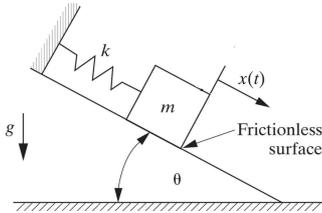


1.[4점] 진동에 관한 다음 물음에 답하여라.

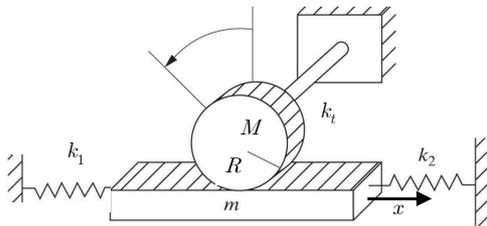
(a) ‘기계진동학 (mechanical vibration)’이 ① 무엇(what)이고, 이것을 ② 왜(why) 공부하며, 이것을 ③ 어떻게(how) ‘기계공학’에 적용하는가? (각각 한 문장 씩 서술)

- ①(내용)
- ②(목표)
- ③(방안)

(b) 그림과 같이 경사면에 놓인 1자유도계가 변위 $x(t)$ 로 자유진동 할 때, 자유물체도(F.B.D.)를 작성하고 뉴턴법칙에 따라 운동방정식을 유도하여라. (중력의 영향을 고려함)



2.[4점] 2개의 스프링(k_1, k_2)과 질량체(m)가 그림과 같이 축(비틀림 강성 k_t)과 균일 원판(반지름 R , 질량 M)에 결합되어 있고, 질량체의 직선운동과 원판의 회전운동이 미끄럼 없이 이루어진다.



(a) 질량체의 좌표 x 하나로써 전체의 운동을 완전히 묘사할 수 있다. 에너지방법으로 운동방정식을 유도하여라. (최종 결과에는 주어진 기호만 사용하여 표현해야 함)

(b) 원판의 질량이 9.50 kg이고 반지름이 30.0 cm이다. 축의 반지름이 6.00 mm이고 길이가 40.0 cm이며 탄성계수는 $E = 200 \text{ GPa}$, $G = 80.0 \text{ GPa}$ 이다. 원판의 질량 관성 모멘트 J 와 축의 비틀림 강성 k_t 를 계산하여라.

3.[6점] Consider a 1-DOF (degree-of-freedom) spring-mass-damper system.

(a) The system has a mass of 28.0 kg, damping coefficient of 450 kg/s, and stiffness of 20,500 N/m. Calculate the damping ratio ζ and the oscillating period T in s for the damped system.

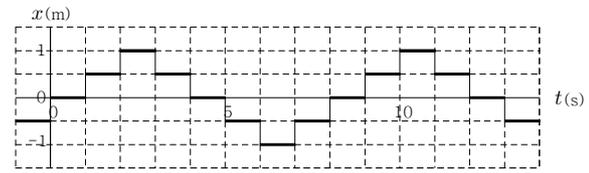
(b,c) The free response has the following form.

$$x(t) = A e^{-\zeta\omega_n t} \cos(\omega_d t - \phi)$$

For the system with the undamped natural frequency $\omega_n = 1,900 \text{ rad/s}$ and the damping ratio $\zeta = 0.280$ determine the amplitude A in mm and phase ϕ in radian when the initial displacement x_0 is -5.40 mm and the initial velocity v_0 is 6,750 mm/s.

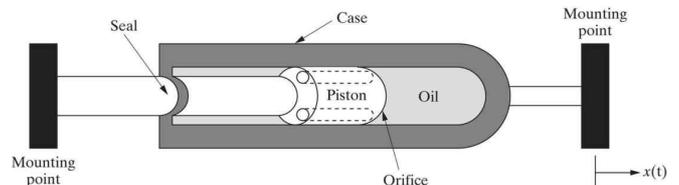
4.[6점] 4.[6점] 진동에 관한 다음 물음에 답하여라.

(a) 다음과 같이 관찰된 진동 신호의 주기 T 와 RMS 진폭 x_{rms} 는 각각 얼마인가?



(b) 어떤 펌프를 가동할 때, 1 m 떨어진 지점에서 소음을 측정하니 101.4 dB이었다. 사람의 귀가 감지할 수 있는 최소 음압은 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 이라고 한다. 이 소음 레벨의 음압은 몇 Pa인가?

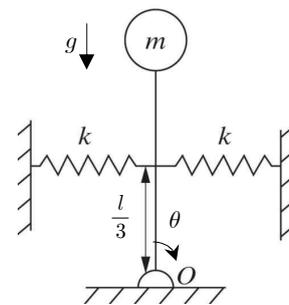
(c) 그림과 같은 구조의 감쇠기(dashpot)가 있다.



① 이러한 요소가 진동 에너지를 소산(dissipate)시켜 응답을 소멸시키는 원리를 설명하여라. (2~3문장으로 서술)

② 이 요소에서 감쇠(damping)계수를 크게 하는 방안을 2가지 제시하여라.

5.[6점] 질량 m 인 집중 질량체와 길이 l 인 가는 철사(질량 무시)가 도립진자(inverted pendulum)를 형성하고, 강성 k 인 스프링 2개가 그림과 같이 철사의 $l/3$ 지점에 결합되어 있다. 진자의 각변위 θ 가 작아서 $\sin\theta \approx \theta$ 로 간주한다.



