

## 과학기술 발전에서 정보의 역할\*

윤 석 철\*\*

### 〈目 次〉

들어가는 말	IV. 과학 지식에 관한 정보의 체계화
I. 과학과 기술의 정의(definition)	V. 현상(現象)에서 본질(本質)로
II. 실험을 통한 발견과 과학정보의 추적효과	VI. 새로운 이론에 대한 요청
III. 과학적 정보의 유포와 관련 기 술의 탄생	VII. 새로운 영역의 개척
	VIII. 결 론

### 들어가는 말

신분의 귀천을 불문하고 족보 없이 하늘에서 떨어진 인간은 없다. 이와 마찬가지로, 과학과 기술의 탄생에도 족보가 있다. 인간 탄생에서의 족보가 핏줄의 흐름을 의미한다면, 과학 기술 발전에서의 족보는 정보의 흐름을 의미한다. 과학적 발견과 기술적 발명이 시간의 흐름을 따라 진행되어 온 역사가 과학 기술의 족보이다. 과학기술의 계보(족보)에서, 시간의 흐름 위에 나타나는 새로운 업적은 그 이전까지 축적되어 온 정보 위에 새로이 추가하거나 개선, 아니면 과거의 잘못을 발견하여 그것을 바로잡는 내용임을 알 수 있다.

17세기 이전의 원시적 수준이라면 몰라도 요즘과 같은 첨단 과학 기술은 정보 흐름의 네트워크 속에서나 가능해진다는 주장이다. 그래서 말(馬)은 태어나면 제주도로 보내고, 사람은 서울로 보내야 한다는 한국 속담이 과학기술의 시대에 새로운 의미를 가진다. 첨단 반도체 산업의 중심으로서 미국의 실리콘 밸리(Silicon Valley)가 중요시된 이유도 여기에 있다. 이 논문의 목표는 오늘의 과학 기술 발전에서 정보의 흐름이 어떤 역할을 했는지 살펴보면서 우리나라 과학기술 발전에 도움이 되기를 기대하는 데 있다. 논문 내용의 이러한 성격상 연구 방법은 문헌 연구를 위주로 한다.

\* 본 연구는 서울대학교 경영연구소와 경영정보연구소의 연구비 지원에 의해 작성되었음.

\*\* 서울대학교 경영대학

## I. 과학과 기술의 정의(definition)

인간은 자연현상을 관찰하면서 자연의 존재양식을 탐구해 왔고 그 결과 인간이 알게 된 지식을 과학(science)이라 부른다. 이어서 인간은 이러한 과학지식(scientific knowledge)을 삶(生活)에 도움이 되도록 활용하는 지혜(wisdom)를 개발해 왔으니, 이러한 지혜를 총칭하여 우리는 기술(technology)이라 부른다. 다시 말하면 자연탐구에서 과학이 탄생하고, 이어서 과학이 기술을 낳고, 기술은 산업과 경제를 발전시켜 인간의 삶을 풍요롭게 하는 일련의 연쇄(連鎖) 과정이 전개된다. 이러한 연쇄과정은 과학, 기술, 산업 삼자(三者) 사이의 정보네트워킹(information networking)을 기본으로 하고 있다. 그러면 자연현상의 관찰에서 과학지식이 형성되기 시작한 역사적 과정을 구체적으로 살펴보자.

BC 700년경에 그리스 사람들은 마그네시아(Magnesia)라는 산을 오르다가 지팡이 밑에 박힌 쇠붙이를 끌어당기는 돌을 발견했다. 오늘의 지식에 의하면, 이 돌은 천연자석의 원료인 자철광이었다. 오늘날 자석을 의미하는 마그네타이트(magnetite)라는 용어는 천연자석이 발견된 그리스의 산 마그네시아에서 유래했다. 막대 모양의 천연 자석을 자유로 움직일 수 있게 실에 매달면 자석의 양단이 남북을 가리킨다는 신기한 현상도 세월이 흐르면서 누군가에 의해 발견 되었다. 12세기에 이르러서는 이 현상을 이용한 나침반이 사용되기 시작했으며 나침반은 인간이 자연의 존재양식을 활용하여 만든 초창기 기술의 하나인 셈이다.

BC 600년경에는 그리스의 학자 탈레스(Thales)가 호박(琥珀: 樹脂)가 오랜 동안 땅속에서 화석이 되어 생성된 보석의 일종)을 털가죽으로 문지르면 호박이 깃털이나 지푸라기 같은 가벼운 물질을 끌어당긴다는 사실을 발견했다. 오늘의 과학지식에 의하면 이것은 호박에 정전기가 발생하여 나타나는 현상이다. 호박뿐만 아니라 유리막대나 플라스틱 조각을 모직물이나 아크릴 섬유 등으로 마찰해도 역시 정전기가 발생한다. 오늘날 전기를 의미하는 엘렉트릭(electric)이라는 단어는 호박의 그리스어 엘렉트론(elektron)에서 유래했다. 그런데 자석의 경우와는 달리 전기현상을 실생활에 활용하는 기술은 그 후 천 수백 년이 되도록 좀처럼 개발되지 않고 세월만 흘렀다.

## II. 실험을 통한 발견과 과학정보의 축적효과

그 후 천여 년 동안 비록 전기현상을 활용하는 기술개발은 없었지만, 전기가 일으키는 신기한 현상들은 계속 여러 학자들의 관심을 끌었다. 학자들의 관심은 실험으로 이어졌고, 이

렇게도 해보고, 저렇게도 해보는 많은 탐색실험을 통하여 정전기는 구리나 철과 같은 도선을 따라 흐른다는 사실이 알려졌다. 이 흐름을 우리는 전류(電流)라 부르지만 정전기에서 나오는 전류는 순간적으로 흘러버리고 만다. 그래서 정전기에서 나오는 순간적 전류를 가지고는 전류가 나타내는 현상을 관찰하기가 어려웠다.

18세기 말에 이르러, 정전기가 아닌 전혀 다른 원천에서 전기를 얻어 낼 수 있게 되었다. 이탈리아의 파비아 대학 교수 볼타(Volta, A. 1745-1827)가 마찰이 아닌 다른 방법으로 전류를 얻는데 성공했기 때문이다. 그는 아연과 구리 판 사이에 소금물이나 묽은 황산에 적신 천을 끼워 놓고 아연과 구리판을 철사로 이으면 철사에 전류가 계속 흐른다는 사실을 발견했다. 이것은 오늘날 볼타의 전지라 불리며, 이로서 인류는 물리적 방법(마찰) 이외에 화학적 방법으로도 전기를 얻을 수 있게 된 것이다. 전지에서 나오는 전류는 순간적으로 끝나지 않고, 균일하게 계속 흐를 수 있기 때문에 그동안 못했던 여러 가지 실험을 가능하게 했다.

