



## 2주차 결정론의 종말

1교시 결정론 이전과 이후의 과학

### 뉴턴 역학과 결정론

1. 물체의 운동에 대한 이해는 17세기 뉴턴에 의해 확립된 운동법칙과 중력법칙 (만유인력의 법칙)에 의해서 설명할 수 있습니다.
2. 결정론적 역학체계인 뉴턴역학이 확립된 과정과 결정론이 종말을 맞게 된 이유를 살펴봅니다.
3. 일상생활과 관련된 여러 가지 현상을 통해 배우는 **뉴턴의 운동법칙!**



# 1. 뉴턴 이전의 과학

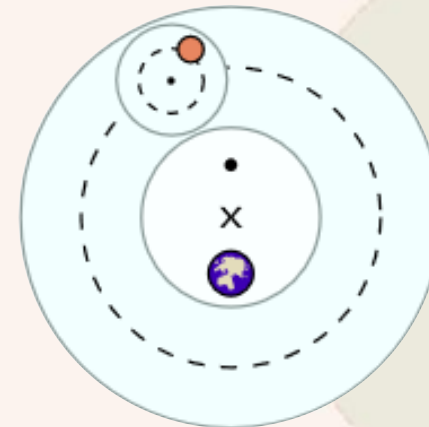
## ✎ 고대와 중세의 과학

그리스 시대의 사고 체계 – 아리스토텔레스의 운동에 대한 관점

- “ 물체가 멈추지 않고 계속 움직이려면 그 물체에 추진력이 끊임없이 작용해야 한다. ”
- “ 물체가 낙하할 때 무거운 물체가 더 빨리 떨어진다. ”

중세의 우주관 – 프톨레마이오스의 우주관

1. 프톨레마이오스(Claudius Ptolemaeus, AD68-AD168)
  - 지구가 우주의 중심이고 모든 행성과 별은 이심을 중심으로 원운동함
2. 이심, 대원, 주전원의 개념을 도입하여 천동설을 주장함



# 1. 뉴턴 이전의 과학

## 중세 기독교 세계관

- 부동(不動)의 원동자(原動者) – 신(God) (토마스 아퀴나스)
- 스콜라 철학 – 중세 그리스도학교에서 가르치던 철학으로 신앙과 이성을 하나의 체계로 결합함.  
아리스토텔레스의 운동관과 프톨레마이오스의 천동설이 신의 뜻과 일치한다고 생각
- 그리스인들은 가장 완벽한 도형이 "( )"이라고 생각하였고 천상의 운동은 "원궤도"라고 생각함
- 중세 기독교는 천상의 물체는 완벽하다고 생각했으므로 천상의 물체들은 완벽한 도형인 "원운동" 을 해야 한다고 생각함

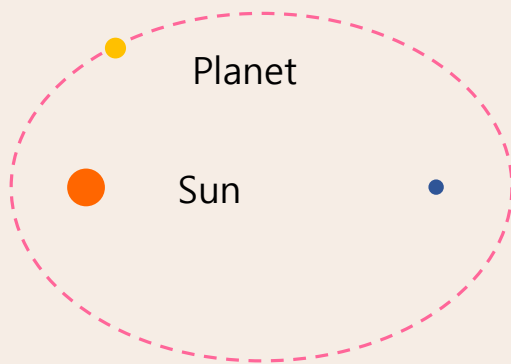
## 오캄의 면도날

- Willam of Ockham(원기론자) 의 주장 (1324)– 검약성의 원리
- "많은 것들을 필요 없이 가정해서는 안된다."
- "보다 적은 수의 논리로 설명이 가능한 경우, 많은 수의 논리를 세우지 말라."
- 오캄의 주장은 중세의 사고 체계를 무너뜨리는 씨앗을 제공함

## 2. 갈릴레오 이전/이후의 과학

### ✎ 갈릴레오 이전의 과학

- 오컴의 면도날에 의하면 행성이 운동할 때 행성을 밀어주는 천사는 필요 없으면 "신이 부여한 원기에 의해서 행성은 계속 운동한다"고 주장함. 신이 부여한 "관성"에 의해서 운동을 계속한다는 생각은 과학자들이 **"관성"의 개념을 생각하게 함**
- 니콜라우스 코페르니쿠스 (1473-1543) → 태양 중심의 태양계 모형인 지동설을 주장. 행성은 모두 원운동을 함
- 티코 브라헤 (1546~1601) → 맨 눈으로 행성 운동을 관측하여 행성 운동에 대한 매우 정밀한 관측자료를 남김.
- 요하네스 케플러 (1571~1630) → 티코 브라헤의 관측자료를 분석하여 케플러의 3가지 법칙을 발견.