(a) 운동방정식 $9ml\ddot{\theta}(t) + (2kl - 9mg)\theta(t) = 0$ 을 유도하여 구하여라

(b) $\frac{2kl - 9mg}{9ml} = \beta^2$ (β 는 양의 실수)일 때, 해 $\theta(t)$ 를 구하여, 시스템의 응답이 진동(oscillate)하는지 혹은 발산(diverge)하는지, 또한 시스템이 안정(stable)한지 혹은 불안정(unstable)한지를 판단하고 그 근거를 제시하여라.

(c) $\frac{2kl - 9mg}{9ml} = -\gamma^2$ (γ 는 양의 실수)일 때, 해 $\theta(t)$ 를 구하여, 시스템의 응답이 진동하는지 혹은 발산하는지, 또한 시스템이 안정한지 혹은 불안정한지를 판단하고 그 근거를 제시하여라.

$\sin\phi > 0$ 이고 $\cos\phi < 0$ 이므로, ϕ 는 2사분면의 각도이어야 함.

$$\textcircled{1}^2 + \textcircled{2}^2 \Rightarrow A = \sqrt{(-5.40 \text{ mm})^2 + (2.126 \text{ mm})^2} = 5.803 \text{ mm} \approx 5.80 \text{ mm}$$

$$\textcircled{1} \div \textcircled{2} \Rightarrow \phi = \tan^{-1} \frac{2.126}{-5.40} = \tan^{-1}(-0.3937) = -21.5^\circ = -0.375 \text{ rad}$$

$$\Rightarrow \phi = -0.375 \text{ rad} + \pi \text{ rad} = 2.77 \text{ rad}$$

4. (a) $T = 8 \text{ s}$

$$\int_0^T [x(t)]^2 dt = 2 \left(\int_0^1 0^2 dt + \int_1^2 0.5^2 dt + \int_2^3 1^2 dt + \int_3^4 0.5^2 dt \right)$$

$$= 2 (0 + 0.25 + 1 + 0.25) = 3$$

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{8} (3)} = \sqrt{\frac{3}{8}} = 0.612 \text{ (m)}$$

(b) $SPL = 101.4 \text{ dB}$, $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$

$$20 \log \frac{p}{p_0} = SPL \Rightarrow p = p_0 10^{\frac{SPL}{20}} = (2 \times 10^{-5} \text{ Pa}) 10^{\frac{101.4}{20}} = 2.35 \text{ Pa}$$

(c) ① 서술 (피스톤 운동, 오일(점성유체), orifice, 저항력(감쇠력), 운동속도에 비례)

② 오일의 점도를 크게, orifice 단면적을 작게, orifice를 길게(즉 피스톤을 길게), 실린더와 피스톤의 단면적을 크게.

5. (a) <방법 1 : Newton 법칙 (특히 Euler 법칙)>

$$\Sigma M_o = m l^2 \ddot{\theta} \Rightarrow -2 \left[k \left(\frac{l}{3} \right) \sin \theta \right] \left(\frac{l}{3} \cos \theta \right) + m g (l \sin \theta) = m l^2 \ddot{\theta}$$

$$\Rightarrow m l^2 \ddot{\theta} + \frac{2 k l^2}{9} \sin \theta \cos \theta - m g l \sin \theta = 0, \quad \sin \theta \approx \theta, \quad \cos \theta \approx 1$$

$$\Rightarrow m l^2 \ddot{\theta} + \frac{2 k l^2}{9} \theta - m g l \theta = 0 \Rightarrow 9 m l \ddot{\theta}(t) + (2 k l - 9 m g) \theta(t) = 0$$

<방법 2 : 에너지 방법>

$$T = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m (l \dot{\theta})^2 = \frac{1}{2} m l^2 \dot{\theta}^2$$

$$U = 2 \left[\frac{1}{2} k \left(\frac{l}{3} \theta \right)^2 \right] - m g l (1 - \cos \theta) = \frac{1}{9} k l^2 \theta^2 - m g l (1 - \cos \theta)$$

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} m l^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{9} k l^2 \theta^2 - m g l (1 - \cos \theta) \right] = 0$$

$$\Rightarrow m l^2 \dot{\theta} \ddot{\theta} + \frac{2}{9} k l^2 \theta \dot{\theta} - m g l \sin \theta \dot{\theta} = 0, \quad l \dot{\theta} \neq 0, \quad \sin \theta \approx \theta$$

$$\Rightarrow 9 m l \ddot{\theta}(t) + (2 k l - 9 m g) \theta(t) = 0$$

(b) $\ddot{\theta}(t) + \beta^2 \theta(t) = 0 \Rightarrow \theta(t) = a_1 e^{j\beta t} + a_2 e^{-j\beta t} = A_1 \cos \beta t + A_2 \sin \beta t = A \sin(\beta t + \phi)$

\Rightarrow 조화함수 형태로 진동(oscillation)함. 안정(stable)함

(c) $\ddot{\theta}(t) - \gamma^2 \theta(t) = 0 \Rightarrow \theta(t) = a_1 e^{\gamma t} + a_2 e^{-\gamma t}$

$\Rightarrow e^{\gamma t}$ 에 의해 발산(divergence)함. 불안정(unstable)함.