

## 8. 역학의 혁명.

- 천문학의 혁명이 역학의 혁명으로 이어짐.
- 과학 혁명기에 역학의 혁명은 갈릴레오에 의해 본격적으로 시작
- 「운동에 대해서」 (1592)
- 1609년 망원경을 이용 목성 주위 4개의 달 발견
- 1610년 이후 목성의 위성, 태양의 흑점 등 다양한 천문학적 발견을 통해 코페르니쿠스 학설을 대중에게 설파
- 1624년 교황 우르바누스8세 알현 후 6년 동안 우주관에 관한 책 「대화」 집필→ 이 책의 파문으로 종교재판 받음 → 종교재판 이후 역학의 문체에 몰두
- 역학혁명의 결정판 「두가지 새로운 과학에 관한 논의와 수학적 논증」 (1638)
- 아리스토텔레스 역학체계에서 벗어난 새로운 근대역학 체계 탄생

### [갈릴레오의 초기 역학]

- 아리스토텔레스 역학의 문제에서 시작.
- 임페투스 이론 받아들임.
- 속도와 힘, 저항 사이의 관계를 다룸.
- 아르키메데스의 영향을 받아 낙하하는 물체의 속도  $v$ 는 물체의 밀도  $d$ 와 저항을 가하는 매체의 밀도  $d_m$ 의 차이에 비례:  $v \propto (d - d_m)$  제시
  - ⇒ 결국, 모든 물체는 종류나 크기에 상관없이 같은 속도로 낙하한다는 법칙 얻어냄.
    - 진공중의 낙하에 있어서 두 물체의 속도 차이는 영
    - 이론적 사고에 의해 얻어낸 결과.
    - 밀도가 영인 진공의 조건을 사용하는 추상화, 이상화
- 아리스토텔레스 역학의 중요한 요소 한 가지를 수정.
  - 물체의 무거움과 가벼움이 절대적인 성질이 아니고 상대적인 성질.



[파도바 대학]



## [갈릴레오 역학의 변화]

- 초기 갈릴레오 역학의 성격은 1600년을 전후해서 커다란 전환.
  - 운동의 원인이나 목적보다는 운동 자체의 정확한 기술에 주력.
  - 물체의 낙하 거리는 시간의 제곱에 비례( $s \propto t^2$ )
  - 자연 세계의 모든 현상은 가능한 한 가장 간단한 방식으로 일어난다는 원칙에 입각.
  - 이론적사고와 수학적 추론.

## [갈릴레오 역학의 공헌: 관성의 개념, 운동의 상대성, 운동의 복합법칙]

- 낙하에 관한 두 가지 법칙이 역학에 큰 기여 ( $v \propto t, s \propto t^2$ )
- 더 근본적인 기여들은 코페르니쿠스의 우주 구조를 받아들이면서 새로운 역학의 방향으로 나가게 된 이후 나왔음.
- 왜 높은 탑에서 떨어트린 공이 지구가 움직이는 데도 뒤로 처지지 않고 바로 아래에 떨어지나?
  - 물체가 한번 주어진 속도로 운동을 계속 한다 : '관성'
  - 갈릴레오의 관성의 개념 : '등속원운동의 관성의 개념'
  - 갈릴레오의 관성의 개념은 원운동을 중요시 하였던 아리스토텔레스 우주관의 제약을 벗어나지 못했지만, 아리스토텔레스의 운동이론으로부터는 벗어남.
  - 데카르트의 직선관성운동 받아들이는데 기여.
- 1일 1회전의 지구운동을 어떻게 지구위의 사람들은 느끼지 못하는가?
  - 운동의 상대성의 원칙
- 여러 가지 운동이 한 물체에 동시에 일어날 수 있고, 그 결과는 그 운동들의 복합에 의해 나타남.(운동의 복합 법칙)
  - ex)탄환의 포물선 운동 (수평 등속운동 + 수직 낙하운동)
  - 자연스러운 운동과 비자연적 운동으로 엄격히 구분 되었던 운동들을 그대로 복합시킴.
  - 엄격한 구별을 깨뜨림.

