



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



**저작자표시.** 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



**비영리.** 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



**변경금지.** 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

아리스토텔레스와 갈릴레오의  
운동론 비교



2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

물 리 학 과

노 재 화

이 학 석 사 학 위 논 문

아리스토텔레스와 갈릴레오의  
운동론 비교

지도교수 이 종 규

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함.



2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

물 리 학 과

노 재 화

노재화의 이학석사 학위논문을 인준함.

2007년 2월 23 일



주 심 문학박사 박 원 용 인

위 원 문학박사 이 근 우 인

위 원 이학박사 이 종 규 인

# 목 차

목 차	i
그림 차례	ii
Abstract	iii
I 서론	1
II 본론	4
II.1 아리스토텔레스의 역학	4
II.2 갈릴레오의 역학	8
II.3 아리스토텔레스와 갈릴레오의 운동론 비교	11
II.3.1 자유낙하 운동	11
II.3.2 투사체 운동	19
II.3.3 새로운 관성개념	22
II.3.4 과학방법 비교	24
III 결론	26
참고문헌	27
감사의 글	28

## <그림 차례>

그림 1. 평균속도 정리에 대한 기하학적 도식 .....	15
그림 2. 등가속도 운동에 대한 기하학적 도식 .....	17
그림 3. 투사체 운동의 궤적 .....	22



# A Comparative Study on the Dynamics of Galileo and Aristotle

Jae Hwa Roh

Department of Physics, The Graduate School, Pukyong National University

## Abstract

The dynamics of Galileo and Aristotle were compared and analyzed in terms of (1) falling motion, (2) motion of projectiles and (3) concepts of inertia to investigate the historical meaning of Galilean dynamics.

(1) Falling motion : The falling motion of Aristotle was related not only to his view of nature but his view of materials. He classified motion into natural motion, which began from the nature of the object, and forced motion, which was forced to move due to external power. On the other hand, the dynamics of Galileo started from observations and measurements. Aristotle considered that the speed of a falling object was in proportion to the weight of the object but in inverse proportion to the resistance of the medium. In contrast to the dynamics of Aristotle, Galileo explicated that the falling speed had in no relation to the weight, but was related to the medium with the speculative experiment under an idealized condition of a vacuum. Therefore, Galileo made a basis for early modern science by explicating the relationship among variables with idealized conditions and experiments.

(2) Motion of the projectile : Aristotle was not able to explain the trajectory of the projectile motion such as a parabola motion since he explained that the forced and natural motions were independent and could not work on an object at the same time. In projectile motion, an object fell down to earth as the natural motion when the forced motion quit. On the other hand, Galileo was able to deconstruct the complicated motion into simple elements. The projectile motion consisted of the mixture of horizontal motions and uniformly accelerated diagonal motions, which described the trajectory of a projected object mathematically,

(3) Concept of inertia : About the rotation of the earth, Aristotelians raised the question why an object dropped from the top of a tower falls down on the same point on the earth although it should fall down in the different direction based on the rotation of the earth. In order to solve this problem, Galileo introduced a new concept of inertia. He explained that the motion of a dropped object has the same form as the motion after the object passed the highest point in the projectile motion since the tower and the object rotate along as the earth rotates.

As we have seen so far, whereas Aristotle, seeing motion as having a cause-effect relationship, started from commonsense and empirical observation, and then reached a generalization through rational speculation, Galileo, seeing motion as a state, idealized conditions, and generalized using mathematical and experimental methods. This can be said to be a paradigm shift as it shows that Aristotle's and Galileo's viewpoints and methods of motion are completely different from each other. Therefore, Galileo is often called the father of early modern science.

# I 서 론

현대과학은 우리의 삶을 하루아침에 바꾸어 놓을 수 있을 정도로 큰 힘을 가지고 있다. 그렇기 때문에 우리는 이것을 적절히 통제를 해야 할 필요가 있다. 그렇지 못하면 우리가 원하지 않는 방향으로 영향을 줄 수 있기 때문이다. 이것을 통제하기 위해서는 먼저 그것을 알아야한다. 그러면 현대과학을 알기 위해서는 어떻게 하여야할까? 여러 가지 많은 방법들이 있겠지만 현대과학의 뿌리라고 할 수 있는 근대과학의 형성과정을 알아보는 것도 현대과학을 이해하는 하나의 방법이 될 수 있다. 그러나 근대과학의 형성과정을 모두 안다는 것은 더 많은 노력과 능력이 필요한 것 같다. 그래서 여기서는 근대과학의 선구자라고 하는 갈릴레오의 과학에 대해서 그 이전의 과학 체계라 할 수 있는 아리스토텔레스의 과학과 비교·분석하여 그 역사적 의미를 알아보하고자한다.

과학의 역사적 뿌리는 두 가지의 주된 근원을 갖고 있다. 첫째는 기술적 전통으로, 실제적인 경험과 솜씨가 손에서 손으로 옮겨져, 시대에서 시대로 발전하고 있었다. 둘째로는 정신적 전통으로, 그 속에서 인간의 소망과 상념이 계승되고 확대되어 갔다. 일반적으로 두 가지 전통이 접근하기 시작하여 오래지 않아 결합함으로써 새로운 전통, 다시 말해서 과학의 전통을 낳게 된 것은 중세 후기 및 근대초기가 되어서부터이다. 그 후에 과학의 발전은 한층 더 자율적으로 되었고, 과학은 실제적인 요소와 이론적 요소를 함께 품어, 기술적·철학적 의미를 가진 결과를 가져왔다.<sup>1)</sup>

17세기의 과학 혁명 중 일반인에게 가장 큰 영향을 끼친 것은 코페르니쿠스에 의해 시작된 천문학 혁명이라 할 수 있다. 그 이유는 일반인들

---

1) 메이슨, 「과학의 역사」 박성래역, (서울:까치글방,1987), 11-12

의 생활과 밀접한 관계가 있는 우주관에 영향을 미치기 때문이다. 일반인들에게는 천문학만큼 영향을 미치지 못하였으나 과학 자체의 발달에 큰 영향을 미친 것은 갈릴레오 갈릴레이에 의해 시작된 역학 혁명이라 할 수 있다. 왜냐하면 근대운동론의 성립은 물리학의 수리화와 근대화를 가져왔고, 더 나아가 다른 과학 분야들에도 양적인 접근을 통한 혁신을 유도하는 영향을 미쳤기 때문이다.<sup>2)</sup>

갈릴레오(1564~1642)는 근대의 중요한 물리학적 법칙들을 발견하였으며, 케플러와 더불어 우리가 오늘날 과학혁명으로 표현하는 근대과학의 변혁을 주도한 사람이다. 그러나 갈릴레오의 중요성은 단순히 새로운 법칙들을 발견한 데 있는 것이 아니라, 사고방식의 혁신을 통해 근대의 과학적 발전을 가능하게 한 지적 토대를 마련했다는 데에 있다. 갈릴레오로부터 시작된 새로운 과학적 연구방식은 17세기에서 19세기에 이르는 근대의 모든 과학 분야의 변화와 발전을 주도하는 과학적 사고의 원형으로 작용했다.

모든 과학적 연구는 세계관적 관념과 방법적 원칙을 포함하는 일정한 지적 토대 위에 성립한다. 그것은 일정한 과학체계나 과학자 집단에서 보편적으로 통용되는 지적 활동의 틀로서, 과학자의 연구 방향을 정해 주고, 정당화해 주는 역할을 한다.

