율은 점차 떨어져갔다.

또한 테일러-포디즘은 표준화된 제품의 대량 생산을 통한 원가절감을 추구하기 때문에 필연적으로 소품종 대량 생산으로 흐를 수밖에 없다. 따라서 유행이나 트렌드의 변화를 능동적으로 따라가기가 매우 어렵다. 하지만 소득수준이 높아진 소비자들은 더 이상 획일적이고 규격화된 기존 제품들에 흥미를 잃어가고 있었다.

일본의 도요타는 테일러-포디즘의 한계를 일찍이 간파하고, 테일러-포디즘의 기반하에 수공업적인 장인정신과 팀플레이를 결합하여 린(Lean) 생산 방식(도요타 생산 방식)을 창안했다. 비록 테일러-포디즘에 기반하고 있지만 노동자들은 팀플레이를 통해 생산공정을 스스로 기획하고 관리하고 개선할 수 있는 자율성과 책임을 상당 부분 부여받는다. 노동자들이 소외된 객체에서 생산성 혁신의 주체로 참여할 수 있는 길이 열린 것이다. (생산성 혁신을 위한 다양한 제안과 아이디어 제출은 권리일 뿐만 아니라 의무이기도 했다.) 노동자들의 능동적인 참여를 더욱 잘 반영할 수 있도록 생산공정은 보다 유연화되고, 생산공정의 변화에 능동적으로 대응할 수 있도록 노동자들은 다기능화된다. 따라서 기존의 테일러-포디즘에 비해 생산공정의 재조직화에 드는 시간과 비용이 절약된

다. 생산공정의 유연화는 ‘소품종 대량 생산’을 넘어 ‘다품종 소량 생산’의 길을 열었고, 이를 통해 소비자의 다양한 욕구를 반영할 수 있었으며, 유행과 트렌드의 변화에 보다 능동적으로 대응해나갈 수 있었다. (이것이 더욱 발전하면 주문생산 방식이 가능해진다.)

또한 린 생산 방식에서는 노사관계가 보다 협조적이다. 먼저 경영진 입장에서는 노동자들의 자발적인 참여와 몰입을 이끌어내기 위해 그들을 대화의 상대로 인정하고 인간으로 대우해주어야 한다. 또한 노동자 입장에서는 다기능화를 통한 단순 반복 노동의 극복과 숙련의 기회가 제공되고 팀플레이를 통한 참여와 팀플레이를 기초로 하는 팀별 성과 중심의 보상체계 등으로 인해 노동과정에 대한 참여와 몰입이 증가하고 직무만족도가 상승한다. 이로 인해 결근율, 이직률, 불량률이 줄어들고 집단태업과 파업 등이 줄어드니 공정 간 재고를 감축할 수 있다. 출하량에 맞추어 생산을 진행하고, 생산에 맞추어 각 공정 단계별 재고수준을 최적으로 관리할 수 있는 ‘JIT(Just-in-Time)’ 생산 방식으로, 린 생산 방식은 기존의 테일러-포디즘에 비해 재고비용을 획기적으로 낮출 수 있었다.

도요타는 또한 제품의 개발과 혁신에 부품회사들을 적극적으로 참여시켰다. 도요타는 부품회사들의 제안과 아이디어를 반영하고, 부품회사들은 도요타의 변화 방향에 맞추어 능동적으로 부품들을 개발 생산했으므로 신제품의 기획에서 양산에 걸리는 시간이 단축되었다.

1960년대 초, 도요타에서 시작된 이러한 린 생산 방식이 점차 일본 전역으로 확산되어가면서 일본은 글로벌시장을 빠르게 잠식해 들어갔다. 결근율과 불량율의 저하, 재고비용의 절감 등을 통해 높은 원가경쟁력을 갖추었을 뿐 아니라, 유연한 생산공정을 통해 유행과 트렌드의 변화에 더욱 능동적으로 대응하는 한편, 다품종 소량 생산을 통해 소비자들

의 다양한 욕구를 충족시킬 수 있었기 때문이었다. 이러한 린 생산 방식은 1970년대와 1980년대 일본 변영의 강력한 원천이 되었으며, 일본 제조업의 놀라운 부흥에 큰 역할을 했다.

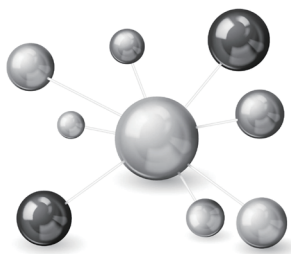
10. 노벨상

유키와 히데키(湯川秀樹)가 ‘중간자(meson)’에 대해 발표하기 이전에는 전자, 양성자, 중성자만이 소립자였다. 원자핵의 크기는 보통 1,000조 분의 1미터(-10^{-15}) 정도로, 원자보다 100만 배 정도 작다. 이런 작은 원자핵 안에 양성자와 중성자들이 모여 있는데, 그러려면 이들 사이에 강하게 당기는 힘이 작용해야 하고, 이것은 전기적인 미는 힘보다 훨씬 커야 한다. 유키와 히데키는 이런 이유로 핵자 안에는 강하게 당기는 힘이 있어야 한다고 생각했다. 1934년경 유키와 히데키는 계산을 통해 핵력의 매개입자가 전자보다 200배 무거운 입자임을 발견하고 ‘중간자’란 이름을 붙였다. 1947년 영국의 포웰(Powell) 그룹이 우주선에서 이 중간자를 발견했는데, 이후 미국 캘리포니아 대학교 버클리分校의 물리학자들이 입자가속기를 사용해 양성자를 가속한 다음 원자핵과 충돌시켜 인공적으로 중간자를 만들었다.

도모나가 신이치로(朝永振一郎)는 하이젠베르크-파울리의 연구와 디랙 연구의 장점만을 취해 1946년 상대성이론과 양자역학을 결합시킨 ‘양자 전기역학방정식’을 만들었고, 이 방정식이 과연 옳은지 확인하기 위해 전자의 질량과 전하를 계산했다. 전자는 전하를 가지고 있기 때문에 스스로 주위에 전기장(Electric Field)을 만든다. 전자가 ‘점입자’인 것, ‘자체 전기장(self-electric field)’과 상호작용한다는 것을 고려하면 전자의 에너지는 무한대가 된다. (상대성이론에 의하면 물체의 에너지는 질량에 비례

($E=mc^2$)하므로 전자질량이 무한대가 되는 모순에 빠진다.) 디랙은 전자에 대한 방정식을 풀다가 ‘양전자(Positron)’를 얻었다. 또 빈 공간에 높은 에너지를 가진 ‘광자’를 쏘아 ‘전자와 양전자가 쌍으로 탄생’하는 것이 관측되었다. 전자에서 나온 가상광자가 입자와 반입자 쌍을 만들면 가상광자의 수가 감소하는 효과가 나타나 ‘광자와 전자의 상호작용’이 줄어들어 전자의 에너지 증가, 즉 질량 증가가 유한해진다. 또 전자가 가상광자를 방출하는 비율은 전자전하에 비례하므로 전자의 전하 역시 유한해진다. 도모나가 신이치로는 ‘가상광자와 전자의 상호작용’을 고려하여 양자전기역학에서 무한대였던 전자의 질량과 0이었던 전자의 전하를 실험값과 일치하는 유한한 값으로 구할 수 있었다. 이 ‘재규격화(Re-Normalization)’를 통해 ‘양자전기역학’은 실험 결과를 가장 정확히 예측한 이론이 되었다. ‘양자전기역학’을 여러 소립자에 적용할 수 있도록 확장한 ‘양자장이론(Quantum Field Theory)’은 현재 소립자 물리학을 연구하는 데 핵심적인 역할을 하고 있다.

미시세계에서는 우리가 경험할 수 없는 ‘터널링 현상’이 일어난다. 소립자들은 파동-입자의 이중성을 갖기 때문에 자신의 에너지보다 큰 ‘퍼텐셜에너지’를 가진 벽을 만날 경우에도 벽 안으로 침투할 수 있다. ‘도핑(doping)’이란 반도체 안에 불순물 원자를 넣는 것이다. 반도체를 도핑시키면 이동할 수 있는 전자 수가 많아져 전류가 증가한다. ‘다이오드’는 n(Negative)형 반도체와 p(Positive)형 반도체를 붙여(Junction) 만든 전자부품으로 ‘정류(Rectification)’ 특성을 가진다. ‘에사키 터널다이오드’에서는 불순물이 많이 첨가된 반도체를 사용한다. 이렇게 되면 우선 접합 부분에 생기는 퍼텐셜에너지 장벽의 두께가 얇아진다. 또 일반 다이오드와 달리 낮은 전압에서도 퍼텐셜에너지 장벽의 높이가 낮아진다. 이로써 전자의



터널링이 일어난다. 에사키 레오나(江山壽玲於奈)가 발견한 터널다이오드는 손으로 다이얼을 돌리지 않고도 주파수를 자동으로 찾아주는 라디오나 고주파 통신기기 등에 유용하게 사용되었다.

표준모형에서 진짜 소립자는 여섯 개의 렙톤(전자, 전자뉴트리노, 뮤온, 뮤온뉴트리노, 타우입자, 타우입자뉴트리노), 여섯 개의 쿼크(업, 다운, 참, 스트레인지, 탑, 바텀쿼크)의 12개뿐이고 이들은 모두 점에 가까운 입자로 알려져 있다. 그리고 힘을 매개하는 네 개의 입자(광자, 글루온, W 입자, Z 입자)가 추가된다. 원자핵 안의 중성자가 양성자로 붕괴하며 전자와 중성입자 ‘뉴트리노(Neutrino)’를 핵 밖으로 방출하는 것이 베타붕괴이다. 그런데 뉴트리노는 물질과 거의 반응하지 않으며 물질을 관통하므로 흔적을 확인하기가 매우 어렵다. 고시바 마사토시(小柴昌俊)는 1978년 ‘가미오칸데’라는 검출기를 지하 1,000미터 깊이의 폐광에 설치했다. 가미오칸데는 5,000톤의 물이 차 있는 거대한 육면체 물통으로, 물통 벽면에는 지름 50센티미터의 대형 광전자 증배관(Photomultiplier Tube)이 뺑뺑이 들어차 있다. 뉴트리노가 검출기의 물속에 들어오면 물의 원자핵과 충돌하여 고속의 전자가 발생한다. 이 전자가 물에서의 광속(대기 중에서의 광속보다 느림)보다 빨리 움직이면 ‘체렌코프 복사(Cherenkov Radiation)’라는 섬광이 발생한다. 가미오칸데는 이 섬광을 광전자 증배관으로 검출하도록 만든 것이다. 1983년 가동에 들어간 가미오칸데는 먼저 태양 뉴트리노를 관측했다. 그는 1996년 ‘초 가미오칸데’를 이용해 ‘뉴트리노 진동’이라는 현상을 발견했다. 세 종류의 뉴트리노 사이에는 상호작용이 있어 한 종류의 뉴트리노가 다른 종류의 뉴트리노로 붕괴하므로, 한 종류의 뉴트리노

의 수가 커졌다 작아졌다 하는 진동이 발생한다.

분자의 전자구름은 원자들이 잘 결합하도록, 원자와는 다른 전자구름 모양을 갖는다. 분자의 전자구름 모양이 원자일 때와 달라지면서 에너지가 낮아지는 것이다. 자연에는 무수한 화학반응이 존재한다. 1950년대 화학자들은 전자구름의 모양, 즉 전자의 분포가 화학반응에서 중요하다는 것을 알고 있었다. 그러나 전자구름만으로는 설명하기 어려운 현상이 탄화수소의 화학반응에서 발견되었다. 방향족탄화수소인 벤젠(C_6H_6) 분자와 산화질소이온(NO_2^+)의 반응이 그 예다. 산화질소이온의 전하가 양(+)이기 때문에 이온은 벤젠의 전자분포(-전하)가 가장 큰 곳으로 끌려가 결합될 것으로 예상되었지만 실험 결과는 달랐다. 후쿠이 겐이치(福井謙一)는 벤젠의 경우 에너지가 높은 전자분포가 반응에 중요하다고 생각했다. 나아가 그는 전 화학반응에서 가장 중요한 역할을 담당하는 것은 ‘에너지가 높은 전자궤도’임을 주장하고 이를 ‘프런티어 궤도’라고 불렀다. 이후 후쿠이 겐이치는 화학반응이 일어나는 경로를 따라 프런티어 궤도가 어떤 상호작용을 거치게 되는지 연구했고, 화학반응과정을 이론적으로 정확히 이해하여 새로운 화합물을 합성하는 데 큰 기여를 했다.

‘아세틸렌’은 탄소원자 두 개와 수소원자 두 개가 결합하여 만들어진 간단한 분자다. 화학식이 C_2H_2 , 구조식은 $H-C \equiv C-H$ 로 일(-)자 모양으로 원자가 배열되어 있고, 탄소원자들은 전자 세 개를 공유하여 삼중으로 단단하게 결합해 있다. ‘고분자화(Polymerization)’하려면 단량체를 이온화시켜 이미 만들어진 고분자에 잘 달라붙도록 해야 한다. 이런 작용을 하는 것이 촉매이다. 시라카와 히데키(白川英樹)는 ‘아세틸렌 기체’를 특수한 촉매와 반응시켜 아세틸렌의 고분자인 ‘폴리아세틸렌’을 만들었다. 폴리아세틸렌은 탄소-탄소 결합이 가운데 중심축을 이루고 있고 주위에

수소원자가 붙어 있다. 또 탄소-탄소 결합은 특이하게 단일결합과 이중결합이 교대로 반복되는 ‘공액이중결합(Conjugated Double Bonds)구조’이다. 소량의 촉매를 사용할 경우 긴 사슬의 고분자를 이루지 못하고 검은색의 폴리아세틸렌 가루가 얻어진다. 그러나 그는 실제로 촉매를 1,000배 이상 사용했고 은빛 광택이 나는 ‘폴리아세틸렌필름’을 얻었다. 이 경우 아세틸렌 기체는 촉매에 닿자마자 반응을 일으켜 이미 만들어진 폴리아세틸렌에 달라붙을 수 있기 때문에 필름이 생긴 것이다. 시라카와 히데키가 만든 반짝이는 폴리아세틸렌필름은 보통의 플라스틱처럼 전기가 통하지 않았다. 1976년, 미국의 맥더미드(Alan G. MacDiarmid)와 히거(Alan J. Heeger)는 시라카와 히데키의 폴리아세틸렌필름에 ‘요오드 증기’를 쏘여 도핑시킴으로써 전기가 100만 배 이상 잘 통하는 ‘전도성 필름’을 얻었다. 폴리아세틸렌 필름에서 ‘정공’의 이동을 보면, 한 아세틸렌분자에서 다른 아세틸렌분자로 ‘깡충뛰기(Hopping/Jumping)’하는 것을 볼 수 있다. 아무튼 이제부터 종이처럼 돌돌 말 수 있는 ‘얇은 태양전지’와 ‘디스플레이(TV, 컴퓨터모니터)’, 나노 크기(10억 분의 1미터)의 ‘트랜지스터 개발’ 등 ‘전도성 고분자’의 새로운 응용이 가능해졌다.

네덜란드의 반트호프(Jacobus H. van't Hoff)는 1874년 생물체가 가지고 있는 흔한 아미노산인 알라닌(Alanine)에 두 가지 형태가 있으며 이 두 형태가 서로 거울상임을 발견했다. S-알라닌과 R-알라닌이라고 부르는 두 형태는 서로 거울에 비친 모습을 하고 있다. 알라닌과 같이 거울 대칭성을 가진, 즉 서로의 거울상이 존재하는 분자를 키랄(Chiral)분자라고 한다. 알라닌을 실험실에서 만들면(합성하면) 두 종류의 알라닌이 동일한 비율(50 대 50)로 섞인 혼합물이 만들어진다. 거울상의 화합물이 같은 비율로 합성되는 것을 대칭합성(Symmetric Synthesis)이라고 한다. 반면 한 종류의

거울상 물질이 다른 종류보다 많이 만들어지도록 하는 것을 비대칭합성(Asymmetric Synthesis)이라고 한다. 노요리 료지(野依良治)는 1974년부터 비대칭합성을 연구했다. 그는 키랄 촉매가 어떤 이유로 비대칭적인 합성을 일으키는지 밝히고자 노력했다. 2년 후인 1976년 BINAP라는 키랄 촉매 분자를 얻었고, 1978년에는 BINAP 촉매를 안정적으로 합성했다. 1980년에는 이를 사용해 아미노산의 비대칭합성에 성공했다. 이후에도 그는 BINAP를 이용한 비대칭합성 연구를 계속했다. 그리하여 BINAP를 이용한 방법은 현재 제약회사에서 항생제, 심장질환치료제 등을 만드는 데 매우 유용하게 쓰이고 있다. 2001년 노요리 료지는 효율적으로 비대칭 합성하는 방법을 개발한 공로로 노벨상을 받았다.