### 케플러의 제1법칙(궤도의 법칙)

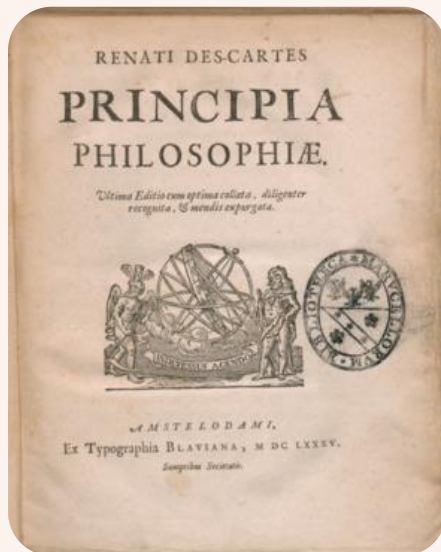
- "모든 행성은 태양을 하나의 초점으로 하는 ( )를 그린다.(1609년)"
- "타원궤도"는 중세의 신앙적 권위를 형성하고 있던 "원궤도"를 배격하는 코페르니쿠스의 전환임



## 2. 갈릴레오 이전/이후의 과학

### 르네 데카르트의 기계철학과 비판적 합리론

- 르네 데카르트(René Descartes, 1596-1650)는 17세기 서양의 "과학적 사고 체계"에 큰 영향을 준 철학자, 물리학자, 수학자.
- "고디기토 에르고 숨(Cogio ergo sum, 나는 생각한다 고로 존재한다)"로 유명
- 직각좌표계인 카테시안 좌표계(Cartesian Coordinate)를 처음 발견, 수학에 미지수  $x$  을 도입함.
- 대수학과 기하학을 결합한 해석기하학을 발전시킴.



- 과학적 사고 체계 – 경험의 불완전성을 극복하기 위해서 진리를 탐색하는 방법으로 "회의론"과 "합리주의"를 주장
- 기계철학(Mechanical Philosophy) 주장 – "자연은 정확한 ( )에 의해서 지배되는 완전한 기계"
- 자연 현상은 눈에 보이지 않는 미세한 물질로 이루어져있으며 물질세계를 이러한 미세한 물질인 "입자"의 "운동"과 충돌로 설명
- 데카르트의 주장과 사고 체계는 아이작 뉴턴에 지대한 영향을 줌

## 2. 갈릴레오 이전/이후의 과학

### 갈릴레오의 물리학

- 물체에 작용하는 추진력을 제거하면 물체가 정지하는 것이 아니라 그 물체가 받는 ( )의 크기에 따라 감속 됨을 알아냄.
- 관성의 개념에 매우 가까이 도달함.
- 진자의 주기성, 유압저울, 동역학의 원리, 음역의 비례관계 등을 발견하였고, 망원경을 개선하여 달표면을 관찰하고 목성의 위성 4개를 발견함. 달의 표면이 울퉁불퉁함을 발견함



- 1632년 "두 주된 세계상에 관한 대화(일명 대화, Dialogues)를 출판 – 코페르니쿠스의 이론을 지지하는 듯한 내용을 담음.  
→ 1632년 종교재판소의 조사를 받음.
- 자연의 법칙과 원리를 발전시키는데 수학의 중요성을 깨달음.
- 뉴턴의 세 가지 운동법칙으로 수식화 된 뉴턴 역학의 기본이 되는 일련의 중요한 관찰을 함.