우리가 오늘날 과학사적 업적으로 평가하는 갈릴레오의 연구는 코페르니쿠스가 제안한 태양중심가설을 지지하기 위한 목적으로 시작하였다.<sup>3)</sup>

갈릴레오의 운동론이 어떻게 성립하였는지에 대해서는 서로 반대되는 두 가지 견해가 있다. 하나는 갈릴레오의 운동론이 성립하는 데 이상화를 포함한 수학적 사고가 미친 영향을 강조하는 견해와 진자, 낙하, 경사면 하강 등 실험이 미친 영향을 강조하는 견해가 있다.<sup>4)</sup> 두 측면으로

2) 이필렬, 「자연과학 개론」, 74, (서울:한국방송통신대학출판부, 1994),

3) 김국태, “갈릴레오의 물리학”, 계간과학사상, 1997 겨울

평가될 수 있다는 것은 갈릴레오의 운동론이 근대과학의 특성이라고 하는 자연현상의 수학화와 실험정신을 포함하고 있다고 볼 수 있다.

갈릴레오의 저서 「새로운 두 과학」에 보면 논박의 대상이 아리스토텔레스라는 것을 알 수 있는데 이것은 그 당시 과학자들이나 일정한 과학 체계에서 보편적으로 통용되던 지적 활동의 틀이 아리스토텔레스의 사상이었음을 보여주는 것이다. 시간적인 차이로 인하여 그 사이 아리스토텔레스의 운동론에 약간의 변화와 개선은 있지만 갈릴레오 이전의 운동론은 근본적으로 아리스토텔레스의 운동론 체계라 할 수 있다.

본 연구에서는 아리스토텔레스의 운동론과 갈릴레오 운동론을 분석하고, 자유낙하운동, 투사체 운동, 새로운 관성 개념의 도입 등을 중심으로 아리스토텔레스와 갈릴레오의 운동론을 비교하여 갈릴레오 운동론을 패러다임의 변화<sup>5)</sup>라는 관점에서 재조명해보고자 한다.

---

4) 김성환, “갈릴레오의 물질론”, 시대와 철학, 1997

5) 쿤의 「과학혁명의 구조」에서 ‘과학자가 실험실에서 행하는 조작과 측정들은 경험에 의해서 ‘주어지는 것’이 아니라 ‘공들여 수집한 것’이다’고 하였으며, ‘실제에서 과학은 하나의 패러다임을 그 패러다임이 부분적으로 결정지어준 직관적 경험에 병치시키는 데에 의미가 있는 조작과 측정을 선별한다. 그 결과 상이한 패러다임을 신봉하는 과학자들은 서로 다른 구체적인 실험 조작들을 수행한다’고 하였는데, 여기서는 같은 현상을 보고 공들여 수집한 것들과 방법이 서로 다름을 보여 패러다임이 상이함을 보이고자한다.

## II 본 론

### II.1 아리스토텔레스의 역학

아리스토텔레스는 칼키디케 반도의 스타게이로스에서 기원전 384년에 의사의 아들로 태어났다. 18세가 되던 해에 그는 아테네로 가서 플라톤의 아카데미에 입학하여 기원전 347년 플라톤이 사망할 때까지 20년 동안 수학했다. 아리스토텔레스는 플라톤으로부터 그의 아카데미에서 행해졌던 변증술적 담론을 통하여 받은 영향이 컸다. 하지만 그는 플라톤의 이론에 대하여 비판을 모색하기도 했으며, 또 독자적인 사상을 다듬기도 하였다. 플라톤이 작고하자 아리스토텔레스는 아테네를 떠나 소아시아 연안에 위치한 앓소스로 갔다가 다시 레스보스 섬으로 갔다. 그의 해양 생물학에 관한 연구는 대부분 이 지역에서 이루어졌다. 기원전 342년에는 마케도니아의 왕자 알렉산드로스의 교육담당으로 초빙되어 갔으나 그 뒤의 일에 대해서는 알려져 있지 않다. 몇 해 뒤 아테네로 돌아와 튀케이온이라는 학원을 신설했는데, 그 곳에서 갖가지 연구들이 행해졌다. 그러나 그는 기원전 323년 정치적인 이유로 아테네를 떠나 에우보이아로 이주해서 이듬해 그 곳에서 세상을 떠났다.<sup>6)</sup>

아리스토텔레스의 과학사상은 방대하면서도 서로 잘 연관되어 짜여져 있기 때문에 운동이론을 다루는 데는 그의 자연관과 물질관을 아울러 다루는 것이 이해하기에 편하다. 아리스토텔레스는 많은 학문 분야를 연구했고, 그 각 분야를 자기가 세운 기본원리와 논리에 입각해서 상당히 체계화했다.

---

6) J.L.아크릴, 「철학자 아리스토텔레스」, 17, 하석환역, (서울:서광사, 2001)

우선 그는 사람이 느끼고 알 수 있는 세계를 <완전한 하늘>과 <불완전한 땅>으로 양분한다. 하늘의 세계는 변화가 없고 모든 천체는 완전한 원운동만을 하는데 반해 땅의 세계는 변화의 세계라 규정한다. 그리고 이 두 개의 세계를 구분 짓는 것이 달이라고 말한다. 달 표면이 완전히 투명하지 못한 상처 같은 것을 우리 눈에 보여주는 것은 그것이 불완전한 세계와 완전한 세계의 경계에 있기 때문이다. 이와 같이 하늘과 땅을 둘로 나눠보는 생각은 피타고라스나 플라톤의 전통이 그대로 계승된 것이며, 온전한 원운동의 생각도 계속되는 전통이었다.

아리스토텔레스의 동심원적인 우주관과 지구 중심의 우주관은 에우독소스의 동심천구설을 계승했다. 그러나 그는 에우독소스가 설명을 위해 기하학적 모델만을 생각하고 있던 천구설을 그대로 실재하는 천구로 고정시켜 갔다. 지구를 중심에 두고 천구가 겹겹이 싸여있고 그 천구에 행성들과 항성들이 붙어 지구 둘레를 돈다. 천체는 우리 눈에 보이지만 천구는 투명한 물질로 되어 있어 우리 눈에 보이지 않는다. 그는 이 천구는 물질을 통과하지 못하나 빛은 통과할 수 있는 것이라 믿었다. 우주 제일 밖에는 모든 천체를 하루에 한 바퀴씩 돌려주는 우주운동의 주재자인 종동천(宗動天)이 있다. 하늘을 만들고 있는 물질은 땅을 만들고 있는 4원소와는 전혀 다른 제 5의 원소로 되어 있다. 그것은 무게도 없고 투명하며 완전한 물질이다. 그와는 반대로 땅위의 물질은 탁하고 무게가 있다.<sup>7)</sup>

아리스토텔레스의 운동론을 부정하는 주장들이 일부 있었지만 이것들은 패러다임의 전환을 이룰 수 없었기 때문에 인정받을 수 없었고, 아리스토텔레스의 운동론이 근대까지 지속되었다. 과학혁명은 과학의 패러다임을 변화시킨 것이다. 아리스토텔레스-프톨레마이오스의 지구중심의 우

---

7) 박성래, 「과학사 서설」, 27, (서울:한국외국어대학교출판부, 1979)

주론과 천문체계에서 코페르니쿠스-케플러의 태양중심의 우주론과 천문 체계로, 아리스토텔레스-스콜라학파의 운동론이 갈릴레오-뉴턴의 운동론으로 대체되었다.<sup>8)</sup>

중세의 과학 이론이 대부분 아리스토텔레스의 이론을 바탕으로 했는데 그 대표적인 것이 물리학이다. 아리스토텔레스의 운동론에 따르면 운동하는 모든 것은 기동자라는 원인이 있다. 그러므로 그 운동의 이치는 기동자를 밝히면 알 수 있다. 그의 운동은 무생물의 위치가 이동하는 것뿐만 아니라 쇠가 녹스는 것, 나뭇잎에 단풍이 드는 것, 색깔이 퇴색하는 것 등 자연체계가 변하는 것 모두를 의미하는 것이다. 생명체나 하늘의 운동은 원인을 알 수 없으나 무생물의 운동은 알 수 있다. 그것은 운동의 원인에 따라 위로의 운동과 아래로의 운동을 나타내는 수직 운동과 지상계는 불완전하고, 천상계는 완전한 것으로 보아 천상계의 물체는 지상계와 다른 완전한 물질로 만들어져 있어 지상계와 전혀 다른 법칙으로 운동할 것이라 생각한다. 또 그는 모양도 완전한 구형이고 운동도 완전한 천체 원운동의 자연스러운 운동과 지속적인 힘이 작용해야 운동을 유지할 수 있는 수평운동이나 투사체의 운동 같은 강제운동으로 구분하는데, 강제운동은 외부에서 지속적인 힘이 작용하여 강제로 운동하게 하는 것이고, 자연스러운 운동은 물체의 본성 때문이다.

