

제 5 장

실험방법의 태동

르네상스기간 동안 과학분야에서도 중세의 순수 철학적 관점에서 현재와 같은 실험이나 관측을 통한 실증적 방법으로서의 변화가 싹트기 시작하였다. 많은 실험적 사실에 기초를 두고있는 수리학도 실험적 방법이 도입되기 전까지는 그 발전이 더딘 것은 필연이었으며 더구나 일반역학이나 수학분야를 응용해야하는 수리학의 속성상 수리학의 발전도 타분야의 발전 방향과 궤를 달리할 수는 없었다.

르네상스는 한때 암흑시대뒤에 나타난 시민의 자발적 재탄생이라고 취급되었으나 현대의 학자들은 시대적으로 확실하게 규정하기는 어렵지만 개성을 무척 강조한 시기였다고 보고 있다. 이런 관점에서 볼때 르네상스가 시작된 시기는 명확하지 않지만 15세기 후반에 일어난 다음과 같은 몇 가지 사건들은 이 시대의 변화를 잘 나타내고 있다. 우선 지식의 보급을 더욱 빠르게 할 수 있는 인쇄술의 발달을 꼽을 수 있으며 둘째로는 동쪽으로부터 도래한 기독교 학자들에 의한 콘스탄티노플 제국의 멸망이며 셋째는 아메리카 대륙의 발견이다. 이들 모두 신적 사회보다 인간 세상에 대한 관심을 증대시켜서 나온 결과이며 특히 신대륙의 발견은 후에 이 부분을 자극하는데 충분하였다. 당시 조직적인 저항이나 반항은 철저히 막혀 있었지만 교회가 지식을 독점하거나 규제하는데 대한 거부감은 계속 커져가고 있었으며 따라서 이 시대는 중세의 고답적인 사고로부터 자유로운 사고를 갖는 사람이나 학교가 생겨나기에 매우 성숙한 시기였다. 이 당시 다재다능하고 거의 모든 분야에서 타의 추종을 불허할 만큼 뛰어난 천재가 있었으니 그가 유명한 Leonardo da Vinci(1452-1519)이다. Florence의 법률가집안의 아들로 태어나 회화, 소묘, 조각분야뿐 아니라 음악, 철학, 해부학, 생물학, 지질학, 역학, 공학, 건축학 등등에 걸쳐 천재성을 보이고 있다. 어떤 사람은 그를 가리켜 1세기 후에 나타난 Francis Bacon보다도 실험과학의 원리를 더 잘 터득하고 있었으며 Galileo, Newton, Harvey 및 Watt가 발견한 것들을 이미 알고 있었다고 주장하기도 한다. 실로 현재까지 수많은 분야에 걸친 지식에 대한 열정, 지식의 흡수 및 응용에 이르기까지 그보다 더 업적을 나타낸 사람은 없었다.

Florence에서의 가난했던 7년간의 미술수업을 마친 후의 다빈치는 그의 스승보다 훨씬 높은 경지에 이르렀으며 1480년에는 밀라노에서 건축예술에 대한 훈련을 쌓았다. Florence에서부터 몸매 밴 자연을 관찰하고 기록하는 습관은 어디에서나 계속하였고 Pavia에서는 수개월 이지만 수학과 역학공부를 열심히 했으며 그후 Lombard평원의 각종 공학적 사업에 대한 설계도 하였다. 15세기말 공병기술자로 밀라노에서 근무하다가 France에 함락당하기전

Venice로 그의 활동무대를 옮겼으며 이탈리아 중부지방을 가로 지르는 운하 및 항구의 계획과 건설사업에 종사하였다. 이때 밀라노를 지배하고 있던 France는 1506년 다시 돌아올 것을 청하였으며 여기서 Louis 12세 밑에서 일하게 된다.

그 후 그가 죽기 몇년전 Francis 1세의 초청으로 프랑스의 Amboise로 이사하여 성과 Loire와 Saore을 잇는 운하를 설계하였고 거기서 일생동안 축적된 자료를 모아 정리하였다. 이 자료들은 실로 현대를 살아가는 우리에게 경탄을 금치 못하게 하며 한편으로 절망감마저 느끼게 해준다. 현재까지 남아있는 것으로 Leonardo가 손으로 직접 작성한 500쪽에 달하는 스케치나 기록을 통하여 다빈치는 정말로 대단한 관찰자이며 사고력 또한 굉장히 높음을 알 수 있다. 그는 일정한 주제없이 여기저기에 작성하였지만 거울상(mirror image)의 왼손필체를 이용하거나 또는 종이의 앞뒤면상을 사용하였으며 방대한 기록을 수집·정리하는데 그렇게 어렵지는 않았다.



