

19世紀의 科學 ①

朴 星 來(外大教授)

18 세기가 이성의 시대였고 계몽주의의 세기였다면, 19 세기는 그에 대한 반성과 수정의 1 백년이었다. 18 세기와 19 세기는 프랑스 혁명이라는 큰 사건으로 경계를 삼고 있다. 그리고 프랑스 혁명이 18 세기 理性的의 행진이 도달한 최고의 높이였다면 나폴레옹은 그것이 가져온 실망과 좌절의 표현이라고 해도 좋을 것이다.

나폴레옹 이후의 유럽 평화회복에 주역을 맡은 메테르니히는 뉴턴 물리학의 영향을 국제 정치에 나타냈다. 힘의 균형이라는 입장에서 유럽 판도는 재구성되었던 것이다. 자유·평등·박애 프랑스 혁명의 세 구호 역시 18 세기 정치이상의 표현으로서 19 세기에 계승되었다. 자유주의·민주주의·사회주의가 즉 그것이다. 그러나 19 세기라는 이즘(ism)의 홍수속에 가장 큰 흐름은 역시 민족주의였고, 이것만은 18 세기에는 없던 19 세기의 산물이었다.

진보에 대한 믿음도 18 세기로부터 19 세기로 계승된다. 그러나 18 세기의 그것이 성급한 진보관이었다면 19 세기의 그것은 좀 긴 시간에 걸친 진보를 믿는 태도로 수그러져 있었다. 몇 차례의 혁명이 모두 실패로 돌아간 뒤 유럽 사람들은 “시간의 뜻”을 발견하기 시작했다. 인간사회란 오랜 시간속에서 서서히 변해가는 것이라는 進化觀이 머리를 들기 시작했다. 그와 함께 뉴턴역학이 만들어준 기계적 우주관은 위력을 잃어가고, 그대신 존재 그 자체보다는 그 속에 일어나는 생성변화를 중시하는 태도가 나타났다. 있는 그것(being)보다 바뀌어가는 과정(becom-

ing)에 보다 관심을 기울이게 된 것이다. 물리적인 입장보다는 생물학적 입장이 더 강조되는 시대였다. 이런 19 세기의 특징을 우리는 낭만주의(Romanticism)라 부른다. 문학·미술·음악 등등 문화의 모든 측면에서 19 세기는 낭만주의의 시대였다. 차디찬 이성만을 강조하기 보다는 인간적인 정열과 감성의 중요성을 인정하려는 낭만주의의 태도는 과학연구에도 그대로 반영되었다. 낭만주의의 본 고장인 독일에서 괴테, 라이프니츠, 헤르더, 셸링 등등 철학자·문학가에 의해 전개된 소위 “자연철학”(Naturphilosophie)이란 바로 낭만주의적 과학연구의 시작을 뜻하는 것이었다. 부분보다는 전체를, 기계적이기보다는 유기체적인 입장을 내세우는 이들의 과학방법은 결과적으로는 오늘의 과학에 크게 공헌하지는 않았다고 생각된다. 그러나 물리학·화학분야에서 몇 가지 이외에는 이렇다할 공헌을 하지 못한 이들의 태도는 생물학에서는 값진 전통이 되었던 것도 사실이다.

19 세기의 과학사는 또 하나의 큰 특징을 산업혁명에서 찾을 수 있다. 세기초부터 가속화한 산업혁명은 처음에는 과학과는 별개의 전통을 이루며 발달해온 기술의 꽃이었다. 그러나 증기기관의 발명이래 과학과 기술은 서서히 손을 잡으며 산업화시대는 가속해갔다. 급속한 산업혁명은 노동자와 자본가라는 사회계급을 낳아 새로운 계급사회를 불러왔는가하면 자본주의 시대의 문을 활짝 열어주었다.