자연스러운 운동의 원인은 물체의 본성으로부터 출발한다. 물체가 흙, 물, 공기, 불 4가지 기본요소와 건, 온, 습, 한의 4가지 성질이 합쳐져 있는 것이라고 보고 이것의 본성에 따라 운동이 일어나는 것으로 생각한다. 흙의 본성은 무겁고, 불의 본성은 가볍다. 한편 우주는 지구를 중심으로 만들어져 있다. 그래서 무거운 본성을 갖고 있는 흙은 자기의 본성과 가까운 지구에 가깝게 오려는 성질이 있고 불은 반대쪽으로 가려고

---

8) 이필렬, 「자연과학 개론」, 60, (서울:한국방송대학교출판부, 1994)

하는 성질이 있다. 그래서 무거운 것이 공기 중에 있으면 본성이 비슷한 지구로 떨어진다. 본성에 따라 고유한 위치가 있는데 무거운 것은 지구와 가까운 위치이고 가벼운 것은 원래의 위치가 지구에서 먼 곳이다. 이 고유의 위치가 어긋나게 되면 원래의 위치로 돌아가려고 하는데 이것이 운동으로 나타난다. 이 본성에 따른 운동을 자연스러운 운동이라 하고 그렇지 않은 것은 강제운동이라 한다. 따라서 자연스러운 운동은 지구를 중심으로 연직 상하 운동을 한다. 본래의 위치로 돌아가는 속력은 물체의 무게에 따라 다른데 더 무거울수록, 더 가벼울수록 고유의 위치로 돌아가려는 작용이 강하므로 빠르게 운동한다. 낙하하는 물체의 속력은 무거울수록 빠르다. 이것은 운동을 물체의 성질로 본 것이다. 강제운동은 물체를 밀거나 끌 때처럼 외부에서 지속적인 힘을 작용해야 운동을 지속할 수 있는데 수레를 끌거나 밀 때는 문제가 없지만 투사체의 운동 같은 경우는 설명이 어렵다. 투사체의 경우 손을 떠나면 물체에 작용하는 힘은 없어지는데 물체의 운동은 즉시 멈추지 않는다. 아리스토텔레스는 이것을 매질 때문이라 생각했다. 물체가 움직이면 물체가 지나는 뒷부분은 진공이 되는데 아리스토텔레스의 생각에는 진공이 존재할 수 없으므로 그것을 막기 위해서 앞쪽에서 밀린 매질이 다시 뒤쪽으로 돌아와서 물체를 쳐서 운동을 지속하게 해준다. 그러다가 추진력이 없어지면 땅으로 떨어져 운동을 멈추게 된다.<sup>9)</sup>

아리스토텔레스의 운동학은 근대의 운동학과는 다른 개념의 것이었다. 자연에 대한 충분하고 객관적인 관찰과 실험에 의해서 이루어진 것이 아니라 형이상학적인 사고에 의해서 이루어진 것이라고 볼 수 있다. 철학으로부터 독자적인 영역을 확보하지 못한 자연철학의 상태였다.

---

9) 과학사 관련 서적의 내용을 종합한 것임

## II.2 갈릴레오의 운동론

갈릴레오는 1564년 2월 15일 악기연주가인 갈릴레오 빈센치오의 아들로 태어났다. 빈센치오는 그의 저서 「고대와 근대의 음악의 대화」라는 책에 ‘나는 아무런 근거도 제시하지 않고, 단순히 지나간 세대의 권위와 무게에 기대어 어떤 주장을 하는 이들의 생각은 매우 불합리하다고 판단합니다. 나는 그들과는 반대로 어떤 아첨도 하지 않고, 자유롭게 탐구하고 의문에 대한 답을 구할 것입니다. 이로써 진리를 추구하는 자들의 대열에 합류하게 될 것입니다.’라는 주장을 했는데 후에 갈릴레오의 활약을 예고하는 말이다. 그 후 갈릴레오는 17세 되던 해인 1581년 피사 대학 의학부에 입학하였으나 학교에서 별 재미를 못 찾았다. 그러던 어느 날 피사 성당의 천정에 길게 매달아 놓은 등불을 보고 진자의 등시성을 발견하게 되었다. 이 발견 이후 의학공부에는 흥미를 잃고 혼자 공부하는 습관을 갖게 되었다. 이 무렵 아카데미에서 귀족 자제들을 가르치던 오스틸리오릿치라는 수학자에게 유클리드의 기하학과 아르키메데스의 역학을 듣고 크게 감명을 받았다. 그 후 오스틸리오릿치와 친해지게 되고 많은 공부를 하게 되었는데 학교를 소홀히 하다가 중퇴를 하고 과학만을 공부하는 생활을 하게 되었다.

고향인 피렌체로 돌아와 가정교사를 하면서 독학으로 유클리드 기하학과 아르키메데스의 역학에 관한 연구에 몰두하게 되었다. 그리고 1586년 아르키메데스의 유체정역학을 확장해 비중을 재는 비중천칭을 만들고 그것에 관한 논문을 써서 피렌체의 아카데미에 제출했다. 또한 1589년 고체의 무게 중심에 관한 논문을 발표하여 학계로부터 각광을 받고 그 결과로, 중퇴해서 졸업을 하지 못한 모교인 피사 대학의 수학강사로 취임한다. 여기서 그는 프톨레마이오스의 천문학과 유클리드의 기하학을

가르치면서 당시 자연 과학 분야에서 절대적인 권위를 누리고 있던 아리스토텔레스의 학설들을 만나게 되는데, 대부분의 학자들에게 있어 자연 과학의 모든 문제를 아리스토텔레스의 책을 뒤져 인용하여 답을 찾는 것이 유행처럼 번져있었다.

갈릴레오는 초기에는 아리스토텔레스로부터 내려오는 전통에 따라 운동의 원인이나 목적을 찾는데 주의를 기울였으나 연구가 진전됨에 따라 운동자체의 상태를 정확히 기술하는데 주력하게 되었다<sup>10)</sup>. 그리고 ‘모든 물체는 무게에 비례해서 빨리 떨어지고, 지상의 물체는 직선운동을 하고 천상의 물체인 별들은 원운동을 한다’는 아리스토텔레스의 운동학에 의심을 갖게 되고 여기에 도전장을 내게 된다. 이것이 가능했던 것은 유클리드나, 아폴로니오스, 아르키메데스 등의 학문적 배경을 갖고 있었기 때문이다.

아리스토텔레스-프톨레마이오스의 우주 체계에 대해서 처음으로 반대를 한 사람은 코페르니쿠스다.<sup>11)</sup> 그는 천체를 관측하면서 당시의 행성운동행표가 틀리다는 것을 알게 되었고, 그 원인을 행성의 운동에서 찾으려고 노력했다. 그러던 중 과거의 천문학 관련 서적에서 아리스타르코스를 알게 되었다. 아리스타르코스는 태양을 중심으로 지구가 1년마다 한 바퀴씩 운동하고 지축을 중심으로 일주운동을 한다고 생각했던 사람인데 코페르니쿠스는 이것을 바탕으로 해서 행성배치도를 새로 만들어 태양중심설을 주장했다. 그러나 그 당시 사람들이 태양중심가설에 대해서 의심스러워했던 점, 즉 태양중심설에 의하면 둥근 지구가 자전하면서 태양주위를 공전하고 있는데, 사람들이 지구에서 떨어지지 않는 이유, 높은 곳에서 물체를 떨어뜨리면 회전방향과 반대방향으로 치우쳐 떨어지지 않고 바로 아래로 떨어지는 이유 등을 그 당시의 운동이론으로서는 설명할 수

10) 이필렬, 「자연과학 개론」, 77, (서울:한국방송대학교출판부, 1994)

11) 이필렬, 「자연과학 개론」, 4, (서울:한국방송대학교출판부, 1994)

가 없었다는 점이다.