Leonardo da Vinci

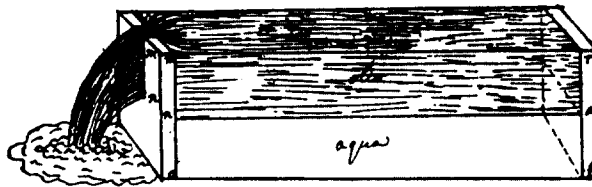
이 자료들은 본인이 친척들에게 손대지 못하도록 하였음에도 불구하고 1570년 세상에 공개된 후 많은 부분이 분실되고 훼손된 상태로 오늘에 이르고 있다. 현재는 관심있는 독자들을 위하여 몇몇 번역물들이 시중에 유통되고 있다. 그러나 이와 같은 다빈치의 천재성에도 불구하고 그의 지식을 남들과 공유하기 보다는 오로지 그만이 알아보고 보존하려는 의도 때문에 많은 부분이 결실을 못 맺은 채로 남아있어 안타까울 뿐이다.

Pierre Duhem은 다빈치가 역학분야에서 얻은 결실의 근원을 밝히고자 한 사람으로서 그의 연구에 의하면 다빈치는 Archimedes, Euclid, Vitruvius, Hero와 Albert de Saxe의 업적을 인용하였다고 하였으며 그가 남긴 기록도 고대 및 동시대의 사람들의 것과 광범위한 유사성을 발견하게 된다[1]. Duhem은 또한 그의 기록들이 후세 사람들에게 완전히 없어지거나 훼손되어 전해지지 않은 것은 아니다라는 것도 밝히고 있다. 그 예로서 다빈치가 고안한 여러 가지 기계장치에 대한 스케치는 나중에 다른 사람의 이름으로 세상에 나왔으며 어떤 것들은 다빈치대신 Descartes, Pascal, Huygeus가 발견했다고 하는 증거를 들고 있다. 그의 행적에 다소 모호한 점이 있지만 그도 역시 르네상스와 아주 동떨어져 있을 수는 없고 과거 역사로부터 영향을 받았으며 또한 그 후의 세대에 영향을 미치지 않을 수 없었다. 그러나 그의 능력이 매우 탁월했음에도 불구하고 후세에 대한 영향은 그의 능력에 비하여 큰 것은 아니었다.

다빈치가 실험방법의 최초 제안자는 아니더라도 그의 주장을 실제 예로서 입증시키려는 노력은 다른 사람과 사뭇 달랐다. 그는 관측의 필요성을 다음과 같이 강조하였다.

“나는 어떤 주제를 다룰 때 맨 처음 몇 가지 실험을 한 후 왜 이렇게 될 수밖에 없는지를 보여줄 것이다. 이것은 자연현상을 규명하는데 추구해야 방법이다. 사실 자연이란 원인에 의하여 시작되고 현상으로 끝나게 되나 우리는 현상에 기초한 실험으로부터 시작하여 그 원인을 찾도록 노력해야 한다.”

역학분야에서 다빈치는 Albert de Saxe의 2개의 상반된 가설사이에서 선택의 기로에 직면하게 된다. 즉 낙하하는 물체의 속도는 1)경과한 거리에 비례한다와 2)경과한 시간에 비례한다이다. Albert는 결국 2가지 모두 포기하였지만 다빈치는 1세기 후 Galileo와 같이 처음에는 틀린 가정을 나중에는 맞는 가정을 선택하였다. 처음의 오류는 시간증분이 매우 작을 때만 성립되기 때문에 발생한 것으로서 그는 이 오류를 과감히 극복하고 어떤 면에서는



Leonardo가 그린 웨어에서의 물흐름

Galileo보다 한 걸음 앞서기도 하였다. 즉 경사면을 자유로이 미끄러져 내려오는 물체는 경사각도에 관계없이 같은 위치에서는 같은 속도를 갖는다는 사실을 밝혔으며 이 사실은 처음 선택한 잘못된 가정으로부터는 얻을 수 없는 것이다.

다빈치가 전대의 사람보다 훨씬 앞서지 못한 것은 유체저항에 대한 이해부족에서 알



와운동의 형성

수 있다. 그의 비행기 연구에 따르면 새의 날개가 밑으로 움직일 때 공기를 누름(압축)으로서 뜨는 것을 지탱(유지)할 수 있다고 믿었으며 날개의 이동에 의하여 생기는 압축이나 공기가 움직여 생기는 압축이 차이가 없다는 그가 쓴 구절로 보아 상대운동에 대한 인식을 가

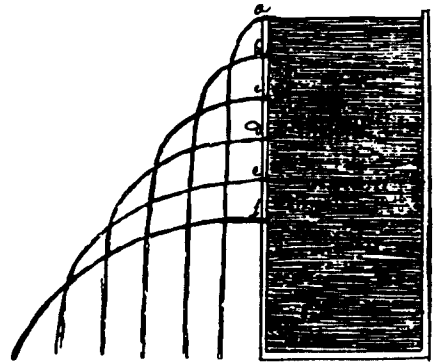
지고 있음을 알 수 있다. 또한 이 사실은 초음속저항에서 압축효과로 나타나는 저항을 설명하고 있다고 하겠다. 그러나 많은 스콜라학자들과 같이 분출시 추진력을 주는 와(eddy)에 대한 개념뿐 아니라 분출속도는 물체의 출발직후에 증가시킬 필요가 있다는 것을 알았다.