또 한가지 19 세기 과학의 특징은 그 전문화

와 조직화를 들 수 있다. 전세기까지 “자연철학”(natural philosophy)이라고 보통 불리웠던 학문분야가 “과학”(science)이란 새로운 말로 불리기 시작한 것은 19세기초부터의 일이다. 18세기의 자연철학자들은 오늘날 우리가 물리·화학·생물 등으로 나눠 부르는 모든 분야를 다같이 연구했던데 반해 19세기의 과학자는 비로소 물리학자·화학자 또는 생물학자라는 전공분야에 따라 달리 불릴 수 있게 되었다. 이미 19세기에서부터 한 분야와 다른 분야 사이에는 서로 이해하기 어려운 장벽이 쌓이기 시작했고, 따라서 아마추어 자연철학자들의 모임으로서의 영국 왕립학회나 프랑스의 과학아카데미는 과학발달을 위한 기관으로서의 한계에 이르게 되었다. 과학의 연구는 대학중심으로 다시 조직되어야 했고, 이 과업을 훌륭히 수행한 것이 19세기 중반 이후의 독일이었다. 19세기 후반 독일이 세계 속에서 차지하고 있던 힘과 과학기술의 선도적 위치는 여기 바탕을 둔 것이었다.

19세기는 또한 과학의 발달에 자극받은 인문학자들이 인간 사회의 연구에도 과학의 방법을 원용하려는 노력이 본격적으로 시작된 때이기도 하다. 처음으로 사회학이란 학문이 이렇게 시작되었는가하면 19세기 중반에는 역사의 연구에도 과학방법을 이용하겠다는 노력이 꽃을 피우기도 했다. 때마침 생물학이 발달시킨 다윈의 進化論은 즉각 사회현상의 설명에 응용되어 소위 社會的 進化論(Social Darwinism)을 낳은 것은 그 현저한 예의 하나가 된다. 17세기 이래 과학의 급속한 발달이 길러온 科學至上主義 또는 科學主義 풍조가 19세기에 이르러 그 정점에 이르러 있었던 것이다.

이상의 몇 가지 19세기 과학의 특징은 우리나라의 근대화과정에 깊은 영향을 남겼다. 19세기에서야 서양과의 본격적인 접촉을 시작한 중국·일본 그리고 우리나라 지식인들은 동양보다 훨씬 앞선 서양의 과학기술앞에 크게 감명을 받고 즉시 이를 받아들여 노력했다. 2천여년에 걸친 서양과학의 역사적 전개과정을 볼 수 없는 채 19세기의 단면만을 볼 수 밖에 없었던 동양의 지식층은 19세기가 갖는 서양과학의 좋고 나쁜 특성

을 모두 다 받아들일 수 밖에 없었다. 지금까지 우리 주변에 강하게 살아있는 “독일 과학의 우수성”이라는 믿음이나 科學主義 등은 모두 19세기에 서양과학을 수용하기 시작한 우리 역사적 경험에서 온 것이다.

이렇게 볼 때 19세기의 서양과학은 우리의 근대화화를 제대로 이해하기 위해서도 꼭 필요한 지식임을 짐작하기 어렵지 않다.

熱力學 에너지保存

18세기말로부터 열의 본질에 대해서는 많은 새로운 것이 밝혀지고 있었다. 그 대표적인 것이 럼포드백작(벤자민·톰슨)에 의해 발견된 열은 마찰에 의해 생기는 운동의 모습이지 물질이 아니라는 사실이었다. 이 사실은 럼포드가 만든 왕립연구원(Royal Institution)의 원장 데이비에 의해 지지되었다. 두 개의 열음 조각을 서로 마찰시켜 녹일 수 있음을 발견한 데이비는 열이란 더운 물체로부터 찬 물체로 옮겨가는 熱素라는 물질이 아니라 “물체의 알맹이의 진동” 같은 것이리라고 생각하기에 이르렀다. 19세기에 들어와서 이런 생각은 영(Thomas Young, 1773~1829)에 의해 지지를 받게 되었다. 1807년 그는 스펙트럼의 적외선 부분이 열을 주는 것을 보고 열도 빛과 마찬가지로 일종의 波動일 것이라고 주장한 것이다.

이처럼 열의 본질에 대한 새로운 이론이 서서히 머리를 들고 있었으나 열을 熱素라는 물질로 보려는 태도는 여전히 19세기 초반까지 지배적인 태도로 남아 있었다. 18세기말 라부아지에의 熱素를 원소표에 넣어 그의 근대화학 체계를 세웠을 지경이었다.