갈릴레오는 태양중심설이 옳은 것으로 믿고 이 문제들의 해결이 곧 태양중심설이 인정받게 되는 길이라 여기고 여기에 집중하게 된다. 이 문제는 아리스토텔레스의 운동이론으로 설명할 수 없음을 알게 되고 문제의 해결을 위해서는 새로운 개념의 도입이 필요했다. 이렇게 갈릴레오의 운동론은 아리스토텔레스의 운동론에 대한 문제제기로부터 시작했다고 볼 수 있다.

갈릴레오는 적당히 선택된 수학적 증명은, 기하학의 전통적 대상이었던 길이, 면적, 체적 등 공간적 측정뿐만 아니라 측정할 수 있는 양을 포함한 어떤 성질의 연구에도 응용할 수 있다는 의견이었다. 척도효과를 연구할 때 그는 물질의 양도 연구했으며, 이것을 훗날 질량이라 불렀다. 그리고 시간이나 속도를 포함한 문제를 같은 방법으로 연구했는데 갈릴레오의 중심적 과제는 중력을 받고 있는 물체의 낙하에 관한 것이었다.<sup>12)</sup>

각 부분별로 아리스토텔레스의 이론들이 부정되고, 새로운 방법이 도입되었지만 문제는 이것을 한 곳으로 모아 종합하여 일정한 과학체계를 갖추고 보편적으로 통용될 수 있도록 널리 알리느니하는 것이다. 이런 면에서 갈릴레오는 완전한 하나의 체계를 갖추었다고는 할 수 없지만 낙하운동에서 보여 주는 바와 같이 부분적으로 종합하였고, 종교 재판과 그의 저서를 통해 보편적으로 통용될 수 있도록 하는 데 많은 기여를 하였으며 이것이 곧 새로운 패러다임을 형성하는 선구가 되었다.

---

12) 메이슨, 「과학의 역사」, 165-166, 박성래역(서울:까치글방, 1987)

## II.3 아리스토텔레스와 갈릴레오의 운동론 비교

### II.3.1 자유낙하 운동

아리스토텔레스는 운동론의 과제를 운동의 실질적인 원인이나 목적을 탐구하는데 두고 그 것을 밝힘으로써 운동현상을 설명한다. 갈릴레오도 초기에는 아리스토텔레스로부터 내려오는 전통에 따라 운동의 원인이나 목적을 찾기 위해 노력하였으나 연구가 진행되면서 방향이 바뀌게 된다. 이러한 점은 전통적인 과학자를 상징하는 심플리치오, 갈릴레오를 상징하는 살비아티, 객관적인 관찰자를 상징하는 사그레도라는 인물을 등장시켜 고체의 강도와 자유낙하운동, 투사체의 운동에 관해서 대화형식으로 다룬 책인 그의 저서 「새로운 두 과학」에서 나타난다.

“살비아티 : 지금은 자연 상태에서 떨어질 때 속력이 빨라지도록 만드는 원인이 뭔가 연구하기는 적당하지 않은 것 같군. 여기에 대해서는 많은 철학자들이 온갖 의견들을 내놓았지. 중심으로 끌려간다는 이론, 물체의 미세한 입자 사이에 미는 힘이 있기 때문이라는 이론, 주위 매질들이 떨어지는 물체의 뒤를 채우면서 가하는 압력이 물체를 움직이게 만든다는 이론. 이런 온갖 종류들의 상상을 모두 검사해 봐야 하겠지. 하지만 그럴 값어치가 있을까? 지금 여기서는 글쓴이가 이런 움직임의 성질들을 연구하고 증명하려는 것뿐, 이렇게 움직이는 까닭이 뭔가 하는 것은 뒷전으로 밀쳐놓았어.

속력이 빨라진다는 말은 어떤 것이 움직이는데 그 속력의 운동량이 정지 상태에서 움직이기 시작한 이후 시간에 비례해 늘어난다는 뜻이야. 바꿔 말하면 같은 시간 간격 동안에 이 물체는 속력이 빨라지는 정도가 같아. 이렇게 빨라지는 운동이 이런 성질을 나타냄을 보이면, 그러면 자유롭게 떨어지는 물체의 운동이 이 정의에 포함이 되고 이들의 속력은 움직인 시간에 비례해 빨라진다는

것을 알 수 있지.

사그레도 : 내가 보기에 가속 운동의 정의를 근본 개념은 바꾸지 않고 좀더 알기 쉽도록 만들 수 있겠어. 그러니까 일정하게 빨라지는 운동은 그 속력이 움직인 거리에 비례해 빨라지는 것이라고 정의하면 돼. . . . .

살비아티: . . . . .이 성질들이 하도 그럴 듯해 그 사람도 한때는 그런 생각을 가졌다고 시인하더군. . . . .“<sup>13)</sup>

그가 지지하던 코페르니쿠스의 태양중심가설을 아리스토텔레스의 운동론으로는 설명할 수 없었던 것이다. 그래서 그는 아리스토텔레스의 운동론을 부정하고 비판하는 것으로부터 시작한다.

“심플리치오: . . . . .아리스토텔레스에 따르면 무게가 다른 두 물체가 같은 매질 속에서 움직일 때 그들의 속력은 무게에 비례합니다. . . . .그리고 한 물체가 다른 두 매질을 지날 때 그 속력은 매질의 밀도에 역으로 비례합니다. . . . .

살비아티: . . . . .아리스토텔레스의 생각이 과연 옳은 것인지 알려면 그의 논리를 정면으로 공격할 필요가 있어. 우선 첫 논리에 대해서 생각해 보자. 실제로 작은 돌 하나와 그보다 열배 무거운 돌을 갖고 50미터 정도 높이에서 떨어뜨리면 열 배 무거운 돌이 땅에 떨어졌을 때, 가벼운 돌은 5미터 정도밖에 안 떨어질까? 아리스토텔레스가 과연 실제로 이런 실험을 했을까?”<sup>14)</sup>

그는 운동을 원인이나 목적이 아닌 상태로 보고 운동 자체를 정확히 기술하는 쪽으로 관점을 돌리게 된다. 아리스토텔레스가 직접 물체의 운동에 관해서 정의한 바는 없지만<sup>15)</sup> 중세의 그의 해석자들에 의하면 자유 낙하하는 물체의 속도는 물체의 무게에 비례하고, 물체가 통과하는

13) 갈릴레오, 「새로운 두 과학」, 188-189, 이무현 역, (서울:민음사, 1996)

14) 갈릴레오, 「새로운 두 과학」, 79-80, 이무현 역, (서울:민음사, 1996)

15) 김대오, “아리스토텔레스의 운동의 정의”

공간의 매질의 저항에 반비례 한다고 정의한다. 아리스토텔레스 주의자들의 정의대로라면  $V \propto W/R$  ( $V$ :속도,  $W$ :무게,  $R$ :매질의 저항)으로 나타난다. 여기서 무게와 매질의 저항은 정해져 있는 양이므로  $V$ 는 일정한 값을 갖게 되기 때문에 낙하하는 물체는 등속운동을 하여야한다. 실제 관찰에서는 물체가 지표면에 가까워질수록 속력이 증가하는 것으로 판명되었다. 이에 대한 아리스토텔레스 주의자들은 이것은 물체의 본성 때문이라 한다. 무거운 것의 본래의 위치는 지구중심이므로 무거울수록 원래의 위치로 돌아가고자 하는 본성이 강하기 때문에 속력이 더 빨라진다는 것이다. 이에 반해 갈릴레오는 그의 “운동에 관하여”라는 논문에서 떨어지는 물체의 속력은 무게에 상관없다는 주장을 제시했다. 1킬로그램 납덩어리와 10킬로그램 납덩어리를 100미터 높이에서 동시에 떨어뜨리면 아리스토텔레스에 의하면 10킬로그램짜리 납이 지면에 닿을 때 1킬로그램짜리의 납은 10미터만 떨어져야 한다. 그러면 두 납을 묶어서 떨어뜨리면 어떻게 될까? 1킬로그램인 납덩어리가 10킬로그램의 납덩어리를 끌어 늦추어 묶어 놓은 납덩어리는 10킬로그램인 납덩어리만 떨어질 때보다 느리게 떨어질 것이다. 그러나 이 두 납덩어리를 묶으면 11킬로그램이 되므로 10킬로그램보다 무거우므로 더 빨리 떨어져야 한다. 그러므로 이것은 자체적으로 모순이 된다.