1988년, 펜(John B. Fenn)은 매우 강한 전기력을 이용해 단백질을 손상시키지 않고 이온화시키는 기술을 발견하고 여기에 ‘비행시간법(time of flight method)’을 적용하여 단백질의 질량을 측정했다. 단백질 수용액을 강한 전기장 속에 뿌리면 물방울이 만들어지고 물방울에서 물이 서서히 증발하면서 단백질이온만 남는다. 이 단백질이온으로 단백질의 질량을 측정할 수 있었다. 한편 다나카 고이치(田中耕一)는 1987년 단백질을 매트릭스(matrix)에 붙인 후 적절한 파장과 에너지를 가진 레이저빔을 쏘아 매트릭스 표면에서 이온화된 단백질이 떨어져 나오게 하는 ‘약한 레이저 탈착 방법(soft laser desorption; SLD)’을 발견했다. 그리고 이 SLD 원리를 이용한 단백질 질량 측정장비인 ‘MALDI-TOF-MS’를 개발하여 단백질 연구의 새 장을 열었다. 다나카 고이치가 고안한 장비들은 현재 신약을 개발하거나 말라리아, 암 등의 질병에 감염되었는지 진단하는 데 유용하게 쓰이고 있다.

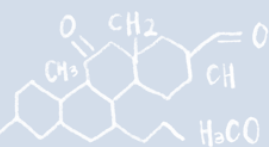
몸속에 침투한 이물질질을 생물학에서는 ‘항원’이라고 부른다. 예를 들어

병원균이 항원으로 몸 안에 들어오면 백혈구(White Blood Cell) 가운데 하나인 B림프구(Lymphocyte)에서 병원균에 대응할 ‘항체’가 만들어져 세포 밖으로 나온다. 항체는 단백질의 일종으로 항원에 대해 자물쇠와 열쇠의 관계를 갖는다. 항원에 맞는 항체가 만들어지면 이 항체는 항원에 구멍을 뚫고 달라붙는다. 항체의 공격을 받아 항원이 움직일 수 없게 되면 대식세포(Macrophage)가 나타나 항원을 잡아먹는다. 대식세포는 백혈구가 세포 밖으로 빠져나와 모양이 변화한 것이다. 우리 몸에 들어오는 이물질인 항원의 종류는 무수히 많다. 따라서 이에 대응할 항체의 수도 무한할 수밖에 없다. 단백질인 항체는 두 쌍의 긴 사슬과 하나의 짧은 사슬로 이루어진 Y자 모양을 하고 있으며, Y자의 윗부분이 항원과 결합한다. 항체의 긴 사슬 하나만도 500만 개 이상의 다른 형태를 가질 수 있다. 여기에 더해 짧은 사슬도 1만 개 정도의 다른 형태를 가진다. 이 둘을 곱하면 최종적으로 10억 개 이상의 다양한 항체가 몸 안에서 만들어져 우리 몸을 항원으로부터 안전하게 지켜준다. 도네가와 스스무(利根川進)는 사람에게 긴 사슬은 G, M, A, D, E라고 부르는 다섯 종류가 있는 반면 짧은 사슬은 κ (카파)와 λ (람다)의 두 종류가 있음을 밝혔다.

제12장

중국의 근대과학

1. 모택동시대	342
2. 개혁과 개방	345
3. 군민겸용정책	350
4. 자동차와 컴퓨터	353
5. 중국의 자동차 산업	355
6. 중국의 기업전략, 수직분열	364
7. 중국의 기업	366



제12장

중국의 근대과학



1. 모택동시대

1900년, 중국인들은 중국이 몰락하는 것을 지켜보면서 당시의 청 왕조를 불신하기 시작했다. 특히 해외에서 유학하는 동안 서양의 문물을 접하게 된 중국의 젊은이들은 청 왕조가 무너져야 한다고 생각했다. 손문(孫文)도 이러한 사람들 가운데 한 명이였다. 그는 해외에서 전면적인 개혁을 추구하는 모임을 결성했다. 1911년, 몇 개의 성들이 독립을 선포함으로써 청 왕조는 서서히 막을 내리기 시작했다. 이런 와중에서 손문은 중화민국의 총통으로 당선되었다. 그러나 당시 강력한 권력을 쥐고 있던 원세개(元世凱)가 손문을 사임시키고 자신이 임시총통에 취임하여 정식으로 중국이 수립되었다. 1925년 손문은 사망하고 그의 국민당은 장개석(蔣介石)이 맡았다.

1926년, 장개석은 중국공산당과 연합하여 청 왕조와 결별한 강력한 군벌들을 격퇴했다. 그다음은 공산주의자들을 공격하여 상하이에서 이들을 몰아냈다. 장개석은 공산주의자들을 완전히 궤멸하지는 못했지만 모택동(毛澤東)의 공산당 부대에 큰 압박을 가하여 중국 북서쪽까지 밀어냈다. 이후 침략군 일본을 맞이하여 양측은 한시적인 연합전선을 구축했

다. 일본과의 전쟁 후 모택동이 차지한 북부 지역을 국민당에 넘겨주려 하지 않자 양측 간에는 격렬한 내전이 시작되었다. 내전에서 공산당은 국민당을 중국 본토에서 몰아냈고 장개석은 타이완 섬으로 피신을 했다.

서양의 과학을 배우자는 개화기 동아시아인들의 조급함이, 과학적 방법으로 인간사회의 발전 단계를 밝혀냈다는 ‘발전 사관’과 눈부신 과학이 약속하는 ‘이상향’의 꿈이 결합한 ‘마르크스주의’에 마음이 기울어지게 했다. 그러나 이들은 생산력이 낙후된 상태에서 전근대적인 반봉건체제를 타파하기 위하여 ‘공산주의’에 기울어진 것이므로, 마르크스가 주장한 생산력이 고도로 발전한 자본주의 단계에서, 생산 관계의 모순이 첨예화해 나타난다는 혁명과는 성격이 달랐다.

이러한 괴리는 ‘사회주의 인민공화국 중국’에서 두 가지 노선의 투쟁으로 나타났다. 중국사회의 근대화를 위하여 낙후된 생산력을 먼저 증대해야 한다는 실용파와, 공산주의의 기본 목표인 소유와 분배체제 즉 생산 관계의 정비를 중시해야 한다는 혁명파 간의 노선투쟁이 그것이다. 이러한 두 노선의 대립과 갈등은 중국사회의 발전정책, 즉 개방정책 전반에 걸쳐 나타났고 과학기술정책도 예외가 아니었다.

1949년은 중국혁명을 감당해온 ‘민족통일전선’을 기반으로 ‘중화인민공화국’이 탄생된 시기이며, 1950년은 한국전쟁으로 인한 ‘항미원조(抗美援朝)’ 및 ‘반혁명진압운동’의 시기이다. 이 시기는 급격한 ‘농업집단화’ 기간이었다. 중화인민공화국의 경제는 중공업중심으로 구소련의 원조로 수행되었고, 국영경제를 지도적 요소로 삼아 경제부흥을 꾀했다. 중국과학원(中國科學院)이 설립되고 연구직에 종사하는 과학 기술자의 절대량 부족의 해소, 파벌화된 연구기관의 정비 및 확충 등을 했으며 광범위한 ‘사상 개조운동’과 ‘인간 개조운동’을 통하여 통제의 확립과 진취적인 공업

화계획에 착수했다. 이 동안에 근대적 공업플랜트를 소련으로부터 제공 받을 수 있었는데 이 플랜트는 제철·제강 공장, 발전소에 필요한 ‘기간 산업 시설’과 트랙터 등의 ‘기계제조 시설’이었다. 또 구소련에서 유입된 과학기술인력에 의한 과학기술발전을 위한 체제정비 기간이었다.

중국공산당은 1956년까지 중국을 사회주의 국가체제로 개조했는데, 이 과정에서 나타난 모순을 처리하고 사회주의건설을 위하여 ‘대약진운동(大躍進運動)’을 전개했다. 1957년 8월 소련의 ICBM 실험 성공과 같은 해 10월의 인공위성 스푸트니크 1호 발사 성공을 배경으로 11월에 ‘중소신군사협정’이 체결되었다. 그러나 1959년부터 모택동의 ‘사회주의사회에서의 계급투쟁’이라는 독자노선으로 ‘중소분쟁’을 겪었다. 즉 중소신군사협정이 2년 만에 폐기되고 과학기술 원조가 중단되었다. 이때부터 모택동을 중심으로 한 ‘자력갱생(自力更生)’노선이 강화되었고 전 중국이 ‘인민공사화운동’에 빠져들었다. 대학의 교육도 현장실습교육 위주로 ‘반공반학(半功半學)체제’가 생겼다. 모택동은 농업을 재정비해 공동 농장을 만들고 이곳에 노동력과 자원을 집약시켰다.

이후 이 과정에서 생겨난 모순을 해결하기 위하여 실용파는 전문가와 과학 기술자의 역할을 증대시키고, 외국과의 무역을 늘리며, 경제 부문의 농업, 경공업, 중공업 순으로 우선순위를 부여하여 생산력 발전에 힘썼다. 1964년에는 제1회 원폭실험이 성공했고 1966년에는 3회에 걸친 핵폭발 실험에 성공했다.

모택동이 주도한 대약진운동이 실패하고 그 조정기에 유소기(劉少奇)등이 부상하자 모택동은 이들을 수정주의자 주자파(走資派)로 지목하고 군중을 동원하여 숙청을 전개했다. 임표(林彪)와 강청(江青)을 중심으로 한 4인방은 모택동의 신임을 이용하여 1966년 8월 북경의 천안문(天安門)광장

에 백만인 집회를 열었고, 이곳에 모인 홍위병들은 전국으로 파견돼 낡은 문화를 일소한다는 명목하에 대대적인 시위를 했다. ‘문화대혁명(文化大革命)’이라는 이 무질서한 혼돈의 시대에 학교 교육, 과학연구, 생산의 3자를 결합시킨 새로운 체제가 갖춰지고, 대학은 폐쇄되었으며 학원 내에 중소 공장이 설치되어 ‘교영공장(教營工場)’의 운영을 통하여 ‘학습과 응용’을 결부시켰다. 이렇게 하여 전국 67개 대학 및 전문학원은 총 2,825개소의 공장, 인민공사와 제휴했다.

1976년 1월, 주은래(周恩來)가 사망하고 9월에는 모택동도 사망했다. 1977년 덩소평(鄧小平)이 부활하여 중국에 자본주의를 도입하기 시작했다. “마르크스와 엥겔스는 지난 세기의 사람들이다. 대단한 사람들이었지만 그들이 오늘날 우리의 모든 문제를 풀어줄 수는 없다. 중국은 나름대로 경제개발을 이룩해야 한다. 문을 닫고서 국경만 지킬 수는 없다. 바깥세상을 향해 문을 열어야 한다.” 1978년 말 덩소평은 주은래가 제창했던 농업, 공업, 국방 및 과학기술의 ‘4대 근대화’ 경제개혁에 착수했다. 경제개방정책으로 금세기 안에 4대 근대화를 실현하고, 공업총생산을 20년 동안 네 배로 늘린다는 목표를 세웠다. 이 계획을 위하여 중국은 기초과학에 막대한 비용을 들였다. 100군데가 넘는 전문 과학기관이 세워졌으며 수만 명의 학생이 정부의 지원을 받아 서구의 일류대학으로 유학을 떠났다.

2. 개혁과 개방

1978년, 안휘(安徽) 성 서기인 만리(萬里)는 사적으로 농사를 지을 수 있는 자투리땅의 규모를 예전의 5퍼센트에서 15~20퍼센트로 늘려주고 농가들이 다른 추가 사업을 하라고 격려했다. 1979년에는 조자양(趙紫陽)이 쓰촨(四

川) 성에서 같은 길을 따랐다. 이렇게 자투리땅과 자작농이 확대되면 될수록 농업 생산이 증가했으므로 1980년 이후에는 이 정책이 전국에 급속도로 확산되었다. 그러자 이제는 자투리땅을 넓히는 정책에서 땅 모두를 개별 농가에게 재분배했다. 즉 ‘포건도호(包乾到戶)’라는 생산청부제로 노동력과 가족 수에 따라 땅이 농가에 분배되었고 농지의 비옥도에 따라 생산을 청부했다. 농가에서는 식량을 정부에 팔아넘기고 조세의 의무를 다하면, 자유로운 생산 및 판매가 가능했으며, 공동 작업을 하더라도 농민에게 큰 자영권이 주어졌다. 또 1979년 당 중앙은 인민공사가 국가에 팔아야 하는 곡물 가격을 20퍼센트 인상했고, 자발적으로 팔 수 있는 곡물 가격은 50퍼센트 인상했다. 이와 동시에 국가가 인민공사에 판매하는 농기계, 비료, 농약, 기타 품목들의 가격은 10~15퍼센트 인하했다.

다각경영이 인정되어 농촌에 자유시장이 섰다. 그리고 농가의 부업으로서 전에는 금지되던 상업과 운수업, 여관업, 창고업, 그리고 여러 가지의 서비스업까지도 인정받게 되었다. 개인 경영을 인정했기 때문에 법적으로 재산상속이 인정되고, 이는 다시 개인의 능력 발휘를 조장하여 농촌에서 ‘만원호(萬元戶)’들이 증가하고 신흥갑부들이 생겨났다.

등소평의 이러한 농업개혁이 농촌에 미친 영향은 놀랄 만했다. 1957년부터 1977년 사이 전 중국 인구의 일인당 ‘곡물생산량’이 연평균 0.2퍼센트 증가하는 데 그친 것에 비하여 1978년에서 1984년 사이에는 매년 3.8퍼센트씩 증가했으며, ‘면화 생산량’은 무려 17.5퍼센트씩 증가했다. ‘육류 생산량’은 1.7퍼센트에서 9퍼센트씩 증가함으로써 농민들의 식생활 수준도 크게 개선되었다. 이제 밀가루는 그들의 주식이었다. ‘자주권 인정’이 농민에 대한 농산물 공급의 증가로 나타나, 식량의 자급이 가능해진 것이다. 노동자의 임금과 복지가 향상되고 병원과 주택 등

비생산적 축적의 비율이 높아졌으며 소비 경향이 현저하게 바뀌었다.

1984년 농산물의 상품화율이 50퍼센트를 초과하자 당국은 ‘통일매입·통일판매(식량의 국가통제)’에 변화를 꾀하여 농민에게 시장의 수요에 따라 생산하게 하고, 가격을 시장 원리에 따라 조절하도록 했다. 통일매입은 식량, 착유 원료, 면화에 한정하고 할당매입을 18종에서 9종으로 줄였다. 여기에는 농산물의 매입과 판매의 이중가격에 의한 재정 부담을 감소시키는 효과가 있었다. 농산물의 공급 증가는 농민의 현금 수입을 증가시켰다. 현금 수입의 증가는 국내시장을 확대시켰고, 1984년 사회구매력의 50퍼센트 이상을 농민이 차지하기에 이르렀으며, 덩달아 도시의 공업화와 농촌의 소공업화를 자극했다. 이러한 농업경제의 개혁은 자영농 육성과 농산물 가격 인상을 먼저 꾀하고, 중공업의 일방적인 발전을 억제하여 농업과 경공업에 대한 투자를 증가시켰으며, 생활필수품과 내구소비재의 생산을 늘렸다. 농촌에서는 보다 좋은 것에 대한 수요가 증가했고 자전거, 라디오, 시계 등의 보급률이 높아짐과 동시에 세탁기, 텔레비전이 보급되기 시작했다. 1988년까지 실질 국내 총생산(GDP) 신장률이 거의 매년 10퍼센트를 넘어섰다.

1980년, 외화 획득과 기술 도입을 위해 최초의 ‘특별경제구역(經濟特區; Special Economic Zone, SEZ)’이 홍콩 및 타이완에 인접한 해안도시인 선전(深圳), 주하이(珠海), 산터우(山頭), 샤먼(廈門)에 설립되었다. 이로써 등소평은 중국 노동자들이 외국 투자자들을 위해 일하게 했으며 중국의 화교들에게 직접 투자를 호소했다. 이러한 ‘경제특구(經濟特區)’는 중국의 경제개발을 급세 자극했고, 서방 자본주의의 많은 혜택을 가져왔다. 이에 따라 1984년 동부 해안을 따라 다롄, 톈진, 상하이, 광저우를 중점 지구로 하고 그 밖에 10개의 연안도시와 하이난(海南) 섬 전체를 ‘경제특구(經濟特區)’로 추가했다.

등소평의 개혁개방이 시작되면서 국가과학기술위원회, 중국과학원, 중국과학기술협회 등이 재결성되었고 과학기술과 교육으로 국가를 발전 시키자는 ‘과교흥국(科教興國)’의 기틀이 마련되었다. 1986년부터는 하이테크산업발전에 관한 계획(863계획)을 실행하게 되었다. 이 계획은 15년 동안 1만 명 이상의 과학 연구진을 투입하여 생체공학, 우주항공, 정밀전자, 정보기술, 레이저, 로봇 및 공장자동화, 에너지, 신소재 등에 연구개발 투자를 장려하는 계획이었다. 과학기술을 제도적으로 보장하기 위한 수단으로 ‘고기술산업 개발구(高科技產業開發區)’를 27개 시에 설정하고 ‘경제특구(經濟特區)’의 일부를 ‘첨단산업 개발구’로 지정했다. 그중에서도 상하이 포동지구(浦東地區)를 아시아 최대의 실리콘밸리로 육성했다. 과학기술 활동의 생산성을 높이기 위해 각 연구기관들도 공개 경쟁을 통해 계약책임경영제를 도입하고 연구원에게도 능력에 따른 임금, 인센티브 및 복지 수준을 적용했다.