물의 자유분출의 모습

다빈치의 역학에 대한 개념과 비행물체에 대한 구체적인 관찰과 더불어 수리학사에서 흥미로운 것은 그가 남긴 문헌인 “Del moto e misura dellacqua”인데 여기에는 다음과 같은 물에 관한 논문을 다루고 있다. ; 수면(water surface), 물의 이동(movement of water), 수파(water wave), 와(eddies), 낙수(falling water), 수쇄력(destructive force of water), 부유체(floating bodies), 관수로 흐름(efflux and flow in pipes), 수력기계(mills and other hydraulic machinery). 이들은 매우 꾸준한 실험, 관찰을 통하여 이루어진 것이며 물론 오류도 보이지만 예전의 연구문헌보다는 훨씬 진보한 것들이다.

그의 기본적인 접근 태도는 “먼저 증거를 제시한 다음 그 이유를 쓰는 것을 잊지 말라”이다. 그가 처음으로 스케치하고 설명을 덧붙인 자연 현상은 와류에서의 속도분포, 자유제트류의 단면도, 단면 급확대와 후류부에서의 와의 발생, 파의 진행, 반사 및 간섭, 배수 등이다. 그는 또한 최초로 유선형, 낙하산, 풍속계를 제안하였다. 유리수조에서 밀도차에 의한 밀도류를 관찰한 최초의 사람이었다. 다빈치는 적어도 1개의 새로운 수리학 법칙 및 여러개의 수리학 공식을 만든 사람으로 기억하여야 한다. 예로서 다음과 같은 그의 관찰을 살펴보자.



액체의 제트분출의 모습

물총을 보자 만약 물이 나가는 노즐부분의 단면적을 피스톤이 있는 몸체보다 1/100로 작게 하면 피스톤이 움직이는 속도보다 100배는 빨리 노즐을 통해 물이 나갈 것이다. 이제 처음것보다 1/100 되는 두 번째 피스톤을 달았다고 생각하면 100배 빨리 움직여야 할 것이다. 마찬가지로 이 피스톤을 1/100의 힘보다 큰 힘으로 밀면 큰 피스톤은 움직일 것이다.

이것은 연속방정식뿐 아니라 수압력에 대한 기본적인 설명임에 틀림 없지 않은가!

다빈치는 이 방법을 직경이 다른 두 개의 수직한 파이프를 연결하여 해석하는데 사용하고자 하였다. 직경이 큰 파이프에는 무게를 무시할 수 있는 피스톤이 있는 작은 파이프에 연결된 펌프의 물이 어느 높이까지 올라갈 수 있는가이다. 그는 다음과 같은 결론을 내렸다.

다른 쪽 관의 물이 이동함에 따라 올라가는 물은 올라가는 길이가 클수록 좁은 관이다. 저하되는 물에 내려간 길이를 곱하고 물을 올리려고 하는 높이로 나누어라. 이 값은 펌프가 뿜어내야 할 물의 최대량이다. 올라가는 높이를 몇 배 더 크게 하려면 관을 그만큼 작은 것을 사용해야 한다.

두 관에서 어느 높이보다 더 위로 올라가는 물의 무게의 비는 두 관 단면의 비와 같다.

이 결론은 타당할 뿐 아니라 Archimedes와 Hero 또는 그들을 추종하는 Arabs나 Scholastics에 의하여도 언급되지 않았던 정수역학의 기본원리를 설명하고 있다. 또한 다빈치는 두 수조사이에 서로 다른 밀도를 갖는 액체의 평형에 이 사실을 응용하였으며 수직으로 분출되는 분류(噴流)에 의하여 얻어지는 상승높이 계산에도 적용하였다. 만약 그가 정적 평형의 원리에 기초하였다면 이들의 발견은 모두 그의 이름으로 불려졌을 것이다. 불행히도 그는 지렛대나 도르래에는 적용되나 두 수조사이에 적용할 수 없는 에너지 법칙을 사용하였으며 따라서 그의 주장은 간단한 검산으로 잘못이 밝혀질 수 있다.

한편 유출문제에 관한 그의 개념은 완전히 잘못되어 있다. 그 이유는 오리피스 부터의 유출률은 수두에 따라 직접변한다고 믿었기 때문이다. 같은 가정에 기본을 둔 난류에 대한 이론 또한 오류를 범하고 있다. 한편 개수로 흐름에 대한 그의 관찰은 좀 더 정확해진다[2].

폭, 수심 및 경사가 같은 직선수로에서는 각각의 운동정도에 따라 속도경사를 알 수 있다. 이것은 어떤 물체가 그의 고유한 경로를 따라 더 멀리 가면 갈수록 속도는 증가하게 되는 데서 타당성이 있다. 그러나 속도경사를 알 수 있다하여도 이동경로에 방해물이 많으면 많을수록 속도는 줄어들게 된다.

직선수로의 물은 저항 때문에 수로벽에서 멀리 떨어질수록 빨라진다. 물은 바닥보다는 수면에서 속도가 빠르다. 이것은 수면에서는 물보다 가벼운 공기와 접하고 있어 저항이 작지만 (물보다 무겁고 움직이지 않는 이것으로부터 바닥에서 멀리 떨어진 곳은 저항이 적다는 것을 알 수 있다.

