

世界科學技術史 (西洋篇)

빛과 빛깔과 피

宋 相 庸

<韓國科學史學會 幹事>

科學革命의 새로운 세계관은 파레가 이른 바 「과학의 數學化」로 특징지워진다. 근대과학의 이와같은 새 경향은 아리스토텔레스의 과학을 다루는 태도에 대한 케플러의 비판에 잘 나타나 있다. 그는 아리스토텔레스와 자기의 근본적 차이는 전자가 사물을 質的인 것으로 추적하는데 비해 자기는 사물들 사이의 量的 비례를 발견하는 수단을 발견한데 있다고 선언했다. 이런 점에서 光學도 과학혁명의 기본전해를 반영한다. 광학은 17세기에 놀라운 발전을 보였다. 그것은 수학적인 방법이 쉽사리 직접적으로 응용될 수 있는 분야였기 때문이다.

幾何光學의 再建

케플러(Gohannes Kepler)는 근대광학을 건설한 사람으로 인정받고 있다. 그는 렌즈의 행동과 시각의 과정을 연구했고, 이것은 고대, 중세에 활발했던 幾何光學의 부활을 뜻했다. 고대에는 像이 대상으로부터 튀어나온다고 설명하려 했는데 케플러는 點光源으로부터 눈의 망막 뒤의 초점으로 點像을 추적했다. 그는 굴절 현상을 깊이 연구했으나 정확한 법칙에 도달하지는 못했다.

아리스토텔레스는 빛은 투명한 媒質의 순간적 활동이며 빛깔은 보이는 물체의 표면이라고 했었다. 그는 또한 빛은 그것이 통과하는 매질에 의해 빛깔로 변하는 물질이라고 하기도 했었다. 그리말디(Francesco Maria Grimaldi, 1618-63)는 빛은 무한한 속도로 퍼져가는 流體라고 하면서 아리스토텔레스를 공격했다. 그에 따르면 빛깔의 감각은 유체의 진동에 의해 일어

나며 빛깔은 빛의 變形이다. 그는 아리스토텔레스의 실재하는 빛깔의 개념을 거부했으며 실재하는 빛깔과 겉보기 빛깔의 구별을 파괴했다. 그리말디는 처음으로 빛의 回折現象을 발견했다.

데카르트(René Descartes)는 한걸음 더 나아가 광학을 질적 과학에서 양적 과학으로 만들었다. 그는 빛을 발광체로부터 매질을 통해 우리 눈에 전달되는 압력으로 보았다. 데카르트는 빛을 다룰 때 기계적인 분석을 한다. 첫째, 그것은 장님이 길의 장애물을 보는 지팡이와 같은 것이다. 발광체의 물질이 충격을 전달해서 눈에 감각을 일으킨다. 둘째, 충격은 포도주통에서 포도는 가만 있는데 밑바닥의 구멍으로 포도물이 흘러나오는 것과 같다. 셋째, 압력은 운동을 일으키며, 빛은 움직이는 공에 비유된다. 데카르트는 일찌기 스넬(Willebrord Snell, 1591-1626)과 해리어트(Thomas Harriot, 1560-1621)가 발견한 사인屈折法則을 1638년 처음으로 발표했다. 이것은 합리적 광학의 출발점이었다.

決定的 實驗

데카르트는 빛깔을 물체표면에 실재하는 성질로 본 아리스토텔레스의 견해를 거부하고 빛깔의 기계적인 기원을 찾았다. 따라서 빛깔의 문제는 機械的 哲學의 테스트 케이스가 되었다. 빛깔은 자연에 존재하는 것이 아니라 주관적인 감각이라고 데카르트는 생각했다. 그것은 발광체가 매질에서 굴절, 반사할 때 얻는 빛의 입자의 회전속도가 다른데서 오는 것이다. 각 속도가 높은 것은 붉고 낮은 것은 푸르다. 요컨대 빛깔의 감각은 미묘한 물질의 운동이 신경에 전달되어 일으키는

운동에 지나지 않는다는 것이다.