1819년에 덴마크의 코펜하겐 대학 교수인 에르스테드(Oersted, H. 1777-1851)는 다시 중요한 발견을 하게 된다. 에르스테드는 대학 강의 도중 전류가 흐르는 도선 근처에 나침판을 가져갔다가 나침판 바늘이 움직이는 현상을 목격했다. 이것은 우연에 의한 발견이었지만 이로서 2,000여 년 동안 서로 아무 관계없이 존재해 온 두 세계, 즉 전기(電氣)와 자기(磁氣)의 세계가 어떤 관계로 맺어져 있다는 사실이 발견된 것이다. 이 사실의 발견으로 전기와 자기는 독립된 별개의 세계가 아니고 어떤 기본원리에 따라 연결된 하나의 세계일 가능성이 높아졌다.

에르스테드의 발견이 1820년에 불란서 학사원에 보고 되자, 당시 파리 공과대학 교수였던 암페어(Ampere, A.M., 1775-1836)는 전기현상과 자기현상을 하나로 묶어 설명할 수 있는 이론을 발표했다. 암페어는 전류가 흐르는 도선은 도선 주위에 자력장(磁力場)을 만들어 낸다고 주장했다. 암페어의 주장이 맞다면, 자석이란 자연 속의 본원적(本源的) 존재가 아니라 전류의 존재에 뒤따르는 파생적(派生的) 존재라는 결론이 나온다. 훌륭한 수학자였던 암페어는 그의 이론을 수학적으로 표현하였다. 이 표현에 의하면 전류(I)가 흐르는 도선이 만들어 내는 자장(磁場)의 세기(B)는 전류(I)에 비례하고 도선으로부터의 거리(r)에 반비례하며, 이때의 비례상수는 도선을 둘러싸고 있는 물질의 특성에 따라 달라진다는 것이다.<sup>1)</sup>

암페어의 이론이 맞다면 전류가 흐르고 있는 나선형의 코일은 막대자석과 같은 작용을 해야 한다. 왜냐하면 코일은 여러 번 감은 원형(圓形)의 도선이므로, 여기에 전류가 흘러 발

1) 眞空의 경우에 이 비례상수는  $2 \times 10^{-7} (Tm/A)$ 이다.

생하는 자력선은 감은 회수만큼 보강되면서 같은 방향으로만 (즉, 코일 원통의 중심축을 따라) 형성될 것이기 때문이다. 실제로, 자석이 아닌 보통의 쇠막대에 코일을 감아 코일에 전류를 통해 보면 쇠막대가 자석의 작용을 한다는 사실이 확인되었다. 암페어의 이론은 천연자석의 원리를 설명할 수도 있다. 어느 물질의 단위 입자들이 그 둘레에 작은 원형으로 회전하는 전류를 가지고 있으며, 이런 단위 입자들이 동일 방향으로 정렬돼 있으면 자장의 방향이 서로 보강되어 그 물질은 자석이 된다. 만약 이런 입자들이 여러 방향으로 무질서하게 흩어져 있으면 자장의 효력이 서로 상쇄되어 자석이 될 수 없다. 오늘의 과학지식에 의하면 작은 원형으로 회전하는 전류란 원자 주위를 도는 전자인 것이다. 그러나 어떤 원인에 의해 천연자석의 원자들이 동일한 방향으로 정돈하게 되었는지는 아직 인간의 지혜로는 알기 어렵다.

### Ⅲ. 과학적 정보의 유포와 관련 기술의 탄생

전기와 자기 현상에 관한 이러한 발견은 자연 속에 묻혀 있는 자연의 존재법칙(사실)을 찾아서 알아 낸 과학지식의 예 불과하다. 이 정도의 지식이 확립되어 유포되기 시작하자, 이 지식을 활용하여 인간의 삶에 필요한 편의 도구를 만들기 위한 노력이 시작된다. 이런 노력이 기술의 발전으로 나타난다. 코일에 흐르는 전류의 양을 변화시키면, 그에 따라 세기(強度)가 달라지는 자장이 만들어 질 수 있다는 과학지식이 가장 유용하게 활용되기 시작했다. 다음은 초창기에 나타난 이들의 대표적인 예이다.

#### 1. 전신

전류는 도선을 타고 멀리까지 전달될 수 있어 전류로 인간의 의사를 담은 신호를 보낼 수 있다는 착상을 한 사람이 많이 나타났다. 그 최초는 1809년에 독일의 셴메링이라는 사람이 고안한 것으로서, 한 쪽에서 전류에 신호를 실어 보내면, 다른 쪽에서 그 전류로 물을 전기분해하여 거품이 일게 되므로, 그것으로 신호를 해독하려고 하였다. 그러나 전류에 실린 신호가 거품 신호로 전환되는 방법의 다양성과 정밀도에 한계가 있어 이것은 실제로 이용되지 못했다.

1833년에 독일의 가우프스(Gauss, K. 1777 1855)와 웨버(Weber, W. 1804 1891)는 전류가 만들어 내는 자장 속에서 나침반의 바늘이 움직이는 성질을 이용하여 신호전달을 시도했다. 이 장치는 독일 괴팅엔(Goettingen) 대학의 물리 실험실과 천문대 사이에 설치되어 한정된 용도로 사용되었다.

전류를 사용한 실용적이고 본격적인 통신 기술의 발달은 미국의 모스(Morse, S. F. B. 1791-1872)에서 시작했다. 모스는 원래 과학자나 기술자가 아니었다. 모스는 그림을 전공한 화가로서 뉴욕의 미술학교 교장이었다. 그가 1832년에 유럽 여행길에서 어느 전기학자의 전자석 실험을 보고 흥미를 느껴 전기통신을 착상하게 되었다. 그는 5년간의 고심 끝에 1837년, 한 쪽에서 발신한 신호를 전자석의 계전기(릴레이)를 사용하여 보내면, 다른 곳에서 그것을 수신할 수 있는 장치를 고안했다. 발신기에서 신호를 전류의 단속적 흐름으로 만들어서 보내면, 이것이 수신기에서 전자석의 단속적 작동으로 나타나는 원리였다. 모스는 이 장치(하드웨어)의 발명과 더불어 전신부호(소프트웨어)도 고안했다. 전자석의 단속적 작동이 균일한 속도로 흘러가는 종이테이프 위에 잉크로 부호를 만들면 이 부호를 언어로 풀어 낼 수 있는 약정표(約定表)를 만든 것이다. 오늘의 기계어인 셈이다.