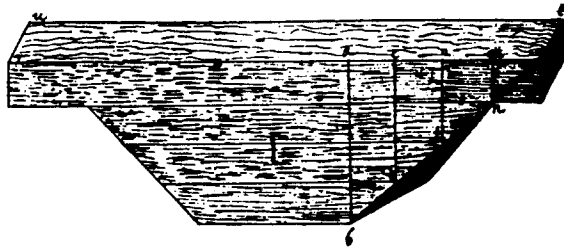
다빈치가 물의 속도(speed)와 수면변동의 전파속도를 혼동하지 않았다는 사실은 자주 등장하는 다음의 글에서 알 수 있다.

수면변동의 전파속도는 항상 물의 이동속도보다 훨씬 크게 된다. 왜냐하면 물은 일반적으로 위치를 변화시키지 않기 때문이다. 즉 파의 운동은 들판에 밀이 땅에 뿌리를 박고 있을 때 바람에 의하여 생겨난 물결과 같은 것이다.

다빈치가 연속방정식을 논할 때는 이 법칙에 그의 이름을 넣어도 좋으리 만큼 독창성과 명확성이 뛰어나게 설명하고 있다.

하천에서는 같은 시간에 어느 부분을 통과하는 물의 양은 하천폭, 수심, 경사, 조도 및 굴곡도에 상관 없이 일정하다.

수면폭이 동일한 하천에서는 수심이 얇을수록 빨라진다..... 이것은 다음 그림과 같이 설명될 수 있다. mn단면에서는 ab에서보다 더 빠르고 빠른 정도는 ab가 mn보다 몇 배가 되느냐로 계산된다. 즉 ab가 mn의 4배라면 4배가 빠르고 cd의 3배 ef의 2배 빠르다.



수심이 일정한 하천에서는 하폭이 큰 곳보다는 좁은 곳에서 더 빠르게 된다.

Duhem은 다빈치의 마지막 문장의 원천을 아리스토텔레스에 의한 “조석에 의한 좁은 해역에서 관찰될 수 있다”는 어원에서 찾고 있다. 그러나 이것이 사실일지라도 양에 관하여 언급한 것은 다빈치에 의한 것임에 틀림없다. 또한 폭이 줄어드는 곳에서는 사람들의 밀도가 높고 빠른 속도로 움직인다는 사실을 보여줌으로써 현재와 유사한 연속방정식을 설명한 사람도 그이다. 수압의 개념만 아니라면 연속방정식은 확실히 그의 아이디어이다.

한편 다빈치보다는 훨씬 다재 다능하지는 못하지만 약간 젊은 동시대의 사람으로서 이후 과학발전에 큰 영향을 끼친 사람이 있었으니 그가 Nicolas Copernicus(1473~1543)이다. 그는 폴란드 태생으로 Cracow에서 수학을, Bologna에서 교회법과 천문학을, Padua에서 의학을 공부하였다. 그는 Heilberg에서 의사로 활약하였으며 Frauenburg에서는 성당의 성직자였으나 그때 그는 이탈리아에서 공부할 때 흥미를 느낀 태양계의 새로운 이론을 시험하는데 몰두하고 있었다. 당시에 천동설(Ptolemaic)은 학자들 사이에 매력을 잃어가고 있었으며 태양이 우주의 중심이라는 피타고라스 이론은 공공연하지는 못하지만 열띤 논의가 진행되고 있었다. 그가 고안한 기계는 조잡하였지만 Copernicus는 행성이 태양을 중심으로 원을 그리며 움직인다는 사실을 보여주었다. 상대운동의 원리를 응용함으로써 천동설을 교정하였으며 그의 이러한 발견은 교황의 승인을 얻기에 이르렀으며 이 사실은 그가 죽기 전에 인쇄되어 책으로 발간까지 되었다. 그때에는 대중의 반발을 감안하여 이 책에서 다루는 이론은 순전

히 가설이다라는 것을 책서문에 명기하는 것이 보편적이었다. 소요학파(Peripatetic)와 스콜라(Scholastic)학파의 중력에 대한 아래의 글은 Copernicus의 이유있음을 대변하고 있다[3].

지구의 모든 지점은 중심을 향하여 서 있기 때문에 둥글어야 한다. 중력이란 완전하고 유일하고 우주를 창조하신 하느님의 나라안에 있는 지구의 한 부분에서 나타나는 자연적인 경향이외의 아무것도 아니다. 이러한 경향은 동시에 태양에게도, 달에게도, 별들에게도 있을 수 있다.... 땅과 물은 중력의 중심을 향도록 애쓰고 있으며 중력의 중심은 지구의 중심과 전혀 다르지 않다는 것은 명백하다.

이 무렵 프랑스 스콜라학파에 대한 것으로 파리에서 공부했던 Francisco Soto(1494~1560)의 기록으로부터 자유낙하에 대한 문제해석은 드디어 등가속도의 경우로써 인식하게 까지 진전되었음을 보이고 있다.