1978년 개혁 개방이 시작된 후 10년 만인 1988년까지 농민들의 1인당 평균 실질소득은 무려 3.1배로 늘어났으며 도시 주민들도 1.8배 이상으로 늘어났다. 소득의 증가는 가전제품의 유효수요를 이끌어내는 데 건설한 기초를 제공했다. 도시 주민들 사이의 소득격차가 비교적 적었으므로 평균 소득수준이 컬러TV 등 가전제품을 구입할 수 있을 정도의 수준 이상이 되면 사회적으로 구매 수요가 단기간에 폭발적으로 늘어난다. 또 대외개방이 빠르게 확산되면서 선진국들의 소비문화가 급속히 중국에 침투하여 가전제품에 대한 국민들의 수요를 크게 자극했다. 그러나 그동안 지방분권화와 기업의 생산자주권 확대의 결과 컬러TV의 생산이 크게 늘어난 데다 1989년 천안문 사태로 컬러TV도 공급 과잉되었다. 그러자 기업들도 시장 확보를 위해 치열한 가격인하 경쟁에 돌입할 수밖에 없었

다. 현재 중국 가전업계의 거인으로 성장한 하이얼(海爾; Haier), 창홍(長虹) 전기, 칸자(康佳; Konka) 등은 모두 1990년대 초에 ‘거액의 광고비 지출-제품브랜드 이미지 제고-판매량 대폭 증가-이윤 대폭 증가-거액의 광고비 지출’과 같은 선순환 과정을 거쳐 성장한 것이다.

냉장고산업은 1980년대 말에 이른바 중복 투자와 중복 도입을 했다는 비난을 가장 많이 들어온 분야인 동시에 기업 간의 시장경쟁이 가장 치열한 분야이기도 했다. 급격하게 늘어난 기업들의 냉장고 생산 능력은 결국 치열한 시장경쟁을 불러왔으며 또 이러한 경쟁이야말로 기업들로 하여금 제품의 가격을 인하하고 품질과 서비스를 개선하여 냉장고산업이 중국에서 경쟁력이 가장 강한 산업의 하나로 성장하는 데 결정적인 역할을 했다.

1989년 4월 15일, 호요방(胡耀邦)이 사망하자 그의 명예회복을 요구하는 대학생들의 집회가 시작되면서 전국 각지에서 민주화 요구 시위가 일어났다. ‘천안문(天安門)’ 사태였다. 이 사태로 중국은 사회적·정치적 혼란을 겪었다. 그러자 덩소평은 1992년 중국 남방의 우창(武昌), 선전(深圳), 주하이(珠海), 상하이(上海) 등지를 시찰하면서 연설과 문제에 답했다. 중국의 개혁개방은 이 ‘남순강화(南巡講話)’ 이후 새로운 단계에 들어섰다. 특히 각 혁신주체들은 보유 과학기술 자원에 비용과 마케팅의 개념을 도입하면서, 기술상업화를 통한 ‘과교흥국’을 구체화해나갔다. 중국의 국민총생산은 1989년 8.4퍼센트, 1990년과 1991년에 10.5퍼센트 성장했으며, 1992년에는 12.5퍼센트, 1993년에는 거의 13.8퍼센트에 육박했다. 이제 중국은 세계에서 가장 성장 잠재력이 큰 나라로 꼽힌다.

농업 분야에서 얻은 중요한 성과는 ‘의식부족(衣食不足)의 해결’이다. 1998년에는 ‘식량 생산’이 5억 1,230만 톤으로 과거 최고치였던 1996년

의 5억 454만 톤을 넘어섰으며, ‘면화’는 450만 1,000톤으로 급증했고, ‘설탕’ 826만 톤, ‘차 종류’ 66만 5,000톤, ‘돼지’ 4억 2,256만 마리 등을 생산했다. ‘옥수수’는 동북 지방의 풍작과 운반 수단의 부족으로 저장할 수 없을 정도의 공급 과잉이 일어나 식품가공 공장과 사료 공장을 건설하자는 소리가 나왔으며, ‘면화’도 저급품의 생산지에서는 거래가 늦어져서 야적한 채로 변질되기도 했다. 이런 성과로 식량의 1인당 보유량은 쌀(배)·보리가 265킬로그램, 면화가 6킬로그램에 이르는 등 의식에 필요량이 충족되었다.

3. 군민겸용정책

중국은 모택동 시절에 우수 인력을 총동원하여 핵, 미사일, 인공위성, 유인우주선 등의 기술을 확보했다. 그런데 1978년 덩소평은 이들 국방산업체의 인력 절반을 민수용품 생산에 돌릴 것을 요구했다. 군수산업체가 최고의 과학기술을 보유하고 있었기 때문에 ‘군민겸용정책’을 편 것이다. 이에 따라 6차(1981~1985년)와 7차 5개년계획(1986~1990년) 기간에 40억 위안을 투자하여 475개의 새로운 생산라인을 건설했고, 8차 5개년계획(1991~1995년) 때는 100억 위안을 투자했다. 중국 최대 오토바이 생산업체인 충칭(重慶)의 자링모터, 연간 100만 대의 소형차를 생산하는 충칭의 창안 자동차, 세계 최대의 텔레비전 생산라인을 갖춘 쓰촨(四川)의 창홍(長虹) 컬러텔레비전 등은 ‘군민겸용정책’의 결실이다. 그 결과 군수업체의 민수품 생산 비율은 1979년에 8퍼센트이던 것이 가파른 성장세를 보이며 2003년 65퍼센트가 되었다.

덩소평은 ‘군민겸용정책’을 펴면서 군수산업체의 기밀기술을 단계적으로 해금했다. 1988년 처음으로 210개 항목의 국방전문 기술이 기밀 해

제되었다. 이듬해에는 2,336개 항목이 풀렸다. 8년 뒤인 1997년에 다시 742개 항목이 추가로 공개되어 화공, 기계, 전자, 통신 등 모두 3,288개의 기술 항목이 해금되었다. 기밀 해제된 기술 가운데는 미사일 코팅기술에서 발전해 나온 ‘내열코팅기술’, 미사일과 인공위성 등에 이용되는 ‘원격통제관련기술’, ‘광학기술’등이 포함되었다.

중국은 러시아의 도움을 받아 완성한 중거리 탄도 미사일(IRBM) CSS-2를 개량해 우주발사체인 CZ(창정)-1을 개발했고, 1970년 4월에 위성을 발사했다. 이후 대륙간탄도미사일(ICBM)인 FB-1을 개량한 CZ-2C를 개발하여 1975년에 선저우 5호 업적의 기틀이 되는 회수용 위성 발사에 성공한다. 이를 바탕으로 중국은 1970년 중반부터 정지궤도 발사용 로켓 개발을 시작했다. 그래서 나온 것이 CZ-3이다. CZ-3은 CZ-2C에 고성능 3단 로켓을 부가한 것이다. 또한 중국의 CZ-3은 미국과 러시아에 이어 세계에서 세 번째로, 액체수소와 액체산소로 재 점화가 가능한 첨단의 액체 엔진을 사용한다. 1984년 4월 CZ-3을 통해 정지실험통신위성인 동방홍 2호 발사에 성공하자 1985년부터 중국은 상업용 위성 발사시장에 도전장을 내민다. 1990년에는 CZ-2에 네 개의 액체추진제 로켓을 보조로 붙인 CZ-2E를 개발했는데, 성능이 러시아의 프로톤이나 미국의 타이탄, 유럽의 아리안 로켓에 필적할 만한 것이었다. CZ-2F는 CZ-2E에 신뢰성이 높은 시스템을 채용하고, 유인 우주선을 저장하도록 상단 부분을 개량해 비상탈출용 로켓을 부가한 형태이다. CZ-2F는 유인 우주선 발사용당 게 100퍼센트의 발사 성공률을 보이고 있다. 2004년 현재 중국은 유럽의 아리안 5호에 버금가는 차세대 발사체인 CZ-NGLV(New Generation Launch Vehicle)을 설계하고 있다. 액체수소와 액체산소를 사용하는 주엔진, 케로신과 액체산소를 사용하는 보조로켓으로 구성되는 이 발사체는 2008년 베이

장 올림픽 이전에 발사되었다.

2006년 9월 9일, 중국 간쑤성(甘省) 주취안(酒泉) 위성발사센터는 스젠(實踐) 8호라는 과학위성을 발사했다. 스젠 8호에는 벼, 보리, 밀, 옥수수, 면화, 채소 등 곡물 종자와 몇 종의 미생물이 실려 있었다. 우주복사, 약한 중력과 자기장 등 우주환경에 노출된 뒤 지구로 귀환한 이 씨앗들은 절반 정도가 발아과정에서 변이를 일으키는 것으로 알려졌다. 스젠 8호는 우주공간에서 종자 변이 실험만을 위해 쏘아올린 세계 최초의 위성이다. 우주육종이라 불리는 이 분야에서 중국은 단연 선진국이다. 1987년부터 중국은 회수식 인공위성을 발사할 때마다 씨앗들을 함께 태워 보냈으며 지금까지 열세 차례에 걸쳐 70여 종의 작물을 우주 공간에 보냈다가 거둬들였다. 중국 농업부는 몇 년 동안 연속재배를 거쳐 품종 변이를 확인한 뒤 이를 우주종자로 확정한다. 지금까지 우주종자는 모두 10종이 탄생했으며 이 가운데 벼가 6종을 차지하고 있다. 우주육종은 인위적인 외부 충격으로 유전자 변이를 일으키는 게 아니라 우주환경을 이용하는 유전자 변이 유도기술로 염색체가 스스로 변이를 일으키기 때문에 방사성이나 유해물질 문제가 없다. 우주육종이 가능한 것은 수백 년 또는 수천 년 걸릴 수 있는 종자의 자연 변이를 우주환경이 가속화하기 때문이다.

2004년, 칭화대 원자력연구원은 세계 최초로 고온 가스로를 제작해 국제원자력기구(IAEA)의 전문가들 앞에서 실험로 온도를 높인 뒤 냉각용 제어봉을 뽑아버리는 안전성 시험에 성공했다. 고온 가스로는 원자로의 온도가 높아진 상태에서 가동이 중단되더라도 체르노빌이나 트리마일처럼 폭발사고를 일으키지 않고 스스로 식도록 설계된 피동형 원자로이다. 냉각제가 없음에도 고온 가스로는 폭발하는 대신 서서히 식은 뒤 스스로 멈춰 높은 안전성을 갖추었음을 증명했다. 지금까지 경수로나 흑연 감

속로는 대량의 냉각수가 필요해 주로 바닷가나 큰 강가에 세웠으나 고온 가스로는 내륙지방에도 세울 수 있다는 게 장점이다.

청두(成都)와 쿤밍(昆明)은 저지대에서부터 해발 6,000~7,000미터에 이르는 고산지대까지 다양한 생태환경을 고루 갖추고 있어 중의약 재료도 풍부하다. 청두는 중의약에서 쓰이는 약재의 70퍼센트 이상을 자체 수급할 수 있는 지역으로 꼽힌다. 이 때문에 청두 시 외곽 우콰이스(五塊石)에는 중국 최대의 약재시장이 있다. 경동시장의 30배 규모이다. 윈난성(云南省) 쿤밍은 생태환경이 더욱 풍부하다. 윈난에는 세계 식물 30만 여종 가운데 1만 5,000여 종이 서식하고 있다. 중국과학원 쿤밍 식물연구소는 한 해에 2,000여 종에 이르는 천연화합물질을 추출해내고 있어, 이 분야 세계 최대로 꼽힌다.

4. 자동차와 컴퓨터

1953년 ‘제1기차(第一汽車)’의 착공을 시작으로 중국에서 자동차산업이 시작되었다. 그 이래 자동차의 생산기술은 1950년대 구소련으로부터 이전된 수준을 넘지 않아 1983년까지도 중국의 자동차 생산 규모는 연간 24만 대였다. 자동차산업의 혁신은 1985년에 ‘폭스바겐(Volkswagen)’이 상해에 합병 공장을 설립하고 승용차 ‘산타나’의 생산을 개시한 때부터 시작되었다. 정부는 수입 제한과 높은 관세에 의하여 국내의 승용차산업을 촉진하는 한편 부품의 국산화율의 향상을 촉진했다. 그리고 승용차와 부품의 국산화를 통하여 중국의 자동차산업은 세계와의 기술 격차를 서서히 축소해나갔다. 그렇지만 과도한 보호로 승용차의 수요가 늘지 않아 1993년부터는 자동차산업이 정체되어버렸다. 이후 중국이 세계무역기구(WTO)에 가맹 교섭을 진행하면서 중국정부는 보호정책을 완화했다.

2001년 말 정식 가맹이 되자 보호의 축소와 생산자 간의 경쟁에 의하여 자동차의 가격이 떨어질 때를 점치던 소비자가 일제히 자동차를 사기 시작했다. 이제 중국에는 ‘폭스바겐’, ‘GM(General Motors)’, ‘혼다(本田)’, ‘닛산(日産)’, ‘포드(Ford)’, ‘도요타(豊田)’, ‘현대(現代)’, ‘시트로엥(Citroen)’ 등 세계의 유력 생산자들이 모두 공장을 지었다. 승용차 생산의 2/3는 이들 외자계의 생산자가 차지하고 있으나 ‘치루이자동차(奇瑞汽車)’ 등 민족계 승용차 생산자의 따라잡기(Catch-Up)가 시장을 압도하고 있다. 2004년 이래 중국 정부는 민족계 생산자의 개발력 강화에 계속 힘을 쏟고 있다. 중국은 세계를 상대로 공업제품을 공급하고 있으며 자동차나 컴퓨터까지 생산하고 있다. 중국 대기업들은 수출과 해외투자를 통해 급속히 세계시장으로 브랜드 영향력을 확대해나가고 있다.

지금 전 세계 개인용 컴퓨터(PC)의 60퍼센트 이상을 중국에서 만들고 있다. 휴대전화나 TV는 40퍼센트이다. 중국이 강한 것은 전자제품만이 아니다. 1991년에는 연산 100만 대에 미치지 못하여 세계 14위였던 자동차 생산 대수는 2006년에는 730만 대로 독일을 따돌리고 미국, 일본에 이어 세계 3위로 올라섰다. 또 중국은 1996년에 1억 톤의 조강을 생산하여 일본을 제치고 처음으로 세계 1위를 한 이래 생산량이 정체된 선진국을 크게 따돌리면서 2006년에는 4억 2,000만 톤을 생산하여 전 세계 생산의 1/3을 차지했다. 물론 의복이나 섬유, 가방이나 구두 등의 경공업 제품에서도 중국은 세계 최대의 생산국으로서 세계 최대의 수출국인 것은 말할 필요도 없다. 여러 분야에서 세계 제1의 생산력을 자랑하는 중국의 공업 생산은 일본의 60퍼센트, 미국의 30퍼센트 정도로 알려져 있으나 중국의 물가가 싼 점을 감안한 구매력 평가로 환산하면 중국의 공업 생산액은 이미 일본의 세 배이고 미국보다 40퍼센트나 더 크다.

5. 중국의 자동차 산업

중국 자동차산업이 시작된 곳은 1953년에 착공된 ‘제1기차제조창(이치; 一汽)’이었다. 이 자동차 공장은 100퍼센트 구소련의 원조로 구소련의 자동차산업 모델대로 세워졌다. 이 모델은 시작 당시 트럭 연산 3만 대(후에 6만 대)로 생산 규모가 크고 엔진, 트랜스미션, 액셀(車軸), 미터기, 전장품(電裝品) 등 주요한 부품을 모두 기업 내에서 만드는 ‘수직통합(垂直統合)’ 구조를 채용했다. 이러한 구조는 1920년대 후반에 포드(Ford)에서 구소련으로 기술 이전된 ‘포드 생산 방식’이다. 그런데 1958년 ‘대약진운동(大躍進運動)’때부터 중국 각지에서는 수백 개의 영세한 자동차 공장이 만들어졌다. 이들은 부품을 조립하여 생산하는 ‘수직분열형(垂直分裂型)’공장이었다. 이렇게 탄생한 지방정부 산하의 자동차 생산자는 적재량이 1~2톤인 소형 트럭을 만드는 경우가 많았다. 적재량 4톤 이상의 중형이나 대형 트럭은 ‘이치(一汽)’등 중앙정부 산하의 ‘수직통합’적인 대기업이 생산하고, 단거리 수송을 담당하는 소형 트럭은 지방의 기업이 생산할 수 있도록 한 것이다. 특히 베이징 시의 자동차 생산자가 개발한 소형 트럭 ‘북경 130(적재량 2톤)’과 거기에 들어가는 ‘가솔린엔진 492Q’의 도면을 무료로 제공하고 기술자를 파견했다. 이렇게 해서 전국 각지에서 ‘북경 130’과 똑같은 이름만 다른 트럭들이 생산되었다. 1959년에는 중앙정부에 ‘농업기계부’가 생겨 군사용 대형 엔진 이외의 트랙터나 콤팩인



등 농기계에 들어가는 ‘엔진 생산’을 관장했다. 트랙터나 거기에 들어가는 엔진을 각 지방 농촌에서 자급하도록 장려했으므로 전국에 엔진을 복제하여 생산하는 사람이 많이 나타났다. 엔진의 설계를 전국적으로 통일하여 부품의 호환성을 확보하는 것이 수리하는 데 좋다. 따라서 앞에서 말한 ‘가솔린엔진 492Q’도 베이징 시의 ‘농업기계부’에서 농업기계용 디젤엔진 생산자에게 이 기술을 이전했다. 이리하여 1980년대 ‘북경 130’과 같은 소형 트럭을 만드는 자동차 생산자가 전국에 28개사(생산 대수 총 6만 1천 대), 492Q계 엔진’을 만드는 엔진전문 생산자가 23개사였다.

