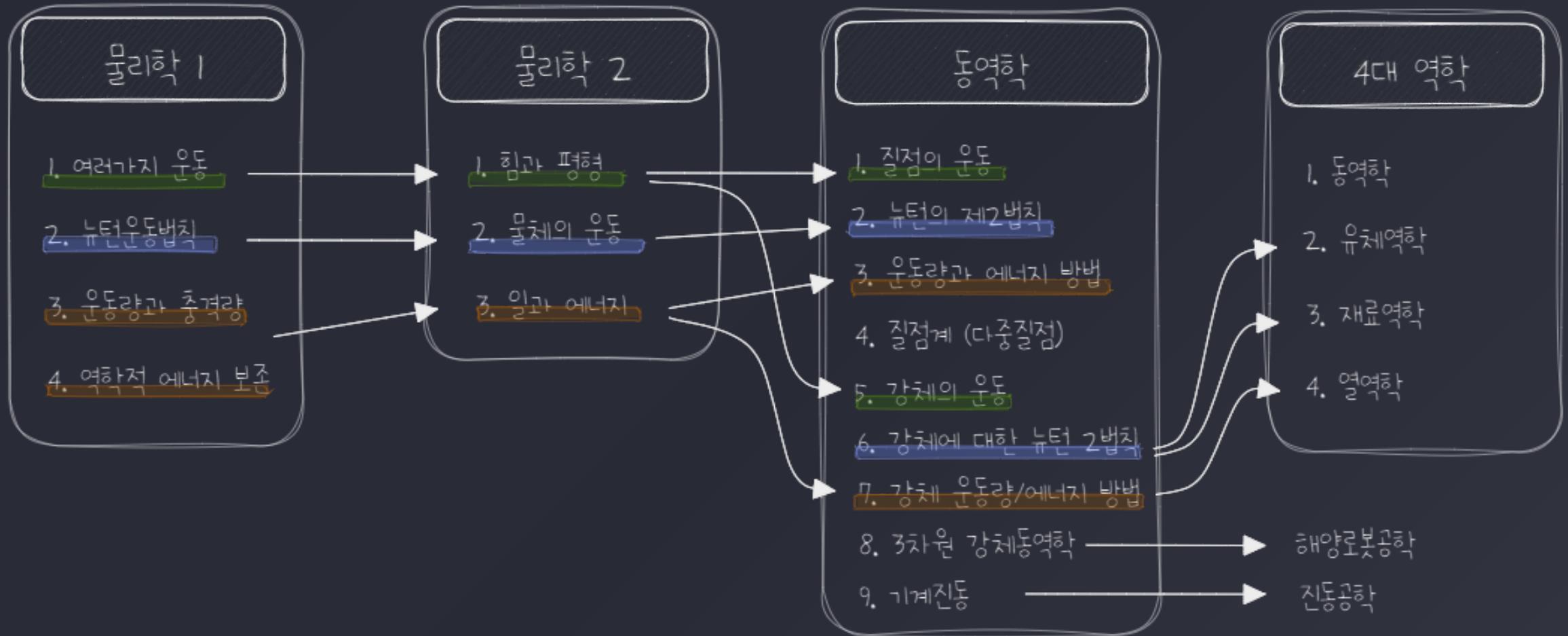


Part 1. 진동공학 개론 및 역사

한국해양대학교 해양공학과

진동공학?



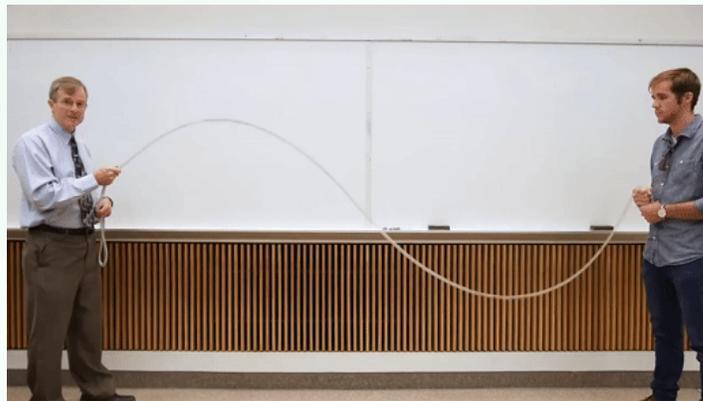
진동공학?