모스와 같은 해에 영국에서도 휘트스톤(Wheatstone, C. 1802-1875)이란 학자가 비슷한 전신기를 만들었다. 기술이 개량되면서 미국에서는 1845년에 수도 워싱턴과 인접 도시 볼티모어 사이에 전신선이 가설되었고, 민간 통신도 취급되었다. 1857년에는 대서양에 해저 전선이 개통되어 영국과 미국사이에 국제통신까지 개설되었다.

## 2. 전화

모스의 통신은 일상 언어를 어떤 약속에 따라 단속적 부호로 변화시켜 전류에 실어 보낸 후, 이것을 다시 일상 언어로 번역하는 번거로움 때문에 불편했다. 이 불편을 해소하기 위해 일상의 음성언어를 그대로 보낼 수 있는 기술의 탄생을 요청했다. 이러한 필요의 인식 속에 1861년 독일의 라이스(Reis, J. P.)가 실험을 시작했으나, 실용화 될 만한 결과에 이르지 못했다.

음성은 공기 속에 소밀(疏密)의 압력차를 만드는 파동이다. 이 압력차를 얇은 금속판의 진동을 통하여 전류의 강약으로 변환할 수 있다. 이 강약의 차이를 가진 전류가 도선을 타고 흘러가 상대방 수화기에서 다시 전자석의 강약을 통해 금속판에 진동을 재현토록 한 것이 전화의 개념이다. 전화는 1876년 미국의 벨(Bell, A. G. 1847-1922)에 의해 실용화 된 후 계속 개량되었다. 1878년에는 영국의 휴즈(Hughes, D. E. 1831-1900)에 의해 더욱 발전된 음성발신장치(마이크로폰)가 만들어졌다.

#### IV. 과학 지식에 관한 정보의 체계화

1865년에 영국의 이론물리학자 맥스웰(Maxwell, J.C. 1831-1879)은 전기와 자기에 관하여 그때까지 알려진 과학지식을 집대성하여 수학적 이론체계를 완성했다. 그는,

- (1) 전하로부터 방사(放射)되는 전장 속에서 성립하는 쿨롱의 법칙,
- (2) 움직이는 전하가 생성해 내는 자장에 관한 암페어의 법칙,
- (3) 자장의 자력선은 폐쇄회로를 형성하며 서로 교차함이 없다는 자장의 성질,
- (4) 움직이는 자장은 전장을 만들어 낸다는 파라데이의 전기유도 법칙,

이상 4가지 기존의 과학지식을 결합하여 하나의 통일된 수학적 체계로 정리했다. 자신이 도출한 수학적 체계 속에서 맥스웰은 전장과 자장이 대칭적(對稱的) 역할(symmetrical role)을 한다는 사실을 발견했다. 이 대칭성은 (움직이는 자장이 전장을 만들어 낸다는) 파라데이의 유도전기 원리와 결합하여, 맥스웰로 하여금 진동하는 전장은 진동하는 자장을 만들어 낼 것이라는 예측을 가능하게 했다. 이것이 사실이라면, 진동하는 전하는 진동하는 전장을 만들어 낼 것이고, 진동하는 전장은 동시에 진동하는 자장을 만들어 낼 것이다. 이렇게 진동하는 전하로부터 방사(radiate)되는 전장과 자장을 맥스웰은 전자파(電磁波, Electromagnetic wave)라 불렀으며, 그는 전자파의 전파속도를 이론적으로 계산해 내는데 성공했다. 그 결과 전자파의 속도가 광속도(光速度)와 일치한다는 놀라운 사실까지 발견했다. 이로써 광선도 전장과 자장으로 구성된 전자파의 일종일 것이라는 가설을 제시했고, 여기서부터 광학과 전자기학의 통일이 시작 되었다.

##### 1. 헤르츠(Hertz)의 실험

1887년에 독일인 헤르츠(Hertz, H. 1857-1894)는 실험으로 맥스웰 이론을 확인하게 된다. 헤르츠는 감응 코일과 충전된 축전기로 된 회로를 가지고 실험을 했다.

회로의 스위치를 닫아 전류가 흐르게 하면 축전기의 전장 속에 저장된 전기 에너지가 전류로 흘러 코일에 자장에너지로 변환된다. 이 자장에 충전된 에너지는 다시 전류로 변해 축전기로 흘러들어가 축전기를 대전시킨다. 이러한 왕복 운동은 마치 스프링에 매달린 질량이 위치에너지와 운동에너지로 전환되면서 반복운동을 하듯 계속된다. 이 때 축전기와 코일이 가지는 고유상수 C와 L의 크기에 따라 왕복운동의 진동수가 결정된다. 진동수가 작고, 회로

내부에 저항이 없으면 왕복운동은 오래 계속된다. 그러나 헤르츠는 실험을 통해 L과 C가 충분히 작은 값을 가지게 되어 진동수가  $f=100\text{MHz}$  정도로 높아지면 회로 속의 전자기 에너지는 전자파로 변하여 주위 공간을 타고 방출된다는 사실을 발견했다.

## 2. 통신 기술의 탄생

Hertz 회로에서 높은 진동수로 전자파를 방출하는 회로를 송신기(transmitter)라 부른다. 헤르츠는 송신기 근처에 제2의 유사한 회로를 만들어 놓고, 제2회로의 축전기 용량을 조정하여 송신기의 고유진동수와 같은 공명진동수를 형성했더니 제2회로에 유도 전류가 흐름을 확인했다. 이것은 공명진동수를 가진 소리굽쇠로 피아노의 어느 특정음을 얻어내는 일과 근본적으로 같은 원리이다. 제2의 회로는 오늘날 수신기(receiver)라 불린다. 이로서 전선을 타고만 전류가 흐르던 유선(有線)시대에서 전선 없이 공간을 통해 전자기 에너지를 전달하는 무선(無線) 통신시대가 열렸으며, 라디오, 텔레비전의 기술도 가능해졌다. 라디오와 텔레비전의 실험은 세월이 좀더 흘러 진공관과 광전관이 개발된 후이지만, 그 근본 원리는 무선송신에 있다.

