

# 近代力學의 誕生

朴 星 來 〈外大教授〉

## 科學革命 (完)

이들 예술가·기술자들은 자유경쟁의 분위기 속에서 새로운 것을 찾아 헤맸다. 이들의 匠人의 전통은 원래 경험을 통한 지식을 숭상해 왔다. 새로운 기법을 찾아 遠近法을 창안한 르네상스의 예술가들은 기하학의 지식이 없이는 미술을 못한다고까지 생각하게 되었다. 〈과학혁명〉을 특징짓는 실험과학 또는 자연현상의 수학적 이해등은 바로 이탈리아의 匠人 전통에서 생긴 것이라고도 말할 수 있다.

그 대표적 인물은 물론 르네상스를 대표하는 레오나르도·다·빈치(Leonardo da Vinci, 1452~1519)라 하겠다. 백과 사전적인 취미와 재능을 갖고 있었던 다·빈치는 실험을 통해 여러가지 건축문제를 연구했고, 그는 기둥이 견뎌낼 수 있는 무게는 그 기둥의 두께에 비례하고 길이에 반비례함을 발견하기도 했다.

다·빈치보다 구체적으로 力學 연구에 공헌한 사람으로는 타탈리아(Tarstaglia, 1500~1557)를 들 수 있다. 정규교육을 받지 못한 기술자였던 그는 1546년 彈藥, 彈道 등의 문제를 포함한 戰術에 관한 책을 지었는데, 그에 의해 투사체 문제는 다시한번 토론의 중요대상이 되었다. 쏘아 올린 대포알이 그리는 궤도의 설명을 위해 아리스토텔레스는 어떠한 물리학을 중리해냈던가 상기해 보자. 그러나 중세후기이래 임피터스說의 등장으로 아리스토텔레스의 이론은 부정되

었다. 임피터스說을 이용하여 타탈리아는 투사체의 운동을 올바르게 설명할 수가 있었다. 그는 또한 실험을 통하여 대포알이 가장 멀리 날아가기 위해서는 대포를 45도만큼 위로 향하고 쏘아야 한다고 말했다. 르네상스 이탈리아에는 많은 기술자들이 대포에 관한 여러가지 문제를 연구하고 있었던 것으로 보이는데 그 이유는 화약이 서양에 전달된 후 급속도로 그 이용이 확대돼가고 있었기 때문이다.

이탈리아와는 거리가 있지만 홀랜드의 군사기술자 시몬·스테빈(Simon Stevin, 1548~1620)은 갈릴레오에 앞선 가장 훌륭한 力學 연구자로서 인정되고 있다. 흔히 우리들은 피사의 사탑에서 갈릴레이가 처음으로 물체는 무게와는 관계없이 무거우나 가벼우나 똑같은 속도로 떨어지는 것을 실험한 것으로 알고 있다. 아리스토텔레스의 물리학에 따르면 물체가 자유낙하할 경우 무게가 무거운 것일수록 그에 비례해서 빨리 떨어진다고 믿어졌다. 이것을 부정하는 역사적인 첫 실험을 갈릴레이가 피사의 사탑에서 실행했다고 우리는 배워온 것이다. 그러나 사실인즉 이런 실험은 바로 스테빈에 의해서 처음 실시되었던 것이 확실하고, 갈릴레이가 그런 실험을 했는지는 확실치 않다. 스테빈은 1586년 자기가 행한 실험을 다음처럼 기록했다.

“아리스토텔레스를 부정하는 실험은 다음처럼 행해졌다. 한쪽이 다른 쪽보다 10배 무거운 두개의 납으로 만든 공을 30피트 높이에서 동시에 떨어뜨린다. 그 밑에는 나무판이나 다른 어떤 것을 놓아 납덩이가 떨어질 때 소리를 내도록 만



〈아이작·뉴턴(1642-1727) 초상화. 이노크·시맨이 그린 초상화를 제임스·마카델(1710-65)이 1740년 완성했음〉

든다. 그러면 무거운 공이 열배나 빨리 떨어지지 않는 않으며, 두 공은 동시에 떨어져 두 공이 내는 소리는 마치 한꺼번에 나는 것처럼 들릴 것이다.”

오늘날 우리는 두개의 서로 크기가 다르고 방향도 다른 힘이 한곳에 작용하면 어떤가를 금방 알 수 있다. 그러나 中世까지 사람들은 서로 방향이 다른 두가지 힘을 합쳐 생각할 수가 없었다. 스테빈은 바로 이 문제, 즉 ‘힘의 평행사변형’을 알아내고 있었다. 오늘날처럼 벡터(vector)의 합성으로 뚜렷이 이해하고 있지는 않았으나 그 기초는 이루워 놓았던 셈이다.