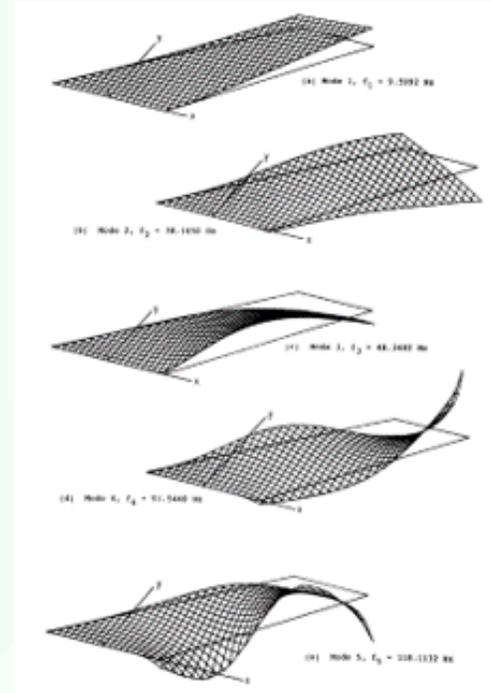
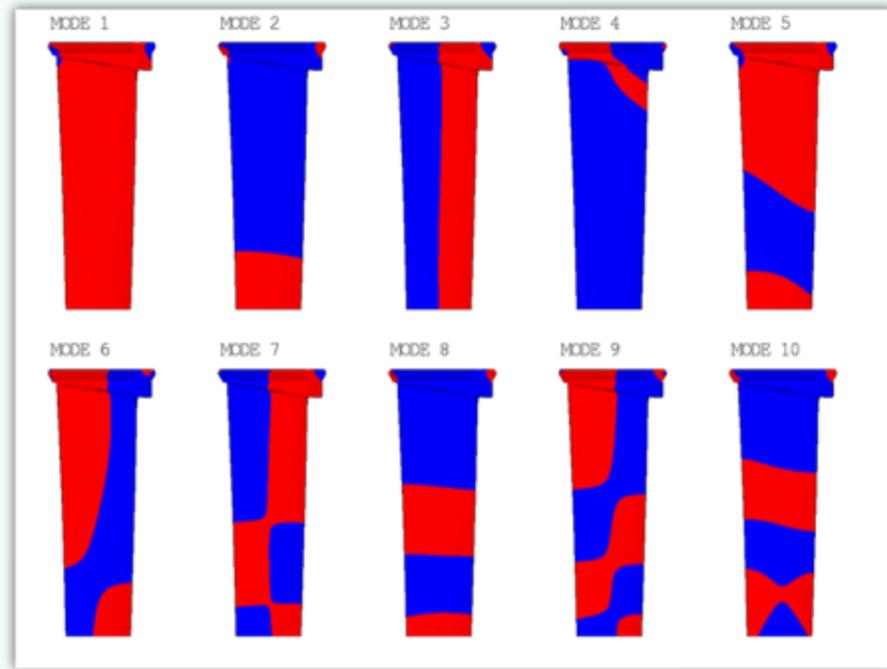
○ 기계공학의 4대 역학 : 고체역학(정역학), 동역학, 유체역학, 열역학

- 진동공학 : 동역학 확장판, 진동소음 제어의 기초판

○ 음악의 소리를 연구하는 것에서부터 출발

- 갈릴레오 갈리레이 : 왜 현의 길이가 줄면 옥타브가 바뀌면서 음이 조화를 이루는가?





