

# 1장: 측정

Measurement

## 이번 장에서 배울 내용

- **물리학(physics)** 은 측정과 비교의 학문이다
- **기본량(base quantities)** 과 **SI 단위계**
- **단위 변환(unit conversion)**: chain-link method
- **유효숫자(significant figures)**: 측정의 정밀도를 나타내는 방법
- 길이, 시간, 질량의 **표준(standard)** 은 어떻게 정해졌는가?

# 물리학이란?

물리학은 자연 현상을 **측정** 하고 **비교** 하여 법칙을 찾아내는 학문이다.

- "이 강의실의 온도는 몇 도인가?" → 온도계로 **측정**
- "어제보다 더운가?" → 두 측정값을 **비교**
- "왜 더운가?" → 물리 **법칙** 으로 설명

측정하려면 **표준(standard)** 이 필요하다.

"측정할 수 없는 것은 개선할 수 없다." — 켈빈 경 (Lord Kelvin)

모든 측정은 **숫자** 와 **단위** 의 조합이다. "길이가 3"은 의미가 없고, "길이가 3 **m** "이어야 의미가 있다.

# SI 단위계

국제단위계 **SI(Système International)** 는 7개의 **기본량 (base quantities)** 을 정의한다.

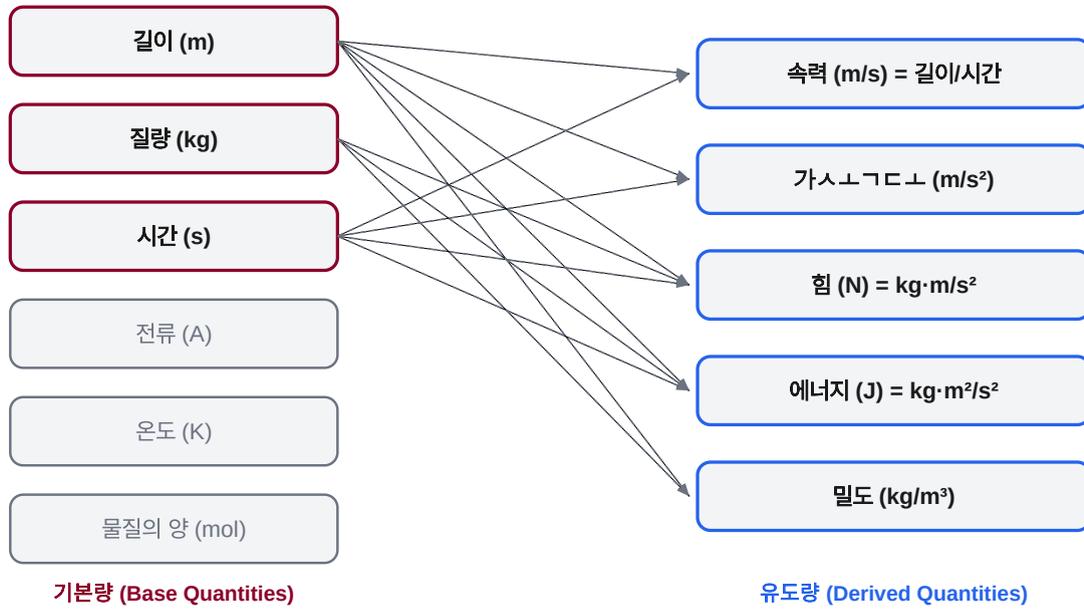
기본량	단위	기호
길이 (length)	미터	m
질량 (mass)	킬로그램	kg
시간 (time)	초	s
전류 (electric current)	암페어	A
온도 (temperature)	켈빈	K
물질의 양 (amount of substance)	몰	mol
광도 (luminous intensity)	칸델라	cd

이 장에서는 **길이(m)**, **시간(s)**, **질량(kg)** 에 집중한다.

나머지 모든 물리량은 기본량의 조합인 **유도량(derived quantities)** 이다.

# 기본량과 유도량

## SI 기본량과 유도량



예시:

- 속력 = 길이/시간 → m/s
- 힘 = 질량 × 가속도 → kg·m/s<sup>2</sup> = N (뉴턴)
- 에너지 = 힘 × 길이 → kg·m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> = J (줄)

# SI 접두어

접두어	기호	크기	예시
테라 (tera)	T	$10^{12}$	1 TB 외장하드
기가 (giga)	G	$10^9$	5G 통신 (GHz)
메가 (mega)	M	$10^6$	지진 에너지 (MJ)
킬로 (kilo)	k	$10^3$	서울→부산 330 km
밀리 (milli)	m	$10^{-3}$	동전 두께 ~1.5 mm
마이크로 (micro)	$\mu$	$10^{-6}$	적혈구 ~7 $\mu$ m
나노 (nano)	n	$10^{-9}$	삼성 3nm 공정
피코 (pico)	p	$10^{-12}$	분자 진동 주기 (ps)

삼성전자의 "3nm 공정"이란? 트랜지스터 게이트 길이가  $3 \times 10^{-9} \text{ m} = 0.000000003 \text{ m}$ 라는 뜻이다. 원자 약 10개를 나란히 놓은 크기!