시간에 따라 일정하게 변형하는 운동은 다음과 같은 변형을 말한다. 즉 만약 시간을 따라가 지점의 운동을 구분하여 말할 때 중심점에서의 운동은 가장 약한 부분의 운동을 초과하며 그 양은 가장 강한 운동과의 차이 만큼이다....이런 종류의 운동은 자연적 운동이나 분사추진과 같은 물체의 특성을 나타낸다.

이 글은 Galileo의 실험이 있기 수십년 전 Soto에 의하여 쓰여진 것으로 필자가 누구인가가 중요한 것이 아니라 이미 이러한 지식이 그때 당시에 존재하고 있었다는 것을 보여주고 있다.

Duhem은 다빈치를 따랐던 수많은 이탈리아인들의 연구가 그의 연구를 반영했을 뿐 아니라 후세의 연구가들로 하여금 그가 완성하지 못했던 부분을 공식화하는 계기를 만들었다고 하였다. 이들 중의 한 사람은 Girolamo Cardano(1507-1576)이다. 그는 수학자이자 의사로서 Pavia와 밀라노에서 활동했으며 그의 도덕성보다는 과학적 천재성이 돋보였다. 그는 자유로이 다빈치의 연구를 모방하였다. 그러나 그의 연구중 가장 중심이 되는 부분은 다빈치의 것이 아니라 아리스토텔레스의 것이었다. Peripatetic학교에서의 교편생활에서 물이나 흙뿐만 아니라 공기도 무게를 가진다고 하는 것을 알게되었고, 어떠한 물질의 자연적 동작은 그들의 상대적 밀도에 의해서 오로지 좌우된다고 하였다. 지금껏 공기밀도의 측정이 종종 시도되었지만 성공하진 못하고 있다. Caradano는 그래서 물과 공기의 두 가지의 조건에서 유리구슬의 낙하시간을 측정함으로써 물의 밀도에 비례해서 공기의 밀도를 결정하는데 노력해 왔다. 나타내어진 1:50의 비율이 잘못된 것이라고 하는 것보다는 아마도 어떠한 값의 결과를 산출하는데 충분한 분석없이 이것이 완벽한 실험의 실례라고 한 것이 더 중요할 것이다.

Duhem에 의해서 인용된 사람중 또 한 사람은 낙하원리와 서로 통하는 2개의 용기에서 액체의 평형에 관심을 가졌던 베니스의 수학자 Giambattia Bernidett (1530-1590)이다. 1585년에 인쇄된 다양한 과학기사의 책들 중 한 서적에서 Benidett는 다빈치가 시도했었던

물을 압축하고 들어 올리는 펌프에 대해 논하였다. Benidett는 피스톤이 놓여진 횡단면과 액체기둥의 높이사이의 관계에 관하여 다빈치가 내렸던 똑같은 결론에 정확히 도달했다. 그러나 그는 작용의 개념에 관해서는 원리에 반박할 뿐만 아니라 다빈치의 잘못된 논지로부터 그 유도를 보완하면서 대신 간단한 힘의 균형을 사용했다. 왜냐하면 그는 역학대신에 정역학적인 방법을 도입하였기 때문이다. 그러나 여전히 수압에 관해서는 분석이 되지 않았다.

Duhem에 의해서 논의된 다빈치의 세 번째 후계자는 Padua에서 수학했고 그의 언어적인 능력과 다작으로 알려진 Bernardo Baldi(1553-1617)이다. 그의 저서들 중에는 아리스토텔레스, Enclid, Hero 그리고 Vitruvius의 연구들에 관한 평론과 번역이 포함되어 있다. 주목할만한 것은 역학, 정수역학, 수력학에 관한 평론이 종종 원문에 관한 언급없이 다빈치의 노트로부터 거의 대부분 인용했다는 것이다. Baldi가 스스로 노트를 표절했을지 또는 무의식적으로 표절했는지는 알려지지 않았다. 만약 그렇다고 한다면 그의 연구들은 확실히 다빈치의 연구업적들을 다른 시대, 다른 장소에 옮겨 놓는 하나의 수단에 불과했다.



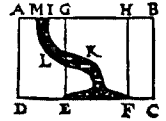
Simon Stevin

이 시대에 있어 다빈치의 영향의 흔적없이 정수역학의 발달에 기여했던 사람은 네덜란드의 수학자인 Simon Stevin(1548-1620)이다. Bruges에서 태어난 그는 후에 나라의 관리가 되어 수리에 관련된 일을 하였고 또한 장군이 되어 국민들 사이에서 그의 전투방법과 발명품들 때문에 신임을 얻었고 특히, 저지대를 통제하는 수문장치를 이용하는 장치의 고안으로 더욱 많은 신임을 얻었다. 수학자로서 그는 힘의 삼각관계를 발전시켰으며 소숫점 끝자리의 사용을 일반화했으며 십진 화폐구조, 중량과 측정법의 도래를 예견했다.

Flemish에서 1586년 인쇄된 정역학에 관한 그의 연구인 De Beghinselen Des Waterwichts는 그에게 커다란 명성을 안겨주었다. 왜냐하면 평판 위의 액체가 미치는 힘에 관한 최초의 정확한 분석을 했고 정수역학의 역설에 관해 최초로 설명을 하려했기 때문이다. Stevin의 연구에 대한 소문은 재빨리 이탈리아에 도달했고 Baldi의 서문에서 언급되었으나 언어의 장벽 때문에 그의 연구는 1608년 라틴어로 번역될 때까지 널리 알려지지 못했다.