중국에는 ‘자동차 생산자’외에도 일반적으로 자동차 생산자로부터 ‘새시’라는 구동 부분을 사와서 거기에다 자기 회사의 ‘뺨대(하대)’나 ‘보디(모체)’를 만들어 입히는 레미콘 차나 냉장차, 혹은 소방차 같은 특수 차량을 만드는 ‘개장차 생산자(차체 생산자)’가 많다. 그런데 ‘개장차 생산자’중에는 ‘새시’를 자체적으로 만드는 기업도 있다. 따라서 중국에서는 ‘새시’가 자기 회사제인가 아닌가를 조사하여 ‘자동차 생산자’에 추가해야 한다. 이렇게 되면 자동차 생산자는 총 135개사(중국계 104개사, 외자계 31개사)로 늘어난다. 이들 135개사의 자동차 생산자 중 외자계 생산자의 대부분은 사내에서 엔진을 만들고 있거나 같은 기업 그룹에서 조달하고 있다. 예를 들면 텐진(天津), 도요타(豊田)는 일본의 도요타 본사에서 엔진을 수입해온다. 반면 중국계 생산자의 경우는 6할 정도가 다른 기업의 엔진에 의존하고 있다. 또 외자계라도 사외에서 엔진을 조달하는 곳은 합병기업이 되기 전부터 중국 측이 독자적으로 생산하던 차종을 합병 후에도 생산하고 있는 경우였다. 따라서 그룹 외에서 엔진을 조달하는 것은 중국 생산자 특유의 행동양식이다. (2004년 중국에서 476만 대의 자동차용 엔진이 생산되었는데 이 중 반을 넘는 270만 대가 다른 기업에 매매되었다.)

중국의 자동차 산업에서는 ‘기업 규모가 작을수록 생산 효율이 나쁘고 만들고 있는 제품의 가치도 작은’규모의 경제성이 있다. 실제로 중국의 자동차 생산자 131개사 중 기업의 종업원 수와 자산의 규모가 모두 반으로 줄어든 때 생산 대수는 56퍼센트 감소하고 부가가치액은 71퍼센트 감소했다. 이렇게 되면 소규모 자동차 생산자의 경영 상황은 나쁠 수밖에 없다. 그러면 생산 효율이 낮고 제품의 가치도 높지 않은 소규모 생산자의 자동차를 누가 사는가? 중국의 여러 도시를 달리는 버스의 모양은 어디든 거의 비슷하나 제조사 이름은 도시마다 서로 다르다. 베이징(北京)에서는 시내버스의 대부분이 경화(京華)이다. 그런데 톈진(天津)에 가면 이 고장의 금마(金馬) 일색이고, 광저우(廣州)에 가면 이 고장의 준위(駿威)투성이이다. 각 시정부의 ‘도시건설국’이 시내버스 노선을 운영하고 산하에 버스 생산자를 거느리고 있기 때문에 나타난 상황이다. 연간 11만 대의 중형버스시장을 각 지방의 버스 생산자가 나누고 있는 것이다. 이들은 ‘동풍 자동차(東風汽車公司)’나 ‘이치(一汽)’라는 국유 자동차 생산자로부터 ‘엔진’을 구입하여 거기에 ‘보디’를 입혀 버스를 생산하고 있다. 지방정부도 보조금을 내줌으로써 ‘지역 끼리끼리’를 장려하고 있다. 또 각 도시의 택시 회사가 어느 생산자의 차를 채용하고 있는가를 보면 승용차 생산이 이루어지고 있는 도시에서는 그 도시(고장)의 차가 많은 것을 알 수 있다. 베이징(北京)에서 2005년 택시의 모델 변경을 했는데 그때까지 톈진제(天津製)나 상하이제(上海製)가 많았던 시내 택시가 일제히 ‘베이징 현대(北京現代)’로 바뀌었다. 또 상하이(上海)에서는 시정부가 택시의 엔진 배기량을 1,800밀리리터 이상으로 해야 한다는 조례를 정하여 사실상 그 고장의 ‘상하이 폭스바겐(上海 Volkswagen)’이 택시시장을 독점하게 했다.

자동차와 엔진이 수직분열한 이유는 앞서 말했듯이 수많은 소규모 자

동차 생산자가 있기 때문이다. 중국계 자동차 생산자 중에는 연산 대수가 5만 대를 넘으면 대부분 자사 내에서 또는 자회사나 관련 회사에서 엔진을 만들고 있다. 동시에 외부의 엔진도 이용하는 수가 많다. 그룹 외에서 엔진을 조달하는 이유는 자동차의 차종을 늘리기 위해서이며 또 하나는 복수의 엔진 조달선을 경쟁(복사구매)시켜 유리한 조건에서 엔진을 구입하기 위해서이다. 그룹 외에서 엔진을 적극적으로 사는 사례로 베이치푸텐 기차 고분유한공사(北汽福田 汽車 股分有限公司)의 예가 있다. 이 회사는 중국 최대의 상용차 전문 생산자로 2004년에 25만 대의 트럭이나 원박스 차를 생산했다. 베이치푸텐(北汽福田)이 정부의 형식인증을 얻은 차종은 무려 411종으로 작게는 배기량 1,357밀리리터의 가솔린엔진부터 크게는 9,726밀리리터의 디젤엔진까지 여러 가지 엔진을 자동차에 붙인다. 이중 베이치푸텐의 자회사에서 만들고 있는 것은 세 종류뿐이며 나머지는 중국 내외의 자동차 엔진 생산자 17개사에서 만들어진 32종류의 엔진을 구입하고 있다. 외부에서 기간부품을 조달할 수 있다면 이를 적극적으로 이용하는 베이치푸텐의 자세는 중국의 가전 생산자와 공통되는 점이다. (이 회사는 자동차 부품 전반에 관하여 같은 부품을 두 개사 이상에서 구매할 방침이며 그 방침이 엔진의 조달에도 미치고 있다.)

엔진은 각 생산자가 독자적인 힘을 쏟아 만들어 출력이나 중량이나 체적이 다르기 때문에 타사의 엔진을 그대로 교체할 수 없다. 즉 자동차는 특정의 엔진이 딱 들어맞게 설계되므로 엔진을 교체하려면 자동차 자체의 설계 변경이 필요한 것이다. 그러나 이러한 상식이 중국에서는 통하지 않는다. 중국의 엔진 생산자가 생산하고 있는 엔진의 정격(正格; 배기량, 출력, 실린더의 규격, 무게 등)이 생산자 간에 아주 비슷하다. 예를 들면 전국의 엔진 전문 생산자 여섯 개사가 배기량 1,809밀리리터, 출력 29킬로와트

로 디젤엔진을 생산하고 있고, 또 여섯 개사가 2,237밀리리터, 75~76 킬로와트의 가솔린엔진을 만들고 있다. 이는 하나의 원형을 많은 생산자가 베낀 결과이다. 중국의 오토바이산업에서는 일본 ‘혼다(本田)’의 엔진 두 종류와 대만 ‘광양(光陽)’의 엔진 한 종류가 복제 생산되어 중국의 전체 오토바이의 5할에 붙어 있는데, 이와 비슷한 일이 자동차용 엔진에서도 일어나고 있다. 단 자동차의 경우는 오토바이와 같이 특정 엔진에만 집중하지 않을 뿐이다. 이와 같이 많은 엔진 생산자가 호환성이 있는 엔진을 만든다면 자동차 생산자가 ‘엔진’을 여러 곳에서 살 수 있다. 이렇게 계획제의 산물이었던 자동차와 엔진과의 ‘수직분열구조’는 중국계 자동차 생산자의 차종 증가와 복사구매를 하는 데 좋은 조건을 제공했다.

차종을 늘리는 전략으로는 위의 베이치푸텐과 같이 여러 사이즈의 자동차를 만드는 것 외에도 ‘셴양화첸진베이(瀋陽華晨金杯) 기차유한공사(汽車有限公司)’의 원박스 차 ‘예치(銳馳)’의 예가 있는데, 예치는 이 회사가 1990년대 초 도요타에서 기술을 도입한 ‘하이에스(海獅)’를 기본으로 개발한 것으로, 예치에는 몇 개의 변형(variation)이 있어 사용하는 엔진은 네 개 생산자의 다섯 종류에 이른다. 네 개의 엔진 생산자 중 ‘멘양신신(綿陽新晨)’과 ‘셴양신코(瀋陽新光)’의 두 개사는 ‘화첸진베이’의 관련 회사이지만 이 엔진 모델의 가격은 싸다. 이에 반하여 ‘미쓰비시(三菱)자동차’와 합병으로 생긴 엔진 생산자 ‘셴양항티엔산링(瀋陽航天三菱)’의 엔진 모델은 멘양신신의 엔진을 붙인 차종에 비하여 값이 약 2만 위안 높다. 또한 일본의 도요타로부터 수입한 엔진을 붙인 모델은 10만 위안 더 비싸다. 화첸진베이는 이렇게 하여 싼 중국계 엔진, 좀 높은 합병생산자제 엔진, 그리고 높은 수입 엔진이라는 선택지를 제공함으로써 여러 소득수준의 이용자를 커버하고 있다. 또 화첸진베이는 셴양항티엔산링의 엔진을 탑재한 모델

은 ‘미쓰비시(三菱) 동력판’, 도요타의 엔진을 탑재한 모델은 ‘도요타 동력판’으로 하여 엔진이 일본의 유명 생산자의 것임을 세일즈하고 있다. 타사의 우수한 부품을 탑재하고 있는 것을 자랑하는 경우는 인텔의 CPU를 탑재한 PC나 라이카의 렌즈를 사용한 카메라 등에서 볼 수 있는데 중국에서는 자동차에서도 자사의 브랜드력의 부족을 외국 생산자의 브랜드력으로 보충하려 한다. 또 중국의 자동차 생산자는 엔진 조달선을 차종마다 바꾸어 보다 많은 엔진 생산자로부터 조달하려 한다. 엔진 생산자들을 경쟁시키려는 것이다. 이러한 행동양식은 다수의 브라운관 생산자와 거래하는 중국의 TV 생산자나 복수의 IC 생산자의 플랫폼을 사용하기만 하는 중국의 휴대전화기 생산자와 공통점이다.

결국 중국 내의 엔진 생산자 67개사 중 수직통합적인 엔진 생산자는 14개사에 불과하고 엔진의 외판만을 하는 엔진 전업 생산자가 26개사나 있다. (중국 이외 전 세계적으로는 카민스와 독일의 두 개사 정도밖에 안 된다.) 중국의 엔진 생산자의 판매 행동도 세계의 상식과는 다르다. 자동차 생산자의 엔진 조달선이 다수라면 엔진 생산자의 판매선도 다수라는 다수 대 다수의 거래가 일어날 수 있다. 엔진 생산자와 자동차 생산자를 남녀로 본다면 다부다처제의 사회가 된다.

그러면 중국의 자동차와 엔진 사이에 오픈된 ‘수직분열’의 세계는 중국의 전기산업에서 일어난 수직분열과는 같은가? 먼저 서로 다른 점은 복수의 생산자의 기간부품 사이에서 호환성이 있는가 없는가의 여부이다. 컬러TV의 브라운관 등의 경우, 어디까지나 TV 생산자 측의 설계상의 노력으로 ‘사실상의 호환성’을 만들어낸 데 반하여 491Q’나 492Q’등 중국계 엔진 생산자가 만든 엔진 속에는 복수의 생산자 사이에 호환성이 있다. 전기산업의 경우 기간부품의 생산자가 대부분 외자계 기업인데 반하

여 자동차산업의 경우는 기간부품을 만들고 있는 중국계 기업이 많은데 이는 과거에 조직적인 설계의 복제가 행해졌기 때문이다. 따라서 중국계 생산자가 만드는 자동차도 기본적으로는 ‘인테그랄 형(integral 形)’인 것이다. 예를 들면 센양항티엔산링은 26개사의 중국 자동차 생산자에게 엔진을 팔고 있는데 완전히 같은 것을 파는 것뿐만 아니라 고객이 만드는 자동차의 설계에 맞추어 엔진의 설계를 조정하기도 한다. 엔진의 기능에 관한 부분은 변함이 없으나 판매선의 자동차 차체에 잘 맞도록 엔진의 물이나 흡배기 파이프의 위치, 브래킷(bracket)의 형상 등을 조정함으로써 엔진과 차체 사이에서 형상의 맞춤이 일어난다.

이러한 중국에서의 움직임과는 별도로 세계의 자동차산업에서는 ‘모듈화’가 진전되고 있다. ‘오펠(Adam Opel AG)’의 1986년형 ‘오메가’가 ‘콕피트 모듈(cockpit module)’을 도입한 것이 최초의 모듈화 시도였다. 콕피트 모듈이란 운전석의 앞면을 구성하는 인스톨먼트 판넬(Installment Panel)에 에어컨, 미터기, 에어백, 오디오 등을 붙인 것이다. 이 부분은 이전에는 자동차의 마지막 라인에서 노동자가 차체 속에 들어가 조립했다. 그것을 사전에 별도의 라인에서 모듈의 형태로 조립하여, 한 덩어리로 차체에 붙이는 것이 모듈화이다. 이렇게 함으로써 차체 속으로 들어가는 작업 부담을 크게 줄일 수 있으며, 모듈화로 설계를 수정함으로써 부품에 들어가는 부분이나 부품수를 삭감하여 품질의 향상을 꾀할 수 있다. 콕피트 모듈로 시작된 모듈화는 더욱 진전되어 차체의 전면을 미리 조립하는 ‘프론트 엔드 모듈(Front End Module)’, 문짝을 미리 조립하는 ‘도어 모듈(Door Module)’등으로 이어졌다. 모듈을 채용하는 회사도 폭스바겐(Volkswagen), 다이믈러(Daimler), 르노(Renault) 등 유럽의 자동차 생산자, 그리고 미국의 각 생산자나 한국의 현대자동차, 일본의 닛산 등 세계적으로 퍼지고 있다.

모듈화란 생산의 모듈화로서 모듈의 조립을 자동차 생산자가 아니라 부품 공급자가 담당하는 것이다. 그럼으로써 자동차 생산자는 부품 공급자의 보다 싼 임금 비용을 이용할 수 있다. 특히 한국과 같이 자동차 생산자의 노동조합이 강한 곳에서는 상대적으로 조합이 약하고 임금도 싼 부품 공급자에게 많은 것을 맡김으로서 비용을 삭감할 수 있다. 그러나 자동차산업의 모듈화는 시판의 모듈을 조립하는 PC와는 크게 다르다. 즉 모듈의 조립은 부품 공급자에게 맡기더라도 모듈 내부의 설계나 부품의 선정은 여전히 자동차 생산자의 손에서 이루어진다. 이점에서 최종 제품 생산자가 손댈 수 없는 PC의 CPU 등과는 크게 다르다. 자동차 모듈의 알맹이는 자동차 생산자에게 곧바로 알려지며 그 비용 구조도 알려져 모듈의 공급자는 높은 이익을 얻기가 힘들며 소위 조립의 외주를 맡는 가공임만을 얻게 된다. 그래도 공급자가 모듈 조립을 청부받는 것은 모듈을 구성하는 부품, 예를 들면 인스톨먼트 패널의 수주를 가지고 싶어 하기 때문이다.

그런데 중국계 자동차 생산자가 모듈을 채용하면 모듈화는 보다 PC적인 색채를 띠게 된다. 즉 자동차 생산자가 모듈을 블랙박스로서 사는 경우가 많다. 예를 들면 상하이에서 콕핏 모듈을 생산하는 미국계의 부품 생산자, ‘양펑(延鋒) 비스티온(Visteon)’에 의하면 ‘상하이VW’이나 ‘상하이GM’에 공급하는 모듈의 경우 기본적으로 VW이나 GM 측이 개발이나 부품 조달을 하고 있어 양펑 비스티온 측은 조립을 하는 데에 지나지 않는다. 이에 비하여 중국계 자동차 생산자인 치루이 자동차(奇瑞汽車), 베이치푸텐, 화첸진베이에 공급하는 모듈은 양펑 비스티온 측이 개발하고 있다. 결국 양펑 비스티온은 외자계 생산자에게는 대여 생산자임에 반하여 중국계 생산자에게는 승인 생산자인 것이다. 이미 보아온 엔진 조달의

경우도 중국계 자동차 생산자의 대부분은 엔진을 자사에서 설계할 힘이 없어서 블랙박스인 채로 사고 있다.

지금까지 컴퓨터산업에서 일어난 모듈화는 수직통합적인 기업 구조를 파괴하고 PC 생산자는 모듈을 사와 조합했다. 한편 자동차산업의 경우 모듈화의 충격은 그렇게 크지 않고 단순히 자동차 생산자의 내부에서 행해지고 있는 것을 외주로 돌리는 정도의 변화밖에 일어나지 않는다고 보아왔다. 그렇지만 중국계 자동차 생산자의 경우 모듈의 알맹이는 블랙박스인 채로 모듈을 사와서 자동차를 만드는 PC적인 모듈화의 방향으로 한 발짝 더 나가고 있다. 그런데 모듈을 제공하는 외자계 부품 생산자는 나름대로 높은 설계력을 가지고 있다. 그 힘을 살려 모듈과 자동차 본체와의 면밀한 맞춤 설계를 행한다면 자동차 생산자 속에서 수직통합적인 설계를 하는 것과 같은 수준의 제품을 만들 수 있다. 현재 외자계 생산자의 엔진과 모듈을 이용하고 있는 치루이 자동차가 2006년 중국에서 승용차 판매 대수 4위로 올라섰다. 세계의 엔진과 부품 생산자의 힘을 빌리는 것만으로 이 생산자는 경쟁력이 대단한 자동차를 생산해낸 것이다.