○ 모든 기계장비, 건축물은 모드해석 및 진동회피설계 수행

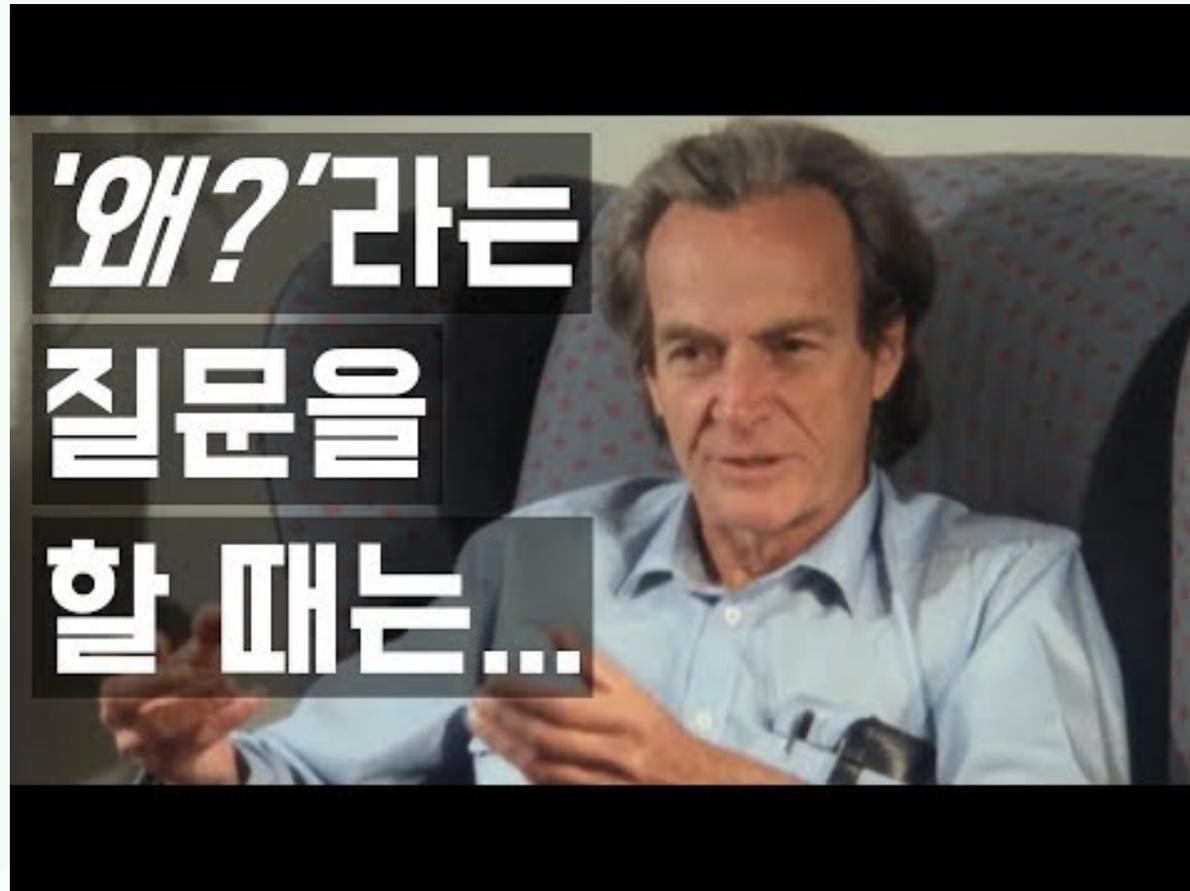
- 설계, 설치 완료된구조의 특성 및 변화 분석에 진동/소음 활용

○ 장점 : 선진사회일수록 진동 및 소음에 대한 요구조건 증가

○ 단점 : 다른 기초요구조건 (정역학적 설계, 추진기 추력설계 등) 에 비해 후순위

왜 진동이 발생하는가?

