

1.[3점] 역학적 진동(mechanical vibration)에 관련하여, 조화가진력에 의한 구조물의 공진(resonance)의 ① 원인과 ② 결과를 각각 한 문장으로 서술하고, ③ 사례 5개를 제시하여라.

2.[6점] 역학적 진동에 관한 다음 설명이 맞으면 O표, 틀리면 X표를 ( )안에 하되, 판단 근거를 제시하여라. (답도 맞고 판단 근거도 타당해야만 득점)

(a) 진동수가 유사한 두 음파가 합쳐져 맥놀이(beat) 현상이 나타날 때, 두 음파의 진동수 중 큰 진동수는 일정하게 유지되고 작은 진동수가 약간 커져서 큰 진동수에 좀 더 가깝게 되면, 맥놀이 현상의 주기가 길어지고 최대 진폭이 커진다. ( )

판단 근거 :

(b) 질량체, 점성감쇠기, 스프링으로 구성된 1자유도계에서 고유진동수가 일정하고 조화가진력을 받을 때, 구동진동수를 0부터 차츰 증가시키면, 응답 변위 진폭이 엄청나게 큰 순간을 지나게 되며 이후에 가진과 응답 간의 위상 차이가 거의  $90^\circ(\pi/2 \text{ rad})$ 로 된다. ( )

판단 근거 :

(c) 감쇠 요소 없이 탄성체 위주로 구성되는 원심분리기가 매우 빠른 회전속도로 가동될 때 편심체 때문에 발생하는 진동을 저감시키려면, 원심분리기의 고유진동수가 회전진동수보다 훨씬 작도록 설계하는 게 유리하다. ( )

판단 근거 :

3.[4점] The response of an undamped 1-DOF system excited by a harmonic sine force is

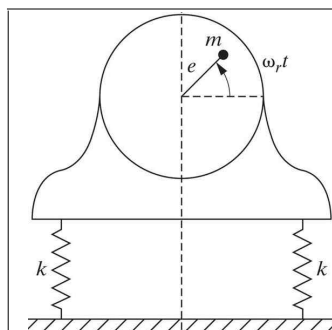
$$x(t) = A_1 \sin \omega_n t + A_2 \cos \omega_n t + \frac{f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} \sin \omega t$$

Consider the forced vibration of mass 0.400 kg connected to a spring of stiffness 2,000 N/m being driven by a 20 N harmonic force at 10 Hz ( $20\pi \text{ rad/s}$ ). The motion is assumed to have started from rest ( $x_0=v_0=0$ ).

(a) Determine the values of  $A_1$  and  $A_2$  of the response equation.

(b) Determine the maximum amplitude of vibration (in mm unit).

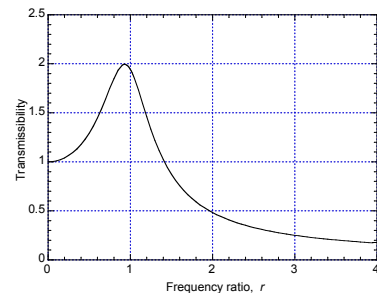
4.[2점] 자전거 안장이 사진과 같이 프레임에 스프링으로 연결되어 있다. 안장을 스프링으로 받치는 이유를 진동 관점에서 설명하여라. (2~3문장으로 서술)



5.[6점] 1자유도계의 조화가진 응답에 관련된 다음 질문에 답하여라.

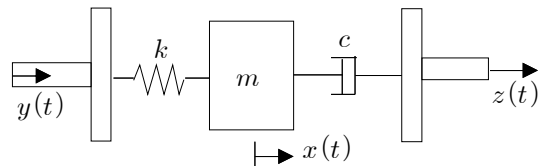
(a) 진폭(변위 또는 힘의 크기)을 정규화 하여 진동수 비(frequency ratio)에 따른 그래프로 나타내니 아래 그림과 같다. 다음 사례 중 어떤 경우에 해당하는지 해당 번호를 ( ) 안에 모두 기입하여라. (전부 맞아야 득점) ( )

- ① 비감쇠계 가진 응답의 진동변위 증폭률
- ② 감쇠계 가진 응답의 진동변위 증폭률
- ③ 바닥가진 진동의 변위 전달률
- ④ 바닥가진 진동의 힘 전달률
- ⑤ 회전불균형 진동의 변위 전달률
- ⑥ 회전불균형 진동의 힘 전달률



(b) 위 문제에서 감쇠비  $\zeta$ 가 0.5인 경우의 그래프를 위 그림에 나타내어라. 이때 진동수 비  $r$ 이 0, 1,  $1.4(=\sqrt{2})$ 인 지점을 정확히 나타내야 함.