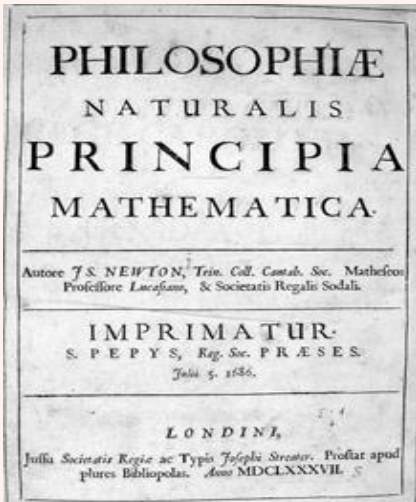
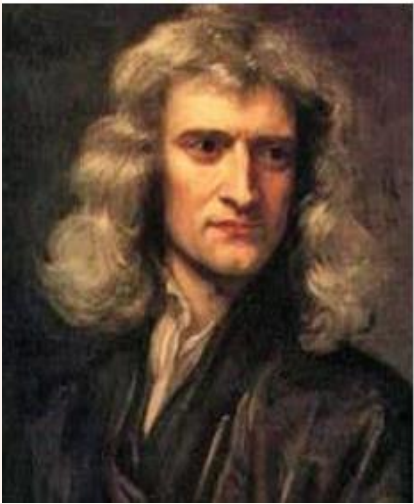
◀ 1632, "두 가지 주요 세계관에 대한 대화"  
코페르니쿠스 vs 트톨레마이오스  
(Salviati) (Simplicio)

1610, 세데리우스 눈치우스 ▶  
- 달의 산맥, 은하수의 별무리  
- 목성의 4 위성



### 3. 뉴턴의 과학

#### ✎ 아이작 뉴턴 기계론적 세계관 확립



- 아이작 뉴턴(Isaac Newton, 1643~1727)
  - 뉴턴의 운동법칙과 중력법칙을 발견하여 서양의 기계론적 세계관을 확립함
- "미적분학"을 독립적으로 발견함.
  - 비슷한 시기에 라이프니츠도 미적분학을 동시에 발견.
  - 우리가 미적분학 기호로 사용하는  $d/dx$ ,  $\int dx$  는 라이프니츠의 기호임
- 백색광이 프리즘을 통과할 때 빨,주,노,초,파,남,보라의 색으로 분리됨을 발견하고 빛의 "입자성"을 주장함.
- 최고의 과학책인 "프린키피아(Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica)를 저술
- 뉴턴의 제1법칙인 "( )의 법칙 발견"
- 뉴턴의 제2법칙인 "( )의 법칙 발견"
- 뉴턴의 제3법칙인 "작용-반작용의 법칙 발견"
- 질량을 가진 두 물체 사이의 힘이 거리의 제곱에 ( )하는 "중력법칙" 발견



### 3. 고전역학(Classical mechanics)-기계론적 세계관

#### \* 고전역학(Classical mechanics)

지구가 태양 주위를  
공전하는 현상

인공위성의 궤도 추적

혜성의 예측

지표면 근처에서  
물체의 운동

이러한 운동은 모두 뉴턴 역학으로  
설명할 수 있습니다. 물리학에서는 뉴턴역학과  
관련된 현상을 **고전역학** 이라고 부릅니다.



뉴턴역학이 성립하는 곳은 **물체의 속도가 느리고(빛의 속도에 비해서) 물체의 크기가 큰 곳에서 성립**합니다.  
물체의 속도가 빛 속도에 가까워 지거나 큰 중력을 받는 곳에서는 **상대성이론**이 뉴턴역학을 대체합니다.  
또한 원자나 분자와 같은 작은 크기를 가진 세상에서 뉴턴역학은 성립하지 않고 **양자역학**이 그 자리를 대신합니다.

### 3. 힘과 관성

✎ 인류가 힘과 운동 사이의 관계를 깨닫게 된 것은 그리 오래된 일이 아닙니다.

관성의 법칙을 처음 깨달은 사람은 갈릴레이 갈릴레오입니다.

아리스토텔레스(B.C384-322)는 "물체를 운동시키려면 계속하여 힘이 작용하여야 한다" 고 주장하였습니다.