증기기관을 이론적으로 연구하여 熱力學의 문을 열어준 카르노(Sadi Carnot, 1796~1832)도 처음에는 열소설에 바탕을 둔 채 그의 주요업적을 낳았다. 산업혁명의 추진력으로서 증기기관은 19세기초 여러 사람의 관심을 끌었다. 그러나 이 문제를 정밀과학의 경지로 끌어 올린 것은 카르노의 공헌이었다. 1824년 카르노는〈불

의 起動力에 관하여) (Réflexion sur la puissance motrice du feu)를 써서 증기기관을 물레방아에 비유해 설명했다. 마치 물레방아를 돌려주는 힘이 물의 落差와 水量에 따라 달라지듯이 증기기관도 이동된 熱素의 量과 온도의 차이에 따라 그 얻은 動力이 다르다는 것이 그의 기본적 입장이었다.

새로 생긴 공과대학(École polytechnique)을 졸업하고 프랑수아구의 技士로 근무하고있던 카르노는 증기기관이 생산해 낼 수 있는 動力은 원칙적으로 보일러와 콘덴서 사이의 溫度差와 이동한 熱量에만 좌우된다는 결론을 얻었다. 따라서 모든 “이상적인” 증기기관은 같은 온도차이에서는 똑같은 熱效率을 갖는다고 볼 수 밖에 없다. <카르노의 원리>라고 알려진 이말이 만약 틀린다면, 永久운동이 가능하다는 말이 된다. 왜냐하면 A, B 두개의 증기기관이 서로 다른 효율을 갖는다면 효율이 높은 A로는 B를 거꾸로 움직이게하여 온도차이를 그대로 유지하면서 끊임 없이 動力을 얻어낼 수 있을 것이기 때문이다.

그뒤 1830년에 카르노는 熱素이론을 포기했고 또 “이상적인” 열기관이라 존재할 수 없어서 항상 열은 기관이 작동하는 과정 가운데 없여지기 마련임을 알게 되었다. 그는 드디어 열이란 알맹이의 운동에 지나지 않으며 熱과 운동에너지는 서로 바뀔 수 있는 똑같은 것임을 깨달았다. 카르노는 열의 適當量을 계산까지 해냈다. 그러나 1832년 그가 콜레라로 요절하는 바람에 1830년에 써놓은 그의 업적은 1878년까지 세상에 알려지지 않고 말았다.

자연계에 존재하는 여러가지 “힘”, 즉 열이나 기계적에너지 등 사이에 어떤 관련이 있다면 그것이 사실은 모양만 다른 형태의 에너지로 서로 바뀔 뿐이 아닐까? <에너지 보존의 법칙>이라 불리는 이런 생각에 대해 카르노의 업적은 알려지지 못한채, 그후의 몇몇 학자들에 의해 독자적으로 발견된 것으로 알려지고 있다.

그중 첫 인물로는 독일의 의사이며 물리학자 마이어(Julius Robert Mayer, 1814~1878)를 들 수 있다. 의사로서 배를 타고 東인도 등 열대지방을 항해했던 마이어는 항해중 열대지방

에서는 환자의 정맥에서 뽑은 피가 훨씬 붉다는 것을 발견했다. 열대지방에서는 체온 유지에 영양분을 많이 소비할 필요가 없다. 따라서 영양분 소비가 적고 그때문에 산소의 소비도 적다. 정맥속의 산소는 소비되지 않은채 많이 남아있어 정맥의 피가 더 붉은 것이라고 그는 생각했다. 같은 영양분이 인체에 열도 주고 일을 하는 힘을 주기도 한다는 사실에서 그는 열과 일사이의 관계에 더 깊은 관심을 갖게 되었다.