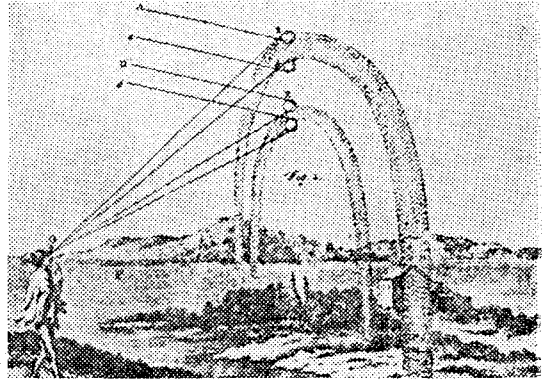
아리스토텔레스는 빛깔이 빛에 의해 볼 수 있게 되는 성질이나 빛 그 자체는 아니라고 하던데 실제하는 빛깔과 무지개나 프리즘에서 보는 걸보기 빛깔을 구별했었다. 데카르트는 이 구별에 반대하고 빛과 빛깔을 동일시했다. 그는 흰빛의 변형이라는 아리스토텔레스의 생각을 받아들였지만 처음으로 빛깔에 관해 기계적인 설명을 했다.

데카르트가 빛을 회전하는 입자들이라고 한데 비해 그리말디는 진동하는 流體라 했고 훅(Robert Hooke, 1635—1703)은 에터(ether)와 같은 脈動이라고 했다. 이것들은 표면상 다른 것 같지만 비슷한 가설이다. 그리말디가 최초의 波動說을 제안한 다음 본격적인 파동 이론을 내놓은 것은 하이헌스(Christiaan Huygens, 1629—95)였다. 그는 발광유체 즉 에터는 정지해 있고 파동으로 된 빛이 이 매질을 통해 縱으로 전파된다고 주장했다. 하이헌스는 빛이 유한한 속도로 여행한다는 생각과 빛이 파동의 형태를 한 운동이라는 생각을 결합했다. 공간에는 단단한 탄성입자로 된 발광에터가 연속적으로 있어 이것이 자신은 움직이지 않은채 충격을 전달한다고 보았다.

끝으로, 뉴턴(Isaac Newton)은 빛깔은 흰빛의 변형이라는 전통적인 개념에 정면 도전했다. 변형은 분석으로 배치되었다. 이것은 엄격한 기계적 원리의 적용이었다. 그는 흰빛이 발광체에서 돌진해 오는 모든 종류의 빛깔을 가진 광선의 집합이라는 것을 증명했다. 그는 이것을 유명한 決定的 實驗(experimentum crucis)으로 확인했다. 이렇게 해서 빛깔은 다른 양적인 용어로 측정될 수 있는 광선을 가리키는 또 다른 이름이 되었다. 광학에서 감각지각을 초월하는 양적 접근을 쓴 것은 뉴턴의 특징이다. 굴절과 반사의 성질에 관한 그의 정확한 실험적 결정에 의해 빛깔의 과학도 수학적인 것으로 될 수 있었다. 케플러에서 시작된 17세기 광학의 수학화는 뉴턴에 와서 절정에 이른 것이다.

빠도바 學派

한편, 生理學은 갈레노스(Galenos) 이후 16세기에 베잘리우스(Andreas Vesalius, 1514—64)가 나타날 때까지 별 진전이 없었다. 생리학은 더 이상의 해부학



뉴턴의 프리즘實驗

지식없이 갈레노스를 넘어 발전할 수 없었다. 그러나 정확한 해부학 지식이 있다 하더라도 그것만 가지고 그 이상의 발전은 기대하기 어려웠다. 갈레노스의 책은 르네상스에 이르기까지 여전히 표준교과서로서 군림하고 있었다.

베잘리우스는 갈레노스가 오류투성이임을 발견했다. 그는 갈레노스가 말한 隔膜의 구멍을 찾지 못했으나 그것이 없다고 말할 용기가 없어 어물어물 넘겼다. 결국 그는 심장, 동맥, 폐의 구조에 관한 갈레노스의 견해를 그대로 두는데 만족한 셈이다. 베잘리우스는 빠도바(Padova) 대학의 해부학 및 외과학 교수로서 근대 해부학의 창시자이며 그의 「人體의 構造에 관하여」(Dehumani corporis fabrica, 1543)는 서술이 명료, 정확한名著로 당대와 후세에 큰 영향을 주었다.