세계의 자동차산업에서 모듈화와 함께 또 하나의 동향은 기업 간 ‘플랫폼(Platform)의 공통화’이다. 플랫폼이란 자동차에서 시트나 보디 등을 제거한 ‘움직이는 부분’이라고 이해하면 된다. 이것을 공통화함으로써 개발 비용을 삭감하는 한편 소비자의 눈에 들도록 외관이나 내장에서 여러 변형(variation)을 설계함으로써 소비자의 다양한 수요에 부응하는 자동차를 개발하려는 것이다. 이러한 시도는 그동안 자동차 생산자 내부에서는 있어왔으나, 최근에는 같은 그룹에 속한 자동차 생산자, 즉 (1) 포드와 마쓰다(Mazda) 그리고 볼보(Volvo), (2) 르노와 닛산, (3) 폭스바겐과 슈코다(Skoda) 그리고 아우디(Audi) 등의 사이에서 플랫폼을 공통화하려는 움직임

이 일고 있다. 만일 이것이 엔진이나 콕피트 모듈과 같이 외판이 된다면 중국의 자동차 생산자가 다른 회사의 플랫폼을 이용하여 자동차를 만들 가능성은 아주 크다. 그러나 기업 내를 넘어서 모듈화나 플랫폼화가 진전될수록 동질화의 텃이 기다리고 있다. 실제로 중국의 자동차산업에서는 이미 동질화가 일어나고 있다.

자동차 제품의 동질화란 그 제품에 어느 정도나 ‘모듈’이 붙어 있느냐에 따라 제품의 가치가 거의 결정되어버리는 것을 말한다. 즉 중국계 자동차 생산자 36개사가 생산하는 세단(Sedan), SUV, MPV, 소형 원박스차를 포함하는 승용차 150차종의 가격이 각각 붙어 있는 엔진과 트랜스미션에 의하여 어느 정도 결정되는가를 보면, 먼저 ‘트랜스미션’이 ‘오토 매틱(AT)’인 자동차는 ‘매뉴얼(MT)’과 비교하여 가격이 2만 9,700위안 높다. 또 ‘엔진’의 배기량이 1밀리리터 증가하면 자동차의 가격은 60위안 상승한다. 수입한 엔진이 붙어 있는 것은 일반 중국계 엔진을 붙인 자동차에 비하여 6만 3,200위안 더 고가이고, 외자계 엔진 생산자의 엔진을 붙인다면 2만 3,400위안 비싸다. 한편 배기가스 규제를 충족시키지 않은 엔진의 경우는 2만 6,800위안 싸다. 그리고 이러한 엔진과 트랜스미션의 특징에 의해 자동차 가격의 77퍼센트가 설명된다. 그 이외의 부분은 23퍼센트 정도로 이 중에는 각 자동차 생산자가 만드는 차체의 특징, 디자인의 특징 등이 포함된다. 결국 중국계 자동차 생산자 자신이 ‘엔진’과 ‘트랜스미션’에 부가하는 가치는 작아서 동질화가 상당히 심각함을 잘 보여준다.

6. 중국의 기업전략, 수직분열

대체로 중국은 ‘수직분열’이 일어나고 있는 산업이 많다. 예를 들면 중

국의 철강업은 일본에 비하면 수직분열적이다. 일본의 철강업은 제철, 제강, 압연을 수직 통합한 선철일관기업, 그 계열 밑에 있던 압연만을 행하는 기업, 스크랩을 용해하여 제강과 압연을 행하는 제강압연기업으로 구성되어 있다. 반면 중국의 철강업은 한편에서는 선강일관기업이 있고 다른 한편에서는 소형 고로로 제철만을 하고 있는 소기업이 많다. 일반적으로 철강업에서는 일단 식혀서 굳힌 재료를 다시 가열하여 가공하면 열이 낭비되므로 철강일관기업 쪽이 효율적인데 중국에서는 제철, 제강, 압연이 지리적으로 분산된 상태이다.

또 중국의 화장품산업에서는 ‘제조’와 ‘판매’사이에 교차적인 수직분열의 구조가 보인다. 일반적으로 화장품산업에서는 품질이 좋은 제품을 만드는 것은 일의 반밖에 되지 않으며 광고 선전에 의한 브랜드(商標)의 확립, 판로의 개척이나 판매점의 지도도 중요하다. 중국의 특징은 수탁 생산(OEM) 생산자와 브랜드 생산자의 역할이 고정되어 있지 않다는 것이다. 광저우(廣州) 시의 한 화장품 생산자의 경우 처음 화장품사업에 참여했을 때, 제조는 OEM 생산자에게 맡기고 자신은 브랜드의 확립과 판로의 개척에 집중했다. 그러나 회사 창립 8년째 자사 공장을 건설하면서부터는 자사의 화장품만 아니라 이번에는 다른 회사를 향하여 수탁 생산도 시작했다. 이상 자동차로 대표되는 수직분열의 진전이 중국 기업의 대두에 중요한 전제조건이었다.

중국 기업의 경험을 기업전략의 형태로 정리하면 다음과 같다. 첫째, 적극적으로 다른 회사의 힘을 이용하고 산업 속에서 취하기 쉬운 분야부터 참가한다. 둘째, 기간부품을 다른 회사로부터 구입하는 경우에도 복사조달을 함으로써 특정 생산자에의 의존을 피하여 자립성을 확보한다. 개발도상국이 외국 기업의 하청만으로는 지속적인 공업화를 달성할

수 없다. 자립적으로 경영하는 자국 기업의 존재가 불가결한 것이다. 이럴 때 외국 생산자의 힘을 이용하면서도 특정의 외국 생산자에게는 의존하지 않는 자립적인 기업을 키워낸 중국의 경험은, 외국의 하청 생산과는 다른 공업화 전략을 보여주고 있다. 더욱이 중국의 경험은 정부가 산업의 수직분열을 추진함으로써 자국 기업의 참여를 촉진할 수 있음을 잘 보여주었다. 예를 들면 중국정부는 일본의 대기업 전기제품 생산자로부터 TV의 브라운관 등 기간부품 기술만을 잘라 도입했는데, 이 정책으로 중국 기업의 가전산업으로의 참여가 크게 촉진되었다. 수직통합적인 산업을 잘게 나눔으로써 자국 기업의 참여를 촉진하는 산업정책은 타이완의 반도체산업정책에서도 성공했다. 타이완이 반도체 세계에 등장하기까지 반도체산업은 설계부터 제조까지 ‘수직통합’이 가능한 대기업의 전유물이라고 생각되었다. 그런데 타이완정부는 반도체의 수탁 생산에 특화된 공장을 설립하고, 반도체산업을 설계 전문이나 제조 전문의 기업도 참여할 수 있는 것으로 바꾸어놓았다. 이러한 정책으로 타이완은 세계 유수의 반도체 생산국으로 약진했고, 이 비즈니스 모델은 타이완 기업의 투자를 통해 중국으로 이전되고 있다.

7. 중국의 기업

수직분열이 컴퓨터산업에서 진전되고 반도체산업에서도 수직통합 일색이었던 상황이 수직분열의 방향으로 변화하고 다른 디지털기기에서도 같은 현상이 일어나고 있다. 중국에서는 수직분열이 컴퓨터나 반도체나 디지털 기기에 한하지 않고 텔레비전, 냉장고나 에어컨 등의 백색가전, 휴대전화기, 결국은 자동차에까지 미치고 있다. 중국에서 수직분열은 단순히 세계적인 조류의 영향을 받아 생긴 것이 아니다. 실은 중국의 전통

적인 계획경제체제 속에서도 그의 뿌리가 있다. 1970년대까지 형성된 구체제와 1990년대 이후의 세계의 조류가 놀라울 정도로 일치하고 또한 최종 제품을 하루빨리 시장에 투입하여 따라잡으려는 중국 기업의 지향과도 매치되기에 중국에서는 수직분열이 다른 나라에서 예를 볼 수 없을 정도로 진전되고 있다. 그러나 동시에 수직분열에 따라 발생할 수밖에 없는 제품의 동질화도 현저하여 따라잡기에 성공한 중국 기업이 똑같이 이 문제에 골치를 썩고 있다. 이제 중국의 수직분열적인 제조업은 중국 제품의 수출이나 중국 기업의 해외 진출을 통하여 동남아시아, 남아시아, 중동, 남미, 아프리카 등에 영향을 미치고 있다.

가장 뒤늦게 가전산업에 뛰어든 중국 기업은 양질의 저렴한 노동력과 조립 생산 노하우 등 생산 역량을 통해 저가 백색 및 A/V가전에서 빠르게 시장 점유율을 늘렸다. 특히 모듈 생산 방식을 활용한 조립 생산의 경쟁력 확보에 힘을 기울이고 있다. 조립과정을 단순화해 부품의 세밀한 조정 부담을 절감하면서 일정한 품질을 유지하는 것이다. 실제로 하이얼의 경우 백색가전의 규격화를 주도하는 전략을 펼쳤다. 중국 및 글로벌 납품 기업과의 전략적 제휴 관계를 강화하면서, 가전제품을 PC와 같은 글로벌 규격화 상품으로 변신시켰다. 이를 통해 하이얼은 세계 2위의 백색가전 기업으로 부상했다.

다음은 2006년 현재 중국의 이름 있는 기업들이다.

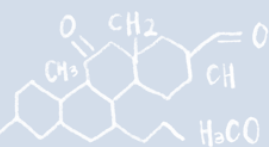
(1) 거란스(格蘭仕; 광저우 포산, 가전제품), (2) 캉지아(康佳; 선전, TV 휴대전화기 등), (3) 거리(格力; 주하이, 에어컨), (4) 둥난 자동차(東南汽車; 푸젠 성 푸저우, 자동차), (5) 둥펑 자동차(東風汽車公司; 무한, 자동차), (6) 렐상(聯想; 미국 뉴욕, 컴퓨터), (7) 렐통(連通; 북경, 전화통신), (8) 말라타(萬利達; 푸젠성 샤먼, 전자기기), (9) 메이디(美的; 광둥성 푸산, 가전제품), (10) 베이다광젠(北大方正; 베이징, PC), (11) 베이

치후디엔(北汽福田; 베이징, 트럭), (12) 보다오(波導; 닝보, 휴대전화기), (13) 부부가오(步步高; 광둥성 둥관, 어학복습기), (14) 샤신(夏新; 샤먼, 전자부품), (15) 셴양항티엔산링(瀋陽航天三菱; 셴양, 자동차 엔진), (16) 스톤(四通; 베이징, 중국 워드프로세서), (17) 숭마오 전자(熊貓電子; 난징, 전자산업), (18) 신커(新科; 장쑤성 상주, 가전), (19) 아이도(愛多; 광저우, 가전), (20) 아오커스(奧克斯; 닝보, 에어컨 휴대전화기), (21) 왕통(網通; 베이징, 고정전화통신), (22) 이치(一汽; 창춘, 고급승용차), (23) 창핑자동차(長豐汽車; 후난성 창사, 사료구동자동차), (24) 차이홍 전자(彩虹電子; 산시성 셴양, 칼라브라운관), (25) 창홍 전기(長虹電器; 쓰촨성 멘양, 종합가전), (26) 창청지쓰안지(長城計算器; 베이징, PC 자기헤드), (27) 춘란(春蘭; 장쑤성 타이저우, 에어컨 오토바이), (28) 충구 전신(中國電信; 베이징, 고정전화통신), (29) 충구 이동(中國移動; 베이징, 통신사업), (30) 칭화동팡(清華同方; 베이징, PC 반도체), (31) 창웨이(創維; 선전, 전자제품), (32) 중싱(中興; 선전, 전화교환기 통신네트워크), (33) 치루이 자동차(奇瑞汽車; 안후이성 우후, 승용차), (34) 하이신(海信; 칭다오, 종합가전), (35) 하이얼(海爾; 칭다오, 종합가전), (36) 화루 손샤(華錄 松下; 다롄, 전자부품), (37) 화웨이(華爲; 선전, 전화교환기 이동통신설비), (38) 화첸진베이(華晨金杯; 셴양, 승용차), (39) TCL(광둥성 후이저우, 가전 휴대전화기), (40) UT Starcom(미국 캘리포니아, 통신네트워크).

제13장

한국의 근대과학

1. 수출입국	370
2. 중화학공업화	374
3. 기간산업	375
4. 대한민국 100대 기술	379



제13장

한국의 근대과학



1. 수출입국

한국에서 ‘현대과학의 학습’은 1959년 원자력원의 창설과 함께 시작되었으며, 1960년대에 과학기술에 대한 국가적 지원체계가 형성되고 KIST가 설립되었다. 1967년 과학기술처의 설립 이후 과학기술 분야 학회들의 활동도 활발해졌다. 박정희의 국가 경영은 팔 수 있는 것은 모조리 외국에 팔아야 발전할 수 있다는 ‘수출제일주의’였다. 1963년 한국의 수출 실적은 8,680만 달러였는데, 이듬해 수출 목표를 전년 대비 39.3퍼센트 늘어난 1억 2,000만 달러로 잡았다. 1964년 초 시간당 노임은 일본이 56센트, 대만이 19센트였고 한국은 16센트였다. 박정희가 1964년 5월 달러-원 환율을 1달러당 130원에서 255원으로 두 배나 올림으로써, 한국의 시간당 임금은 10센트로 떨어졌다. 이러한 저임금 구조가 ‘수출입국을 통한 경제개발’의 첫걸음이었다. 1965년 수출 목표는 전년 대비 49퍼센트나 늘어난 1억 8,000만 달러로 결정되었다. 공장 증설로 공산품이 수출 대열에 오르면서 목표치는 달성되었다.

제1차 5개년계획이 마감되는 1966년에 2억 5,000만 달러를 수출하자, 박정희는 1967년 연두교서를 통해 ‘1970년대에 10억 달러 수출 목

표를 달성하겠다’는 목표치를 제시했다. 이 계획의 이면에는 1965년 한일 국교 정상화로 섬유 등 각 분야에 산업설비가 빠른 속도로 마련되면서 공산품 수출이 늘어난 데 따른 자신감이 있었다. (박정희는 1964년 일본과 한일조약을 체결했고, 일본정부는 대일 청구권자금으로 한국정부에 5억 달러의 경제원조와 민간용자 3억 달러를 제공했다. 박정희는 이 자금을 포항제철(POSCO), 경부고속도로, 그리고 소양강댐을 건설하는데 주로 사용했다.) 그리고 기능공을 대량으로 길러낸 후, 한국에 값싸고 질 좋은 기능공이 많으니 한국에 들어와 공장을 지어달라고 외국에 호소했다. 이렇게 해서 한국의 일자리는 갑자기 늘어났다. 정부는 또한 대규모 공업단지를 지어, 일본에서는 이미 사양길에 접어든 수많은 제품의 기술 도면을 얻어다 주었다. 생활필수품마저 부족했던 당시엔 물건이 없어서 못 팔았다. 결국 10억 달러 수출은 당초 계획보다 1년 앞선 1970년에 달성되었다.

1965년부터 1969년까지 미국의 강력한 지원과 일본의 차관 및 무상자금, 베트남 파병에 따른 본국 송금, 베트남 군수산업 호황 등에 힘입어 경제를 안정시키고 경제성장의 동력을 얻을 수 있었다. 경제성장률도 연 10퍼센트를 초과하는 등 발전도상국 중 모범으로 꼽혔다. 박 대통령은 이를 바탕으로 고속도로를 만들고 많은 빌딩을 짓고 울산공업단지를 확장하는 등 눈부신 성장을 이루었다. 결국 “기아선상에서 허덕이는 절망스런 민생고를 시급히 해결



하고 자주경제를 재건한다”라는 공약이 이행된 것이다.

1971년 10월 유신이 있었다. 유신체제의 등장은 경제적으로는 ‘10월 유신, 100억 달러 수출, 1,000달러 소득’이란 구호로 표현되었다. 박정희의 수출 100억 달러라는 화두는 중화학공업 육성으로 귀결되었고 이는 예정대로 진행되었다. 이 기간에 화약 공장, 즉 제7비료, 남해화학과 여천 한국화약 제2공장, 그리고 조선소, 즉 옥포조선소와 삼성조선소 그리고 구미공업단지(전자)와 창원기계공업단지(기계공업) 건설이 밀어붙여졌다. 당시 농촌 주택의 80퍼센트가 초가집이었으며, 전기 보급은 전체의 20퍼센트에 불과했다. 도로 자체가 제대로 만들어지지 않아 마을까지 자동차가 들어갈 수 없는 곳이 태반이었다. “주민들이 의욕 없는 마을은 5,000년이 가도 일어서지 못할 것입니다. 주민들이 해보겠다는 의욕을 갖고 나서면 정부에서 조금만 도와줘도 2, 3년이면 일어날 수 있습니다. 또 주민들의 힘으로 길을 닦고 다리를 놔야겠습니다. 주민들의 힘으로 할 수 없는 것은 군이나 도에 지원을 요청하고, 나머지는 주민들의 힘으로 해보자는 것입니다. 이 운동을 ‘새마을 가꾸기 운동’이라 해도 좋을 것입니다.” 농촌에서는 새마을운동이 대대적으로 벌어졌다.