그러나 갈릴레오(1614-1642)는 물체와 표면 사이에 작용하는 마찰력(슬림힘, frictional force)의 존재를 깨닫고, 마찰이 없는 수평면에서 일정한 속도로 운동하는 물체는 운동하는데 아무 힘이 필요하지 않으며, 그 운동을 지속할 것으로 생각하였습니다. 갈릴레오 이전까지는 마찰력의 존재를 깨닫지 못하였으므로, 물체의 운동에 대한 본성을 이해하기 쉽지 않았습니다. 결국 물체가 정지하는 원인은 운동하는 동안 물체에 작용하는 마찰력 때문입니다.

→ 일상생활에서 쉽게 경험하는 관성(inertia)의 예

자동차가  
정지하고 출발  
할 때 몸이 앞  
또는 뒤로 쓸  
리는 현상

작은 배보다  
큰 배가 풍랑  
에 더 안정한  
현상

대형 여객기가  
소형 여객기  
보다 기류에  
적게 흔들리는  
현상

운동하는 무거  
운 바퀴는 정지  
시키기 어려운  
현상



🔄 일상생활에서 느끼는 관성에 대한 다른 예를 생각해 보세요.

### 3. 힘과 관성

- ✎ 마찰력의 존재를 깨달은 갈릴레오로부터 새로운 운동법칙의 발견이 시작되었습니다.
- ✎ 갈릴레오의 관성에 대한 발견은 후에 뉴턴의 "관성의 법칙(뉴턴의 운동 제1법칙)"으로 확립되었습니다.

관성의 법칙은,

"( )이 작용하지 않은 한 물체의 운동 상태는 그대로 지속된다."

또는

"어떤 힘도 작용하지 않으면 운동 상태는 달라지지 않는다."

관성의 법칙에서 알 수 있듯이 **힘**이란 '**물체의 운동상태를 변화시키는 원인**'입니다.  
따라서 힘이 작용하지 않으면 정지한 물체는 계속 정지해 있으며,  
운동하던 물체는 같은 운동 상태를 지속합니다.

물체에 작용하는 합력

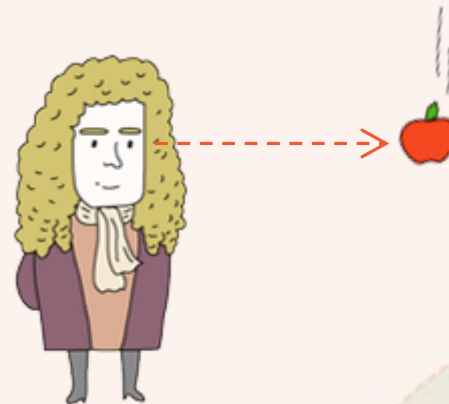
→ "운동 상태의 변화"

## 4. 마찰력의 발견

우리 주변에서 너무 친숙한 현상들은 그 존재 자체를 깨닫는데 어려움이 따릅니다. 매일 숨을 쉬지만 공기의 존재를 잊어버리고 살기 쉽습니다.

**마찰력**과 **중력**이 이러한 부류에 속하는 것 중의 하나입니다.

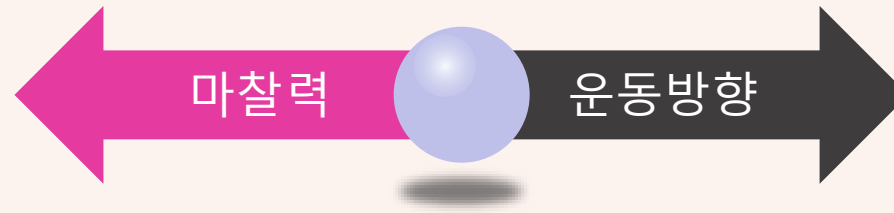
물체가 땅으로 떨어지는 현상은 일상생활에서 너무나 자연스럽게 일어납니다. 뉴턴 이전까지 "사과는 왜 땅에 떨어지는가?(뉴턴의 사과)"에 대한 의문을 품었던 사람은 아무도 없었습니다.