그는 또한 빗변의 평행에 관한 법칙을 재미있게 증명해 내었는가 하면 連通管의 경우 각 관의 모양이나 지름에 관계없이 물의 높이는 항상 같다는 것도 증명해 냈다. 부력의 연구와 간단한 기계의 작용에 관한 연구등 그의 업적은 바로 고대에 아르키메데스가 이론 업적을 계승 발전시키는 그런 노력으로 해석된다.

## 갈릴레이 : 近代力學의 탄생

망원경을 이용한 풍부한 자료를 바탕으로 코페르니쿠스說을 지지하고 나서서 서양사의 근대적 전환에 가장 극적인 인물로 그 이름을 남긴

갈릴레이는 과학적인 측면에서는 근대力學의 창시자였다. 앞서도 간단히 말한 바와 같이 중세 말기에 일부 학자들(영국과 프랑스)에 의해 이론적 관심의 대상이 되었던 力學은 르네상스시대에는 학자가 아닌 匠人들의 관심분야가 되었다. 임피터스說을 발전시킨 중세학자들의 방법이 주로 사변적이었던 르네상스 匠人들의 力學연구는 실험을 토대로 수학적 전개를 꾀했다는 차이가 있다고 하겠다.

바로 이런 匠人 전통을 제대로 계승하여 學者的 전통과 결합시킨 학자가 피사大學등의 교수를 지낸 갈릴레이였다. 1633년 말생의 씨앗이 되었던 《두가지 世界像에 관한 對話》(1632)에서 이미 그의 力學체계의 일부를 사용한 갈릴레이는 그후 《두가지 新科學에 관한 論議》 또는 《新科學對話》 《力學對話》(Discourses... concerning Two New Sciences, 1638)로 알려진 책을 썼다. 바로 이 책이 갈릴레이 力學을 집대성한 것이며 근대물리학의 문을 활짝 열어준 역사적 작품인 셈이다. 그의 역학연구의 큰 발자취를 대충 훑어보자.

運動의 相對性—잔잔한 바다위에 일정한 속도로 같은 방향으로 움직이고 있는 배속에서 일어나는 일들을 생각해 보자. 오늘날의 여객선처럼 큰 배안에서라면 육지에서나 똑같이 배구도 농구도 테니스도 할 수가 있을 것이다. 이 경우 배안에서 일어나는 모든 운동—공의 움직임 같은 것—을 보고서만은 그 배가 정지하고 있는지 일정한 속도로 움직이고 있는지 알 수 없다는 것을 갈릴레이는 지적했다. 즉 배안에서의 운동은 배가 지구표면에 대해 하고 있는 운동과는 서로 상관없이 없음을 보여준 것이다.

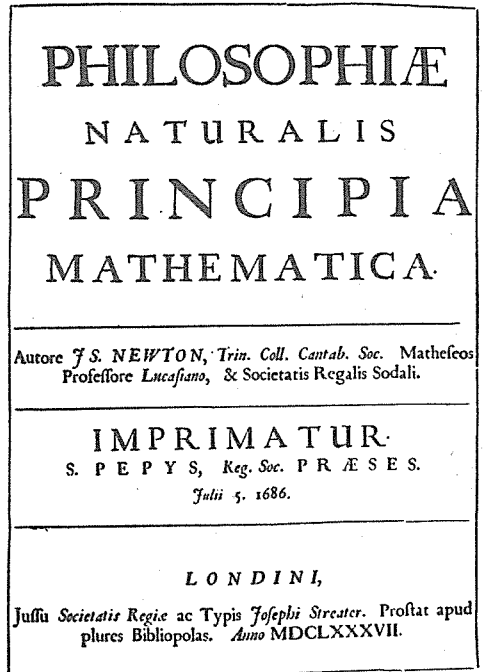
자연운동과 강제운동의 두가지로 모든 운동을 설명한 아리스토텔레스의 방식은 복잡한 운동을 서로 무관한 두가지 운동의 결합으로 보는 눈을 기르지 못했었다. 이제 갈릴레이式으로 보면 포탄알의 운동은 등속도직선운동(강제운동)과 자유낙하운동(자연운동)의 두가지로 분해해서 생각할 수가 있었고 여기서 운동의 연구는 단순해졌던 것이다.

