

물리기반 모델링

1.4 다양한 힘 모델

동명대학교 게임공학과
강영민

힘

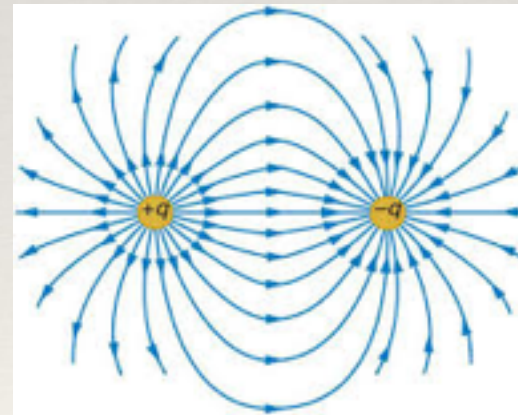
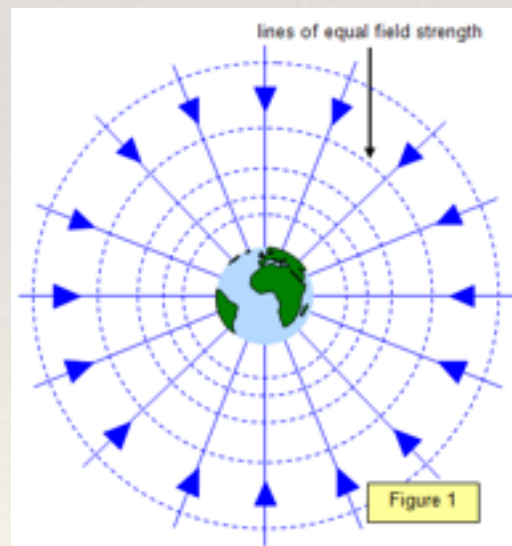
- ❖ 힘은
 - ❖ 운동을 유발한다.
- ❖ 역학에서 매우 중요하다.
- ❖ 다양한 모델이 존재한다.

다룰 개념들

- ❖ 역장(힘의 장): 예 - 중력
- ❖ 마찰: 운동에 저항하는 접촉력
- ❖ 유체 항력: 유체 내에 움직이는 물체에 가해지는 저항력
- ❖ 압력: 단위 면적 당 가해지는 힘
- ❖ 부력: 유체에 잠긴 객체를 “위로” 밀어 올리는 힘
- ❖ 스프링-댐퍼: 객체를 탄성으로 묶어 놓는 힘
- ❖ 회전력: 물체를 회전하게 만드는 “힘의 모멘트”

힘의 장

- ❖ 힘의 장(force field)
- ❖ 물체에 가해지는 힘을 표현하는 벡터의 장
- ❖ 좋은 예
 - ❖ 중력장
 - ❖ 전자기장



Gravitational force field

- ❖ 만유 인력

$$|\mathbf{f}_u| = Gm_1m_2/r^2$$

- ❖ G: 중력계수

$$6.673 \times 10^{-11} (N \cdot m^2)/kg^2$$

- ❖ r: 두 질량 사이의 거리

- ❖ $m_{\{1,2\}}$: 각각의 질량

- ❖ 지구에서의 중력

- ❖ 지구의 질량: $5.98 \times 10^{24} kg$

- ❖ 지구 반지름: $6.38 \times 10^6 m$

- ❖ 중력 가속도

$$\frac{Gm_{earth}}{r^2} \simeq \left(\frac{6.673 \times 5.98}{6.38^2} \right) \times 10 m/s^2 \simeq 9.8034 m/s^2$$

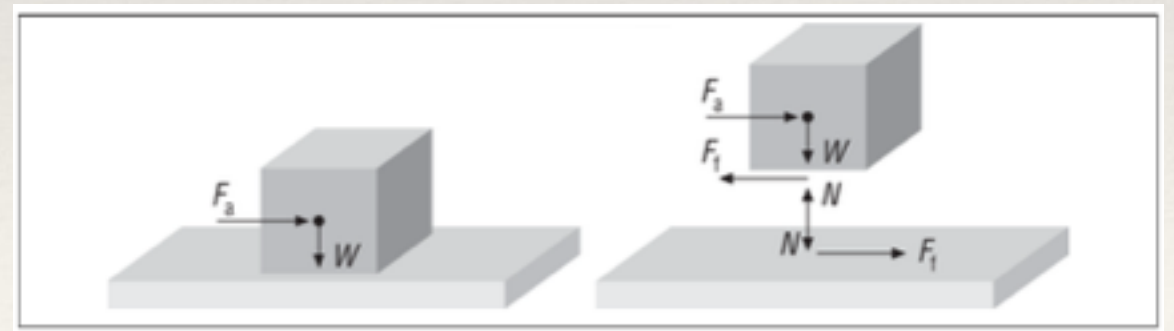
마찰력

- ❖ 접촉면에 의한 저항력
 - ❖ 접촉력
 - ❖ 법선 방향으로 가해지는 힘: N 이 중요
- ❖ 두 종류의 마찰력
 - ❖ 정지 마찰력: 최대의 마찰력

$$|\mathbf{f}_{max}| = \mu_s \mathbf{N}$$

- ❖ 운동 마찰력

$$|\mathbf{f}_k| = \mu_k \mathbf{N}$$



마찰계수

❖ 잘 알려진 표면의 마찰 계수

❖ M_s : 정지마찰계수 / M_u : 운동마찰계수

| Surface condition | M_s | M_u | % difference |
|------------------------|-------|-------|--------------|
| Dry glass on glass | 0.94 | 0.4 | 54% |
| Dry iron on iron | 1.1 | 0.15 | 86% |
| Dry rubber on pavement | 0.55 | 0.4 | 27% |
| Dry steel on steel | 0.78 | 0.42 | 46% |
| Dry Teflon on Teflon | 0.04 | 0.04 | — |
| Dry wood on wood | 0.38 | 0.2 | 47% |
| Ice on ice | 0.1 | 0.03 | 70% |
| Oiled steel on steel | 0.10 | 0.08 | 20% |