천재 물리학자인 뉴턴조차도 사과가 땅에 떨어지는 원인을 천문학 자료 (특히 달에 대한 자료)를 바탕으로 우회적으로 깨달았습니다. 마찰력 역시 우리 주변에서 항상 작용하고 있기 때문에 그 존재를 깨닫기 어렵습니다. 처음 마찰력의 존재를 깨달은 사람은 앞에서 말한 갈릴레오 입니다.



## 4. 마찰력의 발견



마찰력은 운동하는 방향과 반대 방향으로 작용하므로 물체의 운동을 방해하는 경향이 있습니다.  
특히 운송 수단에 쓰이는 동력 에너지는 많은 부분은 마찰에 의한 열 에너지로 소모됩니다.

그러나 마찰력이 항상 쓸모 없을까요?

## 4. 마찰력의 발견

사실 마찰력은 일상생활에서 매우 유용한 역할을 하기도 합니다.

여러분이 얼음판에서 걸어가기 어려운 것은 마찰력이 작기 때문입니다.

또한 땅 위를 걸어갈 수 있는 요인도 지면과 발 사이의 마찰력 때문입니다.

마찰이 없다면 큰 속도로 움직이던 물체를 멈추게 하는 것이 매우 어려울 것입니다.

심지어 손으로 물건을 들 수도 없을 것입니다.

⌚ 마찰력이 유용한 경우와 마찰력이 방해가 되는 경우의 예를 들어 보세요.

## 5. 힘과 가속도

### ✎ 힘이란 무엇인가?

갈릴레오가 관성의 법칙을 깨닫고 뉴턴이 관성의 법칙(뉴턴의 운동 제1법칙)을 확립한 후에 힘의 의미를 명확히 알게 되었습니다.

물체의 운동 상태가 변하지 않고 유지되고 있는 상태 (정지한 물체는 계속 정지하고, 일정한 속도로 움직이던 물체는 계속 같은 속도로 움직이는 상태)는 힘이 작용하지 않는 상태입니다.

### “힘이란 물체의 운동 상태를 변화시키는 것”

물체의 속도 변화가 생기면 물체의 운동 상태가 변한 것입니다.

이때 물체에는 힘이 작용하고 있습니다.

뉴턴은 힘과 속도 변화 사이의 관계를 처음으로 발견하였습니다.



단위 시간당 속도의 변화량을 ( )라 한다.

힘과 가속도의 관계를 다음과 같이 법칙화 할 수 있으며, 이를 “뉴턴의 제2법칙(또는 운동의 법칙)”이라 한다.

“물체의 가속도는 물체에 작용하는 알짜 힘에 비례한다.”

여기서 알짜 힘(총힘, 합력)이란 물체에 작용하는 모든 힘을 더한 것이며 힘과 가속도는 정확히 비례하는 관계에 있다.


$$a = \frac{dv}{dt}$$

## 6. 힘과 가속도

한편 같은 힘을 서로 다른 물체에 가해보면 같은 크기의 힘에 대해서 가속하는 정도가 다릅니다. 가벼운 물체는 가속하기 쉽지만, 무거운 물체는 가속하기 어렵습니다. 같은 크기의 힘에 의해서 가속되는 정도가 다른 물체의 이런 특성을 그 물체의 “( ) (mass)” 이라 합니다. **질량은 물체의 관성에 대한 물리적인 척도**입니다.

 질량이 **M**인 물체에 힘 **F**를 가했을 때 물체의 가속도를 **a**라 합니다.

 질량이 **같은** 물체에 **2배의** 힘을 가하면 **가속도는 2배**가 됩니다.

 반면, 질량이 **2M**인 물체에 힘 **F**를 가하면 가속도는 **a/2**가 됩니다. 힘의 단위는 뉴턴(N)을 사용합니다.

힘과 가속도의 관계-질량이 크면 그만큼 가속하기 어렵다

$$\mathbf{F} = (\text{질량})(\text{가속도}) = \mathbf{ma}$$

질량은 크기만 가지는 양이지만, 힘과 가속도는 방향과 크기를 동시에 가지는 양입니다. 힘은 가하는 방향이 존재하며 알짜 힘을 가한 방향으로 가속도가 생깁니다.