慣性(圓形的 慣性) — 요즘 중학생만 되면 아  
는 운동의 기본 법칙은 관성의 법칙이다. 밖에  
서 아무 힘도 가하지 않으면 물체는 정지해 있  
거나 또는 등속도 직선운동을 계속한다는 것이  
다. 오늘날에는 누구에게든지 분명해 보이는 이  
법칙이 갈릴레이시대에는 아직 알려져 있지 않  
았다. 밖에서 아무 힘이 가해지지 않아도 하늘  
에서는 영원한 원운동이, 땅에서는 정지상태가  
자연스러운 것으로 보이던 그런 시절이었다.  
물체의 정지상태와 등속도운동 상태가 궁극적으  
로는 같은 상태로 이해될 수 있다는 것은 전혀  
새로운 생각이었다.

등속운동의 유지에는 전혀 밖에서의 힘을 필  
요로 하지 않는다는 갈릴레이의 생각은 아리스  
토텔레스 物理学이 어떤 운동이건 운동이 계속  
되기 위해서는 계속적인 힘의 작용을 가정하는  
입장과는 전혀 반대되는 의견이었다. 그러나 갈  
릴레이가 생각한 慣性은 좀 부족한 부분이 있었  
다. 그는 직선상의 운동을 관성운동으로 파악한  
것이 아니라 지구자체의 원운동과 지구중심의  
둘레에서 同心圓을 그리며 일어나는 운동을 관  
성때문에 일어나는 것으로 그릇 판단했던 것이  
다.

그 결과 갈릴레이는 코페르니쿠스가 만족하게  
설명할 수 없었던 문제를 해결해 준 셈이었다.  
코페르니쿠스 이래의 地動說에 力學的 근거를 제  
공해 준 셈이었다. 운동의 상대성을 주장함으로  
써 지구의 운동이 지상에 있는 물체의 운동에  
영향을 주지 않는다는 것을 보여 주었다. 또한  
불완전하나마 관성의 법칙에 의해서 무거운 지  
구가 어떻게 自轉을 계속할 수 있는가 하는 의  
문에 해답을 주었다. 이처럼 近代力學은 地動說  
의 근거를 제공하면서 성장했던 셈이다.

落下 : 等加速度의 운동 — 갈릴레이의 또 한가  
지 力學上的 공헌은 자유낙하의 이론이다. 아리  
스토텔레스 물리학에 의하면 물체의 자유낙하속  
도는 그 무게에 비례한다. 말하자면 열배 무거  
운 물체는 열배는 빨리 떨어진다는 것이다. 이  
생각이 틀렸다는 것은 이미 스테빈의 실험에 의  
해 증명된 일이 있었고, 갈릴레이도 피사의 사



〈뉴턴의 3 법칙이 실려있는 『自然哲學의 數學的原理』 책 표지. 1687년 런던에서 출판〉

탑에서 낙체실험을 통해 같은 결과를 얻었다는 유명한 전설도 있다.

갈릴레이는 10미터쯤되는 긴 재목을 홈통을 파고 그 재목을 높고 낮게 각도를 바꿔가며 여러가지 斜面에서 공이 굴러내리는 속도를 측정 한 결과 낙하거리는 시간의 제곱에 비례한다는 낙하법칙을 알아냈다. 처음에 낙하속도는 낙하한 거리에 비례하리라는 잘못된 생각으로 출발했던 갈릴레이는 수많은 실험을 거친 끝에 바른 결론을 이끌어 내는데 성공했다.

자연현상을 수학화했다는 점과 그것을 계획적 실험을 통해 증명했다는 점에서 갈릴레이는 근대과학의 방법을 처음으로 실행한 과학자라고 찬양을 받아오고 있다. 그러나 사실은 반드시 오늘날 우리가 생각하는 그런 실험은 아니었던 것 같다. 그는 연역적 방법에 의해 이미 발견해 낸 자연법칙을 다른 사람에게 증명해 보이기 위해 실험을 고안해 낸듯이 보이기도 한다. 여하

튼 갈릴레이이래 물리학은 수학과 불가분의 관계를 가지면서 크게 발달해 왔고 그 전통속에 실험은 언제나 절대적 중요성을 갖게 되었다. 갈릴레이는 근대 물리학의 창시자라 불려서 좋을 것이다. 갈릴레이는 사물의 속성을 計量化할 수 있는 一次的인 것과 그렇지 못한 二次的인 것으로 구분했다. 질량, 속도같이 計量化할 수 있는 것만을 과학의 대상으로 본 갈릴레이는 計量化할 수 없는 색깔, 냄새, 맛 등을 二次속성이라 하여 과학의 대상에서 제외했다. 오늘날 이 구분은 점차 바뀌어 더 많은 부분이 과학의 대상으로 되어가고 있지만 計量化의 가능성을 과학의 기준으로 보려는 경향은 갈릴레이의 전통이 그대로 계승되고 있다고 보여진다.