## 3. 방송기술의 탄생

라디오는 음성을 전기 에너지에 실어서 먼 곳까지 보내는 전자 기술이다. 인간의 음성은 1초에 최저 16에서 최고 20,000 번(Hz) 진동하는 음파이다. 진동수가 적은 쪽이 저음이고, 큰 쪽으로 갈수록 고음이 된다. 라디오 방송국은 송신기 회로를 가지고 특정 주파수로 전자파를 내보낸다. 라디오는 음파의 신호를 전자파의 진폭(Amplitude) 위에 실거나 진동수의 소밀을 통해 송신한다. 라디오 수신기에서는 가변축전기의 용량을 조절하여 원하는 방송국의 주파수에 해당하는 공명진동수를 얻어서 방송을 청취할 수 있다.

## 4. 디지털 통신 기술

오늘의 디지털 방식에서는 1초 동안 진행되는 음파를 44,000 토막으로 나눈다. 즉 44,000분의 1초 간격으로 순간의 진동수를 잡아내어 그 진동수에 0 혹은 1로 된 16자리 이진수를 부여한다. 16자리 2진수는  $2^{16} = 65,536$ 개의 서로 다른 정보를 받아드릴 수 있으므로 16 20,000의 진동수를 표현하는 데 문제가 없다. 2진법은 전류나 빛의 유무를 사용한 스위칭 방법으로 간단히 나타낼 수 있고, 전류나 빛은 그 전달 속도가 빠르므로 많은 양의 정보를 신속히 처리할 수 있다.

### 5. 텔레비전 기술 탄생

TV의 전파도 같은 원리로 송출 및 수신된다. 단 TV의 화면전송에서는 광전효과를 이용하여 빛의 밝기에 비례하는 수의 전자를 TV 스크린에 보냄으로서 브라운관의 형광물질이 명암(明暗)으로 화상(畫像)을 나타낸다. 요즘의 디지털 기술에서는 색상을 1,600만 개로 나누어 그 하나하나에 16자리의 2진수를 할당한다. 화면에 있는 모든 화소(picture cell)의 색상을 2진수로 디지털화 한 후, 이것을 전자에너지로 바꾸어 인광체를 입힌 브라운관에 보낸다. 브라운관의 인광체가 전자를 통해 받은 신호를 다시 원래의 색상으로 재현시켜 화상을 만든다. TV에서는 30분의 1초 마다 화면이 바뀌고 있지만 우리의 눈은 10분의 1초 동안 화면의 잔상을 가지고 있기 때문에 화상과 화상 사이의 단절을 느끼지 못하고 부드러운 연속을 보게 된다. 실물의 움직임이 아닌 그래픽 디자인은 화면 하나하나에 미세한 차이를 주는 불연속 그림을 그려서 만든다. 예컨대, 34초짜리 애니메이션(animation)은  $34 \times 30 = 1,020$ 장의 불연속 화면으로 구성돼 있고, 이것은 그래픽 디자이너가 약 220시간, 컴퓨터 프로그래머가 약 350시간, 도합 570시간을 일한 결과이다. 이처럼 우리 삶을 편리하게 하는 과학 기술의 이면에는 인간의 끈질긴 노력이 자리하고 있다.

## V. 현상(現象)에서 본질(本質)로

인류는 태고 적부터 물을 생명수로 마셨고, 물로 농사를 지었으며, 물의 존재양식을 이용하여 물레 방아도 돌렸다. 그러나 물의 정체, 즉 물의 본질이 무엇인가를 질문하고, 물이란 수소원자 두개와 산소원자 한 개로 된 화합물이라는 사실을 알게 된 것은 불과 100여년의 일이다. 전기에 관하여도 인간 앞의 역사는 비슷하다. 전기의 존재양식을 이해하고, 그것을 이용하는 기술이 급속히 발전하는 동안에도 과학자들은 전기가 나타내는 여러 가지 현상을 실험을 통해 파악할 뿐, 전기의 본질과 정체가 무엇인지는 이해하지 못하고 있었다. 그러다가 19세기 중엽부터 인간의 노력(必然)이 우연(偶然)과 결합하면서 전기의 본질이 밝혀지기 시작한다.

우연과의 첫 결합은 다른 분야에서 발달한 기술과의 만남이다. 1850년경에 독일 본(Bonn)에는 가이슬러(Geissler, H.)라는 유리세공 기술자가 있었다. 유리세공 기술은 전기와는 계보가 다르다. 그러나 당시 본 대학의 프뤼커 교수는 진공 속에서 전기를 방전시켜 보면 어떠할까 하고 생각했다. 그래서 그는 가이슬러에게 전극을 넣은 진공 유리관의 제조를 의뢰했다. 프뤼커 교수의 요청에 따라 가이슬러는 유리관 양끝에 양(+), 음(-)극의 전극을 넣어



진공 유리관을 제조하는데 성공했고, 이것을 오늘날 가이슬러관이라 부른다.

가이슬러관의 양극에 전압을 걸었더니, 처음에는 붉은 끈 같은 줄이 생기면서 전류가 흘렀다. 그러나 유리관 속의 진공도를 높여서 거의 공기가 없을 정도가 되면 불꽃 같은 끈은 사라지고 음극의 반대편 유리관 벽이 희미하게 형광을 발하기 시작했다. 이것은 당시로서는 이해하기 어려운 현상이었다.

그 후 여러 학자들이 진공 방전실험을 계속하였다. 1869년에 독일의 히토르프(Hittorf, J. 1824-1914)는 음극 앞에 조그만 금속판을 놓고 진공방전을 시켜보았더니 반대편 유리벽에 금속판의 그림자가 나타나는 것을 발견했다. 비슷한 시기에 독일의 골드슈타인도 같은 실험결과를 확인하고, 이것은 음(-)극에서 보이지 않는 어떤 물질이 방사되어 나오기 때문이라 생각하고 이것을 음극선(陰極線, cathode rays)이라 이름했다. 1874년에는 영국의 크루크스(Crookes, W. 1832-1919)가 거듭된 실험을 통해, 음극에서 방사되는 물질이 음전기를 띠는 작은 입자들이며 이들의 무게는 수소원자 무게의 2,000분의 1 정도라는 사실을 발견했다. 이 발견은 그 동안 물질의 가장 작은 구성단위를 원자라고 생각했던 그 시대의 과학지식을 뒤엎는 것이었다.

