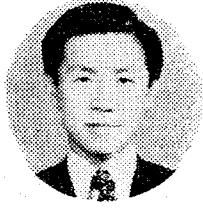


# 世界科學技術史 (西洋篇)

## 力學의 突破口



宋 相 庸

<韓國科學史學會 幹事>

지난 1500년동안 인간정신이 극복한 知的障礙 가운데 가장 놀랍고 그 영향이 엄청났던 것은 운동의 문제라고 근대사학자 버티필드(Herbert Butterfield)는 말한다. 운동의 문제에 관한 아리스토텔레스의 가르침은 중세 스콜라(schola) 사상을 강하게 지배해서 17세기 전반기 갈릴레오때까지 위세를 발휘했다. 그러나 아리스토텔레스의 물리학에 대한 반대는 일찍부터 시작되었다.

### 不必要하게 된 天使

6세기에 그리스도교 新플라톤主義者 필로포누스(Philoponus)는 공기중에서 떨어지는 물체의 속도가 무게에 비례하지 않고 낙하시간의 차는 무게의 차보다 훨씬 적다고 주장했다. 그는 또한 媒質이 투사체운동의 원인이라는 아리스토텔레스의 주장에도 반대해서 화살은 진공중도 날 수 있다고 했다. 공기는 운동을 촉진하기는커녕 방해한다는 것이다.

필로포누스에 따르면 임페투스(impetus)라고 불리는 추진력이 공기 아닌 投射體 자체에 주어지면 운동이 가능하게 된다. 그런데 임페투스는 차츰 없어지는 성질이므로 물체는 마침내 정지한다. B.C. 5세기에 디오니시우스(Dionysius)는 천체의 운동이 신에 의해 직접 통제되지 않고 天使들에 의해 계층적으로 조정된다고 주장했다. 그러나 필로포누스는 천체를 움직이는 여러 천사들을 가정할 필요가 없다고 보았다. 왜냐하면 太初에 신이 천체에 임페투스를 주어 영원히 없어지지 않게 했을지도 모르기 때문이었다. 필로포누스의 견해에 대해서는 같은 시대의 아리스토텔레스 註釋家 실름

리키우스(Simplicius)가 반박했다.

10세기에 아랍의 아비케나(Avicenna)는 새겨진 힘(impressed force) 또는 傾向을 뜻하는 마일(mayl, inclinatio)이란 개념을 썼다. 自然마일(natural mayl)은 자연위치로 물체가 떨어지는 경향이고 強制마일(violent mayl)은 자연위치 아닌 곳으로 물체가 가게 하는 경향이다. 강제운동에서는 물체가 움직이면 마일이 옮겨져서 운동을 계속하게 한다. 이때 마일은 빌린 힘으로서 불이 물에 준 열 비슷한 것이다. 그것은 외부의 힘에 의해서만 약화되고 파괴되는 영원한 힘이므로 방해물이 없는 곳에서 강제운동은 무한히 계속한다. 아비케나는 추진력을 양적으로 표시하려 했으며, 무게가 클수록 마일이 크다고 했다. 아랍에서는 이밖에도 아불 바라카트(Abul Barakat), 아베포파체(Abempace), 아베로에스(Averroës)등이 역학을 크게 발전시켰다.

12세기에 띠에리(Thierry of Chartres)가 임페투스란 말을 사용했으나 뜻은 달랐다. 13세기에도 새겨진 힘이 논의되었지만 토마스(Thomas Aquinas)와 베이컨(Roger Bacon)은 이를 거부했다. 임페투스理論의 시초는 14세기라 할 수 있다. 임페투스역학은 파리대학에서 크게 발전해서 영국과 이탈리아로 퍼져 나갔다. 옥스퍼드에서는 오캄(Okham)의 동의불언고 임페투스 논의가 계속되었으나 곧 힘을 잃었다. 15세기에 이르러 옥스퍼드의 학자들은 아리스토텔레스의 물리학을 고수했다. 한편 이탈리아의 여러 대학에 전파된 임페투스力學은 르네상스때 크게 꽃피었다.

### 임페투스力學의 挑戰

뷔리당(gean Buridan)은 아리스토텔레스의 투사체운

등의 설명에 반대했다. 깡이는 위치를 바꾸지 않고 운동하니까 교환된 공기에 의해 움직여질 수 없다. 뒤 끝이 편편한 창은 앞뒤가 뾰족한 창보다 더 빨리 날지 않는다. 만일 공기가 밀고 간다면 더 빨라야 할 것이다. 이 경우 운동을 지속하게 하는 힘이 임페투스이다. 오렘(Niccolle Oresme)은 임페투스를 운동체에 주어진 附加的性質로 보았다. 물체가 힘으로부터 받는 임페투스의 양은 물체의 밀도, 부피, 初速度에 비례한다. 또한 임페투스는 여러가지 외부의 저항에 의해서만 감소되는 영구한 성질이다. 따라서 물체는 저항이 없으면 직선으로 무한히 운동해야 한다. 이것이 慣性일까? 우주는 유한하기 때문에 그럴 수는 없다. 그들은 임페투스를 강제운동, 자유낙하, 천체의 圓運動 등 우주에 적용했다.