새마을운동의 시작은 생활환경 개선사업이었다. 새마을운동 첫해인 1970년에는 각 부락별로 300~350포대의 시멘트를 무상 배급해주었는데, 반드시 마을의 공동사업에만 써야 한다는 조건을 달았다. 부락 단위로 마을 진입로 확장, 작은 교량 건설, 농가 지붕 개량, 우물 시설 개선, 공동 목욕탕 건립, 작은 하천의 둑 개조, 공동 빨래터 만들기 등이 진행되었다. 새마을운동이 확산되면서 생활환경 개선사업을 넘어 전기와 전화 가설, 식량 증산으로 이어졌고, 이는 농촌 근대화의 중추신경이 되었다.

1973년, 박정희는 전 국민 과학화 운동을 제의하면서 남녀노소 할 것

없이 과학을 습득하고 생활화하자고 주장했다. 대학교수, 전문 연구원까지 동원하여 부역을 개량하고 새마을 공구함의 사용법을 가르쳤다. 이어서 과학기술인뿐만 아니라 모든 국민에게 1인 1기의 기술을 습득하게 해서 전 국민을 ‘과학기술인’으로 만들어야 한다는 지침이 발표되었다. 대학교수들을 중심으로 새마을 기술봉사단을 만들어 강원도 고랭지에서의 축우 증식과 원예작물 증산, 충청남도의 비육우사업과 새마을기술 지도, 전라북도의 농가소득 증대를 위한 부업 양돈 지도 등 현지 지도를 함으로써 지역사회 개발과 농어촌 근대화를 촉진했다. 이 외에도 쌀을 비롯한 곡류 소비량이 지나치게 많아 영양 불균형이 발생하므로 밀가루 음식과의 혼식을 강조하는 식생활의 과학화도 있었다.

우리나라는 농경사회에서 산업사회로 접어들면서 대가족이 급속히 무너지고 두레가 불가능할 정도로 일손이 달렸고 농촌에서는 녹색혁명의 영향으로 벼만을 재배하게 되었다. 넓은 경작지에 한 가지 농작물만을 심다 보니 해충이 들끓어 각종 농약 살충제를 뿌렸다. 약을 아무리 뿌려도 해충과 잡초는 해가 갈수록 늘어갔고, 더 강력하다는 약을 뿌려도 몇 년이 지나면 소용이 없었다. 농부들은 매년 더욱 많은 비료를 사용해야 했으며 결국에는 화학비료 없이는 싹이 제대로 트지 않게 됐으며, 과도한 농약살충제 사용으로 토양 생물이 사라지고 농부들은 중독되었다.

이전에는 다양한 농작물과 종자를 보전해왔기 때문에 지역과 역사와 환경에 따라 다양한 음식문화가 전해질 수 있었다. 또 다품종 소량 생산으로 기상이변에도 생산량의 기복이 심하지 않았다. 그런데 녹색혁명으로 한 종류의 식물만 계속 심게 되자 재래종 씨앗이 사라졌으며 지력이 떨어져 생산된 쌀은 영양가가 줄어들었다. 단작으로 과잉 생산된 쌀의 판매가가 생산비 이하로 떨어져 농민들의 소득은 도시민보다 현격히 낮아졌다.

2. 중화학공업화

1973년 제1차 석유 위기가 발생했다. 국제 원유 가격이 몇 달 만에 네 배로 폭등했고 공급량도 22퍼센트나 줄어들었다. 1974년과 1975년 사이에 도매물가는 100퍼센트, 소비자물가는 72퍼센트 상승해 한국전쟁 이후 최고의 인플레이션을 기록했다. 박정희는 달러가 넘쳐나는 중동에 건설업체를 적극 진출시키기로 했다. 1973년에는 삼환만 중동에 있었지만 이듬해에는 일곱 개, 1975년에는 20개, 그리고 1979년에는 60개 회사가 진출했다. 단순한 도로공사에서 시작하여 항만공사, 건축 및 전기 통신공사 그리고 나중에는 복잡한 플랜트 건설까지 수주함으로써 한국의 건설업체들은 세계적 경쟁력을 갖추기 시작했다.

한국의 중동 진출과 함께 숙련 기능공 양성 작업도 시작되었다. 박정희는 “해마다 5만 명의 기능공만 양성할 수 있다면 우리는 선진국이 될 수 있다”고 했다. 이에 따라 중동에 진출하는 기능공을 전문으로 양성하는 프로젝트가 시작되었다. 공업계 고등학교에서 시험을 통해 해외 진출 기능공 후보를 뽑아 집중 훈련하는 방법이 채택되었다. 중동 건설 유행이 본격화하면서 일자리가 급격히 늘어났을 뿐만 아니라 임금도 빠르게 상승했다. 석유파동으로 시작된 한국의 중동 진출은 중화학공업 육성이라는 1970년대 정책 목표를 달성할 수 있게 만들어 연평균 13퍼센트라는 고도성장이 가능했다.

1960년대 초 우리나라의 수출품은 농수산물과 광산물이 주종을 이루었지만, 1960년대 중반 이후부터 공산품 중심으로 바뀌었다. 이후 전체 수출에서 공산품이 차지하는 비중은 계속 증가했다. 1970년 수출 주력 상품은 섬유류, 합판, 가발 등의 경공업제품이었지만, 1980년대 이후에는 전자, 선박, 철강, 자동차 등 중화학공업제품이 중요한 수출품목으로

자리를 차지하게 되었다. 강력한 수출유도정책을 실천에 옮기기 위해 만들었던 종합상사는 1980년대에 수출의 70퍼센트를 담당했다. 이러한 박정희식 경제성장 방식은 과감한 설비투자 등으로 당장은 수출과 매출이 늘어나지 않아 요소 생산성이 하락하는 것을 감수하면서도, 장기적으로 수출과 매출이 증대될 것을 기대함과 동시에 결국에는 요소 생산성 역시 상승하는 방식이었다.



박정희는 수출을 확대해야 외화를 벌 수 있고, 이 외화로 고급 기술을 도입해야 경제를 고도화할 수 있음을 이해하고 있었다. 그렇기 때문에 시장을 철저히 이용했다. 또 박정희는 자본가를 통제했다. 투자를 규제한 것이다. 그것이 바로 산업정책이고 경제개발계획이었다. 정주영 회장을 박정희가 억박질러 만들게 한 것이 현대조선이었다. 요컨대 박정희는 자본가들의 투자, 소비, 자본의 유출을 통제하는 데 성공했다. 자본주의를 발전시키려면 노동을 효율화하고 세련화해야겠지만, 그보다 더 중요한 것이 자본을 통제하는 것이었다.

3. 기간산업

오늘날의 자동차는 1만 5,000개의 부품으로 만들어지며, 이러한 자동차산업은 다른 분야에 비해 가장 많은 인력을 고용하는 데다가 타 산업에 미치는 영향도 크다. 1955년 한국은 미군의 지프를 흉내내 조립 승용차 ‘시발’을 생산했다. 국산화율은 20퍼센트였다. 이후 현대의 소형차 ‘포니’가 일본 미쓰비시(三菱) 자동차의 기술 원조로 탄생했다. 기아 자동차도 일본의 마쓰다 자동차와의 제휴로 왜건 차 ‘봉고’를 내놓았다. 현

대는 1975년부터 1978년까지 ‘포니’를 10만 대 생산하여 남미와 중동을 비롯한 세계 각국에 수출했다. 1983년에는 ‘포니2’와 ‘스텔라’, 1985년에는 전륜구동형 신차 ‘엑셀’을 내놓았다. 비슷한 시기, 기아와 대우도 ‘프라이드’와 ‘르망’을 생산했다. 1991년 1월 현대는 자연흡기 두 개와 배기 한 개의 ‘SOHC 3밸브 방식’의 ‘알파엔진’을 개발하여 ‘엑센트’에 사용했다. 1997년에는 배기밸브 한 개를 더해 ‘DOHC 4밸브 방식’으로 2005년까지 사용되었다. 제2차 세계대전 후 자동차 생산국이 된 나라는 한국이 처음이었다. 우리나라는 현재 인구의 15퍼센트, 즉 600~700만 명 정도가 자동차 관련업에 종사하고 있다.

우리나라의 경부고속도로는 1968년 2월 1일 착공하여 1970년 7월 7일 왕복 4차선도로로 준공되었다. 한반도 최대의 토목공사였던 이 공사에 동원된 연 인원은 890만 명이나 되었고, 파낸 흙도 북한산 크기와 맞먹을 만큼 엄청났다. 현재 우리나라의 고속도로망은 약 2,000킬로미터에 이른다.

포항제철은 1970년 4월에 착공하여 1973년 7월에 1기가 완공되었고 그 후 1980년대까지 확충을 계속했다. 이때부터 한국의 철강업, 조선업, 전자공업 등에서 발전이 이루어졌다. 포항제철소 건설은 1970년부터 시작되어 1983년에 완료되었다. 건설 기간은 20~40개월이 소요되었는데, 각각 1기의 39개월, 2기의 29개월, 3기의 28개월, 4기 1차의 25개월, 4기 2차의 21개월이 걸렸다. “엔지니어가 직접 공사를 감독함으로써 상당히 많은 것을 배웠고, 공사 감독을 하면서 작업 내용도 모른 채 지휘한다는 것은 있을 수 없는 일이라는 것을 깨달았다. 대형 프로젝트에 대한 건설 관리기법을 직접 터득할 수 있었다.” 그동안 신일본제철은 용광로 기술을 개발만 해놓고 사용하지는 않았다. 그런데 포항제철은 그 기

술을 구입해와서 체화했다. 1970년에 50만 톤 미만이던 우리나라의 철강 생산 규모는 포스코(POSCO) 덕으로 2000년에는 4,300만 톤으로 늘어났다. 30년간 무려 100배 가까운 성장을 이룩한 것인데, 그와 더불어 국민소득도 1인당 연간 100달러 남짓에서 1만 달러로 늘어났다. 2004년에는 연간 3,020만 톤을 생산해 세계 3위의 철강업체로 도약했다.

1965년, 미국의 코미(Commy)사가 설립한 고미반도체에서 트랜지스터를 조립 생산하면서 시작한 우리나라의 반도체산업은 1976년의 한국 전자기술연구소의 설립으로 본격화되었다. 1977년 삼성전자가 LSI를 생산하여 국내 공급체계를 갖추었고, 1981년에는 컬러텔레비전용 집적회로를 생산했다. 1980년에는 금성반도체 등에서도 기술 집약적인 반도체 소자 제조가 시작되었다. 삼성전자는 1983년에는 64k DRAM 개발, 1984년에는 256k DRAM, 1985년에는 미국과 일본만 생산할 수 있었던 1M-ROM을 대량 생산하기 시작했고, 1986년에는 1M-DRAM을 개발해 일본과의 기술 격차를 줄여나갔다. 1988년에는 4M DRAM을 개발했고 1990년에 개발된 16M DRAM부터는 일본과의 격차를 없앤 후 1994년에는 세계 최초로 256M-RAM을 개발했다. 전 세계의 모든 반도체 업체에는 1993년의 30퍼센트, 1994년의 32퍼센트, 1995년의 42퍼센트라는 폭발적 시장 증가로 주문이 쏟아지고 있었다. 이때 우리나라도 막대한 수익을 바탕으로 시설 확장과 고속 성장을 지속했다. 우리나라의 경우 가전산업을 통해 성장한 대기업 삼성을 중심으로 대량 생산과 저가 수출 전략 그리고 정부의 적극적인 IT 분야 집중 지원으로 수요가 폭발적으로 확대되었다. 삼성전자의 성공은 현대전자와 엘지전자로 이어졌다. 결국 종합 반도체업체인 삼성전자와 하이닉스, 파운드리(Foundry) 서비스의 동부전자, 개별 소자와 아날로그 집적회로의 KEC, 실

리콘 웨이퍼를 생산하는 LG실트론, 패키징의 동부전자와 칩팩코리아 등의 기업들이 우리나라 총생산의 5퍼센트, 부가가치의 7퍼센트, 수출의 15퍼센트 정도를 창출하고, 특히 삼성전자는 디지털 텔레비전, 캠코더, 휴대전화, 카메라, MP3, 게임기 등에 주로 쓰이는 낸드플래시 메모리 시장의 60퍼센트를 점유했다. (그러나 우리나라는 장비의 국산화율은 10퍼센트대에 머물고 있으며, 재료의 국산화율은 50퍼센트대에 머물러 있다. 즉 삼성전자는 반도체 생산라인의 80퍼센트를 미국과 일본에서 수입하고 있고, 특히 웨이퍼를 깎는 핵심 장비는 거의 100퍼센트가 일본이나 미국제품이다.) 20세기가 끝날 때까지 일본과 한국 기업들은 메모리 분야에서, 미국 기업들은 마이크로프로세서 분야에서 세계시장을 지배했다. 이어서 대만에서도 반도체 생산 공장 건설 붐이 일어 10개가 넘는 새 기업들이 나타났다.

전화는 1980년 초반까지만 해도 우리나라에서는 재산 목록으로 꼽히는 값비싼 품목이었다. 우리나라 전화의 대중화에는 1980년대 중반에 이루어진 전자식 교환기(TDX) 개발 사업이 큰 공헌을 했는데, 그 결과 1988년에는 전화 가입자수가 1,000만을 돌파하면서 가구당 한 대 꼴이 되었고 그 후 1997년에는 2,000만 대로 늘어나 1가구 2전화기 시대가 열렸다. 전화기는 이제 사람들이 항상 지니고 다니는 필수품 중의 필수품이 되어, 우리나라의 경우 휴대폰 등록수는 3,000만대에 이른다. 요즘의 휴대폰은 단순히 상대방과 대화하는 기능을 넘어 전자수첩, 게임기, 카메라, TV 등 여러 기능을 지니고 있으며, 앞으로 어떤 기능이 추가되어 어떤 쓰임새로 이어질지 상상할 수 없을 만큼 휴대폰의 기술 개발은 무한하다. 손에 쥘 작은 전화기는 세계 기술혁명의 현장이다.

우리나라의 인공위성은 무궁화위성 1호, 2호, 및 3호와 우리별위성 1

호, 2호 및 3호, 과학기술위성 1호, 아리랑위성 1호 등 총 8기이다. 이 중 1999년 발사된 무궁화위성 3호는 초고속인터넷 및 광대역 멀티미디어 서비스가 가능한 통신위성으로 동남아 지역까지 미친다. 1999년 발사된 아리랑위성 1호는 6.6미터의 해상도를 갖는 영상을 생성할 수 있는 카메라와 전 세계의 해양을 관측할 수 있는 해양관측 카메라를 싣고 있어 3차원 전자지도 작성 및 해양오염 상태나 어군탐지에 활용된다. 2006년 발사된 아리랑위성 3호는 1미터급의 고해상도 위성카메라를 장착하고 있다.

4. 대한민국 100대 기술

공학 기술자 단체인 한국공학한림원은 2010년 한국경제의 밑천이 되었던 ‘대한민국 100대 기술과 그 주역’을 다음과 같이 선정했다.

(1) 1950~1960년대 - 라디오(김해수), 아날로그 텔레비전 수상기(구본국, 정용문, 서평원), 전력 기반설비(성낙정, 조경해, 홍순영), 수동 선반(권승관, 범희봉, 최중옥), 나일론 섬유(구민희, 이동찬), 화학비료(마경석, 장홍규, 최근선), 산업용 화약(다이너마이트)(김중희, 신현기).

(2) 1970~1980년대 - 한글 타자(우원식, 이찬진, 정내권), 지대지 유도탄(백곰)(이경서), 비디오카세트리코더(VCR)(최상규, 윤종용, 황인섭), 고집적 메모리소자(이윤우, 오계환, 이회국), 초음파 진단기(배무호, 이민화, 장성호), 소형 승용차 포니(박광남, 이충구, 정주화), 초대형 유조선(애틀랜틱배런)(김형벽), 공조설비(최상홍), 굴삭기(공희석, 송대길, 오승현), 해수 담수화플랜트(박금서), 삼일빌딩(김종업, 정재철, 오봉근), 잠원동 대림아파트(김호성, 이원현), 소양강댐(연제원, 정태수, 황정규), 경부고속도로(박태권, 허필은, 양봉용), 주베일산업항(김용재, 전갑원), 서울 지하철(김제원, 이성민), 청계 하수 종말 처리장(변중옥), PVC 안정제 및 산화 방

지제(박경재, 박종호, 정덕석), 불소 화학제품(권영수, 박진유, 안영옥), PET필름(최남석, 최준식), 강화플라스틱 화합물(Engineering Plastic Pompond)(여종기, 유진녕, 정규상), 아라미드 섬유(노경환, 한인식, 윤환식), 폴리에틸렌 촉매(강수철, 정영태), 타이어 코드(최수명), 형강압연롤(이도형), 수직 갱도(shaft sinking)(김유선, 정인욱), 시멘트(납기동), 플랜트용 주단소재(이정훈), 지하 유류비축 저장시설(김용태, 정소걸, 김호영), 제철용 특수내화물(양삼열), 공업용 합성다이아몬드(신태중, 박종구, 은광용).