그 후 이 입자의 정체를 밝히기 위한 실험이 계속되었다. 1897년에 영국의 물리학자 톰슨(Thomson, J. J.)은 음극선이 방사되는 유리관 주위에 전장과 자장을 걸어 보면서 실험했다. 전장을 끄고 자장만 걸었을 때, 자장을 끄고 전장만 걸었을 때, 전장과 자장을 모두 걸면서 그 세기를 변화시킬 때, 음극선의 방향이 어떻게 휘는가를 관찰하였다. 그 결과 그는 음극선에서 나오는 입자의 전하량(電荷量) 대 질량의 비를 계산해 낼 수 있었다.

1909년에 미국의 밀리칸(Millikan, R.) 교수는 전하를 띤 미세한 기름 방울을 관찰하는 정교한 실험을 통하여, 자연 속에 존재할 수 있는 전하량은  $1.6 \times 10^{-19}$  쿨롱(Coulomb)의 정수배(整數倍)라는 사실을 발견했다. 한편, 진공방전 실험에서 음극으로부터 나오는 입자는 음극을 구성하는 금속의 종류 여하에 관계없이 모두 같다는 중요한 결론이 얻어졌다. 즉 어떤 물질을 음극으로 사용해서 실험해 보아도, 거기서 튀어나오는 입자는 언제나 같은 질량, 같은 전기량을 가지는 작은 미립자라는 사실이었다. 자연 속에 존재하는 전기량의 최소단위를 가지고 있는 이 미립자를 電子(electron)라고 불렀다. 드디어 전기의 정체는 전자이며, 전류는 전자들의 흐름이라는 본질이 밝혀진 것이다. 밀리칸(Millikan, R.) 교수의 실험결과와 톰슨의 전하 대 질량 비로부터 전자의 질량도 계산할 수 있게 되었고, 이 질량은  $9.10 \times 10^{-28}$  그램이었다.

### 1. 광전(光電)효과의 발견

만일 전자가 모든 물질 원자 속에 공통적으로 들어 있는 것이라면, 그것이 음극선뿐만 아니라, 다른 실험에서도 발견되어야 할 것이다. 이런 논리와 상상 속에서 학자들은 여러 가지 실험을 하면서 전기현상을 관찰했다. 그러다가, 1887년에, 독일의 하인리히 헤르츠가 금속면에 빛을 쬐었을 때, 금속이 양전기를 띠게 된다는 사실을 발견하게 되었다. 이 실험이 발표된 후, 학자들은 금속이 양전기를 갖게 되려면, 무엇인가 음전기를 갖는 것이 금속면에서 튀어 나갔을 것이라고 생각하게 되었다. 1899년이 되어, 독일의 물리학자 레나드(Lenard, P.)는 진공 속에서 연마한 금속면에 자외선을 쬐었더니, 거기서 전자가 튀어 나온다는 사실을 발견했다. 이 현상을 오늘날 광전효과(光電效果)라 부르고 있다.

### 2. 광전(光電)기술의 탄생

광전효과에서 튀어나오는 전자의 수는 빛의 강도에 비례한다. 이 성질을 이용해서 빛의 유무, 강약에 의한 신호를 전류의 유무, 강약 신호로 바꾸는 광전관, 조도계, 전자눈, 그리고 유성(有聲)필름 등의 기술이 탄생한다. 광전관은 특정한 진동수를 가지는 빛의 존재 여하가 전류의 흐름 여하로 이어져 스위치 역할을 하는 장치이며, 조도계는 사진촬영에서 피사체가 받는 빛의 양을 전류계의 눈금으로 나타내는 계기이다. 도난경보 등에 쓰이는 전자눈은 자외선을 조사(照射)하여 광전관을 통해 보통 시엔 계속 전류가 흘러 전자석이 작동하게 한 후, 어떤 침입자로 인하여 자외선이 차단되면 전류가 차단되게 하는 원리를 이용한다. 전류가 차단되면 회로 속의 전자석이 자력을 잃게 되고, 그러면 그동안 전자석 쪽에 붙어 있던 스위치가 스프링의 힘으로 옆에 장치한 경종(警鐘)회로 쪽으로 전향하여 경종을 울리게 하는 원리이다. 유성영화 필름의 음성트랙은 필름의 투명도를 달리하여 빛의 통과량을 조절할 수 있게 한 필름의 한 부분이다. 음성 신호를 음성트랙의 투명도로 나타내고, 여기에 빛을 통과시켜 빛의 강약신호로 바꾸고, 이것을 광전관을 통해 다시 전류의 강약신호로 바꾼 후, 전류를 다시 음성으로 바꾸는 원리이다.

## VI. 새로운 이론에 대한 요청

그런데, 광전효과 실험에서 어떤 진동수 이상의 빛만이 전자를 튀어나오게 하고, 그 이하의 진동수에서는 빛의 강도를 아무리 높여도 전자가 튀어나오지 않는다는 사실이 관찰되었다. 이 현상을 설명할 수 있는 이론이 1905년까지는 없었다. 1905년에 아인슈타인은 빛은 입자

이며, 빛의 입자는 진동수에 특정상수<sup>2)</sup>를 곱한 량(量)에 해당하는 에너지를 가진다고 가정했다. 이런 양의 에너지를 가지는 빛의 단위입자를 오늘날 우리는 광양자(光量子, photon)라고 부른다. 이 개념은 자연 속에 존재하는 전하(電荷)의 량이 전자 하나가 가지는 전하량의 정수배로만 가능하다는 사실과 유사하다. 자연 속에 존재하는 에너지의 량도 플랑크 상수의 정수배로만 존재할 뿐이다. 다시 말하면, 전하나 에너지는 연속적인 량이 아니고, 불연속적인 량으로만 존재할 수 있다.