그의 이 방면 연구는 드디어 1842년 자연속에 존재하는 여러가지 힘에 관한 연구를 발표하게 해주었다. 기체의 비열에 관한 연구로부터 힌트를 얻어 마이어는 1gr의 물을 0도에서 1도 높이는데 드는 열은 1gr의 물체를 365미터 높이까지 올리는 데 드는 일의 양과 같다는 계산까지 해낼 수가 있었다. 열의 適當量을 발견해 낸 것이다. 이 값은 오늘날의 값 426미터에 비하면 좀 적지만 그 정도를 타할 것은 없다. 마이어는 또한 낙하하는 힘 운동, 열, 빛, 전기 등은 모두 같은 것이 다른 형태로 나타난 것이리라고 자기의견을 밝혔다. 이처럼 마이어에 의해 1842년 밝혀진 에너지 保存의 法則은 그대로 인정되지는 않았다. 그의 주장은 무시된 채 빛을 발하지 못하고 있다가 영국에서 이 법칙이 독자적으로 발견되면서 영국의 물리학자 틴들(John Tyndall, 1820-1893)이 1862년 영국에 그를 소개함으로써 인정을 받게 되었다.

마이어와는 아무 상관없이 독자적인 연구와 보다 정밀한 실험을 통하여 같은 결론을 거의 같은 때 얻은 사람이 영국의 줄(James P. Joule, 1818-1889)이다. 만체스터의 양조장집 아들로 태어난 그는 젊어서부터 동력에 관심을 가져 모터의 개량에 노력했다. 모터를 연구하던 줄은 전류가 흐르면서 발생하는 열에 주의를 기울인 결과 오늘날 <줄의 법칙>으로 알려진 電熱효과를 측정해 낼 수 있었다. ($W=0.24i^2 Rt$) 그는 발전기의 기계적인 일이 전기를 발생시켜주고 그 전기가 다시 열을 생기게 해준다는 사실에 주목했다. 그는 또 전지속에서 일어나는 화학적 변화도 전기를 발생시켜주고 그 전기도 똑같이 열로 바뀐다는 사실도 알고 있었다. 그렇다면 전

기를 매개로하여 일과 열사이에는 서로 바뀔 수가 있는 것이 아닐까하는 생각에서 그는 1843년 실험을 통해 열의 일當量을 계산해 냈다. 그후 그는 전기를 매개로 하지 않은채 기계적 일이 직접 열로 바뀔 수 있으리라는 생각에서 추를 떨어뜨리는 힘으로 물속의 교란장치를 움직여 주어 물의 온도변화를 측정해 보았다. 이 방식으로 줄은 열의 일當量을 측정해 냈다. 이런 정밀실험을 거쳐 그는 1847년 일반적인 에너지 보존의 법칙을 천명하기에 이른 것이다.

마이어나 줄과는 또 달리 독자적으로 에너지 보존의 법칙에 도달한 과학자가 헬름홀츠(Hermann von Helmholtz, 1821 - 1894)다. 마이어나 마찬가지로 독일의 의사인 그는 1847년〈힘의 保存에 대하여〉(Über die Erhaltung der Kraft)를 써서 당시 일반적으로 “힘”(Kraft)이라고 표현되고 있던 모든 에너지가 사실은 모양만 바뀔 뿐 없어지지 않는 것이라고 주장한 것이다.

헬름홀츠의 말을 빌면 이 우주속에 존재하는 힘의 총량은 일정하다는 것이다. 이세상의 에너지는 일정량 밖에 없다는 에너지보존의 법칙을 우리는 오늘날 열역학의 제1법칙이라고 부른다.

그런데 증기기관이건 어떤 다른 기관이건 열이 완전히 일로 바뀌어질 수는 없다. 열은 공기중에 흩어지거나 기계속에 전도되어 저절로 없어지는 것을 우리는 상식적으로 알고 있다. 이 상황을 일반적으로 설명하고 있는 원칙이 열역학의 제2법칙으로 알려져 있는 것이다. 클라우지우스(Rudolf Clausius, 1822 - 1888)는 이를 설명하기 위해 1850년 열은 낮은 물체에서 높은 물체로 저절로 옮겨가지는 않는다고 선언했다. 그는 증기기관의 경우 열량을 온도로 나눈 값의 비를 “엔트로피”(entropy)라 규정하고, 제2법칙을 “이 세상의 엔트로피는 극대치를 향한다”고도 표현했다. 1851년에 톰슨(William Thomson, 1824 - 1907, 뒤에 켈빈卿, Lord Kelvin)은 이 법칙을 “어떤 물체를 그 둘레의 최저온도보다 더 낮은 온도로 만들고 거기서 역학적효과를 얻을 수는 없다”고 표현하기도 했다.