(3) 1990~2000년대 - 자동화 및 로봇(김성권, 김영국, 서일홍), 유무선 통신시스템(박항구, 양승택, 서정옥), 765킬로볼트 고전압 송전(김세일, 정태호, 김덕수), 무선기기(휴대폰)(이기태, 조병덕, 천경준), 초고집적 D램소자(반도체)(권오현, 박종우, 진대제), 디지털 HD TV(윤부근, 백우현), 시스템반도체소자(노형래, 황기수, 허엽), 플랜트 엔지니어링(김병진, 유홍식), 보일러(최진민), 한국형 고속열차(양세훈, 정경렬, 김기환), LNG선(고명석, 이정환, 최성락), 전자제어브레이크 등(ABS, TCS)(김기원, 황인용), 국내 최초 디젤엔진(J3,2,9L,HSDI)(김민희, 김승일, 홍현준), 자기부상열차(김인근, 김국현, 한규환), 올림픽 주경기장(김수근, 임경빈, 최문식), 1기 신도시 개발(김진호, 안건혁, 오국환), 라이신·핵산(임상조), 스판덱스(Spandex) 섬유(서승원), 폴리부텐(김명석), 항암제(송봉규, 송준석, 최호준), 퀴놀론계 항생제(손용락, 추연성, 홍창용), 인간 성장호르몬(박순재, 원특연, 한규범), 조선용 후판(이창선), 전기동(강성원), 아연(최창영), 연구용 원자로 하나로(김성년, 오세기, 하재주), 한국표준형 원전(KSNP)(김병구, 이병령, 한필순).

(4) 2000년대 이후 - 대형 TFT-LCD 패널(이상완, 장원기, 여상덕), 모바일 메모리(임형규, 황창규, 최진석), 와이브로(WiBro)시스템(김영기, 조세재, 임주환), AMOLED(강호문, 유의진, 정호균), 온라인 게임(김정주, 송재경, 김택진), 인터넷 검색 서비스(이준호, 이혜진), 스텝드럼세탁기(김상수, 조성진), 고기능 고해상도 TFT-

LCD(김상수, 석준형, 정인재), 첨단전자소재 및 부품(고병천, 최치준, 송문섭), 배전자동화시스템(고인석, 김호용, 하복남), 전기자동차(양웅철, 홍존희), 14가솔린세티엔진(김홍집, 문대홍, 이현순), 고속고강성 선박제조기술(김광진, 이재운, 조민희), T-50 고통훈련기(장성섭), 산업용 로봇(김성락, 이충동), 선형압축기(Linear Compressor)(이혁), 다목적 실용 위성2호(이상률), 조선기술(LNG FPSO)(정호현), 750킬로와트급 풍력발전시스템(김두훈), 초정밀 LCD 측정장비(박희재, 안우정, 이일환), 부르즈 칼리파(김경준, 이승훈), 인천국제공항(이상준, 이창남, 전봉수), 새만금방조제(이정엽, 김영진, 하재완), 인천대교(김화수, 양종호), 청계천 복원(석재덕, 손문영, 강정률), 막이용 정수처리공법(이의신, 이규성, 허형우), TFT LCD용 편광필름(유정수, 장석기, 황인석), 리튬이온 2차전지(김명환, 신영준, 이한호), 피부노화 개선 화장품(김덕희, 염명훈, 이옥섭), 윤활유(김경록, 박삼룡, 오승훈), 태양전지용 폴리실리콘(최재열), 폴리올레핀(김교현, 이성훈, 정법식), 철강(용선; Iron Melt)(강창오), 철강 박물판재(강태욱), 한국형 신형 경수로 APR1400(이종훈, 최영상).



맺는말

전통에서 미래로

= 0
H
CO



맺는말

전통에서 미래로



근대에 이르기까지 동아시아 문화를 대변했던 중국은 20세기 중반까지도 맬더스적(Malthusian) 경제가 계속되었다. 이는 1400년에 500달러였던 중국의 1인당 실질소득이 400여 년이 지난 1820년에도 동일한 500달러였으며, 1950년에는 430달러로서 중세보다도 오히려 더 낮아진 것을 보아도 잘 알 수 있다. 하지만 동아시아에서 근세 이전에 경제 발전이 전혀 이루어지지 않은 것은 아니다. 1500년대 이후부터 영농 방법의 개량, 신작물 도입 및 벼농사 보급의 확대로 동아시아 경제는 성장했으나 경제성장의 속도가 빠르지 못하여 생활수준의 향상으로는 이어지지 않았다. 다시 말하면 중국의 인구는 1400년에서 1950년 사이에 7,400만 명에서 5억 5,000만 명으로 7.4배 증가함으로써 경제성장이 인구 증가를 감당하는 데 그쳤다. 한편, 같은 550년 동안 서구의 인구는 9.6배 증가했으면서도 동시에 1인당 실질소득은 430달러에서 4,902달러로 무려 11.4배나 증가했다. 다시 말하면 서유럽의 경제가 전체 규모로 100.9배 성장한 것이다. 이렇게 인구증가보다 10배나 빠른 속도로 경제가 성장함으로써 서유럽은 맬더스적 생존경제의 악순환에서 벗어났다.

유럽이 급격하게 진보한 것은 르네상스 후기 과학혁명이 일어난 이후부터이다. 그 전의 서유럽은 중국과 동아시아의 전통과학(발견과 발명)에 큰

영향을 받아왔다. 1605년, 프랜시스 베이컨(Francis Bacon)은 화약과 나침반, 인쇄술이 유럽 근대 질서의 기초라고 말한 바 있는데 이것들은 모두 중국에서 발명된 것들이다. 또한 기계적 태엽장치, 철의 주물, 등자 쇠와 효율적인 마구, 카르단 샤프트(Cardan Shaft), 파스칼의 삼각형, 활꼴의 아치교, 운하의 수문 제작, 선미재인 방향타, 범선 항해, 계량적인 지도 제작법 등도 중국에서 발명되어 유럽에 큰 영향을 미친 기술이었다. 중국인은 유럽보다 1,500년이나 앞서 용광로에서 철을 제련했다. 그들은 또 도자기와 황동(놋쇠)을 만드는 법도 알았다. 기원전 100년경에는 자석이 항상 북쪽을 가리킨다는 사실을 발견함으로써 나침반의 첫발을 내디뎠다. 9세기에는 종이 위에 활자를 인쇄했고 화약도 비슷한 무렵에 발명되었다. 11세기에는 전쟁에서 초보적인 로켓이 사용되었다. 14세기에 중국은 모든 분야에서 거의 산업화 단계에 이르러 있었다. 그렇지만 근세 중국은 세계에서 가장 앞서가는 강대국이 되지 못했다. 유교적 가치관에 얽매어 유럽의 과학과 문화를 우습게 여겼고, 이들의 경제, 사회적 성장을 과소평가했다.

차, 비단, 도자기는 중국의 전통적인 3대 수출품 이었다. 이를 바탕으로 중국은 오랫동안 세계시장에서 무역흑자를 거두었다. 화폐(銀)는 서유럽에서 중국으로 계속 빨려 들어갔고, 실물(차, 비단, 도자기)은 중국에서 서유럽으로 계속 흘러들어 갔다. ‘은의 블랙홀’이었다. 정상적인 상품으로서는 적자를 만회할 방법이 없었던 영국은 아편을 뿌려댈 수밖에 없었다. 이렇게 청나라는 자국이 세계무역의 중심이기에 서유럽을 무시했던 것이고, 조선은 청나라를 확실히 붙잡고 있었기에 굳이 서유럽에 눈을 돌릴 필요가 없었다. 그러나 일본은 청나라와의 관계가 소원했기 때문에 비교적 일찌감치 서유럽으로 눈을 돌렸다.

유럽은 이후 소위 과학의 시대로 진입했다. 특히 귀족이나 부유층이 과학에 큰 관심을 보였다. 코페르니쿠스(Nicolaus Copernicus)에서 시작하여 브라헤(Tycho Brahe), 케플러(Johannes Kepler), 갈릴레오(Galileo Galilei), 데카르트(Rene Descartes), 라이프니츠(Gottfried W. Leibniz), 하비(William Harvey), 보일(Robert Boyle), 뉴턴(Isaac Newton) 등 수많은 과학자들이 등장하여 천문학, 수학, 물리학, 해부학, 생리학 등이 급격하게 발전했다. 라부아지에(Antoine L. Lavoisier), 프리스틀리(Joseph Priestley)에 의한 화학도 이에 동참했다. 이 중에서도 뉴턴은 자연세계와 우주가 하나의 수학적인 원리에 의해 움직인다고 하며 유럽의 자연과학을 새로운 단계로 진전시켰다. 과학이 실험에 응용됨으로써 가속적이고 지속적인 기술 혁신을 낳았고 이로 인해 산업혁명이 가능해졌다. 근대과학은 유럽이 세계 지배를 달성하는데 근본적인 요인이 되었다.

과거 영국은 귀족과 왕권의 대립, 그리고 상공인과 왕당파의 대결로 술한 반란과 혁명이 점철되는 긴 세월을 거쳐 중산층 문화의 정착과 제도의 정비로 시장경제의 기초를 마련하고 산업혁명에 이르는 데 600여년을 보냈다. 미국은 영국 이민자들이 세운 나라라는 의미에서 영국 근대화의 연장으로 볼 수 있으며 프랑스, 독일, 네덜란드 등 서유럽은 전통적으로 개방된 사회로서 지리상의 발견과 이후의 원양무역으로 아시아, 아메리카 대륙, 아프리카 대륙 등 해외에 대한 정보가 풍부했으므로 선진 영국과의 격차를 메우는 작업도 비교적 수월했다. 산업혁명이 풀어놓은 거대한 생산력은 국제질서에도 직접적인 영향을 미쳐 산업화를 먼저 달성한 몇몇 나라들이 국제정치를 좌우하게 되었다. 기계와 동력을 이용해서 만들어내는 거대한 생산력이 모든 것을 결정했다. 그리하여 산업혁명을 먼저 경험한 국가들과 그렇지 않은 나라들 사이에 명확한 경계선이

그어졌다. 중국은 아편전쟁에서 패한 이후 강제로 개항을 당하여 점차 유럽 국가들의 반식민지로 전락했으며, 러시아도 1850년대의 크림전쟁에서 패한 후 큰 충격을 받고 개혁에 나섰다.

서유럽은 실로 19세기 중반에야 비로소 동아시아를 능가하고 세계를 지배했다. 동아시아의 근현대사는 서구 제국주의 열강의 침략이라는 거대한 충격에 직면하여 한, 중, 일 3국이 자주 독립을 보존함과 동시에 근대화를 추진하는 데에서 출발했다. 그러나 동아시아의 봉건적 관료국가들이 집요한 제국주의적 침략에 시달리면서 짧은 기간 안에 근대화를 이룬다는 것은 거의 불가능했다. 특히 한국이 서양 과학기술을 받아들인 것은 처음에는 중국, 나중에는 일본을 매개로 하는 간접적인 경로를 통해서였으므로 서양 과학기술을 동화하는 정도와 수준은 한국이 가장 큰 제약이 있었다. 그리하여 중국과 일본에서 유럽 과학서적의 번역본들이 나오는 동안 한국에서는 아예 나오지도 않았다.

동아시아에서는 지식을 인간의 도리와 지혜를 터득하기 위한 수단으로 여겼다. 지식 추구의 목적이 그 활용에 있지 않았기 때문에 지식 추구의 과정이 철저하지 못했을 뿐 아니라, 지식의 검증 절차를 소홀히 함으로써 서유럽과 같은 자연과학이 발전하지 못했다. 예를 들면 중국수학이 산술학과 대수학의 전통이 강하지만 기하학적 증명을 중요하게 생각하지 않음으로써 기하학적 천문학을 발전시킬 수 없었다.

동아시아의 근현대사는 유럽의 근대를 베끼는 시대였다. 좋거나 싫거나 따질 것 없이 ‘서양식’과학기술을 배우고 가르치며 그것을 발전시키려고 안간힘을 썼다. 또 그런 노력이 어느 정도 성과를 거두어 세계는 이제 똑같은 한마당의 과학기술체계를 가졌다. 일본은 이미 1980년도에 세계 최강의 산업국이 되었으며, 중국은 2010년도에 세계 제2의 경제대국이

되었다. 산업혁명이 흠어놓은 세계질서가 200년 만에 제자리를 찾아가고 있는 것이다.

20세기의 모든 국가는 전 세계적으로 생산되는 과학적 지식에 따라 경제적 정체성을 받아들이고 경쟁체제로 흡수되고 있다. 더하여 미국이 기초과학에의 막대한 투자를 통해 과학의 주도권을 잡아가면서 집중의 논리가 강화되었다. 규격 대량 생산은 상품을 정형화하고 예상되는 사용가치를 고객에 제공하여 안정감을 주었다. 삼성이나 LG의 텔레비전이나 맥도날드나 롯데의 햄버거, 힐튼이나 호텔신라의 트윈룸 등은 사용가치를 보증해 준다.

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 대

량 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 변모되어 가고, 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 낱알이 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 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.

오늘날 과학기술은 여전히 경쟁력의 가장 중요한 바로미터로서 과학기술 수준이 높은 나라와 민족은 살아남고 그렇지 못한 민족과 국가는 후진성에서 벗어날 수 없다. 과학기술이란 오늘의 지성인에게는 필수 교양인 것이다.



참고문헌

= 0
H
CO



| 국내 문헌 |

- 강성중, 『한국 과학기술 백년대계를 말한다』, 라이프사이언스, 2008.
- 강신익, 『몸의 역사, 몸의 문화』, 휴머니스트, 2007.
- 강태훈, 『클릭을 발명한 꼬짜들』, 궁리, 2005.
- 게리 맥크라켄 · 피터 스톱, 유창모 · 윤진희 · 차동우 옮김, 『핵융합-우주의 에너지』, 북스힐, 2007.
- 고경민, 『인터넷은 민주주의를 이끄는가』, 삼성경제연구소, 2006.
- 고야마 게이타, 손영수 옮김, 『빛으로 말하는 현대 물리학』, 전파과학사, 1990.
- 광영직, 『광영직의 과학캠프』, 해나무, 2008.
- 국가과학기술자문회의 한국과학문화재단 엮음, 『과학이 세상을 바꾼다』, 웅진싱크빅, 2007.
- 금장태, 『현대 한국유교와 전통』, 서울대학교출판부, 2003.
- 기시모토 아스시, 백태홍 옮김, 『생명을 만드는 물질—단백질, 아미노산의 화학』, 전파과학사, 1980.
- 김 호, 『조선의 명인들』, 살림, 2007.
- 김광웅 엮음, 『우리는 미래에 무엇을 공부할 것인가』, 생각의나무, 2009.
- 김교빈 외, 『동양철학과 한의학』 아카넷, 2003.
- 김도연, 『우리시대 기술혁명』, 생각의 나무, 2004.
- 김두진, 『EU 사례에서 본 동아시아 경제통합』, 삼성경제연구소, 2006.
- 김미선, 『수소 혁명의 시대(살림지식총서 184)』, 살림, 2005.
- 김성동, 『기술 - 열두 이야기』, 철학과현실사, 2005.
- 김성진, 『박정희』, 살림출판사, 2007.
- 김영식, 『역사와 사회 속의 과학』, 서울대학교출판부, 1994.
- 김영식, 『과학혁명—전통적 관점과 새로운 관점』, 아르케, 2001.
- 김영식, 『과학, 역사 그리고 과학사』, 생각의나무, 2008.
- 김영식 · 박성래 · 송상용, 『과학사』, 전파과학사, 1992.
- 김영태, 『아시아를 빛낸 노벨상 수상자』, 한승, 2005.
- 김용석 외, 『인문학의 창으로 본 과학』, 한겨레출판, 2006.
- 김용욱, 『건강하세요!』, 통나무, 1998.
- 김용운 · 김용국, 『동양의 과학과 사상』, 일지사, 1984.
- 김용호, 『세계화 시대의 공력 쌀기(SERI 연구에세이 026)』, 삼성경제연구소, 2005.
- 김우경, 『한의학의 현대의학』, 서울대학교출판부, 2003.
- 김유정, 『디지털 촌수, 변화하는 인간관계』, 삼성경제연구소, 2007.
- 김재선, 『아편과 근대중국』, 한국학술정보, 2010.
- 김재수, 『2012 지구 대전환』, 소피아, 2009.

- 김중범, 『한국 기술혁신의 이론과 실제』, 백산서당, 2002.
- 김호기 외, 『지식의 최전선』, 한길사, 2002.
- 김홍중, 『수학으로 과학보기』, 공리, 2005.
- 김훈기, 『물리학자와 함께 떠나는 몸속 기 여행』, 동아일보사, 2008.
- 김희준, 『김희준 교수와 함께하는 자연과학의 세계 1, 2』, 공리, 2003.
- 김희준, 『과학으로 수학보기』, 공리, 2005.
- 나카쓰카 아키라, 이규수 옮김, 『일본인이 본 역사 속의 한국(한림신서 일본학총서 73)』, 소하, 2003.
- 남문현 · 손 욱, 『전통 속의 첨단공학기술』, 김영사, 2002.
- 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.
- 뉴턴편집부, 『파동의 사이언스』, 뉴턴코리아, 2011.
- 니시아마 기요시, 이정환 옮김, 『3일 만에 읽는 나노의 세계』, 서울문화사, 2007.
- 니혼게이지아이 신문사, 김동광 옮김, 『과학기술 프런티어 100』, 까치, 1996.
- 다나카 마사타케, 신영범 옮김, 『재배식물의 기원』, 전파과학사, 1992.
- 다지카 에이이치, 김규태 옮김, 『46억년의 생존』, 글항아리, 2011.
- 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.
- 마에바야시 기요카즈 외, 박문현 · 세키네 히데유키 옮김, 『기의 비교문화-중국, 한국, 일본』, 한울, 2006.
- 마크 뷰캐넌, 김희봉 옮김, 『사회적 원자』, 사이언스북스, 2010.
- 막스 페루츠, 민병중 · 장세현 옮김, 『과학에 크게 취해』, 솔, 2004.
- 맛시모 몬타나리, 주경철 옮김, 『유럽의 음식문화』, 새물결, 2001.
- 문종양, 『우리 역사 과학 기행』, 동아시아, 2006.
- 미야타 신페이, 김정식 펴냄, 『과학자의 자유로운 낙원-오코우치 마사토시와 이화학연구소』, 약산출판사, 2005.