# 단위 변환: Chain-link Method

단위를 바꿀 때는 **변환 인수(conversion factor)** 를 곱한다.

핵심 원리:  $\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} = 1$  이므로, 이것을 곱해도 값은 변하지 않는다.

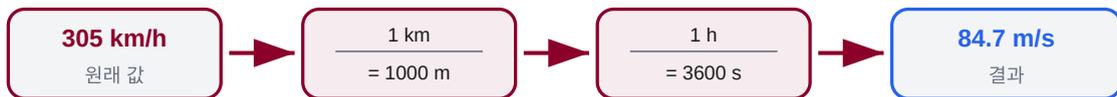
## 단위 변환: Chain-link Method

예시: 25평 아파트는 몇 m<sup>2</sup>?



$$25 \text{ 평} \times (3.3058 \text{ m}^2 / 1 \text{ 평}) = 82.6 \text{ m}^2$$

예시: KTX 속도 305 km/h = ? m/s



## 단위 변환 예제

**예제 1:** 25평 아파트는 몇 m<sup>2</sup>?

$$25 \text{ 평} \times \frac{3.3058 \text{ m}^2}{1 \text{ 평}} = 82.6 \text{ m}^2$$

**예제 2:** 한우 1근은 몇 kg?

$$1 \text{ 근} = 600 \text{ g} = 0.600 \text{ kg}$$

**예제 3:** KTX 최고 속도 305 km/h를 m/s로?

$$305 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 84.7 \text{ m/s}$$

빠른 변환: km/h에서 m/s로 바꾸려면 **3.6으로 나누면** 된다.

# 1.1 길이

## 미터(m)의 정의 변천사

### 미터(m)의 정의 변천사



----- 실물 기준  
자연 상수 기준 -----

누구나, 어디서나 재현 가능한 정의를 향해

## 현재의 미터 정의 (1983~)

1 미터 = 빛이 진공에서  $\frac{1}{299\,792\,458}$  초 동안 이동하는 거리

이 정의는 **빛의 속도** 을 정확히 고정한다:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \quad (\text{정확한 값, 오차 없음})$$

왜 자연 상수로 정의할까?

- 실물 원기는 시간이 지나면 변한다 (마모, 열팽창)
- 자연 상수는 우주 어디서나, 언제나 같다
- 누구나 독립적으로 재현할 수 있다

## 다양한 길이 스케일

대상	크기
양성자 지름	$\sim 10^{-15}$ m
원자 지름	$\sim 10^{-10}$ m
삼성 3nm 트랜지스터	$\sim 3 \times 10^{-9}$ m
머리카락 굵기	$\sim 5 \times 10^{-5}$ m
사람 키	$\sim 1.7$ m
지구 지름	$\sim 1.3 \times 10^7$ m
지구-태양 거리	$\sim 1.5 \times 10^{11}$ m
관측 가능한 우주	$\sim 10^{27}$ m

가장 작은 것부터 가장 큰 것까지  
크기 차이가  $10^{42}$  배 차이!

# 유효숫자 (Significant Figures)

유효숫자란 측정에서 의미 있는 자릿수를 말한다.

## 규칙

1. **0이 아닌 숫자**는 항상 유효: 723 → 유효숫자 3개
2. **사이에 낀 0**은 유효: 7003 → 유효숫자 4개
3. **앞에 붙은 0**은 유효하지 않음: 0.0056 → 유효숫자 2개
4. **뒤에 붙은 0**은 소수점이 있으면 유효: 8.200 → 유효숫자 4개

## 연산 규칙

- **곱셈/나눗셈**: 결과의 유효숫자 개수 = 가장 적은 쪽
- **덧셈/뺄셈**: 결과의 소수점 자릿수 = 가장 적은 쪽

예:  $3.14 \times 2.1 = 6.594 \rightarrow 6.6$  (유효숫자 2개)

## 1.2 시간

### 초(s)의 정의

1초 = 세슘-133 원자의 바닥 상태 초미세 전이에 해당하는 복사선의 9,192,631,770 주기

원자시계(**atomic clock**) 는 이 원리로 작동한다.

- 현대 세슘 원자시계의 정확도:  $\pm 1$  초 /  $10^8$  년
- 3000만 년에 1초 오차!

## 원자시계와 GPS

GPS 위성에는 **원자시계**가 탑재되어 있다.