## 6. 힘과 가속도

✏ 힘의 단위는 뉴턴(N)을 사용합니다.

공기마찰이 없을 때 지표면에서 물체의 가속도는 중력가속도를 갖습니다. 물체의 가속도는 물체의 질량에 무관합니다. 일상생활에서 큰 가속도는 인체에 치명적인 영향을 줍니다.

아래 표는 여러 상황에서 가속도의 크기를 나타낸 것입니다.

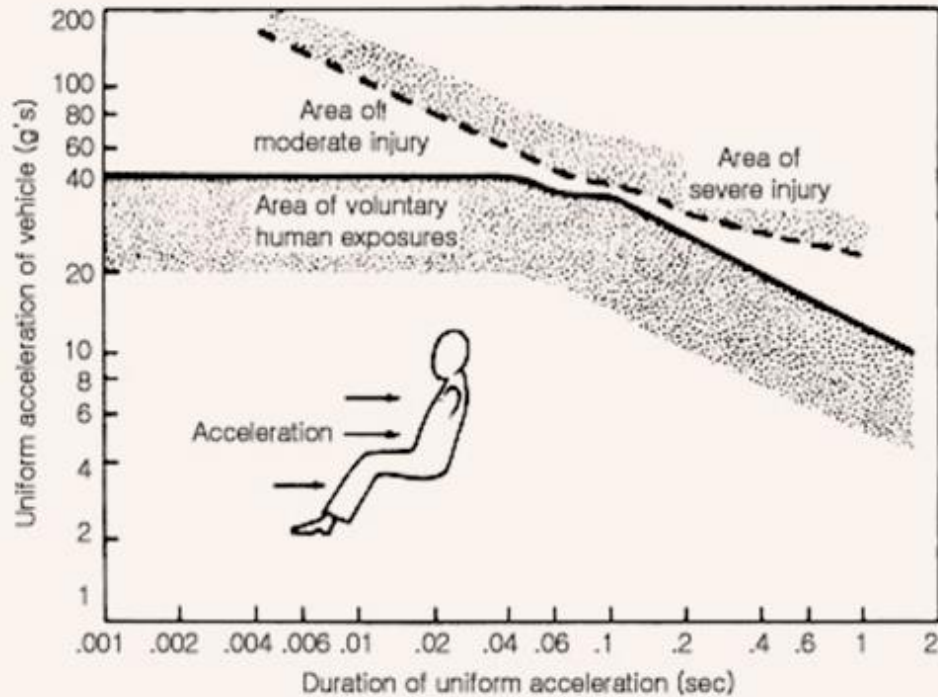
**가속에 의한 충격: 여러 상황에서 인간이 체험하는 가속도는 다음과 같다.**

낙하산이 퍼질 때의 충격	6 ~ 30G
낙하산이 지면에 닿을 때의 충격	1.5 ~ 4G
항공모함 탑재기의 발진 충격	3 ~ 7G
전투기의 좌석 방출	10G
소방대의 인명 구조 그물 내에 낙하	20G
헬멧을 쓴 두부의 충격 한계	15 ~ 40G
똑바로 선 자세에서 넘어졌을 때 두부에 미치는 충격	170G
목숨을 건진 낙하의 예	25 ~ 250G (낙하거리 15 ~ 20m)
자동차의 중대사고	100G 이상
대략적인 목숨을 건진 한계	175 ~ 200G

하야시히로시, 자동차 사고 감정공학, 일본기술서원, 1992, p.221

$$1G = 9.8m/s^2$$

인체가 가속도에 견디는 한계는 가속도의 크기와 가속 지속 시간에 의존한다 (그림 참조)



◀ 좌석에 묶어 놓은 인체가 가속 시간에 따라서 가속도를 견뎌 낼 수 있는 한계

지금까지 결정론 이전의 과학에 대해 알아보았습니다.  
다음시간에는 **결정론의 세계**에 대해서 살펴봅시다.