스페인의 과격한 유니테리언神學者 세르베토(Michael Serveto, 1511—53)는 「그리스도敎의 復興」(Christianismi restitutio, 1553)에서 三位一體를 다루면서 생리학을 문제 삼았다. 세르베토는 火氣(fiery spirit)가 폐 안에서 공기와 右心室이 좌심실로 전한 피의 혼합물로부터 생긴다고 생각했다. 그에 따르면 이 전달의 격막을 통해 이루어지지 않으며 피는 폐를 통해 긴 행로를 간다. 즉 피는 폐에 의해 赤黃色이 되어 폐동맥으로부터 폐정맥으로 부어진다. 그 다음 폐정맥에서 공기와 섞여 그을음같은 증기가 청소된다. 마지막으로 이 혼합물은 심장의 확장에 의해 좌심실을 빠져 나간다.

이것은 肺循環(小循環)의 명확한 설명이다. 일찍이 13세기에 이븐 안 나피스가 소순환을 말했지만 유럽에

알려졌을 가능성은 거의 없다. 세르베토가 어떻게 해서 이토록 정확한 결론에 도달했는지는 알수 없다. 더구나 그의 결론은 해부나 실험에 기초한 것도 아니었다. 그의 책을 해부학자들이 읽을 기회가 없었을 것이므로 그를 소순환의 보급자로 보기는 곤란하다.

小循環의 再發見

빠도바대학에서 베잘리우스의 후임이 된 꼴롬보(Realdo Colombo, 1516-59)는 사후 출판된 「解剖學에 관하여」(De re anatomica, 1559)에서 피가 우심실에서 좌심실로 가는 폐의 루트를 밝혔다. 그는 심실 사이에 좌우로 뚫린 격막이 있다고 믿는 것은 잘못이라고 했다. 피는 폐동맥에 의해 폐로 옮겨져 거기서 얽게 되어 공기와 함께 폐정맥에 의해 심장의 좌심실로 돌아온다. 이 사실은 아무도 관찰 또는 기록한 일은 없으나 누구나 쉽게 알 수 있다고 그는 말했다. 꼴롬보가 세르베토를 통해 폐순환을 알았다고는 믿어지지 않는다. 이렇게 이른 안 나피스, 세르베토, 꼴롬보가 폐순환을 독립적으로 발견한 것은 갈레노스의 책이 그 출발점이 된 것으로 요즘에는 해석되고 있다.

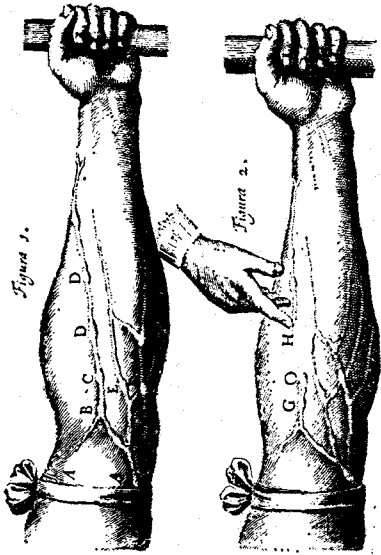
제잘페노(Andrea Cesalpino, 1519-1603)는 교황의 侍醫를 지냈으며 「植物에 관하여」(De Plantis, 1583)를 쓴 식물학자였다. 이탈리아의 민족주의는 제잘페노가 하비보다 30년 앞서 혈액순환을 발견했다고 주장한다. 그러나 그의 설명은 불충분하고 모순을 내포하고 있다. 사실 그는 피의 원운동을 가정할만한 논증을 했다. 그는 정맥을 붙들어 댄 때 부풀어 오르는 것을 보고 이로부터 피가 심장으로부터 여러 기관으로 가지 뻗은 않는 것이라고 옳은 추리를 했다. 그러나 그의 결론은 아리스토텔레스의 잠에 관한 견해를 설명했을 뿐이었다.