(c) 스프링과 감쇠기(damper)가 질량  $m$ 인 물체에 그림과 같이 결합한 1자유도계가 왼쪽에서 진동 변위  $y(t)$ 의 조화가진을 받고 오른쪽에서 진동 변위  $z(t)$ 인 조화가진을 받는다. 질량  $m$ 인 물체의 자유물체도(free-body diagram)를 별도로 작성하고, 뉴튼법칙에 따라 운동방정식을 유도하여 구하여라.



6.[6점] 건물 3층 바닥에 그림과 같이 설치된 전기 모터가 2,400 rpm의 회전속도로 가동된다. 이 모터는 전체 질량 40 kg 중 10%인 4 kg의 편심질량을 갖고 있고, 편심 거리가 회전축으로부터 80 mm이다. 강성  $k$ 인 스프링 4개가 모터를 받치고 있어서 등가 스프링 상수는 80,000 N/m이다. (뒤의 스프링 2개는 도시되지 않음) 스프링의 감쇠는 무시할 만하다.

(a) 모터 가동 중 수직진동 변위진폭은 몇 mm인가?

(b) ① 가동 중에 모터의 수직진동 때문에 4개의 스프링을 통해서 3층 바닥으로 전달되는 힘의 크기의 합을 구하고, ② 문제에 제시된 수치를 유지한 채로 전기모터의 진동을 저감시키는 방안과 근거를 제시하여라.

(c) 바로 아래 2층 천정에 빔 프로젝트가 곱은 철봉에 매달려 설치되어 있다. 3층 모터의 가동 중에 2층 천정이 진동하여 빔 프로젝트가 흔들린다. 프로젝트는 천정에 매달려 있어야 하는데, 천정의 진동이 있더라도 2층 사용자가 빔 프로젝트의 진동을 최소화 하는 방안을 제시하고 그 근거를 설명하여라.

1. ① (서술 핵심어 : 고유진동수, 구동진동수)

② (서술 핵심어 : 진폭)

③ (사례)

2. (a) O  $T_b = \frac{2\pi}{|\omega_n - \omega|}, \quad x_{\max} = \frac{2f_0}{|\omega_n^2 - \omega^2|} = \frac{2f_0}{(\omega_n + \omega)|\omega_n - \omega|}$

(b) X  $\theta = \tan^{-1} \frac{2\zeta r}{1-r^2}, \quad r = 0 \text{ 일 때 } \theta = 0, \quad r = \infty \text{ 일 때 } \theta = \pi$

(c) O 정규화 진폭,  $r \gg 1, \quad \omega_n \ll \omega_r$

3.  $m = 0.400 \text{ kg}, \quad k = 2,000 \text{ N/m}, \quad F_0 = 20 \text{ N}, \quad \omega = 20\pi \text{ rad/s}, \quad x_0 = v_0 = 0$

$$x(t) = A_1 \sin \omega_n t + A_2 \cos \omega_n t + \frac{f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} \sin \omega t$$

(a)  $\omega_n = \sqrt{\frac{2,000}{0.400}} = 70.71 \text{ rad/s}, \quad \omega = 20\pi \text{ rad/s} = 62.83 \text{ rad/s}, \quad f_0 = \frac{20 \text{ N}}{0.400 \text{ kg}} = 50.0 \text{ N/kg}$

$$\dot{x}(t) = \omega_n A_1 \cos \omega_n t - \omega_n A_2 \sin \omega_n t + \frac{\omega f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} \cos \omega t$$

$$x(0) = A_2 = 0$$

$$\dot{x}(0) = \omega_n A_1 + \frac{\omega f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} = 0 \Rightarrow A_1 = -\frac{\omega}{\omega_n} \frac{f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} = -\frac{62.83}{70.71} \frac{50.0}{70.71^2 - 62.83^2} = -0.0422 \text{ m}$$