## [이상화된 조건과 플라톤적 경향]

- 심오한 지적 사고.
- 복잡한 현상에 매이지 않고 간단한 요소들로 분해.(포물선 운동을 직선 운동으로 분해)
- 실제로는 존재하지 않는 이상화된 조건(감속운동에서 저항이나 마찰이 없는 상태 가정한 관성운동 생각해냄) → 정확하고 논리적인 수학적 방법 사용.
- 자연세계가 숫자로 표시되어 있고, 수학적으로 설명될 수 있다는 플라톤 주의적 경향과 부합.
- 수학의 사용이 가능한 이상화된 세계에 대해서 실제 관측된 세계는 근사함에 불과.

## [아르키메데스의 영향]

- 아리스토텔레스 운동이론의 세부적 발전을 위주로 했던 ‘스콜라 역학’에서 벗어나, 아르키메데스의 영향을 받아 실용적이면서도 수학적인 체계를 갖춘 새로운 역학 움직임 보임.(16C 역학자들)
- 갈릴레오는 두 가지 역학의 전통에 모두 깊이 참여.
- 과학혁명의 사회적 배경: 실제적인 직업에 종사하던 계층이 학문적인 능력을 갖춘 계층으로 대두하고 사회적 지위도 부상되었으며, 이들의 학문적 활동이 대학에 속했던 자들에게 연결되어 역학의 발전에 직접 기여.

## [갈릴레오 역학의 한계]

- 관성의 개념이 등속 원운동의 지속에 바탕을 둠.
  - 우주구조에 있어 원운동 고수.
  - 물체를 낙하하게 하는 중력은 물체 자체의 성질로 파악
  - $s \propto t^2$  법칙에서 등가속 운동을 인식하지 못함. 낙하운동에만 한정시킴.  
(자연스런 운동과 비자연적 운동의 엄격한 구별에서 완전히 벗어나지 못함)
- ⇒ 아리스토텔레스 체계를 완전히 벗어나지 못함.

## [데카르트의 운동법칙: 관성과 충돌]

- 갈릴레오 역학의 한계를 데카르트가 깨뜨림.
- 데카르트 역학의 기초: 관성(inertia)의 원리.
- 직선관성운동의 개념을 명확히 제시.
- 기계적 철학(p. 124)에 바탕.
- 물질 자체가 운동의 원인이 될 수 없음→신이 물질에 운동을 부여→ 운동을 지속 시켜주는 것: 관성.
- 3개의 자연법칙(p.90)
  1. 모든 물체는 다른 것이 그 상태를 변화시키지 않는 한 똑 같은 상태로 남아 있으려고 한다.
  2. 운동하는 물체는 직선으로 그 운동을 계속하려 한다.
  3. 운동하는 물체가 자신보다 강한 것에 부딪히면 그 운동을 잃지 않고, 약한 것에 부딪혀서 그것을 움직이게 하면 그것에 준만큼의 운동을 잃는다.
    - 1, 2법칙: 관성의 법칙
    - 3법칙: 운동량의 보존 법칙( $mv$ )
- 갈릴레오: 등속원운동에 제한된 관성 → 데카르트: 직선운동에 적용된 관성.
- 모든 운동을 동일시 (자연스러운 운동, 비자연스러운 운동 구분 타파)
- 상대적인 운동의 정의 (절대적 운동이란 존재할 수 없다.)  
⇒ 아리스토텔레스 역학(운동원인)과는 다른 역학체계의 형성.
- 충돌의 문제
  - 물체의 운동 변화는 외부의 작용(물체간의 직접충돌)에 의해서 일어남.
  - 분리된 상태의 작용은 존재할 수 없음.

## [원운동의 문제]

- 데카르트의 우주구조 : 소용돌이 이론(물질입자들의 소용돌이)
- 우주는 물질로 꽉 찬 물질 공간, 모든 운동은 순환적.
- 원운동의 원심적 경향.

- 데카르트 : 원운동과 원심력에 대한 정성적 차원 → 호이겐스: 정략적 차원(원심력)
- 원심력을 중력과 연결시킴(호이겐스)
- 뉴턴 : 원운동은 가속운동, 구심력 ↔ 데카르트, 호이겐스: 원심적 경향에 주목.  
(원운동을 당연한 운동으로 봄)
- 호이겐스도 운동의 양을 스칼라로 생각함.
- 라이프니츠: 동역학
  - 힘: 물체에 작용해서 운동을 변화시키는 것 (뉴턴의 힘과 근본적 개념 차이)
  - 힘을 운동하는 물체가 지닌 어떤 것이라고 보는 기계적 철학의 독특한 전제가 데카르트, 호이겐스를 거쳐 라이프니츠에 까지 계속 나타났음.