제2법칙에 의해 열역학은 물리적 또는 자연속의 모든 변화에 대해 그것은 한번만 있을 수 있는 非可逆變化(irreversible change)임을 확인시켜 주었다. 인간이 나서 죽는 것으로부터 지구가 생겨서 움직이고 있음이 모두 돌이킬 수 없는 변화임이 과학적으로 들어난 셈이다. 19세기 후반동안 終末論(eschatology)이 활발한 논쟁의 대상이 된 것은 이런 여건과 관련이 있다. 우주를 하나의 열체계로 볼 때 우주의 엔트로피는 극대치를 향할 것이고 따라서 인간이 얻을 수 있는 에너지는 점차 0에 가까워질 것이다. 즉 우주에는 모든 운동이 정지하고 온도가 똑같아지는 죽음의 세계가 어느날 찾아오게 되리라는 것이 과학적 근거위에 주장되게 된 것이다. 이와함께 지구는 언제부터 인간 또는 생물이 살 수 있을만큼 식이 있었을까 하는 문제를 둘러싸고 적지 않은 의견의 발표가 있었다. 켈빈은 1862년 지구가 생물이 살 수 있을만큼 식은 것이 2억년 이상은 안되리라고 짐작했다가 1899년에는 이를 대폭 수정하여 2천만년 내지 4천만년 정도로 내리잡았다. 지질학자의 생각과 전혀 다른 이 의견은 아직 태양의 활동이 수소폭탄같은 熱核反應임을 알지 못하던 시절의 계산이었기 때문이다.

열역학의 발달과 더불어 열이란 운동의 일종임이 밝혀져 갔고, 그러면 공기의 경우 따뜻한공기와 찬공기는 무엇이 다르냐는 의문이 생겨났다. 1738년에 이미 수학자 베르누이(Daniel Bernoulli, 1700 - 1782)는 기체의 압력을 그 체를 이루고있는 입자들의 운동때문이라고 설명한 바 있었다. 19세기에 들어와 이 생각을 부활시켜 수학적인 정밀성을 준 학자가 클라우지우스와 크뢰니히(Krönig, 1822 - 1879)였다. 이들의 기체의 분자운동이론은 그후 맥스웰(James C. Maxwell, 1831 - 1879)에 의해 분자의 평균속도가 계산되었고, 오스트리아의 물리학자 로슈미트(Joseph Loschmidt, 1821 - 1895)는 온도가 0도이고 기압이 760 밀리바일 때 1 입방센티미터의 기체속에는 평균 2.7×10^{18} 개의 분자가 있다고 계산해냈다. 이것을 “로슈미트數”라고 부른다.

기체의 분자운동을 뒷받침하는 경험적 증거는 이미 현미경으로 꽃가루를 물에 띄워 관찰하던 영국의 식물학자 브라운(Robert Brown, 1773 - 1858)에 의해 1828년 발견되어 오늘날까지도 “브라운 운동”이라고 알려지고 있다. 그런데 온도가 내려가면 기체분자의 운동은 완전히 정지하는 그런 온도가 있지 않겠는가 하는 생각에서 켈빈은 영하 273도를 “절대영도”로 부르게 되었다. 기체의 온도변화에 대한 과학자들의 연구는 여러 기술의 발달을 가져왔는데 특히 기체의 액화기술이 크게 발달하여 냉동기술을 낳게 했다.