빠도바대학을 중심으로 한 해부학의 전통을 배경으로 하비(William Harvey, 1578-1657)가 나타났다. 하비는 케임브리지대학에서 갈레노스의학을 배우고 빠도바대학에 유학, 파브리찌오(Girolamo Fabrizio, Hieronymus Fabricius, 1533-1619) 밑에서 해부학학위를 받았다. 그는 귀국해서 런던王立醫科大學의 펠로우가 되었고 쾰바돌로뮤병원에서 근무하면서 해부학 연구에 열중했다.

하비의 책 「피의 운동에 관하여」(De motu cordis,

1628)는 근대적 의학의 시작이라는 평가를 받고 있다. 이 책은 실험적 증거에 토대를 둔 과학적 추리를 하고 있다. 그것은 직접적인 관찰과 실험이라는 새로운 자연연구의 방법을 최초로 응용한 예의 하나다. 하비는 문제를 해부학적 관점에서 다루고 있다. 『나는 解剖學을 책에서가

아니라 해부에서, 철학자의 敎義에서가 아니라 자연의 구조에서 배우고 가르치겠다.』고 한 하비의 이 말은 새로운 과학정신을 의욕적으로 나타낸 것이다.



하비의 結紮實驗

重要な 것은 收縮

하비는 파브리찌오의 영향아래 심장의 優位를 강조함으로써 간 우위의 갈레노스를 버리고 아리스토텔레스로 돌아갔다. 그는 심장을 찬양했다. 심장은 小宇宙의 태양이고 태양은 세계의 심장이다. 심장은 태양과 같이 생명과 소화에 必要한 열을 준다. 심장은 몸의 수호신이고 생명의 기초이면 만물의 근원이다.

하비는 갈레노스의 동맥계, 정맥계의 완전 분리를 거부하고 피는 전에 몰랐던 圓形行路를 따라 순환한다고 주장했다. 그는 심장의 기능에 관심을 기울였다. 그래서 80여종의 동물, 특히 냉혈동물을 해부하여 심장의 운동과 특징을 분석했다. 갈레노스이래의 생리학에서는 심장은 수동적으로 확장되어 피가 들어오게 하며 生氣(vital spirit)를 공급하는 것이었다. 그러나 하비에 따르면 피의 운동은 순전히 심장의 기계적 기능 때문에 일어난다.

그에게 중요한 것은 확장(diastole)이 아니라 수축(systole)이다. 심장은 근육이므로 수축할 때 활동적이다. 즉 심장의 행동은 피의 흡수가 아니라 배제인 것이다. 심장이 긴장상태에 수축하면 동맥이 확장되어 맥박을 일으킨다. 이 메커니즘은 우심실과 대동맥 사이에도 적용된다. 그 결과 피는 심장으로부터 동맥을 거쳐 전신에 전달된다.

하비가 피가 순환하는 증거로 제시한 것은 다음과 같다. 우선 확장상태에서 좌심실이 갖고 있는 피의 양과 수축상태에서 심장이 갖고 있는 피의 양을 계산한다. 심장이 搏動할 때마다 피가 몸으로 나가는데, 심장에서 동맥으로 나간 피의 양은 전신에서 발견되는 피의 양보다 훨씬 많다. 이 엄청난 양의 피가 음식으로부터 만들어진다는 것은 있을 수 없는 일이다. 따라서 피는 순환해서 출발점으로 되돌아와야 한다. 또 다른 증거로는, 해부할 때 피가 정맥에 다량 있으나 동맥이나 좌심실에는 조금 있는 사실을 들 수 있다. 이것은 심장은 폐의 운동이 끝난 뒤에도 계속 움직여 피를 보내지만 폐가 피를 보내지 못하기 때문이다.