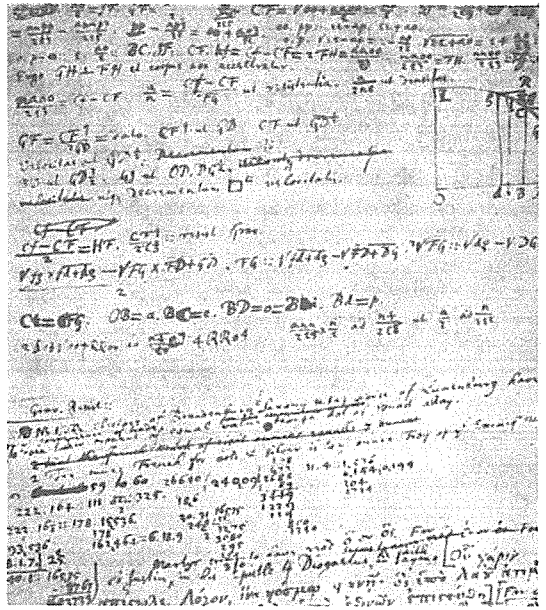
## 뉴턴 : 天文學과 力學의 종합

갈릴레이가 이룩한 지상에서의 力学과 케플러가 발전시켜 온 새로운 天文学은 뉴턴에 이르러 한 골로 모이게 되었다. 거기서 뉴턴이 발견해 낼 수 있었던 것이 하늘에서의 모든 운동과 땅에서의 운동은 결코 서로 다르지 않다는 사실이었다. 아리스토텔레스이래 하늘의 세계와 땅의 세계를 본질적으로 다르게 보려던 태도는 이제 그 代案을 발견하게 되었다. 달이 지구둘레를 회전하는 것이나 사과가 나무에서 떨어져 내리는 현상이 결코 서로 다른 것이 아니라 같은 운동법칙 체계속에서 설명될 수 있다는 것이 확실해 졌다. 뉴턴은 아리스토텔레스의 설 땅을 완전히 앗아버린 셈이었다.

아이작크·뉴턴(Isaac Newton, 1642~1727)은 우리나라에서도 널리 알려져 있는 대표적 과학자다. 사과 떨어지는 것을 보고 그의 만유인력의 법칙을 알아냈다는 전설이나 너무 연구에 골몰하느라고 달걀대신 회중시계를 끓는 물에 삶았다는 에피소드들은 아마 그의 과학적 업적 그 자체보다 더 널리 알려진 부분일 것이다. 뉴턴은 특이한 인물이었음이 사실이다. 그는 통상적인 뜻에서보다 특이한 의미에서 특이한 그

런 사람이었다. 우선 다른 천재적 과학자 음악가 학자들등과는 달리 그는 대학을 졸업할 때까지도 별로 천재성을 보여준 것 같지 않다. 역사에 그 이름을 남긴 거인들 가운데 뉴턴만큼 평범한 젊은시절을 보낸 사람은 찾기 어려우리라. 또 뉴턴은 평생에 별다른 이렇다할 취미도 갖지 않았던 사람이었다.

그러나 때로는 지나친 평범성은 특이함과 통하는 것. 그래서 어려서부터 고생끝에 성공한다는 立志傳的 얘기도 없고, 음악이나 미술을 감상하는 취미도 갖지 못했던 그의 위대한 발견들도 얼핏 보기엔 너무도 쉽사리 이루어진 것처럼 생각될 지경이다. 영국 링컨셔(Lincolnshire)의 농부의 유복자로 태어난 그는 재혼한 어머니 밑에서 자랐으나 경제적으로는 어려운 형편이 아니었다. 고향을 떠나 케임브리지大学에 들어간 뒤에도 그는 그저 평범한 학생이었던 것 같다. 그가 23살이 되는 1665년 영국에는 페스트가 크게 유행하여 런던시민의 10분의 1이 죽어가는 엄청난 사건이 일어났다. 케임브리지大学은 이전염병때문에 그해 여름부터 1년반가량의 장기 휴교로 들어갔다.



<뉴턴의 해박성을 보여주는 그의 메모장 일부. 여러문문에 걸친 내용이 실려있다>