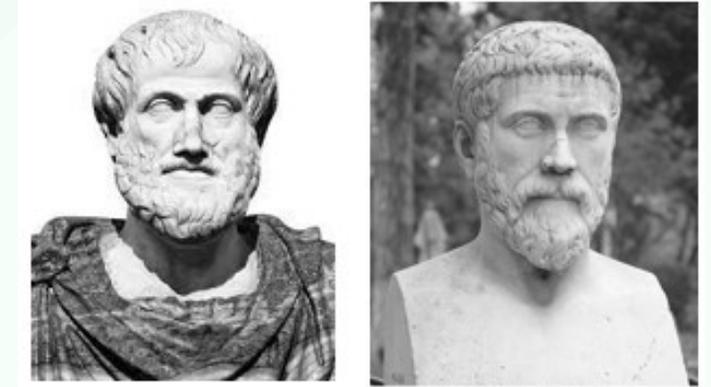
- 리처드 파인만의 '왜 자석은 서로 밀어내는가?'에 대한 답변'



진동 연구의 역사 - 고대

○ 피타고라스 (B.C. 582-507)

- 그리스 철학자이자 수학자. 현의 길이가 반이되면 한옥타브 증가. 장력이 커지면 음이 높아짐



○ 아리스토텔레스 (B.C. 350), 유클리드 (B.C. 300)

- 아리스토텔레스가 음악과 소리에 대한 논문, 제자가 '화음의 요소' 3권의 책 저서
- 유클리드는 '화음의 기초' 논문 저서

○ Zhang Heng (A.D. 132)

- 세계 최초 지진계 (지동의地動儀)
 - 내부에 단진자가 용의 머리에서 구슬이 떨어지도록 레버작동. 구슬이 두꺼비 입으로 떨어지며 시간과 방향 지시



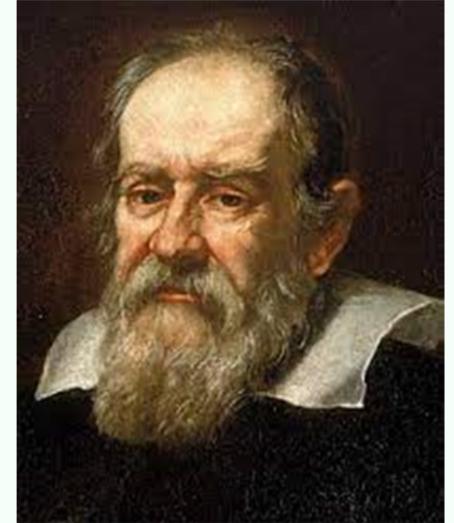
진동 연구의 역사 - 실증과학의 시대

○ 갈릴레오 갈릴레이 (1564-1642)

- 실증과학의 선구자 (실험적 검증연구 수행)
- 설교든다 교회천장 램프 운동 맥박 비교
- 1638 "두 새로운 과학에 대한 담론"에서 단진자에서 길이에 따라 진동수가 바뀐다!
- 진동수, 길이, 장력, 밀도를 기반으로 공진 현상에 대해서도 서술



*임진왜란 (1592)



○ 로버트 훅 (1635-1703)

- 현의 음높이와 진동 진동수 사이 관계 규명, 탄성체 훅의 법칙 제시

○ 조셉 소베르 (1653-1716)

- 음향학 창시. 현의 정상파에서 절점(Node) 발견. 정수배 조화진동 발견



진동 연구의 역사 - 실증과학의 시대 (계속)

○ 아이작 뉴턴 (1642-1727)

1641: 광해군 사망

- 1686 역사적인 '자연철학의 수학적 원리 (일명 프린키피아)' 출간
- 만류인력에서부터 운동에 대한 세가지 법칙 정리

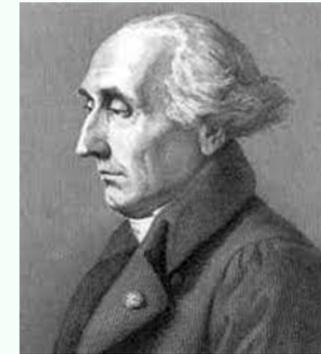


○ 브룩 테일러 (1685-1731)

- 현의 진동에 대한 동역학적인 해, 테일러급수 개발

○ 푸리에 (1768-1830)