갈릴레오는 자유낙하에서 낙하속도는 물체가 낙하하는 매질의 밀도에 영향을 받는다는 데는 동의를 한다. 서로 다른 두 물체를 밀도가 큰 매질 속에 가만히 놓았을 때의 두 물체의 낙하 속도와, 같은 방법으로 밀도가 작은 매질 속에서 실시하였을 때 두 물체의 속도를 비교해보면 밀도가 작은 매질 속에서의 속도의 차이가 작다는 것을 일상의 경험으로부터 알 수 있다. 여기서 더 나아가 밀도가 0인 진공 속에서 물체가 떨어진다는 이상화된 조건을 도입하여 사고실험을 설정하고 그 속에서는 모

든 물체가 같은 속도로 떨어진다는 생각을 이끌어 내었다. 그리고 이미 그 당시에 자유낙하법칙에 대한 아리스토텔레스의 이론이 잘못되었다는 것이 시몬 스테빈, 머튼칼리지의 덤블튼, 머튼의 규칙(Mertonian Rule) 등에 의해 알려져 있었던 것을 수학적 방법과 사면실험을 통해서 증명해보임으로써 역학 방법에 대한 혁신의 길을 열었다.

여러 선지자들이 이미 밝힌 방법과 갈릴레오의 저서 「새로운 두 과학」에서 이 부분을 종합하여 구체적으로 증명해보면 다음과 같다.

#### (1) 자유 낙하 법칙의 증명<sup>16)</sup>

갈릴레오는 자유낙하법칙의 증명을 먼저 등가속도 운동을 증명하고, 자유낙하운동이 사면실험을 통해서 등가속도운동임을 밝히는 방법으로 증명하였다. 여기서는 등가속도운동에서 머튼규칙으로 알려져 있는 평균 속도의 정리, 덤블튼이 알아냈다는  $S \propto T^2$  (S:이동거리, T:걸린 시간)을 증명하고 자유낙하운동이 등가속도운동임을 갈릴레오가 증명한 것을 정리하여 보겠다.

##### 1) 평균속도의 정리 증명

갈릴레오의 저서 「새로운 두 과학」에서 다음과 같이 증명해 보이고 있다.

정리 I, 법칙 I

어떤 물체가 가만히 있다가 일정하게 속력이 빨라져 움직였을 때 그 물체가 어떤 거리를 지나는데 걸린 시간은 그 물체가 가장 빠른 속력과 가장 느린 속력의 평균 속력으로 같은 거리를 지날 때 걸리는 시간과 같다.

---

16) 갈릴레오, 「새로운 두 과학」, 194-197, 이무현 역, (서울:민음사, 1996)

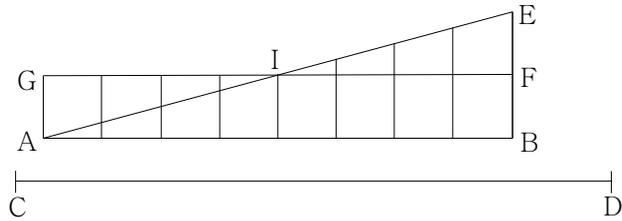


그림 1. 평균속도 정리에 대한 기하학적 도식.

그림 1에서 어떤 물체가 C점에서 가만히 있다가 일정하게 속력이 빨라져서 CD구간을 지났다고 하고, 그때 시간을 AB로 나타내고, 이 시간 동안 속력이 점점 빨라져서 가장 빠를 때의 속력을 선분 AB에 90°가 되도록 선을 그어 BE라고 한다. 그리고 선분 AE를 긋고 선분 BE와 평행이 되도록 같은 간격으로 선을 그으면 이것들은 A에서 시작하여 물체의 속력이 점점 빨라지는 것을 나타낸다. 이 때 점 F를 선분 BE의 중점이라 할 때  $\triangle AGI = \triangle EFI$ 이다.

여기서 시간 AB를 무한분할 해서 각각 분할 점에서 AE, GF로 선분 BE와 평행이 되게 그으면 각각의 평행 선분들은 속도가 될 것이다. 이것을 모두 더하면 각각  $\square ABFG$ ,  $\triangle ABE$ 가 된다. “오레스미는  $\square ABFG$ ,  $\triangle ABE$ 의 면적이 각각 지나간 거리를 나타낸다는 사실을 명백히 기술하지는-즉, 물론, 적분론으로 증명하지는-않았다; 그러나 그는  $\triangle AGI$ 와  $\triangle EFI$ 의 합동으로부터 거리가 같다고 결론을 내렸기 때문에, .... 아마도 곡선아래의 면적이 물리적 양을 나타내는 것으로 간주한 첫 번째 일 것이다.” 갈릴레오는 속도-시간으로 된 이 면적들이 지나온 거리를 나타낸다고 가정하고 암묵적으로 무한소적 고찰에 의존하였던 것 같다. 이것을 정리해보면 다음과 같다.

$$\triangle AGI = \triangle EFI$$

$$\triangle ABE = \square ABEF = \int v dt$$

$$\int v dt = \int (ds/dt) dt = \int ds = s$$

(s:거리, t:시간, v:속도)

즉, FB의 일정한 속력으로 어떤 거리 CD를 이동하는데 걸리는 시간과 정지 상태에서 CD를 이동하는 동안 최고속력이 EB에 도달할 정도로 점점 증가하여 CD를 가는데 걸리는 시간은 같다. 이로써 평균속도의 정리가 성립한다.

## 2) 등가속도운동에서 $S \propto T^2$ 증명

갈릴레오의 저서 「새로운 두 과학」에서의 증명을 요약하면 다음과 같다.

정리 II, 법칙 II

가만히 있다가 일정하게 속력이 빨라져 떨어지는 물체가 움직인 거리는 그 거리를 지나는데 걸린 시간의 제곱에 비례한다.

이것을 증명하기 위해 먼저 등속도 운동에서  $S \propto T \times V$  (S:거리, T:시간, V:속도) 이고, 등가속도 운동에서  $V \propto T$  (V:속도, T:시간)를 전제로 한다.

그림 2에서 시간을 A에서 시작해 선분 AB로 나타내고, 두 개의 시간 간격 AD와 AE를 잡고, 물체가 H 지점에서 자유낙하 하여 떨어지는 거리를 HI로 나타낸다. 여기서  $S_1/S_2 = T_1^2/T_2^2$  (S:거리, T:시간)임을 보이면 된다.