알버트 폰 작센(Albert von Sachsen)은 自由落體가 일양하게 가속되는데 주목했다. 그에 따르면 낙체의 계속적으로 증가하는 속도는 얻은 임페투스에 그것이 본래 갖고 있는 코나투스(conatus, 자연위치에 도달하기 위한 노력)가 부가 됨으로써 생긴다. 물체가 떨어지는 동안 코나투스가 갑자기 없어진다 해도 임페투스는 그것을 일정한 속도로 떨어뜨리게 할 것이다. 그러나 코나투스가 운동하고 있는 물체에 운동의 원인으로 작용하기 때문에 더 빨리 떨어진다. 알버트는 또한 순간적인 속도는 경과한 시간이나 통과한 거리에 비례한다고 했는데 이것은 불완전한 개념이다.

갈릴레오는 피자(Pisa)대학에서 임페투스역학자 보나미코(Francesco Bonamico)에게 수학의 본질과 역학, 그리고 플라톤과 아리스토텔레스의 차이에 대해 배웠다. 임페투스이론은 14세기 이후 그때까지 별로 진전이 없었지만 갈릴레오는 아리스토텔레스를 버리고 이것을 택했다. 그는 16세기말 임페투스力學의 대표자 베네데티(Battista Benedetti)를 연구했다. 베네데티는 媒質은 늘 저항요인이며 운동의 원인이 될 수 없다고 아리스토텔레스의 투사체운동이론을 비판했다. 또 그는 아르키메데스의 영향을 크게 받았고 매질속에서의 운동에 아르키메데스의 수력학을 적용했다. 이렇게 해서 갈릴레오는 아르키메데스를 만나게 되었다.

原因에서 狀態로

피자시절 갈릴레오가 쓴 「運動에 관하여」(De motu, 1592)는 임페투스이론을 이용해서 아리스토텔레스 운동이론을 반박한 것이다. 이 책은 낙체나 투사체가 보여주는 운동의 성질을 설명했으나 정확한 힘, 속도,

DISCORSI  
E  
DIMOSTRAZIONI  
MATEMATICHE,  
intorno à due nuove scienze  
Attenenti alla  
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI;  
del Signor  
GALILEO GALILEI LINCEO,  
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo  
Grand Duca di Toscana.  
Con una Appendice del centro di gravità d' alcuni Solidi.



IN LEIDA,  
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. xxviii.

갈릴레오의 《두 새 科學에 관한 論議와 數學的 論證》의 타이틀 페이지

가속도의 定義는 하지 못했다. 그는 자유낙하에서의 가속도의 영구성을 부인하면서 가속도는 임시적인 것, 처음에만 한정되는 것이라고 했다. 즉 물체가 자연속도에 도달하면 그 다음에는 일정한 속도로 떨어진다. 이로써 갈릴레오는 계속적인 힘이 계속적인 가속도를 준다는 현대역학의 공리를 부인한 셈이다.

갈릴레오는 임페투스의 개념을 끝까지 추구한 결과 그 한계를 발견하고 비판하기 시작했다. 따지고 보면 임페투스역학은 아리스토텔레스역학의 한 측면이었다. 운동의 원인이 매질에서 물체로 옮겨 갔을 뿐 원인은 원인이었기 때문이다. 이런데서 수학적인 역학은 나올 수 없었다. 임페투스가 운동의 원인이라면 갈릴레오의 임페토(impeto)는 측정가능한 운동의 결과였다. 아리스토텔레스에게 운동은 계속적인 動力因을 필요로 하는 生成의 과정이었다. 그러나 갈릴레오에게는 운동이 물체의 상태에 불과했으며 수학적 표현으로 기술되는 순수한 관계였다. 다시 말해 운동에는 아무 의미도 없고 다만 量만이 있을 뿐이다.

갈릴레오이전에는 아무도 自由落下에서 시간, 속도,

거리사이의 일반적관계를 연역해 내지 못했다. 낙체의 속도가 경과한 시간에 따라 변하는가, 아니면 통과한 거리에 따라 달라지는가의 문제는 16세기 運動學의 발전에 큰 장애였다. 일찌기 레오나르도는 낙체의 속도가 어떤 순간에 떨어진 거리와 지난 시간에 비례한다고 함으로써 혼란에 빠졌었다. 스페인의 神學者 데 소토(Domenico de Soto)는 일양하게 달라지는 운동(等加速度運動)은 시간에 비례한다고 정의하고 이 운동은 자유낙체와 투사체에 적합하다고 했다. 그러나 그는 이것을 증명하거나 시간, 속도, 거리에 관한 식을 내놓지 못했다. 그는 가속도를 시간에 따른 운동의 변화 속도라 했고 위로 올라가는 강제운동에서는 가속도가 마이너스라고 연역함으로써 자연운동과 강제운동의 二分法을 공격했다.