Stevin의 기본가정은 아르키메데스를 거의 따랐으나 평행상태 존재에대한 증명방법은 가정된 영구운동의 불가능성을 택하였다. 예를 들면, “어떤 지정된 형태의 물은 물속에서 어떤 위치로든 존재한다”는 명제를 그는 “만약 사실이 아니라면 이 물은 영구운동을 할 것인데 이것은 모순된다”는 근거에 의해 사실임을 보였다.

정수역학에 있어서 그의 주된 공헌은 다음의 제안으로부터 유래되었다.[4]



수평선에 평행한 물의 바닥은 물기둥의 무게와 동일한 무게를 받게 된다. 이것의 근거는 앞서 진술한 바닥과 표면사이의 수평선에 대한 수직한 선의 길이이다.

이것은 그가 수직의 우물이 있는 용기 ABCD를 언급하고 만약 바닥의 EF의 어떤 부분의 하중이 위에 놓인 기둥의 무게보다 크다면 총하중은 총무게보다 클 것이라는 것을 보임으로써 증명했다. 이것은 다시 한 번 모순된 것일 것이다. 다음에 그는 연직이 아닌 우물의 경우에 대해 언급했다.

다시, 물 ABCD에 몇 개의 (밀도가 같은) 딱딱한 물체를 두고 그러면 단지 물 IKFELM에 대한 공간만 생긴다. 그러면 바닥 EF위에 놓여진 이 물체(물)은 늘지도 줄지도 않는다. 따라서 명제에 따르면 바닥 위에는 기둥내의 물의 질량과 동일한 질량이 놓이고 높이는 바닥에서 표면까지 이르는 수평선에 수직한 선의 길이와 같다.

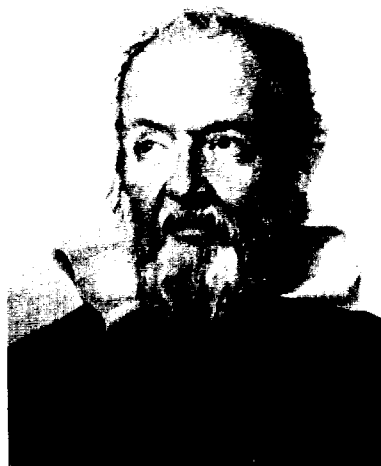
Schor가[5] 지적했듯이 이 증명은 완전히 만족스러운 것은 아니며 몇가지의 Stevin이 유도한 결과에서 이전 지식들이 상당한 도움이 되었다는 느낌을 벗어나기는 어렵다. 게다가 정수역학에 대한 그의 이해를 완전히 인정한다 하더라도 사람들은 여전히 Dijksterhuis에 동의해야만 한다. 그것은 매우 필수적인 개념이 그의 논거에서 빠졌다는 것인데 “Stevin은 액체의 어떤 점에 작용하는 압력이 모든 방향에서 같다는 지식을 알지 못했다. 다음으로 Stevin은 정적인 연구에서 관계를 이끌어 내기 위한 한 가지 관점만으로 그가 다루었던 다양한 주제(아르키메데스의 원리, 정수역학의 역설, 경사진 우물체의 압력)를 이끌어 내는데 성과를 거두지 못했다.

각각 다른 나라에서 독립적으로 연구하던 3명의 과학자가 지금까지 이 책(수리학사)이 언급해왔던 르네상스시대를 마감하면서 고찰될 것이다. 그중 첫번째는 —아마도 제일 업적이 빈약한— Francis Bacon이다. Bacon이 과학자인지 아닌지는 논란의 여지가 있다. 적어도 과학적인 철학자로서 그는 스콜라철학의 악덕을 비난한 반면 관찰된 사실들의 과학적 분석에 의한 연구를 옹호했다. 더욱이 그의 연구는 실질적으로 지식의 확산에서 결정적인 역할을 했던 왕립협회의 구성을 이끌어 냈다. 그리고 그는 물의 압축성에 대한 최초의 실험적 증명을 했다고 알려졌다.

Bacon과 동시대인인 Johann Kepler는 Ulm에서 지동설의 원리에 대해 배웠고 1594년에 Gratz에서 천문학(실제로는 점성학)협회장으로 임명되었다. 거기서 그는 사이비 과학자들이 제시한 사실들을 바로 잡으며 그가 작성하려고 한 천공도에 최선을 다했다. 그는 마침내 Tycho Brache가 회전하는 행성궤도의 지동설로부터 야기된 오차를 밝히기 위한 시도를 하

고 있었던 프라하로 옮겼고 Brache가 죽은 뒤 그의 계승자가 되었다. 그리고 Brahe는 아주 뛰어난 기계기사였고 Kepler는 측정된 자료에 대해 노련한 분석가가 되었기 때문에 그들이 널리 알려지게 되었다. 그가 물려받은 Brache의 장비와 기록 그리고 그 자신만의 많은 관측으로부터 그는 3가지의 기본적인 천문학 법칙을 연역해낼 수 있었다. 행성궤도의 타원의 법칙, 같은 시간의 행성들 중에서 어느 하나에 의해 발생한 각 면적의 불변, 그리고 궤도주기의 자승과 태양으로부터의 궤도 반지름의 3승에 비례, 이러한 것들은 지금도 꾸준히 발견되는 공학원리의 당연한 결과이다.