다음으로 팔을 동여매는 유명한 실험이 있다. 結紮을 단단히 했을 때는 그 위의 동맥이 부풀고 맥박이 뛰나 아래쪽은 아무런 변화가 없다. 그런데 약간 느슨한 결찰을 하면 반대로 아래쪽 정맥이 부풀어 오르고 위는 그대로 있다. 이 실험은 다잘베노가 영롱하게 해석했던 것인데 하비는 그것을 피가 동맥으로부터 정맥으로 흐르는 결정적 증거로 포착한 것이다.

瓣膜의 役割

어느편가 늙은 하비가 젊은 보일(Robert Boyle)을 만났을 때 어떻게 피의 순환을 생각하게 됐느냐는 질문을 받고 한 답변이 있다. 『모든 정맥피를 심장으로 보내는 정맥안의 瓣膜(valve)을 생각한 데서』 판막에 대해서는 파리의 실비우스(Sylvius, 1478—1553)를 비롯하여 16세기의 여러 해부학자들이 언급한 바 있다. 그리고 판막의 구조와 기능에 관한 상세한 설명은 하비의 스승인 파브리찌오의 『靜脈의 瓣膜에 관하여』(De verarum ortiolis, 1603)에 나와 있다.

파브리찌오는 모든 정맥을 조사해서 판막을 발견했다. 그는 판막을 물레방아와 비교하면서 그것이 정맥 속에서 水門 비슷한 작용을 한다고 보았다. 이 설명의

중요성은 그가 동맥 및 정맥계를 水理學的으로 보아서 판막이 피의 공급을 조정함을 인식했다는 것이다. 하비도 이 유추를 다시 썼다. 그러나 그의 피의 문제를 단순한 수리학의 문제로 다루었고 피가 흐르는 방향을 조정하기 위해 판막이 필요하다는 것을 이해하지 못했다. 그는 판막의 기계적 역할을 알았고 그것이 피의 운동과 관계있음을 알았으나 판막의 심장의 활동 사이의 관계를 몰랐다. 아마 판막이 동맥에서 발견되었다면 사정은 달랐을지도 모른다.

하비는 판막이 피가 폐로부터 심장의 왼쪽으로 가도록 하나 반대방향으로는 열리지 않게 되어 있는 것에 주목했다. 따라서 그것은 피가 늘 동맥으로부터 정맥으로 원을 그리며 가고 심장과 폐로 돌아오게 함을 알았다. 즉 판막은 대정맥으로부터 정맥으로의 피의 逆流를 막는 보장이 된다. 그러므로 하비는 판막의 참다운 발견자라 할 수 있다.

하비의 限界

마지막으로, 推理에 의한 증거를 들고 있는데, 이것은 철저히 관찰과 실험에 의존한 하비답지 않은 주장이다. 심장은 生命熱이 위치하는 곳으로 피가 사지로 감에 따라 식고 탁해져서 열과 생기를 얻기 위해서는 심장으로 돌아와야 한다는 것이다. 이런 생각은 하비가 아직도 지니고 있는 전통적인 잔재라 할 수 있다. 그러나 하비는 심장을 펌프로, 정맥을 運河로 보았다. 데카르트의 충격을 연상케 하는 심장의 수축은 기계적 사고방식이며 과학혁명의 상징적 설명이라 할만 하다.

하비의 피의 순환이론에는 몇가지 미해결문제가 있다. 그는 피가 아주 가는 동맥으로부터 아주 가는 정맥으로 어떻게 가는지 알 수 없었다. 그래서 그 사이에는 폐에서처럼 스펀지같은 조직이 있어 그것을 통해 피가 스며가는 것으로 보았다. 이것은 현미경이 나오기 전이므로 이해가 가는 결합이다. 뒤에 말뚝기(Marcello Malpighi, 1628—94)와 레우븐훅(Antony van Leeuwenhoek, 1632—1723)은 피가 모세혈관을 통과함을 관찰했다.

또한 하비는 폐에서 어떤 일이 일어나는지도 알지 못했다. 그는 호흡에 관한 책을 쓰겠다고 했으나 내란으로 좌절되었다. 이것은 얼마 안가 로워(Richard Lower, 1632—91)가 피의 빛깔의 변화는 심장 아닌 폐에서 일어나는 밝힘으로써 해결되었다.