## [17세기 역학의 한계]

- 기계적 철학에의 집착.
- 기계적 철학 : 외부 자연세계의 모든 현상을 물질과 그것의 운동으로만 설명.
- 뉴턴의 역학과는 근본적으로 상반되는 경향.
- 기계적 철학자들은 힘의 작용이 충돌에 의해서만 가해진다고 믿음.  
(충돌을 지나치게 강조)
- 분리된 상태의 작용 부정 (예, 만유인력) → 뉴턴 식의 역학이 발전 안 됨.
- 뉴턴이 기계적 철학과 상반되는 인력의 개념을 얻게 된 배경: 헤르메티시즘.
- 뉴턴이 기계적 철학을 받아들였지만 철두철미한 기계적 철학자는 아니었음.
- 충돌에 의한 운동의 변화를 순간적인 것으로 생각
- 충돌 전·후의 운동의 차이에만 관심.
- 그 차이가 발생하는 과정은 문제시하지 않음.
- 힘이란 순간적인 작용 → 만유인력과 같은 계속적으로 작용하는 힘에 대한 취급과 이해를 어렵게 함.  
속도의 계속적인 변화도 마찬가지.
- 개념의 혼동
- 정역학과 동역학 ~ 일과 힘, 무게와 충격, 질량과 무게 등의 혼동.

⇒ 뉴턴에 이르러서 이런 제약들이 극복되고 근대 역학, 즉 고전역학이 완성되게 됨.

### [뉴턴의 「프린키피아」와 고전 역학의 완성]

- 「프린키피아」 (1687) ~ 질량, 운동량, 몇 가지 힘에 대한 정의, 뉴턴의 운동법칙.
- 뉴턴의 제 1법칙(관성의 법칙) ~ 갈릴레오를 거쳐 데카르트에서 확립된 법칙의 재천명.
- 뉴턴의 제 2법칙: 운동의 변화는 가해진 힘에 비례하며, 그 힘이 가해진 직선의 방향으로 나타난다.

$$F = \Delta(mv) \rightarrow F = ma = \frac{d}{dt}(mv)$$

$\Delta t = 0 \rightarrow F = \Delta(mv)$ 가  $F = ma$ 에 접근함.

- 뉴턴의 제 3법칙: 작용과 반작용의 원리.  
⇒ 순간적인 힘의 개념에 바탕을 둔 운동법칙을 통해 만유인력처럼 계속적으로 작용하는 힘의 효과를 취급할 수 있게 해 주었음.
- 만유인력 & 운동 법칙 → 케플러의 세 법칙 유도.
- 고전 역학의 완성.

[기계적 철학:물질과 그것의 운동으로 자연현상을 설명함 → 뉴턴: 미분방정식과 그 해를 구하여 자연현상을 설명할 수 있음을 보임 → 혼돈이론: 초기치의 작은 오차로도 예측이 불가능함 (예, 나비효과)]

갈릴레오	데카르트	뉴턴
<ul style="list-style-type: none"> <li>. 이론적 사고, 수학적 추론(추상화, 이상화)</li> <li>. 관성: 등속 원운동에 국한</li> <li>. 운동의 상대성</li> <li>. 운동의 복합법칙</li> <li>. 낙하법칙</li> <li>(무거움과 가벼움의 상대적 성질 개념)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 직선관성운동</li> <li>. 충돌의 문제</li> <li>. 원운동의 문제(원심력)</li> <li>. 기계적 철학의 영향 (충돌을 너무 중시함)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 기계적철학+ 헤르메티시즘(인력)</li> <li>. 원운동( 구심력, 가속운동)</li> <li>. F=ma(순간적인 힘, 지속적인 힘)</li> <li>. 만유인력+ 운동법칙</li> <li>=&gt; 케플러의 세 법칙 유도</li> <li>. 만유인력, 쿨롱의 법칙의 유사성</li> </ul>