Galileo는 Bacon, Kepler등 동시대의—여태까지 언급한 역사에서 다루었던—인물중 가장 중요한 3명이다. Galileo는 Pisa에서 가난한 귀족이자 수학자이고 음악가인 집안에서 태어났고 피렌체 지방에서 가까운 수도원과 Pisa대학에서 교육을 받았다. 집안이 어려워 그는 학위를 받기 전에 학업을 중단했지만 그럼에도 불구하고 피렌체의 수도원과 Pisa대학에서 강사로 초청받았다. 그곳에서 그는 그의 주된 실험인 물체의 낙하실험을 하였다. 1592년부터 1610년까지 Galileo는 수학교수로 재직할 Pauda에서 Copernicus의 이론을 받아 들였는데 반항이 두려운 나머지 그의 연구를 발표하지는 않았다. 그 시기에 그는 32배를 확대할 수 있는 망원경을 만들었고 약 백개의 망원경을 생산하여 팔기도 하였다. 적어도 그것들 중의 하나는 Kepler에 의해 사용되었을 것이다. 그의 망원경을 이용해 달의 계곡, 목성 그리고 은하수를 이루는 별들을 발견하는 업적을 남겼다.



Galileo Galilei

1610년 교수로 재직할 당시 Galileo는 공공연하게 Copernicus의 일반적인 이론을 옹호하였다. 하지만 동시에 그는 그것이 성경에 의해 확립된 것임을 증명하려고 노력했다. 그 결과 교회의 압력에 의해 그의 연구범위는 신학을 제외한 물리학에 한정되었다. 일찍이 Copernicus의 이론에 대한 교황의 승인에도 불구하고, 마침내 1616년 교황은 Galileo로 하여금 그의 이론에 대한 강의를 금지하였고 그는 이를 따르기로 약속했다. 하지만 피렌체에서의 7년간의 침묵은 그가 참을 수 있는 한계였고 그는 차츰 당시 이단적이었던 그의 강의와 저술을 다시 시작했다. 1632년 “Dialogo dei due massimi sistemi del mondo”란 책은 발간한 피렌체뿐 아니라 유럽도처에서 환호를 받았지만 곧바로 로마교회의 반발이 일어났고 그의 이상의 발표는 금지되었다. 다음해 Galileo는 종교재판소의 엄격한 조사를 받았으며 그의 주

장을 철회하고 그의 생애의 마지막 8년간을 피렌체에 격리되도록 선고받았다. 그럼에도 불구하고 그는 1638년 Leyden에 "Dialogo delle nuove scienze"란 글을 발표하였고 그의 위대한 업적은 아직까지 후세에 전해져 오고 있다.

그의 힘에 대한 개념이 실질적으로 운동분석의 좁은 분야였기 때문에 Galileo의 업적중 두드러진 부분은 역학분야, 특히 운동학에 있다. 여러번의 실패를 거친후 그의 자유낙하이론은 Francisco Soto의 자유낙하이론[3]과 같을 뿐만 아니라 그를 능가했다.

자연적인 운동에 있어서 낙하거리는 낙하시간의 제곱에 비례한다. 따라서 등간격으로 낙하한 거리는 각각 1로 시작하는 연속적인 홀수이다.

Galileo는 가벼운 물체와 무거운 물체의 낙하 모의 실험을 통해 그것이 물체의 무게에 좌우되지 않는다는 것을 증명하려 했는데 이러한 관계의 비례인자는 산출하지 못했다. 그는 여러 각도로 기울어진 바닥 면에서의 물체의 미끄러짐 실험을 했는데 이에 대한 일반적인 결론은 다음과 같다.

만약 같은 높이의 기울어진 면과 수직면이 있고 같은 물체가 정지한 상태에서 내려오면 이에 걸리는 시간은 기울어진 면과 수직면의 길이에 따라 다를 것이다.

최종적으로 이러한 결론은 다음과 같은 추진운동의 분석에 연결된다.

아무런 장애물이 없는 수평면상에서 움직이는 물체를 생각해 보자. 만약 그 면이 무한하게 확장된 것이라면 그 움직임은 등속도로 무한정 계속될 것이다. 하지만 만약 그 면이 제한되었고 공기가 존재한다면 중력의 지배를 받는다고 가정할 물체가 극한점을 지나칠 때 초기등속도와 물체가 가지는 중력에 의해 아래쪽으로 계속 움직이려는 성질이 추가될 것이다. 이 사실로부터 어떤 운동은 수평운동과 자연적으로 가속되는 낙하운동으로 구성된다는 것을 알 수 있다. 나는 이러한 운동을 추진이라고 부른다.