- 코사인과 사인의 무한급수로 어떠한 함수도 표현가능 (푸리에변환)
- 테일러 급수의 전개로 풀이된 해가 각각 직교성을 가지며 독립 중첩됨을 증명



○ 조셉 라그랑지 (1736-1813)

- 현진동에 대해 일반해 기술 (라그랑지 방정식)

진동 연구의 역사 - 실증과학의 시대 (계속)

○ 시메옹 푸아송 (1781-1840)

- 사각평판의 진동에 대해 이론해 풀이

○ 알프레트 클렙슈 (1833-1872)

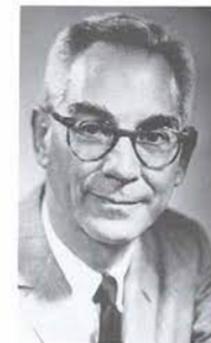
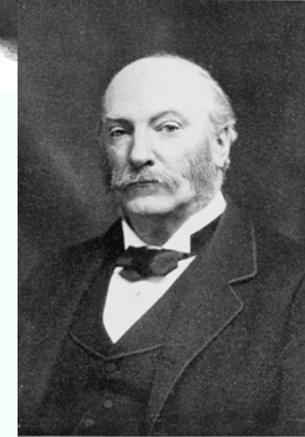
- 원형평판의 진동에 대해 이론해 풀이

○ 존 윌리엄 스트럿 레일리 (1842-1919)

- Theory of Sound 저술. 에너지 보존을 이용한 해법 창시

○ 스테판 티모셴코(1736-1813)

- 두께가 두꺼운 보에 대한 이론 창시 (전단변형 고려)



진동연구 중요성

○ 진동은 기계요소 또는 구조물에 과도한 변형을 또는 손상을 유발

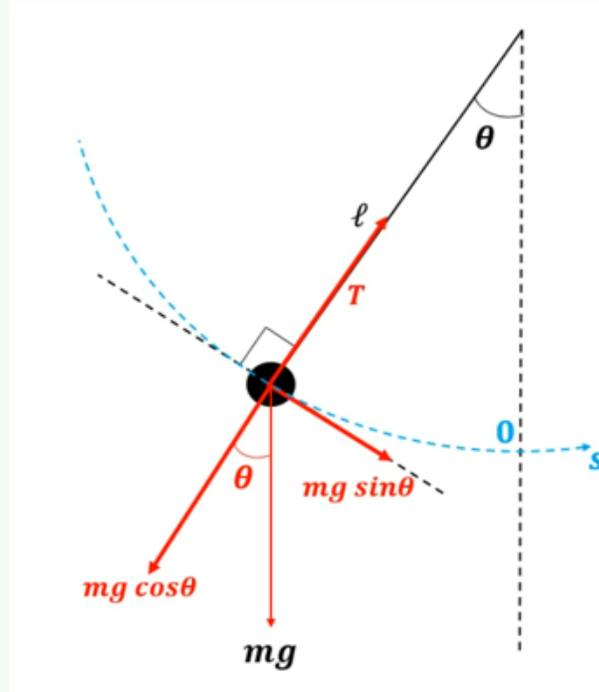
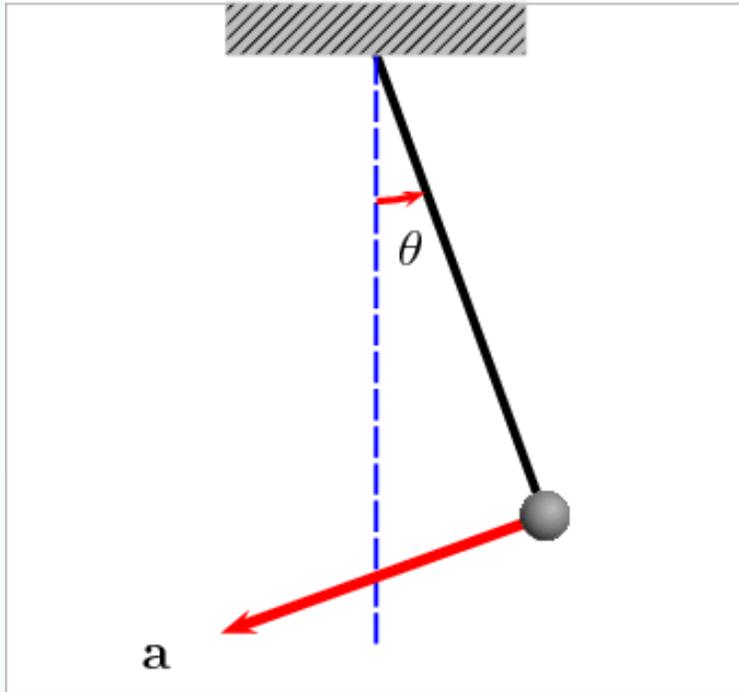