광전효과에 관한 아인슈타인의 설명은 그 후 전자기와 광학 분야의 여러 실험에서 정당성이 확인되었으며, 고전역학 시대로부터 양자역학(量子力學) 시대로 옮겨가는 계기를 마련했다. 빛의 양자화 가설로부터 인간은 빛이 입자성(粒子性)과 파동성을 모두 가지는 이중적 존재라는 사실을 받아들여야 한다. 입자는 본질적으로 물질이며 파동은 에너지이다. 여기서 물질과 에너지가 본질적으로 같은 것이며 따라서 모든 물질(입자)이 파동일 수 있다는 물질파(物質波) 가설이 나오고, 물질과 에너지 간의 등가(等價)관계식  $E=mc^2$ , 입자가 파동의 성질을 가짐으로서 나타나는 하이젠베르크의 불확정성(不確定性) 원리 등이 발표된다. 이러한 자연의 존재양식이 밝혀지면서 이들을 실제 생활에 활용하려는 레이저, 반도체 기술이 탄생한다.

## 1. 레이저

레이저는 어떤 단일 진동수의 빛(광양자)의 에너지를 증폭시킨 것이다. 레이저의 발생장치는 단일 진동수의 빛을 수직 거울사이에서 왕복운동 시켜 같은 위상을 가지고 증폭되도록 설계한 것이다. 레이저의 용도에 따라 어떤 진동수의 빛을 택하느냐를 결정하게 된다. 디지털 CD(컴팩트디스크)의 2진수를 읽어내는 빛에서, 입체사진(holography)을 만들어 내는 빛, 생명체의 조직을 수술할 때 쓰는 빛, 두꺼운 철판을 끊어 낼 수 있는 빛에 이르기까지 레이저광은 그 종류가 다양하다.

레이저는 광섬유(光纖維) 기술과 결합하여 통신의 첨단기술로 발전하고 있다. 광섬유는 계보가 깊은 기술이 아니다. 이미 대자연 속에 광섬유는 존재하고 있다. 북극 지방에 살고 있는 북극곰의 털이 자연 속의 광섬유이다. 원래 빛은 한 물질에서 다른 물질로 들어갈 때 굴절한다. 그러나 빛은 그 입사각이 물질 표면의 수직선으로부터 일정한 범위 내에 있을 때만 굴절할 수 있지, 이 범위를 벗어나면 빛은 모두 반사되고 만다. 빛이 모두 반사(全反射)되는

2) 1900년경에 전자파의 量子 가설을 발표한 Max Planck(1858-1947)의 이름을 딴 상수로서, 그 값은  $6.625 \times 10^{-34}$  J.s이다.

입사각을 임계각(臨界角, critical angle)이라 한다. 유리의 임계각은 43도 정도이다. 그러므로 유리 내부에서 표면으로부터  $90-43=47$ 도 이내로 입사된 빛은 유리 밖으로 나오지 않고, 유리 속에서 굴절하면서 계속 진행하게 된다. 이것이 광섬유의 원리이며, 북극곰의 털끝이 받은 햇빛이 털 속에서 전반사하면서 곰의 피부에 까지 도달하는 원리와 일치한다. 레이저 광에 신호를 실어 광섬유를 통하여 보내면, 외부의 전자장이나 온도 등에 방해 받지 않으면서 멀리까지 효율적으로 전달될 수 있다.

## 2. 반도체 과학의 탄생

전기의 도체는 원자 속에만 속박되지 않고 자유로이 움직일 수 있는 전자를 가지고 있다. 이들을 자유전자라 부르는데, 자유전자의 움직임에 의해 도체를 통해 전류가 흐를 수 있다. 전기의 부도체는 자유전자를 가지고 있지 않기 때문에 전기를 통하게 할 수 없다. 이처럼 도체나 부도체는 전기를 흐르게 하거나 혹은 흐르지 않게 할 수 있을 뿐이고, 인간의 필요에 따라 전기를 흐르게도 하고, 안 흐르게도 할 수 있는 조절 능력은 가지고 있지 못하다.

도체와 부도체 사이에 반도체라 불리는 물질이 있다. 실리콘이나 게르마늄 같은 물질이 반도체를 이루는데, 이들은 어떤 특정 조건하에서는 도체가 되고 그렇게 못하면 부도체가 된다. 그래서 도체나 부도체가 인간의 필요를 만족시킬 수 없는 일을 이들 반도체가 할 수 있다. 반도체를 구성하는 물질의 원자 속에 속박되어 있던 전자가 특정량의 양자화(量子化)된 에너지를 받으면, 그 전자는 그만큼 더 높은 에너지 수준으로 여기(勵起, excited)된다. 이렇게 원자의 속박에서 풀려난 전자들은 자유롭게 움직일 수 있어 도체 속의 자유전자처럼 전기를 전도할 수 있다.  $1\text{cm}^3$ 당  $10^{23}$ 개 정도로 많은 원자들이 밀집되어 있는 고체상태에서는 이들 여기에너지 수준이 역시 밀집하게 되어 전기를 전도(傳導)할 수 있는 에너지의 띠(band)를 형성한다.

실리콘 같은 결정은 공유결합에 참여하고 있는 전자들의 정상 에너지 수준과 전도성(傳導性) 에너지 띠 사이의 차(差, gap)가 겨우 1전자볼트(ev, electron volt) 정도이고, 게르마늄은 더욱 작아서 0.7ev 정도이다. 그러므로 약간의 에너지만 받아도 공유결합에 참여하고 있던 전자들이 전도성 에너지 띠까지 여기(excited)되어 전기전도에 참여할 수 있다. 이때 이 전자들이 결정격자를 떠나면서 남겨놓은 빈자리는 이웃 격자의 전자들이 채우게 되고, 이웃 격자의 빈자리를 다시 그 옆 전자가 채워야 하기 때문에, 전자가 빠져나온 빈자리도 양(陽)이온처럼 전기를 실어 나르는 결과를 낳는다. 이처럼 우리가 일정한 조건만 만들어 주면, 우리의 필요에 따라 전기가 흐르는 량(量)과 방향을 조절할 수 있는 장치가 반도체이다. 그래서 반도체는 오늘날 전자 문명의 중심에 위치한다.

### 3. 엑스선(X rays)의 발견

1895년에, 독일의 뢰트겐(Roentgen, W. K. 1845-1923)은 역시 진공 방전 현상에 대하여 연구하고 있었다. 그는 어느 날 진공관을 검은 판지에 쓴 채 방전을 시키는 실험을 하고 있었다. 이 때 실험실 안은 캄캄하고, 광선이 새어들 틈은 아무 곳에도 없었다.