수평등속도운동과 자연적으로 가속되는 낙하운동에 의해 발생하는 추진은 포물선으로 묘사될 수 있다.

이러한 Galileo의 연구와 관련하여 놀랄만 한 것은 그와 Kepler는 초기의 중력가속도와 후에 Newton에 의해 결합된 행성의 운동 개념을 가지고 있었으며 반면 다른 주요한 발견은 의도적으로 무시했다는 것이다.

1612년 Galileo의 정수역학 강연에서의 발표에도 불구하고 그의 정수역학에 대한 기여는 실험과학으로써 그의 역학정립의 결과와는 많이 상이하였다. 그는 사실 하늘의 물체의 움직임보다는 일상생활에서 만날 수 있는 움직임에 대해 더 많이 알아야 한다고 주장했다. 추실

험과 자유낙하실험을 통하여 Galileo는 각각의 운동은 운동하는 물체주위의 공기들로부터 저항을 받는다는 사실을 알았고 실제로 이러한 저항들은 물체의 속도와 매체인 유체의 밀도에 비례한다고 언급하였다. 그는 처음에 잠긴 물체주위의 유체와 수로내의 유체사이에 유사성을 찾지 못하고 대신에 수로내의 유체와 기울어진 판에서 물체가 미끄러질 때의 유사성을 가정하였다. 속도라는 것은 수로의 길이에 관계가 없고 총낙하고에만 관계가 있다는 신념하에 그는 강에 있어서도 강의 길이는 아무런 의미가 없다고 여겼다.

그의 저서에서 Galileo는 아직까지 명확치 않은 진공에 대하여 적절히 기술하여 놓았다. 흡입펌프에서 흔히 보였던 이런 현상에 대하여 기술하면서 그는 펌프가 18cubits(약 10m)이상의 물을 들어올릴 수 없다고 설명하였다. 반면 그는 이런 현상들을 다음과 같이 받아들였다.

지금까지 나는 끈이나 나무나 쇠로 된 어떤 긴 막대가 충분히 길다면 그 막대의 끝을 세워서 잡고 있다면 그 막대는 자중에 의해 저절로 부서진다는 사실을 알면서도 물기둥에서는 더 쉽게 그 일이 일어난다는 사실을 미처 생각하지 못했다. 그리고 정말로 펌프에 의해 끌어올린 물이 끝부분이 고정되어 되어있다면 그것의 초과중량에 의해 끈처럼 부서지는 높이까지 끌어올려질까?

이것이 그런 원리이다. 즉, 고정된 18cubits의 높이는 물의 양이나 펌프의 크기, 물기둥의 직경, 심지어 빨대처럼 가늘더라도 변함이 없다는 것이다. 그래서 18cubits의 물기둥 높이의 무게로 기둥의 직경이나 재료에 상관없이 진공의 저항을 받게된다.

액체의 인장력에 대한 Galileo의 우연한 예견에서 그 당시 까다로웠던 진공에 대한 Galileo의 이런 암시적인 결론은 명확하게 기술할 수 있게 되었다.

다빈치가 젊었을 때로부터 Galileo가 죽을 때까지의 2세기는 형이상학에서 물리과학으로의 (만약 시작도 끝도 아니었다면)역학 역사에 있어서 매우 중요한 시기였다.

이 시대에는 모든 분석이 손에 의해 이루어졌기 때문에 이러한 전환도 대부분 실험에 의해 이루어졌다. 그러나 대부분 실체가 없는 순수이론을 심지어 매우 기초적인 분석조차도 실험적 분석으로 바뀐 사실은 실제로 좋은 현상이었다. 그 당시 수리학은 거의 대부분 실험적 사실이 역학의 기초에 바탕을 두고 있어 한 단계정도 뒤쳐져 있었다. 그럼에도 불구하고 다빈치는 마침내 연속체법칙의 기본을 설명하였고 그와 Benedit, Stenm은 정수역학을 발전시켰으며 Galileo는 기이한 현상인 진공에 대해 밝혔다. 그리고 다빈치와 Galileo는 실험적(관측적)연구의 근간을 마련하였다.

참 고 문 헌

- [1] DUHEM, P., *Etudes sur Léonard de Vinci*, Ser. 1, 2, and 3. Paris, 1906, 1909, and 1913.
- [2] LEONARDO DA VINCI, *Del Moto e Misura dell'Acqua*, edited by E. Carusi and A. Favaro, Bologna, 1924.
- [3] DUGARA, R., *Histoire de la Mécanique*, Paris, 1950.
- [4] DEJDSTERHUIS, E. J., *Simon Stevin*, The Hague, 1943.
- [5] SCHOR, D., "Simon Stevin und das hydrostatische Paradoxon." *Bibliotheca Mathematica*, Sr. 3, Vol. 3, 1902.
- [6] FLACHSRART, O., "Geschichte der experimentellen Hydro- und Aerodynamik," *Handbuch der Experimentalphysik*, Vol. 4, Part 2, Leipzig, 1932.
- [7] GALILEO, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, translated by H. Crew and A. de Salvo. Chicago, 1939.(DOVER)