이와같은 열역학의 발전은 지금까지 온도나 열이나 엔트로피니하며 巨視的(macro-)으로만 다루던 물리적 세계를 비로소 微視的(micro-)세계로 이끌어 갔고 이 미시적인 분자의 현상은 결국 통계적으로 확률적으로 밖에 다룰 수 없다는 입장을 낳게 됐다. 거시적 현상을 분자·원자 등의 역학적 관계의 통계적 고찰로 설명하려는 방향에 크게 공헌한 것이 볼츠만(Ludwig Boltzmann, 1844-1906) 등이었고 이것은 “統計學”이란 이름아래 20세기 물리학의 큰 특징을 이루고 있다. 熱學은 熱素라는 물질을 잃었을 뿐아니라 역학의 일부로 통합되어간 셈이다.

光 學

빛이란 무엇인가 하는 의문에 대해서는 뉴턴과 호이겐스가 서로 대립되는 학설을 제시했다. 뉴턴이 粒子說을 강조한데 반해 호이겐스는 波動說을 주장한 것이다. 18세기동안 빛의 굴절이나 반사 또는 속도문제에 관해 몇몇 학자들의 연구가 발표됐지만 대체적으로 뉴턴의 입자설이 지배하는 가운데 별다른 업적은 찾아보기 어려웠다.

19세기와 함께 이와같은 光學의 상태에는 변화가 시작됐다. 1800년 영(Thomas Young, 1773 - 1829)은 〈빛과 소리에 대한 개설 및 실험〉(Outlines and Experiments respecting Sound and Light)을 발표하여 광선이란 일종의 波動이라고 주장하여 뉴턴에 반기를 들었다. 특히 1807년에 쓴 그의 《자연철학 강의》

(Lectures on Philosophy)에는 유명한 빛의 간섭실험이 담겨져 있다. 한 광원에서 나온 빛을 두 개의 바늘구멍에 통과시킨 다음 화면에 받아 본 결과 두 구멍에서 나온 빛이 서로 간섭하여 밝고 어두운 무늬를 그려주고 있었던 것이다. 역사에 남을 천재로서 로제타石의 해독에 공헌할만큼 각가지 외국어에도 능했던 그는 빛의 “干涉”을 증명했으면서도 그의 파동설을 과학자들에게 널리 인정받지는 못했다. 그만큼 뉴턴의 무게가 무거웠고, 그의 설명은 분명치 못한 부분도 많았다.

빛의 파동설이 학계의 인정을 받게되기는 프랑스의 공학자 후레늘(Augustin-Jean Fresnel, 1788-1827)의 노력에 힘입어 가능했다. 1815년부터 약 10년에 걸쳐 후레늘은 영이 이룩한 업적을 보다 정밀한 수학적 표현으로 바꿔놓았고, 많은 실험을 통해 파동설을 움직일 수 없는 사실로 만들었다. 그런데 偏光현상에 주의한 말뤼(Biotienne-Louis Malus, 1775 - 1812)는 뉴턴의 입자설을 버리지 못하고 편광이란 光粒子가 대칭형으로 생기지 않았기 때문에 일어나는 현상이라 설명하여 이것을 “極性化”(Polarization)라 불렀고 지금도 이 말이 그대로 편광이란 뜻으로 쓰이고 있다. 이에 대해 후레늘은 光波는 音波와는 달리 橫波이며 전달되는 방향과 수직방향으로 진동한다는 것을 실험을 통해 증명했다. 그는 또 색깔이 다른 것은 波長의 길이에서 나온다는 것도 알고 있었다.

19세기와 함께 과학자들은 赤外線과 紫外線도 발견했다. 햇빛의 스펙트럼을 비춰주며 어느 쪽이 열을 더 많이 주는가를 검사하던 천문학자 허셀(William Herschel)은 1800년에 적외선을 찾아냈고, 바로 다음해에 리터(Johann Wilhelm Ritter, 1776 - 1810)는 자외선을 알아냈다. 스펙트럼에 관해서는 이미 19세기초에는 여러 학자들이 스펙트럼은 그것을 내는 물체의 성분과 관계가 있다는 생각에 도달해 있었다. 1814년에서 몇 년 사이에 후라운호퍼(Joseph von Fraunhofer, 1787 - 1826)는 태양빛의 스펙트럼에 나타나는 검은 띠의 정확한 위치를 알아냈다(후라운호퍼線).