- 민창기 · 김종명, 『기술여행』, 벽호, 1999.
- 박금식, 『과학문화와 기업의 만남(SERI 연구에세이 062)』, 삼성경제연구소, 2006.
- 박기학, 『자연과학입문』, 녹문당, 2008.
- 박번순, 『중국과 인도, 그 같음과 다름』, 삼성경제연구소, 2007.
- 박병상, 『내일을 거세하는 생명공학』, 책세상, 2002.
- 박병운 외, 『기와 21세기』, 양문, 1998.
- 박상표, 한국문화콘텐츠진흥원 역음, 『조선의 과학기술』, 현암사, 2008.
- 박성래 역음, 『중국과학의 사상-중국에는 왜 과학이 없었던가?(현대과학신서 10)』, 전파과 학사, 1978.
- 박성래, 『과학사 서설』, 한국외국어대학교출판부, 1993.
- 박성래, 『친절한 과학사』, 문예춘추, 2006.
- 박성래, 『한국인의 과학정신』, 평민사, 1993.
- 박세길, 『다시쓰는 한국현대사 1, 2, 3』, 돌베개, 1988.
- 박익수, 『청소년을 위한 위대한 발명, 발견』, 전파과학사, 1986.
- 박태현, 『처음 읽는 미래과학 교과서-세 번째 이야기, 생명공학』, 김영사, 2007.
- 방건웅, 『기가 세상을 움직인다 2부-도덕과 과학』, 예인, 2005.
- 방건웅, 『신과학이 세상을 바꾼다』, 정신세계사, 1997.
- 배우철, 『생물학 무기(살림지식총서 023)』, 살림, 2003.
- 백종민, 『전자기, 맥스웰의 스파크』, 성우, 2002.
- 복잡계 네트워크, 민병원 · 김창욱 역음, 『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.
- 山田光胤 · 代田文彦, 오담 옮김, 『도설 동양의학(동양학술총서 4)』, 논장, 2010.
- 서울대학교 공과대학, 『공학에 빠지면 세상을 얻는다』, 동아사이언스, 2005.
- 서울대학교 자연과학대학 교수 31인, 『21세기와 자연과학』, 사계절, 1994.
- 서울대학교 자연대학 교수 외, 『과학, 그 위대한 호기심』, 공리, 2002.
- 손동원, 『기업생로병사의 비밀』, 삼성경제연구소, 2007.
- 손재하, 하일식 옮김, 『조선이 일본에 전해준 하이테크 이야기』, 일빛, 2005.
- 송위진, 『한국의 이동통신, 추격에서 선도의 시대로』, 삼성경제연구소, 2005.
- 스티븐 와인버그, 이종필 옮김, 『최종 이론의 꿈』, 사이언스 북스, 2007.
- 신경섭, 『미국 특허 이야기』, 한숨미디어, 2003.
- 신과학연구회 역음, 『신과학운동』, 범양사, 1986.

- 신도 마사아키, 김은진 옮김, 『니콜라 테슬라, 과학적 상상력의 비밀』, 여름언덕, 2008.
- 신재용, 『속 알기 쉬운 한의학』, 동화문화사, 1989.
- 신현득, 한국문화콘텐츠진흥원 역음, 『한국의 전투와 무기』, 현암사, 2008.
- 쏜자론 역음, 심지연 옮김, 『지도로 보는 세계 과학사』, 시그마북스, 2009.
- 쓰치다 아쓰시 · 오비쓰 로이치, 김두한 옮김, 『기와 엔트로피』, 심산, 2004.
- 아이작 아시모프, 권루시안 옮김, 『아이작 아시모프의 과학 에세이』, 아름다운날, 2007.
- 안동완, 『세계의 비밀을 푸는 물리학 이야기』, 책세상, 2007.
- 알프레드 찬들러, 한유진 옮김, 『전자산업 100년사(베리타스 비즈니스 히스토리 002)』, 베리타스북스, 2006.
- 야나기다 아마요시, 전병식 옮김, 『21세기를 위한 기술』, 한국경제신문사, 1997.
- 야마구치 마사야, 한영수 옮김, 『카오스와 프랙털(Blue Backs B128)』, 전파과학사, 1993.
- 야마다 게이지, 박성환 옮김, 『중국과학의 사상적 풍토』, 전파과학사, 1994.
- 에릭 뉴트, 이민용 옮김, 『쉽고 재미있는 과학의 역사 2』, 이글리오, 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.
- 오가사와라 세이지, 이동희 옮김, 『스피드 과학』, 전나무숲, 2007.
- 오민영, 『청소년을 위한 동양과학사』, 두리미디어, 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.
- 오카다 이코, 최문련 옮김, 『피가 맑아야 몸이 산다』, 시간과공간사, 2011.
- 우경윤, 『청소년을 위한 세계사 동양편』, 두리미디어, 2004.
- 우에하라 카즈요시 외, 한철호 · 이규수 옮김, 『동아시아 근현대사』, 옛오늘, 2009.
- 월레스 홀 캠벨, 이재일 · 차동우 옮김, 『지구 자성-자기장 속으로의 여행』, 북스힐, 2010.
- 유병규, 『디지털 농업 시대』, 삼성경제연구소, 2007.
- 유영만, 『지식 생태학』, 삼성경제연구소, 2006.
- 유영만, 『지식생태학(SERI 연구에세이 056)』, 삼성경제연구소, 2006.
- 윤 실, 『물—기적의 물질』, 전파과학사, 2009.
- 윤봉준, 『선진 3국 부강기—영미일 그들은 어떻게 부강국가가 되었나』, 삼성경제연구소, 2008.
- 윤영수, 채승병, 『복잡계 개론』, 삼성경제연구소, 2005.
- 윤한홍, 『기치료에 대한 정직한 이야기—진실과 거짓』, 좋은땅, 2010.

- 이 흥, 『지식점프(SERI 연구에세이 009)』, 삼성경제연구소, 2004.
- 이규태, 『한국인의 밥상문화 1, 2』, 신원문화사, 2000.
- 이기백 엮음, 『조선시대의 과거제도(한국사시민강좌 제16집)』, 일조각, 1995.
- 이기백 엮음, 『한국의 풍수지리설(한국사시민강좌 제14집)』, 일조각, 1994.
- 이내주, 『서양무기의 역사』, 살림, 2006.
- 이노우에 마사요시, 강석태 옮김, 『카오스와 복잡계의 과학』, 한승, 2002.
- 이면우, 『천문학 탐구자들』, 2003, 살림출판사.
- 이성환, 『전쟁국가 일본』, 살림, 2005.
- 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.
- 이종각, 『추락하는 일본』, 나남, 2011.
- 이종필, 『신의 입자를 찾아서』, 마티, 2008.
- 이종호, 『과학 삼국유사』, 동아시아, 2011.
- 이종호, 『과학한국을 이끈 역사 속 명저』, 글로연, 2010.
- 이종호, 『노벨상이 만든 세상-물리학 I, II』, 나무의 꿈, 2007.
- 이종호, 『미래과학, 세상을 바꾼다』, 과학사랑, 2011.
- 이종호, 『한국 7대 불가사의』, 역사의 아침, 2007.
- 이종호 · 박택규, 『한국의 과학기술 이야기 1, 2』, 집사재, 2006.
- 이종원 · 홍성욱 · 임종태, 『인문학으로 과학읽기』, 실천문화사, 2004.
- 이차크 벤토프, 류시화 · 이상무 옮김, 『우주심과 정신물리학』, 정신세계사, 1987.
- 이천표, 『우물 밖 인터넷』, 동아시아, 2007.
- 이춘근, 『북한의 과학기술』, 한울아카데미, 2005.
- 이춘열, 『네트워크형 기업과 미래 경영전선(SERI 연구에세이 074)』, 삼성경제연구소, 2007.
- 이필렬 외, 『과학-우리시대의 교양』, 세종서적, 2004.
- 이필렬 · 이종원, 『인간과 과학』, 한국방송통신대학교 출판부, 2001.
- 이필렬 · 최경희 · 송성수, 『과학-우리시대의 교양』, 세종서적, 2004.
- 이호중, 『신과학사』, 북스힐, 2002.
- 이희진, 『정보기술은 시간을 어떻게 변화시킬까?(SERI 연구에세이 041)』, 삼성경제연구소, 2006.

- 일본경제신문사 엮음, 김계용 옮김, 『신소재혁명(현대과학신서 31)』, 전파과학사, 1984.
- 일본광합성연구회, 『광합성사전』, 학회출판센타, 2003.
- 임선영, 『청소년을 위한 동양철학사』, 두리미디어, 2009.
- 임정혁, 『과학사에 있어서의 근세-조선과 일본의 비교검토(한국과학사학회지 제25권 제2호)』, 한국과학사학회, 2003.
- 임종원 외, 『한국전자산업의 마케팅 발전과정』, 서울대학교출판부, 2008.
- 장준식, 『차세대 지식산업을 찾아라』, 임승, 2007.
- 장하준, 형성백 옮김, 『사다리 건너차기』, 부키, 2004.
- 장희익, 『삶과 온생명』, 솔출판사, 1998.
- 전상운, 『한국과학사』, 사이언스북스, 2000.
- 정구현 외, 『한국의 기업경영 20년』, 삼성경제연구소, 2008.
- 정동찬, 『옛것도 첨단이다』, 민속원, 2001.
- 정인경, 『청소년을 위한 한국과학사』, 두리미디어, 2007.
- 정홍철, 『우주개발의 숨은 이야기』, 살림출판사, 2004.
- 제넷 이부-루고드 지음, 박흥식 · 이은정 옮김, 『유럽 패권 이전 13세기 세계체제』, 까치, 2005.
- 제임스 E. 메클렌란 3세 · 헤럴드 도론, 전대호 옮김, 『과학과 기술로 본 세계사 강의』, 모티브북, 2006.
- 조셉 니덤, 폴린 로언 엮음, 김영식 · 김제란 옮김, 『중국의 과학과 문명-사상적 배경 (축약본 1)』, 까치글방, 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 브룩만 엮음, 안인희 옮김, 『과학의 최전선에서 인문학을 만나다』, 동녘사이언스, 2006.
- 주완철 · 주광석, 『역사와 함께하는 과학이야기』, 성균관대학교출판부, 2000.
- 지바현역사교육과학협의회 엮음, 김은주 옮김, 『물건의 세계사』, 가람기획, 2002.
- 찰리 길리스피, 이필렬 옮김, 『객관성의 칼날』, 새물결, 1999.
- 찰리 라이리, 이충섭 옮김, 『물의 치유력』, 생각의나무, 2006.
- 최성우, 『과학사 X파일』, 사이언스북스, 1999.
- 최승훈, 『한의학 이야기』, 푸른나무, 1997.
- 최창현, 『복잡계로 바라본 조직관리(SERI 연구에세이 037)』, 삼성경제연구소, 2005.
- 치엔 웨이창, 오일환 엮음, 『중국 역사 속의 과학발명』, 전파과학사, 1998.
- 칼 세이건, 김한영 옮김, 『에필로그』, 사이언스북스, 2001.
- 케이 미즈모리, 고유희 옮김, 『은폐된 과학의 불편한 진실』, 로코코북, 2010.

- 크리스 피어스, 황보 중우 옮김, 『전쟁으로 보는 중국사』, 수막새, 2005.
- 테사 모리스 스즈키, 박영무 옮김, 『일본 기술의 변천』, 한승, 1998.
- 토비 E. 하프, 김병순 옮김, 『사회, 범체제로 본 근대과학사 강의』, 모티브, 2008.
- 파스칼 누벨, 전주호 옮김, 『과학을 사랑하는 기술』, 울력, 2005.
- 페니 르 쿠터 · 제이 버레스, 박주영 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.
- 하시모토 주로, 유희준 · 송익 옮김, 『전후 일본 경제(한림신서 일본학 총서 22)』, 소하, 1996.
- 한국과학기술단체총연합회, 『밀레니엄 과학, 밀레니엄 기술』, 이지컴, 2000.
- 한국과학문화재단, 『과학기술인! 우리의 자랑』, 양문, 2006.
- 한국과학문화재단, 『교양으로 읽는 과학의 모든 것 1, 2』, 미래M&B, 2006.
- 한국과학재단, 『미래를 만드는 한국의 과학자들』, 상상박물관, 2007.
- 한국사 시민강좌 편집위원회, 『한국사에 펼쳐진 과거제(한국사시민강좌 제46집)』, 일조각, 2010.
- 한국역사연구회, 『조선시대 사람들은 어떻게 살았을까』, 청년사, 1996.
- 한스 요하임 브라운, 김현정 옮김, 『세계사를 바꾼 가장 위대한 101가지 발명품』, 플레 닷미디어, 2006.
- 한양대학교 과학철학 교육위원회 엮음, 『과학기술의 철학적 이해』, 한양대학교출판부, 2004.
- 한양대학교 과학철학 교육위원회 엮음, 『인문사회계 학생을 위한 과학기술의 철학적 이해』, 한양대학교 출판부, 2008.
- 한양대학교 과학철학 교육위원회 편, 『과학기술의 철학적 이해』, 한양대학교 출판부, 2004.
- 한지맨 · 꾸어치우후이, 한민영 옮김, 『전통공예(중국문화 13)』, 대가, 2008.
- 허 준, 이선준 엮음, 『동의보감』, 은광사, 1988.
- 허창욱, 『반중력의 과학』, 모색, 1999.
- 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.
- 후지모토 다카히로, 박정규 옮김, 『모노즈쿠리』, 월간조선, 2004.
- A. L. 바라바시, 강병남 · 김기훈 옮김, 『링크』, 동아아시아, 2002.
- K. 메데페셀 헤르만 · F. 하마어 · H. J. 크바르베크제거, 권세훈 옮김, 『화학으로 이루어진 세상』, 에코리브르, 2007.
- 위키백과 <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%8C%80%EC%9A%B4%ED%95%98>

| 외국 문헌 |

- 廣重徹, 『科學の社會史 上, 下』, 岩波書店, 2002.
- 大塚恭男, 『東洋醫學』, 岩波新書, 1996.
- 藪内清, 『中國古代の科學』, 講談社學術文庫, 2004.
- 中岡哲郎, 『日本近代技術の形成』, 朝日新聞社, 2006.
- 杜石然 外, 『中國科學技術史 上, 下』, 東京大學出版會, 1997.
- 中岡哲郎 外, 『産業技術史』, 山川出版社, 2001.
- 衫本勳 編, 『科學史』, 山川出版社, 1967.
- 丸川知雄, 『現代中國の産業』, 中公新書, 2007.
- 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.
- David Hamilton, “Technology, man and the environment”, London: Faber and Faber LTD, 1973.
- Donna L. Doane, “Cooperation, technology, and Japanesedevelopment”, WestviewPress, 1998.
- Fumio Kodama, “Emerging patterns of innovation”, HarvardBusiness School Press, 1995.
- Geoffrey Parker, “The Times compact atlas of world history”, London: Times Books, 1995.
- James E. McClellan III, Harold Dorn, “Science and technology in world history: An introduction”, Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1999.
- John Gribbin, “Science: A history”, Penguin Books Ltd, 2003.
- Lawrence James, “The rise and fall of the British empire”, New York: St. Martin’s Griffin, 1995.
- Morris Low, Shigeru Nakayama, and Hitoshi Yoshioka, “Science, technology and society in contemporary Japan”, CambridgeUniversity Press, 1999.
- National Geography Society, “100years of adventure and discovery”, Hong Kong: A Times Mirror Company, 1994.
- National Geography Society, “Inventors and discoverers—Changing our world”, Washington D.C.: National Geography Society, 1988.
- Reader’s Digest, “Marvels and misteries of the world around us”, Reader’s Digest of Japan, Ltd, 1979.
- Robert Temple, “The genius of China”, Inner Traditions, Rochester, Vermont, 2007.
- Sang-woon Jeon, “Chemistry, chemical technology, and pharmaceuticals,” chap. 4 of Science and technology in Korea; Traditional Instruments and Techniques Cambridge, Mass: MIT Press, 233–69, 1974.
- Shigeru Nakayama, “A social history of science and technology in contemporary Japan Vol. 2”, Trans Pacific Press, Melbourne, 2005.

과학이 보인다

인 쇄 2016년 9월 20일
발 행 2016년 9월 25일
발 행 인 이철호(한국식량안보연구재단)
발 행 처 도서출판 식안연
주 소 서울시 성북구 안암로 145, 고려대학교
생명과학관(동관) 401호
전 화 02-929-2751
팩 스 02-927-5201
이 메 일 foodsecurity@foodsecurity.or.kr
홈페이지 www.foodsecurity.or.kr
편집·인쇄 한림원(주) <http://www.hanrimwon.com>

* 이 책의 무단 전재 또는 복제를 금합니다.

국립중앙도서관 출판예정도서목록(CIP)
과학이 보인다 : 과학의 역사 & 동아시아의 과학 / 양재승 [지음].
-- 개정증보판. -- 서울 : 식안연, 2016

ISBN 979-11-86396-34-6 93400 : ₩17000

과학사(역사)[科學史]

409-KDC6

509-DDC23

CIP2016021912