그런데 이상하게도 한쪽 테이블 위에 놓여 있던 백금 청산 바륨을 칠한 종이가 희미하게 빛나고 있었다. 그 종이는 보통 광선을 비추면 형광(螢光)이라는 빛을 내기 때문에, 그에 관한 실험을 하기 위해서 거기 놓아 둔 것이었다. 빛을 비추지 않았는데도 빛나고 있으므로 이상했다. 그래서 뢰트겐은 빛과 흡사한 작용을 하는 방사선이 진공관에서 나오는 것이라고 생각할 수밖에 없었다.

이 방사선은 검은 판지를 뚫고 나오는 것이 틀림없기 때문에, 우선 어느 정도의 것을 통과할 수 있는지 실험해 보았다. 그 결과 천 페이지나 되는 두꺼운 책과, 두툼한 나무판자 따위도 문제없이 통과한다는 사실을 알았다. 그러나 15밀리미터 정도의 알루미늄 판은 뚫지 못했다. 그리고 사진 건판에 잘 감응하는 것도 알았다. 뢰트겐은 이 방사선의 정체가 어떠한 것인지 아직 잘 몰랐기 때문에, 이것을 엑스(X)선이라고 이름 붙였다.

X선은 과학자들이 아직 그 정체를 이해하지 못한 상태에서 곧 의학분야에 이용되기 시작했다. X선을 사용하여 인간은 몸 안의 뼈나 기관을 사진으로 촬영할 수 있게 되었다. X선은 그 후 물질의 내부구조를 조사하는 데도 사용하게 되었다. X선의 본질과 정체가 이해된 것은 X 선이 활발히 활용되기 시작한 후 10여년이 지나서였다.

## VII. 새로운 영역의 개척

엑스선이 발견된 다음 해, 즉 1896년에는 프랑스의 앙리 베크렐(Becquerel, A. H. 1852-1908)이라는 사람이 또 다른 진기한 현상을 발견했다. 베크렐은 X선에 관해 관심을 가지고, 진공유리관이 발하는 형광 속에서 엑스선이 나오는 것이 아닐까 하고 추측했다(이 추측은 잘못된 것이었으며, 엑스선은 형광과 아무런 관계가 없음이 뒤에 밝혀졌다). 베크렐은 자신의 추측을 시험해 볼 생각으로, 특별히 형광을 잘 내는 우라늄 화합물을 가지고 실험해 보기로 했다. 어느 날 그는 우라늄의 결정을 검은 종이로 싸서 사진 건판 위에 올려놓고 그것과 사진 건판 사이에 은(銀)조각을 끼워 봤더니, 은조각의 그림자가 사진에 선명히 나타나는 것을 목격했다. 그래서 베크렐은 우라늄의 형광 속에서 엑스선이 나오고, 그것이 사진으로 찍힌 것이라고 생각했다.

그런데 한 가지 의문이 솟아올랐다. X선에서의 형광은 음극선으로 유리를 비취 줄 때만 유리에서 나오는 데, 우라늄은 아무 빛도 비취 주지 않아도 스스로 형광을 낸다는 사실이었다. 이것은 아무래도 X선과 관계가 없는 새로운 현상임에 틀림없다. 이 현상을 당시 베크렐(Becquerel)선 혹은 방사선(radioactivity)이라 불렀는데, 베크렐은 다시 새로운 탐구의 황무지를 열은 셈이다. 베크렐과 마찬가지로 파리대학의 교수였던 피에르 퀴리(Curie, P. 1859 1906)와 그의 부인 마리가 베크렐의 발견에 관한 이야기를 듣고 새로운 연구를 시작했다. 1898년에 그들은 우라늄뿐만 아니라, 토륨이라는 원소의 화합물도 같은 성질을 가진 방사선을 발산한다는 사실을 발견했다. 그 후 그들은 피치블렌드라는 광석을 조사해 보니, 그것이 우라늄보다도 훨씬 강한 방사선을 나타내는 것을 알고, 이 광석을 분석하여, 결국 방사작용이 매우 강한 물질을 얻는데 성공했다. 퀴리 부처는 이렇게 해서 얻은 2종의 새로운 물질에 라듐과 폴로늄이라는 이름을 붙였다.

영국의 러더퍼드(Rutherford, E. 1871 1937)는 라듐과 기타 방사성 물질에서 나오는 방사선의 정체를 탐구하기 시작했다. 그 결과 러더퍼드는 방사선이 3종류의 구성 요소로 되어 있다는 사실을 규명하고 여기에 알파선, 베타선, 감마선이라는 이름을 붙였다. 이 중에서 알파선은 양전기를 가진 입자로서, 그 질량은 대략 헬륨 원자의 질량과 같고, 베타선은 음전기를 가진 입자로서, 음극선에서 볼 수 있는 전자와 같은 것임을 알았다. 또 감마선은 엑스선과 성질이 같지만, 물질을 투과하는 힘이 훨씬 강하다는 것도 알게 되었다. 라듐 등에서 나오는 방사선은 인간의 몸에도 많은 작용을 하기 때문에, 의료 상으로 이용되기 시작했다. 그 때까지 불치병으로 알고 있던 암도 방사선으로 암세포를 파괴시켜 어느 정도까지 고칠 수 있게 되었다.

### 1. 물질의 구조 이해

방사선은 방사성 물질의 원자가 붕괴되면서 그 구성입자들이 튀어나오는 현상이기 때문에, 이들 원소는 다른 원자로 변환되어 간다는 사실이 1902년에 영국 학자인 쏘디(Soddy, F. 1877 1959)에 의해서 밝혀졌다. 이로 인하여, 물질의 원소는 불변한 것이라고 정의했던 이제까지의 화학 이론이 근본적으로 무너진 것이다. 이처럼 방사선의 발견으로 인간은 물질의 근본구조를 이해하는 새로운 계기를 마련하게 되었다. 그러나 방사선 연구만으로는 원자 세계의 내부구조를 파악하는데 한계가 있었다. 그러다가 1911년에, 영국의 러더퍼드가 실험에서 얻은 결과를 종합하여 원자의 내부구조에 관한 가설을 발표했다. 그는 원자 속에 양전기를 가지고 있는 부분은 원자 전체의 부피 중에서 지극히 작은 일부일 것이라고 결론짓고, 이

것을 원자핵이라 불렀다. 그리고 원자가 전체적으로 중성이므로 원자핵 주위에 음전기를 가진 전자가 있을 것이라고 했다. 그는 더 나아가 원자핵의 주위에 부착되는 전자의 수가 하나씩 증가하게 되면, 각각 다른 원자가 될 것이라고 생각했다. 그 후 실험을 통하여, 원자량이 가장 작은 수소의 원자에는 단 1개의 전자가 있을 뿐이고, 그 다음 헬륨에는 2개, 다음의 리튬에는 3개, 이와 같이 전자의 수가 증가하여, 원자량이 가장 큰 우라늄에는 92개의 전자가 있다는 사실이 밝혀졌다. 그래서 수소에서 우라늄까지, 차례로 번호를 붙이고, 이것을 원소의 원자번호라 이름 붙였다.