AD시간 동안 이동한 거리를 HL, AE시간 동안 이동한 거리를 HM이라고 하면,

등속도운동에서  $S \propto T \times V$ 는

등가속도운동에서 평균속도 정리에 의해  $S \propto T \times 1/2V$

그러므로  $HL \propto AD \times 1/2DO$ ,  $HM \propto AE \times 1/2EP$

$HL:HM = AD \times DO : AE \times EP$ ,  $HL/HM = AD \cdot DO/AE \cdot EP = AD/AE \cdot DO/EP$

닮은 삼각형의 정리에 의해  $AD:AE = DO:EP$ ,  $DO/EP = AD/AE$

따라서  $HL/HM = AD^2/AE^2$ , 즉,  $S_1/S_2 = T_1^2/T_2^2$

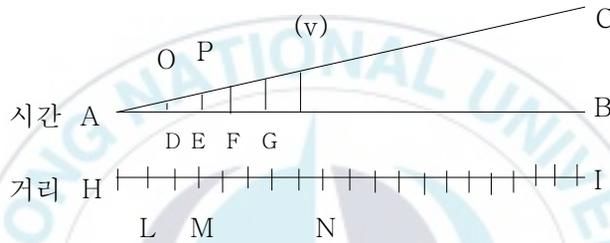


그림 2. 등가속도 운동에 대한 기하학적 도식.

다른 방법으로 보면 등속도운동에서  $S \propto T \times V$ 를 등가속도운동으로 변환하면

$S \propto T \times V = T \times 1/2V$  다시 등가속도운동  $V \propto T$ 에서  $S \propto T^2$ , 그러므로  $S \propto T^2$  이 성립한다.

갈릴레오는 이렇게 도출된 결론을 사면실험을 통하여 자유낙하운동이 등가속도운동임을 보여 주었고 낙하운동에서 낙하거리, 낙하속력이 무게와는 상관없음을 수학적으로 증명해보였다.

### 3)사면실험

갈릴레오는 「새로운 두 과학」에서 등가속도 운동을 하는 물체가  $S \propto T^2$ 이 되는 것을 실험을 통해 다시 한 번 증명하지만 그 실험에 대한 구체적인 측정결과를 제시한 것이 아니라 대략적인 실험 방법과 결과만 언급하고 있는데 그 실험 방법 및 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

-길이가 스무 자 정도, 폭 한 자, 두께 손가락 길이 정도 되는 길다란 나무판에 폭이 손가락 하나 정도 되도록 곧고 매끄럽게 홈을 파고, 매끄럽게 다듬은 양피지를 그 안에 댄다. 그 다음 그 홈을 따라 단단하고 매끄러운 둥근 구리 공을 굴린다.

-나무판을 경사지게 놓은 다음 공이 같은 거리를 구르도록 여러 번 반복하고, 매번 시간을 잰다. 결과는 같은 거리를 구르는 시간은 맥박수 0.1번 이하가 될 정도로 같다는 것이다.

-다음은 거리를 1/4, 1/2, 2/3, 3/4로 줄여 실험한 결과 항상 움직인 거리는 걸린 시간의 제곱에 비례한다.

-시간을 정확하게 측정하는 방법은 커다란 물통을 어떤 높이에 올려놓고 물통 아랫부분에 조그마한 파이프를 달아서 물이 가는 한 줄기가 나오도록 만들어 이 물을 받아 정확한 저울로 무게를 재서 측정한다.

-나무판의 기울기를 점점 크게 하면서 똑같이 반복한다. 역시 결과는 움직인 거리는 시간의 제곱에 비례한다는 것이다. 이것을 일반화시켜 보면 경사각이 어떠한 경우라도 성립한다. 기울기가 90°일 경우도 즉, 자유낙하하는 경우도 움직인 거리는 시간의 제곱에 비례하게 된다.

이상과 같이 실험을 통해 갈릴레오는 자유낙하운동이 등가속도운동의 성질을 가짐을 보였다. 물론 실제로 이 실험을 했는지 하지 않았는지에 대한 논란은 있지만 1961년 세틀의 재현 실험으로 비슷한 결과를 얻었다.

### II.3.2 투사체 운동

비스듬하게 던져 올린 돌은 어떤 운동을 할까? 아리스토텔레스와 갈릴레오가 운동에 관한 근본적인 관점의 차이를 보이는 것 중의 하나이다. 아리스토텔레스의 운동 분류에 의하면 이것은 외부에서 동인이 지속적으로 작용하여야 계속 운동을 할 수 있는 강제운동이다. 그의 설명에 의하면 돌이 손을 떠나는 순간 돌이 진행하는 앞쪽에 밀린 공기가 공간이 생긴 뒤쪽을 돌아와서 동인의 역할을 하여 운동을 지속한다. 그러다가 동인이 다하고 나면 바로 자연스러운 운동인 낙하운동으로 바뀐다. 아리스토텔레스는 손을 떠나서 접촉이 끊어지고 난후 무엇이 운동을 계속할 수 있게 하는지 그 원인을 밝히려 하였고, 운동의 결과는 이미 정지 위치에 이르도록 돌의 본성에 의해 정해져 있다고 생각하였다. 아리스토텔레스는 이와 같이 운동을 인과관계로 설명하려는 경향을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 강제운동에 이어 자연스러운 운동이 일어난다고 보았기 때문에 강제운동과 자연스러운 운동이 돌에 동시에 작용할 수 없다는 생각을 했다. 객관적인 관찰이나 실험에 의한 방법보다는 사변적인 추론에 가까웠다고 볼 수 있다.

이에 반해 갈릴레오는 이러한 운동을 그의 저서 「새로운 두 과학」 넷째 날의 대화에서 다음과 같이 설명한다.

“마찰이 전혀 없는 매끄러운 수평면에 어떤 물체를 던졌다고 하자. . . . . 이 물체는 이 평면을 따라 일정한 속력으로 영원히 계속 움직인다는 것을 알 수 있다. 이 평면이 끝이 없다면 말이다. 하지만 이 평면이 유한하고 허공에 높이 떠 있다면 이 물체는 평면의 테두리를 벗어나 허공으로 갈 것이고, 이 물체가 무겁다고 했을 때, 이 물체는 기존의 영원히 일정한 속력으로 움직이려는 경향에다 자신의 무게 때문에 아래로 내려가려는 경향이 생긴다. 이 돌의 결합으

로 생기는 움직임이 물체를 허공에 던졌을 때 생기는 움직임인데, 이것은 수평으로 일정하게 움직이는 것에도 수직으로 자연히 가속이 되어 움직이는 것을 더한 것이다.”<sup>17)</sup>

즉, 공중에 던진 물체가 수평으로 일정하게 움직이려는 속력과 수직으로 자연히 빨라지는 속력을 결합한 것으로 움직인다면 이것은 반 포물선을 그린다.<sup>18)</sup>

이 당시에 이미 이탈리아의 타르탈리아 같은 사람은 대포를 쏘았을 때 대포알이 곡선을 그리며 나아간다는 것을 알고 있었지만 대부분의 사람들은 아리스토텔레스의 이론에 따랐기 때문에 보편적으로 통용이 되지 못하고 있었다.

갈릴레오는 어떤 각도로 던진 물체의 운동이 등가속도운동인 수직낙하운동과 수평 방향의 등속운동의 두 운동이 동시에 작용하는 복합운동으로 보고 이것을 수학적으로 보여줌으로써 복잡한 운동을 간단한 요소로 분해해서 취급할 수 있는 획기적인 방법을 도입하였다. 이것은 강제운동이 끝나면 바로 이어서 자연스러운 운동의 작용이 일어난다는 아리스토텔레스의 관점이 아닌 두 운동이 동시에 복합적으로 작용한다는 전혀 다른 관점에서 본 것이라 할 수 있다.

갈릴레오는 투사체의 운동이 포물선운동임을 그의 「새로운 두 과학」에서 다음과 같이 증명해보이고 있다.

그림 3에서 수평선 ab가 높은 곳에 있고 어떤 물체가 이것을 따라서 일정한 속력으로 a에서 b로 움직이는데 이 평면이 b에서 갑자기 끝났다고 하자. 그러면 물체는 여기서부터 자신의 무게 때문에 자연히 아래로 속력이 생겨 수직

17) 갈릴레오, 「새로운 두 과학」, 279-280, 이무현 역, (서울:민음사,1996)

18) 김성환, “갈릴레오의 물질론”, 11

선  $bn$  방향으로 움직일 것이다.