○ 진동이 발생 시 소음도 동시에 발생. 고급기기 또는 시스템일수록 진동제어 중요성 증가

○ 모든 기계장비, 건축물은 모드해석 및 진동회피설계 수행

- 설계, 설치 완료된구조의 특성 및 변화 분석에 진동/소음 활용
- 장점 : 선진사회일수록 진동 및 소음에 대한 요구조건 증가, 축적적 연구 가능
- 단점 : 다른 기초요구조건 (정역학적 설계, 추진기 추력설계 등) 에 비해 후순위

줄의 길이가 궁금하다. 자가 없다..? 진동물리랑 활용!



$$F = ma = m \frac{d^2 s}{dt^2} = m \frac{d^2 (l\theta)}{dt^2} = ml \frac{d^2 (\theta)}{dt^2} = -mgsin\theta \approx -mg\theta$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{l} \theta \quad \rightarrow \quad \text{let } \theta = A \cos(\omega t), \quad \text{then } \omega = \sqrt{\frac{g}{l}} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

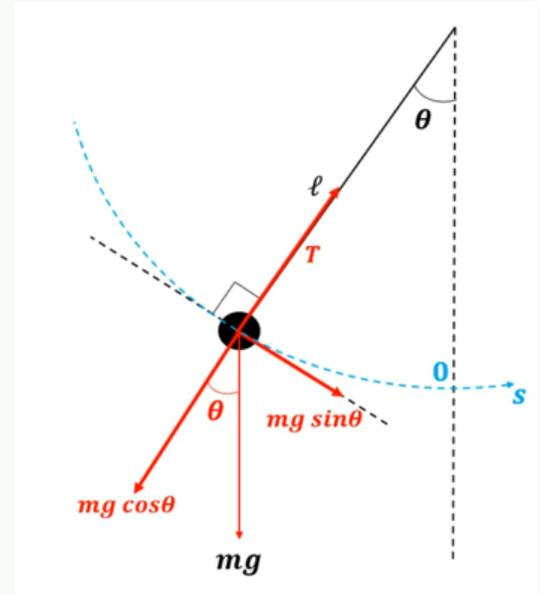
에너지법 풀이

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 + mgh = mgl(-\cos\theta_0) \quad \text{at start} \quad K = 0$$

$$\frac{1}{2}m\left(\frac{ds}{dt}\right)^2 + mgl(1 - \cos\theta) = mgl(1 - \cos\theta_0)$$