되풀이된 過誤

1604년 갈릴레오는 사르페(Paolo Sarpi)에게 보낸 편지에서 낙체에 의해 같은 시간간격에 통과되는 거리는 1에서 시작되는 홀수의 비례를 갖는다고 말했다. 처음에는 속도가 거리에 비례한다고 했다가 뒤에 잘못을 깨닫고 시간에 비례한다고 고쳤다. 이것의 발표는 1609년 「두 세 科學의 論議와 數學의 論證」에서 했다. 데 소토 한 사람만 빼놓고 베네데티, 레오나르도, 데카르트(René Descartes), 베크만(Isaac Beeckman), 가상디(Pierre Gassendi)도 같은 과오를 범했고 끝내 과오를 깨닫지 못했다. 왜 그랬을까? 파페(Alexandre koyré)는 시간은 形象化하기 어려우나 거리는 可視의인 것이기 때문이었을 것이라고 추측한다. 그런데 재미있는 것은 갈릴레오가 잘못된 假定으로부터 잘못된 추리의 해 옳은 결론에 도달했다는 사실이다.

투사체의 경로도 중요한 문제였다. 아리스토텔레스는 투사체가 강제운동을 하고 나서 자연운동을 해서 땅에 떨어지며 이 두 운동은 절대로 섞이지 않는다고 했다. 임페투스역학자들 가운데는 이 두 운동이 만나는 부분이 부드러운 곡선을 이룬다고 본 사람도 있었다. 레오나르도는 나아가서 투사체운동은 강제운동에서 시작해 강제운동과 자연운동이 섞이는 단계를 거쳐 순수한 자연운동으로 끝난다고 보았다. 갈릴레오는 투사체가 수평방향으로 등속도운동을 하며, 동시에 수직방향의 등가속도운동을 하는데, 이 둘은 처음부터 섞여 포물선을 그린다고 했다. 이로써 포탄의 彈道문제에 해결되었다.

落體實驗은 가짜?

갈릴레오는 낙체의 가속도를 측정하기 위해 斜面에 공 굴리는 실험을 했다. 낙체의 속도를 직접 재는 것이 불가능했으므로 특별한 장치를 고안했다. 긴막대를 만들고 끝에서 끝까지 홈을 뚫었다. 막대를 기울여 사면을 만들고 홈을 통해 공이 굴러 내려가게 했다. 공이 구르는 시간은 작은 구멍으로 떨어지는 물방울을 그릇으로 받아 무게를 잴으로써 알았다. 사면을 90도가까이 가파르게 세우고 홈이 매끈해서 거의 마찰이 없다고 보면 이것은 공중에서 공이 떨어지는 경우와 다름없을 것이다. 이렇게 그는 낙체의 속도와 가속도를 잴 수 있었다.

갈릴레오는 또하나의 재미있는 실험을 했다. 즉 밑에서 연결된 두개의 홈 파진 사면을 만들어 공이 한쪽을 굴러내려 다른 쪽으로 기어 오르도록 했다. 반대쪽 사면을 가파르게 하면 공의 속도는 줄고 낮추면 늘었는데 어느 경우든지 공이 올라가는 높이는 같았다. 그러면 사면을 水平으로 만들면 공은 쉬지 않고 굴러 가리라고 생각할 수 있다. 이것은 慣性같지만 실은 거기까지는 가지 못했다. 갈릴레오는 공이 영원히 움직이는 것을 생각할 수 없었다. 그런 평면이란 지구위에 있을 수 없기 때문이었다. 갈릴레오는 원운동이 보존된다는 圓의 慣性개념을 가졌을 뿐이고 직선적인 완전한 관성의 개념에 도달한 것은 데카르트였다.

전하는 얘기로는 갈릴레오가 어릴때 뼈자의 大聖堂에 갔을 때 천장에 매달린 샹들리에가 흔들리는 것을 보고 맥박을 세어 시간을 재 본 결과 샹들리에가 한번 흔들리는데 걸리는 시간은 振動의 크기에 관계없이 일정하다는 것을 발견했다. 이것이 이른바 振子の 週期性이다. 그런데 알려진 바에 의하면 그 성당에 샹들리에가 장치된 것은 그가 간뒤 몇해 뒤라고 한다.

또 하나의 유명한 傳說이 뼈자의 斜塔에서 공을 떨어뜨렸다는 실험이다. 아리스토텔레스의 주장과 다른 결과가 나와 많은 사람들을 당황하게 했다는 이 실험은 실제로 있었다는 증거가 없다. 이 이야기가 더욱 미덥지 않은 이유는 공기저항 때문에 무거운 물체가 가벼운 물체보다 약간 빨리떨어진다는 갈릴레오의 주장과 어긋나는데 있다. 설사 그가 이 실험을 했다 해도 처음은 분명히 아니다. 낙체실험은 1586년 네덜란드의 力學者 스테핀(Simon Stevin)이 드그로트(Johan de Groot)와 함께 한 것이 확실하기 때문이다. 30피트상공에서 무게가 10배의 차이가 나는 납공 두개를 떨어뜨렸을 때 소리가 한번 났던 것이다. ㄹ