GPS 원리: 위성 4개에서 보낸 전파의 **도착 시간 차이**로 위치를 계산

$$\text{거리} = c \times \Delta t$$

만약 시계가  $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ 만 틀려도:

$$\Delta d = (3 \times 10^8 \text{ m/s}) \times (10^{-6} \text{ s}) = 300 \text{ m}$$

카카오맵 내비게이션이 300 m씩 틀린다면 쓸 수 없다! 정밀한 시간 측정이 일상 기술의 핵심이다.

## 다양한 시간 스케일

사건	시간
빛이 원자 통과	$\sim 10^{-15} \text{ s}$
CPU 한 클럭 (3 GHz)	$\sim 3 \times 10^{-10} \text{ s}$
눈 깜빡임	$\sim 0.15 \text{ s}$
심장 박동	$\sim 1 \text{ s}$
대학 강의	$\sim 4.5 \times 10^3 \text{ s}$
하루	$8.64 \times 10^4 \text{ s}$
1년	$3.156 \times 10^7 \text{ s}$
사람 수명	$\sim 2.5 \times 10^9 \text{ s}$
우주의 나이	$\sim 4.4 \times 10^{17} \text{ s}$

## 1.3 질량

### 킬로그램(kg)의 정의

**과거 (1889~2018):** 백금-이리듐 합금 원기 (파리 국제도량형국 보관)

문제: 세척할 때마다 원자 수십 개가 떨어져 나감 → 시간이 지나면서 질량이 변했다!

**현재 (2019~):** 플랑크 상수  $h$ 로 정의

$$h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (\text{정확한 값})$$

$\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$  이고, m과 s는 이미 정의되었으므로,  $h$ 의 값을 고정하면 kg이 결정된다.

## 밀도

**밀도(density)**  $\rho$ 는 단위 부피당 질량이다:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- SI 단위:  $\text{kg/m}^3$
- 일상적 단위:  $\text{g/cm}^3$  (물의 밀도 =  $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

물질	밀도 ( $\text{kg/m}^3$ )
공기	1.2
물	1000
알루미늄	2700
철	7870
금	19300
오스뮴 (가장 무거운 원소)	22590

## 다양한 질량 스케일

대상	질량
전자	$9.1 \times 10^{-31}$ kg
양성자	$1.7 \times 10^{-27}$ kg
모기	$\sim 10^{-6}$ kg
100원 동전	$5.42 \times 10^{-3}$ kg
사람	$\sim 70$ kg
KTX 열차	$\sim 4 \times 10^5$ kg
지구	$5.97 \times 10^{24}$ kg
태양	$1.99 \times 10^{30}$ kg

# 크기 어림 (Order of Magnitude)

물리학에서는 정확한 답보다 **자릿수(order of magnitude)** 를 빠르게 추정하는 능력이 중요하다.

**예제: 서강대 운동장에 탁구공을 채운다면?**

**1단계:** 운동장 크기 어림

- 가로  $\sim 100$  m, 세로  $\sim 70$  m, 높이  $\sim 3$  m (담장 높이)
- 부피:  $V \sim 100 \times 70 \times 3 = 2.1 \times 10^4 \text{ m}^3$

**2단계:** 탁구공 크기

- 지름  $\sim 4$  cm  $\rightarrow$  반지름  $\sim 0.02$  m
- 한 개 부피:  $V_{\text{ball}} \sim (0.04)^3 \approx 6.4 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
- 랜덤 패킹 효율  $\sim 0.64$

**3단계:** 계산

$$N \sim \frac{V \times 0.64}{V_{\text{ball}}} \sim \frac{2.1 \times 10^4 \times 0.64}{6.4 \times 10^{-5}} \sim 2 \times 10^8$$

약 **2억 개!** (정확한 값이 아니라  $\sim 10^8$  이라는 자릿수가 중요)

시뮬레이션: 스케일 탐험기 시뮬레이션

# Review & Summary

## 핵심 개념

개념	내용
SI 기본량	길이(m), 질량(kg), 시간(s) 등 7개
미터 정의	빛이 $\frac{1}{299\,792\,458}$ s 동안 이동하는 거리
초의 정의	세슘-133 원자의 초미세 전이 복사선의 $9.192 \times 10^9$ 주기
kg의 정의	플랑크 상수 $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J·s 로 결정
밀도	$\rho = m/V$
단위 변환	변환 인수를 곱한다 (chain-link)

## 기억할 것

- 모든 SI 기본 단위는 **자연 상수** 로 정의된다 (실물 원기 없음)
- 단위 변환 시 **변환 인수** 를 체인처럼 연결하여 곱한다
- **유효숫자** 는 측정의 정밀도를 나타낸다
- 물리학에서 **크기 어림** 은 매우 유용한 도구다
- 정밀한 시간 측정이 GPS 같은 현대 기술을 가능하게 한다

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

$$h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$