직선  $bc$ 를  $ba$  평면을 따라 그어서 이 직선이 시간을 나타내도록 하자. 이것을 몇 개의 구간  $bc$ ,  $cd$ ,  $de$ 로 잘라서 이 구간들이 같은 길이의 시간 간격을 나타내도록 해라. 점  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ 에서 아래로 직선을 그어서 수직선  $bn$ 과 평행이 되도록 만들어라. 첫 번째 구간에서 어떤 길이라도 좋으니까  $ci$ 를 잡도록 하고, 두 번째 구간에서는 이것의 네 배 길이가 되도록  $df$ 를 잡고, 세 번째 구간에서는 아홉 배 길이가 되도록  $eh$ 를 잡고, 이런 식으로 계속  $cb$ ,  $db$ ,  $eb$ 의 제곱의 비율과 같도록 잡아 나가라. 그러니까 이 선분들이 길이 비율을 제공한 것과 같도록.

어떤 물체가  $b$ 에서  $c$ 로 일정한 수평 속력으로 움직이면서 동시에  $ci$  거리만큼 수직으로 떨어진다고 하자. 그러면 시간  $bc$ 가 흐른 뒤에 이 물체는 점  $i$ 에 있다. 이런 식으로 생각하면 시간  $bd$ 는  $bc$ 의 두 배이니까 이 기산이 흐르는 동안 수직으로 떨어질 때 그 떨어진 거리는 시간의 제곱에 비례함을 이미 앞에서 증명하였다. 같은 식으로 생각하면 시간  $be$ 는  $bc$ 의 세 배이니까 이 시간이 흐르는 동안 수직으로 떨어지는 거리는  $eh$ 가 된다. 그러니까 거리  $eh$ ,  $df$ ,  $ci$ 의 비율은  $be$ ,  $bd$ ,  $bc$ 의 제곱들의 비율과 같다.

점  $i$ ,  $f$ ,  $h$ 에서  $eb$ 와 나란하도록 수평선  $io$ ,  $fg$ ,  $hi$ 를 그어라. 선분  $hi$ ,  $fg$ ,  $io$ 들의 길이는  $eb$ ,  $db$ ,  $cb$ 들의 길이와 각각 같다. 그리고 선분  $bo$ ,  $bg$ ,  $bi$ 들의 길이는  $ci$ ,  $df$ ,  $eh$ 들의 길이와 각각 같다.  $hi$ 의 제곱과  $fg$ 의 제곱의 비율은  $bi$ 와  $bg$ 의 비율과 같다.  $fg$ 의 제곱과  $io$ 의 제곱의 비율은  $bg$ 와  $bo$ 의 비율과 같다. 그러므로 점  $i$ ,  $f$ ,  $h$  들은 같은 포물선 위에 놓인다.<sup>19)</sup> 비슷한 방법으로 어떠한 크기의 시간 간격을 잡더라도 같은 간격으로 잡으면 물체가 이렇게 수평, 수직 움직임이 합쳐져 움직일 때 각각의 시간 간격이 지난 뒤 그 물체의 위치가 같은 포물선 위에 놓임을 보이 수 있다. 증명 끝. <sup>20)</sup>

19) 갈릴레오, 「새로운 두 과학」, 281-282, 이무현 역, (서울:민음사,1996)

20) 갈릴레오, 「새로운 두 과학」, 284-286, 이무현 역, (서울:민음사,1996)

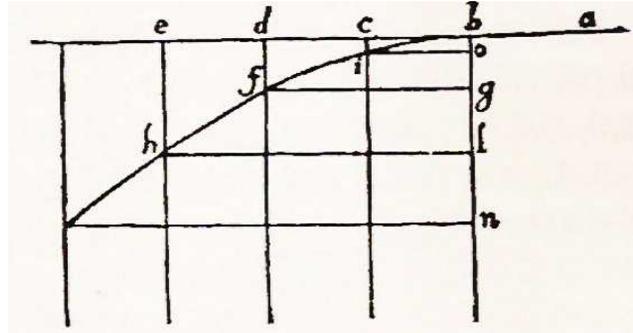


그림 3. 투사체 운동의 궤적.

갈릴레오는 아리스토텔레스가 인과관계로써 분석해내지 못했던 투사체의 운동을 심오한 지적 사고에 의한 이상화 된 조건과 수학적 방법으로 운동을 분석하여 투사체의 운동이 포물선운동임을 보였다.

### II.3.3 새로운 관성개념

아리스토텔레스는 「자연학」 제1권 1장에서 다음과 같이 주장한다. 자연에 대하여 앎이나 이해를 얻고자 할 때, 우리들이 해야 할 일은 원리들이나 원인들 또는 요소들을 파악해 내는 것이다.<sup>21)</sup> 운동에서도 마찬가지로 운동의 원인을 파악하기 위해서 주력한다. 이런 측면에서 그는 운동을 자연스러운 운동과 강제운동으로 나누고 그 원인을 물체의 본성과 외부에서 작용하는 동인이라고 보았다. 낙하운동과 투사체 운동의 설명에서 보았듯이 자연스러운 운동은 등속도운동을 하고 강제운동은 외부동인의 작용이 없으면 정지를 하거나 지속적으로 운동을 하려면 계속적으로

21) J.L.아크릴, 「철학자 아리스토텔레스」, 55-56, 한석환역, (서울:서광사1977)

동인의 작용이 있어야한다. 여기서 보면 아리스토텔레스의 운동 이론에서는 일정한 시간 간격에 따라 속도가 변하는 가속도 개념은 물론이고 외력의 작용이 없을 때는 처음의 운동 상태를 유지한다는 관성 개념을 찾아 볼 수 없다.

이에 반해 갈릴레오는 그의 저서 「천동설과 지동설, 두 세계에 관한 대화」의 둘째 날 대화를 통해 지상의 현상에서 지동설의 가능성에 대해 말하면서 관성개념을 도입한다.<sup>22)</sup>

살비아티 : .....내리막에서는 무거운 물체는 스스로 아래로 내려가게 되고 속력이 점점 빨라져. 그게 가만히 있도록 만들려면 힘을 써야 하네. 오르막에서는 물체를 밀어 올려서 움직이도록 만들어도 움직임이 점점 약해져 나중에는 완전히 영이 돼. 두 경우 모두 경사면이 가파르냐, 완만하냐에 따라 차이가 나. 내리막이 경사가 급하면 속력이 더 빨라지지. 반대로, 오르막에서는 물체에 어떤 힘을 가했을 때 경사가 완만하면 완만할수록 물체가 더 멀리 움직여.

이 물체를 위나 아래로 경사지지 않고 수평인 평면에 내려놓으면 어떻게 되겠나?

심플리치오 : .....아래로 기울지도 않았으니 움직이려는 경향이 생기지도 않을 것이고, 위로 경사진 것도 아니니 움직이는 것을 방해하려는 경향도 없을 것이고 ..... 그러니까 움직이려는 경향도 없고, 어느 것도 신경 쓰지 않을 겁니다. 제 생각에는 가만히 있을 것 같습니다. ....

살비아티 : 공을 가만히 내려놓았다면 움직이지 않음을 나도 아네. 그런데 어떤 방향으로 힘을 가해 주면 어떻게 될 것 같은가?

심플리치오 : 그러면, 그 방향으로 움직일 게 확실합니다.

.....

심플리치오 : 위로도, 아래로도 기울지 않았으니 속력이 느려지거나 빨라질 이유가 없지요.

---

22) 갈릴레오, 「천동설과 지동설, 두 세계에 관한 대화」, 193-194, 이무현역(서울:교우사1997)

.....