$$\left(\frac{ds}{dt}\right)^2 = 2gl\{(1 - \cos\theta_0) - (1 - \cos\theta)\}$$

$$= 2gl\left\{2\sin^2\frac{\theta_0}{2} - 2\sin^2\frac{\theta}{2}\right\}$$



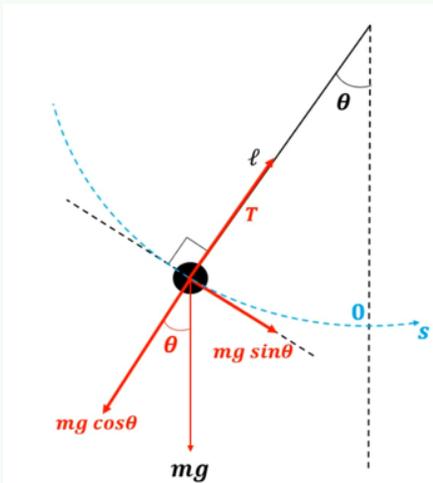
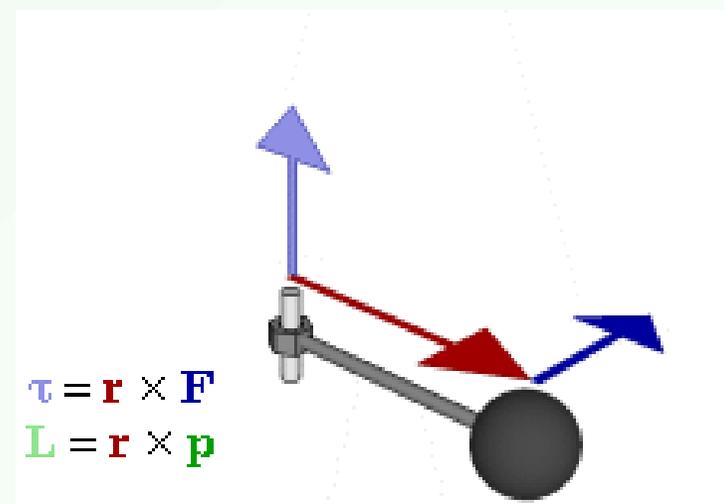
$$\frac{ds}{dt} = l\frac{d\theta}{dt} = 2\sqrt{\frac{g}{l}}\left(\sin^2\frac{\theta_0}{2} - \sin^2\frac{\theta}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \rightarrow \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}\left(\sin^2\frac{\theta_0}{2} - \sin^2\frac{\theta}{2}\right)^{-\frac{1}{2}}d\theta = dt$$

제 1종 타원 적분 $\rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left[1 + \frac{1}{4}\sin^2\frac{\theta_0}{2} + \frac{9}{64}\sin^4\frac{\theta_0}{2} + \dots\right]$

회전관성모멘트 풀이

$$\begin{aligned}\tau &= r \times F = l \times -mg \sin\theta = ||l|| ||-mg \sin\theta|| \sin 90^\circ \\ &= \frac{dL}{dt} = \frac{d(I\omega)}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} = I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgl \sin\theta\end{aligned}$$

$$\rightarrow \text{let } \theta = A \cos(\omega t), \text{ then } T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}$$



단진자 관성모멘트 대입,

$$I = ml^2 + \frac{2}{5}mR^2 \quad \rightarrow \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g} \left[1 + \frac{1}{16}\theta_0^2 + \frac{2}{5}\left(\frac{R}{l}\right)^2 \right]}$$

이 식도 완벽하지 않다 (줄의 탄성, 공기저항, 현재 위도 등)

간단한 단진자 실험

- 약 15cm 낚시줄을 무게추과 책상에 고정 (충분히 고정되도록 테이프를 충분히 사용)
- 추를 진동시킨 후 시각을 잴다 (e.g. 50회 운동에 40초 소요)
- 주기 T를 계산 (50회 운동에 40초 소요 = $40/50$ [1/s])
- 길이를 계산, 실제길이와 비교 (중력가속도 = 9.8 m/s, 길이 = 낚시줄 길이 + 무게추 반지름)
- 결론
 - 주기를 알면 무게추 종류와 상관없이 길이를 구할 수 있다
 - 줄 길이를 알면 무게추의 무게추의 도심(무게중심)을 구할 수 있다
 - 줄 길이, 무게추의 도심을 알면, 중력가속도를 구할 수 있다



교수자

- [최원석 \(Choi_Woen-Sug\)](#)

상담예약 : [개인 상담예약 링크](#) (📢담당이 아니어도 아무나 언제든지 😊)

한국해양대학교 해양공학과 (해양과학기술관 D 301호)



Hooray!