(b)  $x(t) = -\frac{\omega}{\omega_n} \frac{f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} \sin \omega_n t + \frac{f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} \sin \omega t$

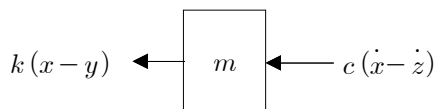
$\sin \omega_n t = -1$  이고  $\sin \omega t = 1$  일 때 최대 진폭

$$x_{\max} = \frac{\omega}{\omega_n} \frac{f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} + \frac{f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} = \left( \frac{\omega}{\omega_n} + 1 \right) \frac{f_0}{\omega_n^2 - \omega^2} = \left( \frac{62.83}{70.71} + 1 \right) \frac{50.0}{70.71^2 - 62.83^2} \\ = 0.0897 \text{ m} = 89.7 \text{ mm}$$

4. (서술 핵심어 : 바닥가진, 진동 변위 전달률, 진동수 비, 강성)

5. (a) ③, ⑥

(c) 자유물체도(F.B.D.)

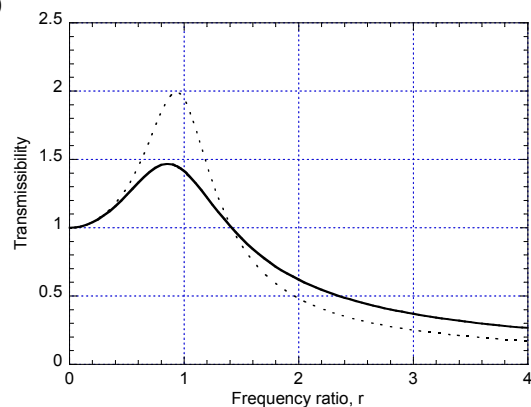


운동방정식

$$-k(x-y) - c(\dot{x}-\dot{z}) = m \ddot{x}$$

$$\Rightarrow m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = ky + c \dot{z}$$

(b)



6. (a)  $m_0 = 4 \text{ kg}$ ,  $m = 40 \text{ kg}$ ,  $k_{eq} = 80,000 \text{ N/m}$ ,  $N = 2,400 \text{ rpm}$ ,  $e = 80 \text{ mm}$ ,  $X_r = ?$

$$\omega_r = \frac{(2\pi \text{ rad}) N}{60 \text{ s/min}} = \frac{(2\pi \text{ rad}) (2,400 / \text{min})}{60 \text{ s/min}} = 251.3 \text{ rad/s}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m}} = \sqrt{\frac{80,000 \text{ kg/s}^2}{40 \text{ kg}}} = 44.72 \text{ rad/s}$$

$$r = \frac{251.3}{44.72} = 5.62$$

$$X_r = \frac{m_0 e}{m} \frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} = (0.10)(80 \text{ mm}) \frac{(5.62)^2}{\sqrt{[1 - (5.62)^2]^2}} \\ = (0.10)(80 \text{ mm}) (1.033) = 8.26 \text{ mm}$$

$$(b) \textcircled{1} F_T = m_0 e \omega_r^2 \frac{\sqrt{1 + (2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} = (4 \text{ kg})(0.080 \text{ m})(251.3 \text{ rad/s})^2 \frac{1}{\sqrt{[1 - (5.62)^2]^2}} \\ = 661 \text{ N}$$

$$(\text{또는, } F_T = k_{eq} X_r = (80,000 \text{ N/m}) (8.26 \times 10^{-3} \text{ m}) = 661 \text{ N})$$

② 방안 : 모터와 바닥 사이에 감쇠기(damper) 설치

근거 : 회전불균형 진동의 정규화진폭 그래프

(c) 방안 : 철봉을 스프링(또는 고무줄)으로 교체, 프로젝터에 질량체를 부착

$$\text{근거 : 바닥가진 변위 전달률 } \frac{X}{Y} = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta r)^2}}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

$$\frac{X}{Y} \rightarrow 0, \quad r \rightarrow \infty, \quad \omega_n \ll \omega, \quad \text{강성 } k \text{를 작게 하거나 질량 } m \text{을 크게 함.}$$