이것으로 원소의 수는 밝혀졌다. 라듐은 원자번호가 88이고 폴로늄은 84인데, 여기서부터 우라늄까지는 모두 방사성 원소이다. 원자번호가 커지면 원자핵의 구조가 복잡하게 되어, 안정성을 잃고 저절로 붕괴되기 때문에 방사선을 발산한다고 간주된다. 그리고 보면, 우라늄보다 더욱 복잡한 원자는 보다 더 붕괴되기 쉽기 때문에, 자연 상태로는 존재하지 않는다. 그러므로 원소의 종류는 더 이상 많아지지 않을 것이라고 볼 수 있다. 오늘날에는 우라늄보다 더 많은 원자번호를 가진 원자가 10 수 종류나 인공적으로 만들어졌지만, 이들이 자연 상태로 존재하는 것은 아니다. 곧 붕괴하여 자연 상태에서 존재할 수 있는 원소로 변환된다.

## 2. 핵 기술(nuclear technology)의 탄생

그런데, 어느 원자핵이든, 그 핵을 구성하고 있는 양성자와 중성자 개개의 질량을 합친 값은 그 핵 자체의 질량 보다 크다. 이것은 자연의 존재양식일 뿐, 이러한 질량 차이가 왜 생기지는 아직 인간은 이해하지 못하고 있다. 1905년에 아인슈타인은 이론적으로  $E = mc^2$ 이라는 공식을 도출했고, 이에 의해 질량이 에너지로 변환될 수 있음을 예측했다. 여기서  $m$ 은 질량이고,  $E$ 는 질량  $m$ 으로부터 변환된 에너지의 량,  $c$ 는 빛의 속도에 해당하는 상수이다. 아인슈타인의 공식으로부터 원자핵이 붕괴하거나 융합할 때 나타나는 질량의 차이( $m$ )에 광속도의 제곱을 곱하면, 이때 발생하는 에너지의 량( $E$ )이 계산된다. 이 에너지를 실용화한 것이 오늘의 원자력이다.

## VIII. 결 론

디지털, 반도체, 컴퓨터, 레이저, 광통신, 그리고 전자 상거래(electronic commerce)에 까지 이어지는 현대문명은 전기(electricity)와 자기(magnetism)의 발견에서 출발했다. BC 600년 경 호박(琥珀)이 정전기(靜電氣)를 낳은 후, 정전기가 전류를 낳고, 전류가 자장

(磁場)을 낳고 . . . . 마치 성경에 나오는 아브라함의 족보처럼 과학적 발견과 기술적 발명, 그리고 그 결과의 기업화(企業化)는 시간을 따라 진행되어 온 과학 기술 정보의 네트워킹 과정이다. 인간 탄생에서의 족보가 핏줄의 흐름을 의미한다면, 과학 기술의 족보는 정보의 흐름을 의미한다. 그래서 과학과 기술의 시간차원은 시계열적 정보(時系列的 情報)의 축적을 그 내용으로 한다고 말할 수 있다. 과학기술의 계보(족보)에서, 시간의 흐름 위에 나타나는 새로운 업적은 그 이전까지 축적되어 온 정보 위에 새로이 추가하거나 개선, 아니면 과거의 잘못을 발견하여 그것을 바로잡는 내용임을 알 수 있다.

따라서 우리는 다음과 같은 진리명제를 정립할 수도 있을 것이다. “고립계(孤立界)에서 과학과 기술의 위대한 업적이 나올 수는 없다. 정보의 축적과 흐름이 차단된 두메산골에서 씨름 왕(力士)이나 천재적인 산술 왕(算術王)이 나올 수는 있다. 그러나 외부와 정보가 차단된 그런 곳에서 과학 기술의 세계적인 업적이 나올 수는 없다.”

17세기 이전의 원시적 수준이라면 몰라도 요즘과 같은 첨단 과학 기술은 정보 흐름의 네트워크 속에서나 가능해진다는 말이 된다. 그래서 말(馬)은 태어나면 제주도도 보내고, 사람은 서울로 보내야 한다는 한국 속담이 과학기술의 시대에 새로운 의미를 가진다. 첨단 반도체 산업의 중심으로서 미국의 실리콘 밸리(Silicon Valley)가 중요시된 이유도 여기에 있다. 여기서 정보 네트워킹의 중요성을 설명하는 역사적인 실례를 하나 살펴보면 이 글을 마친다.

#### 크리스찬 바나드(Christian Barnard) 케이스

1967년 12월 3일은 의료기술 발달사에서 의미 있는 날이다. 남아프리카의 케이프타운(Capetown) 의과대학에서 크리스찬 바나드라는 46세의 의사가 세계 최초로 심장이식 수술에 성공했다. 당시 심장병을 앓고 있던 미국의 존슨 대통령은 그를 백악관으로 초대했고, 프랑스에서는 순금으로 심장 모형을 실제 크기로 만들어 바나드에게 선사했다. 그의 인기는 수술 성공 후 열흘 동안에만도 세계적으로 저명한 언론지와 19번의 인터뷰를 가질 정도였다. 그러나 바나드는 남아프리카의 외톨이 의사가 아니었다는 사실을 주목해야 한다. 바나드는 미국 미네소타(Minnesota) 대학에서 훈련받은 의사였다. 미네소타 의과대학은 1950년대 이래로 심장 외과의학의 세계적 중심지였다. 심장 외과의학의 석학인 노먼 슈웨이(Norman Shumway), 안드리안 칸토로비치(Adrian Kantorovich) 같은 사람들이 모두 미네소타 출신이었다. 이들은 모두 바나드와 같이 심장이식 수술을 할 준비를 갖추고 심장기증자가 나타나기를 기다리고 있을 뿐이었다. 1967년 12월경에는 미국에만 이런 의료팀이 4~5개나 있었다 한다.