살비아티 : .....공의 속력이 느려질 이유가 없다면 공이 멈추게 될 이유도 없겠지? 그러면 이 공은 얼마나 멀리 움직일 수 있겠나?

심플리치오 : 표면이 위로 올라가거나 아래로 내려가지 않았다면, 공은 이 평면이 펼쳐진 한 움직일 겁니다.

살비아티 : 만약 이 평면이 끝이 없다면, 공이 그 위에서 움직이는 것도 끝이 없겠군. 그러니까 영원히 움직이겠군?

심플리치오 : 제 생각에는 그렇습니다. ....

위의 대화를 통해 알 수 있듯이 갈릴레오는 물체의 운동을 설명하는데 관성개념을 도입했음을 알 수 있다. 이것은 운동을 상태의 변화라는 새로운 관점에서 보았기 때문에 가능했다. 운동을 인과관계로 설명하려는 아리스토텔레스의 운동이론에서는 볼 수 없는 것이다.

### II.3.4 과학방법 비교

아리스토텔레스는 자연 현상을 원인과 결과로 총체적으로 이해하려고 하였고, 이에 따라 그의 운동이론이 주로 원인과 결과를 중시하는 사변에 의한 것이 되었다. 아리스토텔레스에 의하면 물체의 운동은 물체마다 가지고 있는 자신의 정해진 위치로 돌아가기 위해서 일어나는 것이다. 낙하운동 설명에서 아리스토텔레스는 무게가 다른 두 물체가 같은 매질 속에서 낙하할 때 낙하속도는 무게에 비례하고 매질의 저항에 반비례한다고 한다. 이에 따르면 낙하체의 낙하속도는 등속도가 된다. 이것은 원인과 결과를 밝히기 위해서 상식과 경험적인 관찰에서 출발하여 사유를 통해 얻은 것으로 볼 수 있다. 낙하운동에서 속도는 점점 증가하는 가속

도 운동이고 무게에 관계없이 동시에 떨어뜨린 물체의 낙하속도는 모두 같다. 투사체 운동에서 이야기한 바와 같이 마찬가지로 감각중심의 현실과 인과관계를 중시한 결과로 포물선운동의 궤적과 분석에 실패하였다.

이에 반해 갈릴레오는 운동을 원인과 결과가 아닌 상태로 보고 상태를 정확하게 기술하는데 중점을 두었다. 그래서 그는 낙하체의 낙하운동을 사면 실험과 중립적인 방법이라 할 수 있는 수학적 방법을 통하여 등가속도운동임을 증명해 보임으로써 객관성을 확보하고, 두 물체의 낙하에 관해서는 현실에서는 존재할 수 없는 이상화된 조건을 도입하여 사고 실험을 통해서 동시에 떨어짐을 설명하였다. 그는 또 투사체의 운동에서도 그 궤도가 포물선이고, 수평 등속운동과 등가속도 낙하운동이 동시에 작용하는 것임을 수학적으로 증명해 보였다. 이상에서 본바와 같이 아리스토텔레스는 운동을 인과관계로 보고 상식과 경험적인 관찰로부터 출발하여 합리적인 사유를 통해 일반화에 이르렀고, 갈릴레오는 운동을 상태로 보고 조건을 이상화시키고, 수학적 방법과 실험적인 방법을 사용하여 일반화를 시켰다. 이것은 아리스토텔레스와 갈릴레오가 운동을 보는 관점과 방법이 전혀 다름을 보여주는 것이다.

## III 결 론

아리스토텔레스와 갈릴레오가 설명하는 낙하운동, 포물선운동, 관성 개념, 역학방법 등을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

운동을 보는 관점에서 아리스토텔레스는 운동을 본성에 의한 인과관계로 보고 그것을 밝히려고 하였던 반면에 갈릴레오는 운동을 상태로 보고 그것을 정확하게 기술하는데 주력하였다는 것을 알 수 있다.

운동을 설명하고 기술하는 방법적인 면에서 아리스토텔레스는 운동의 인과관계를 상식과 경험적인 관찰로부터 출발하여 논리적인 사유를 통해 설명하였는데 반해 갈릴레오는 운동 상태를 조건을 이상화 시키고, 수량화하여 수학적 방법과 실험에 의한 증명을 통해서 변수 간의 연관을 발견하고 기술하였다는 것을 알 수 있다.

따라서 아리스토텔레스와 갈릴레오의 역학은 운동에 대한 관점과 설명하고 기술하는 방법에서 많은 차이점이 있다고 볼 수 있다.

갈릴레오가 기존의 아리스토텔레스의 운동이론을 부정하고 해결함에 있어서 관점과 방법이 전혀 다름을 보여주는 것으로 패러다임의 변화라 할 수 있고, 이 때문에 갈릴레오가 근대과학의 아버지라고 불릴 수 있다고 본다.

## 참고문헌

- 1) 메이슨, 「과학의 역사 I」, 박성래 역, 까치글방, 1987
- 2) 이필렬, 「자연과학 개론」, 한국방송대학교출판부, 1994
- 3) 김성환, “갈릴레오의 물질론”, 시대와 철학, 1997
- 4) 김국태, “갈릴레오의 물리학”, 계간과학사상, 1997 겨울
- 5) 맥라클란, 「물리학의 탄생과 갈릴레오」, 이무현 역, 바다출판사, 2002
- 6) 박성래, 「과학사 서설」, 한국외국어대학교출판부, 2000
- 7) 김영식, 임경순, 「과학사 신문」, 다산출판사, 1999
- 8) 공하린, 「3일만에 읽는 과학사」, 서울문화사, 2006
- 9) 갈릴레오, 「새로운 두 과학」, 이무현 역, 민음사, 1996
- 10) CARL B. BOYER 「미분적분학사-그 개념의 발달」, 김경화 역, 교우사, 2004
- 11) J.L.아크릴, 「철학자 아리스토텔레스」, 하석환역, 서광사, 2001
- 12) 토머스.S.쿤, 「과학혁명의 구조」, 김명자 역, 까치글방, 1999
- 13) 김대오, “아리스토텔레스의 운동의 정의”

## 감사의 글

연못가의 봄풀은 아직 꿈에서 깨어나지도 못하였는데 섬돌 앞의 오동나무 잎은 이미 가을의 소리를 알립니다. 2년 동안의 결실이라고 내 놓고 보니 너무 부족하여 부끄러움을 금할 길 없습니다. 앞으로 좀더 성실하게 시간을 아껴 정진할 것을 약속드리며 여기까지 올 수 있도록 이끌어 주신 분들께 고마운 말씀을 전하고자합니다.

어설피고 허술하기만 하였던 저를 오늘까지 올 수 있도록 인내와 격려로 지도해 주신 이종규 지도교수님께 깊은 감사의 말씀을 올립니다. 이 논문을 심사해 주시고 지도해 주신 박원용 교수님과 이근우 교수님께도 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

시작에서부터 끝까지 친구로서 조언자로서 항상 힘이 되어주었던 기계연구소 이종오 박사님께 진심으로 감사를 드리며, 어려움이 있을 때마다 항상 옆에서 도와주신 조승일 박사님, 대학원 동료인 문경희씨, 필요할 때마다 많은 조언을 아낌없이 주신 옥치일 박사님, 김민호와 초음파 물리학 실험실의 여러분들께 고마운 마음을 전합니다.

또한 직장생활과 학업을 병행할 수 있도록 배려해 주신 반림중학교 박숙희 교장선생님, 박임규 교감선생님, 과학과 선생님들 그리고 동료선생님들께 감사드립니다.

끝으로 물심양면으로 지원해주신 부모님, 장인 장모님, 동생 내외에게 감사를 드리며, 여러 가지 집안일에 어려움이 많았음에도 불구하고 말없이 내조해준 아내 홍혜정, 그리고 두 아들 근석, 유석에게도 감사의 마음을 전합니다.

2007년 2월 노재화