유체 항력

- ❖ 마찰력과 유사
 - ❖ 마찰력은 항력에서 주요한 요소
 - ❖ 하지만 마찰력이 전부는 아님
- ❖ 천천히 움직이는 객체의 점성 항력: 층류(laminar) 상태
 - ❖ $f = -C v$
- ❖ 빠르게 움직이는 객체의 항력: 난류(turbulence) 상태
 - ❖ $f = -C v^2$

압력

- ❖ 압력은 힘이 아님
 - ❖ 압력 = 단위 면적 당 가해지는 힘
 - ❖ $F = PA$ (힘 = 압력 \times 면적)
 - ❖ $P = F/A$
- ❖ 압력이 중요한 시뮬레이션 예들
 - ❖ 보트, 호버크래프트...

부력

- ❖ 유체 내의 서로 다른 압력에 의해 발생
- ❖ 수평으로 작용하는 힘의 총합 = 0
- ❖ 수직으로 작용하는 힘의 총합 = 아래쪽 면에 작용하는 힘 - 윗면에 작용하는 힘

- ❖ $F = PA$

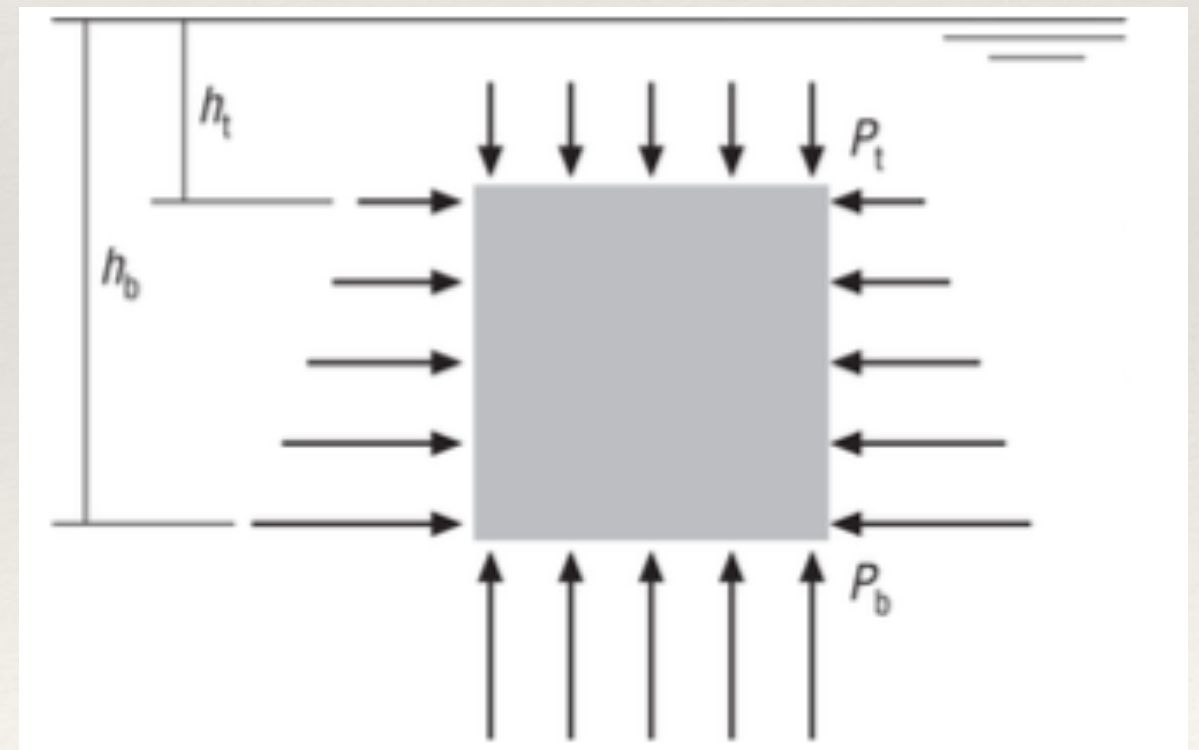
- ❖ 압력: 밀도와 중력의 수

- ❖ 위쪽에 작용하는 압력

$$P_t = \rho g h_t$$

- ❖ 아래쪽에 작용하는 압력

$$P_b = \rho g h_b$$



부력

❖ 힘

$$\mathbf{f}_t = \mathbf{P}_t A_t = \rho \mathbf{g} h_t s^2$$

$$\mathbf{f}_b = \mathbf{P}_b A_b = \rho \mathbf{g} h_b s^2$$

❖ 차이

$$\mathbf{f}_b - \mathbf{f}_t = \rho \mathbf{g} h_b s^2 - \rho \mathbf{g} h_t s^2$$

$$= \rho \mathbf{g} (h_b - h_t) s^2$$

$$= -\rho \mathbf{g} s^3$$

$$= -\rho \mathbf{g} V \quad (V : volume)$$