

1.[4점] 코일 스프링과 감쇠기(damper)로 이루어진 충격흡수기(shock absorber)에 질량 50 kg이 얹힌다. 코일 스프링은 단면 지름이 8 mm 굵기의 강철 선이 지름 10 cm인 원통을 10바퀴 감은 형태이다. 강철의 탄성계수(Young's modulus)는 200 GPa, 전단탄성계수(shear modulus)는 80 GPa이다. 부족감쇠계(underdamped system)가 되도록 하기 위한 감쇠계수 값의 범위를 구하라. 코일 스프링의 강성은

$$k = \frac{Gd^4}{64nR^3} \text{이다.}$$

2.[5점] Consider an undamped 1-DOF (degree-of-freedom) spring - mass ( $m$ ) system whose natural frequency is  $\omega$ . The system is subject to a harmonic force of  $F_0 \sin \omega t$ . Derive the particular solution  $x_p(t)$ , which expresses the response of the system representing resonance.

3.[6점] 조화가진 응답에 관한 다음 설명이 맞으면 O 표, 틀리면 X표를 ( )안에 하되, 판단 근거를 제시하라. (답도 맞고 판단 근거도 타당해야만 득점)

(a) 고유진동수가 440 Hz인 소리굽쇠의 소리와 기타(guitar)의 기본음계 라(la)음을 함께 발생시켰더니 맥놀이(beat)현상이 나타났다. 기타 줄을 더 감아 장력을 약간 크게 하니 맥놀이 현상이 사라졌다면, 기타 줄을 좀 더 감아 장력을 조금 더 크게 해도 맥놀이 현상은 나타나지 않는다. ( )

판단 근거 :

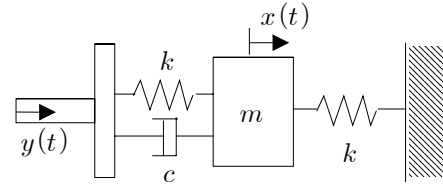
(b) 현가장치가 적절히 구비된 승용차가 비포장 도로를 30 km/h 속도로 주행하는 경우에 비해 동일한 도로를 5 km/h의 속도로 주행하는 경우 차체의 진동 크기가 줄어든다. ( )

판단 근거 :

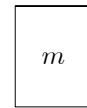
(c) 일정 회전수로 편심체가 회전하는 고속 프레스에 상하방향 진동이 있어서, 몸체의 감쇠를 크게 했는데 진동 크기에는 차이가 거의 없으면, 강성을 약간 크게 하여 진동을 줄인다. ( )

판단 근거 :

4.[6점] 감쇠기(damper)와 2개의 스프링이 질량  $m$ 인 물체에 그림과 같이 결합한 1자유도계가 좌측에서 진동 변위  $y(t)$ 의 가진을 받고 있다. 우측 벽은 고정되어 있다. 질량  $m$ 인 물체의 진동 변위를  $x(t)$ 라고 한다.



(a) 질량  $m$ 인 물체에 가해지는 힘들을 나타내는 자유물체도(free-body diagram)를 작성하고, 운동방정식을 유도하라.



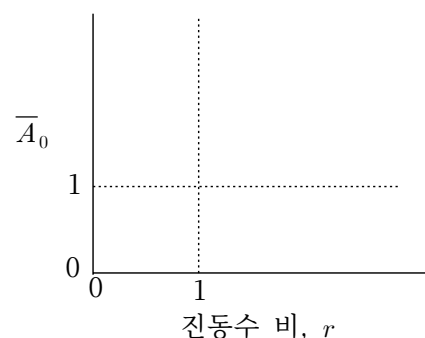
(b) 가진 변위가  $y(t) = 12 \sin(25\pi t)$  mm 이고, 물체의 응답 변위 진폭이 8.5 mm 라 할 때, 우측 벽에 전달되는 힘의 크기는 몇 N인가? ( $k = 15000$  N/m,  $c = 3200$  N·s/m)

5.[6점] 드럼 세탁기를 개발하는 단계에서 세탁물 없이 가동시켜 보니, 편심으로 인하여 수직방향 진동이 발생하였다. 가해지는 힘의 크기가  $F_0$ , 세탁기의 질량이  $m$ 이고 고유진동수가  $\omega_n$ 이면, 세탁기에 나타나는 진동 변위의 진폭  $A_0$ 는 무차원화 하여 다음과 같이 증폭률이 표현된다.

$$\overline{A_0} = \frac{A_0}{F_0/m\omega_n^2} = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

여기서  $r$ 은 진동수 비(구동진동수/고유진동수),  $\zeta$ 는 감쇠비(감쇠계수/임계감쇠계수)이다. 감쇠비  $\zeta$ 의 값이 0.1인 경우에 대하여

(a) 증폭률  $\overline{A_0}$ 를 진동수 비  $r$ 의 함수로 하여 그래프를 작성하라.



(b) 증폭률이 0.5보다 작게 되도록 설계하려면, 진동수 비  $r$ 이 어느 범위의 값을 갖도록 해야 하는가?

(c) 세탁기의 고유진동수가 15 Hz라면 공진을 유발시키는 회전수는 몇 rpm인가?

$$1. \quad k = \frac{(80 \times 10^9 \text{ N/m}^2)(8 \times 10^{-3} \text{ m})^4}{64(10)(50 \times 10^{-3} \text{ m})^3} = 4096 \text{ N/m}$$

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}} < 1 \rightarrow c < 2\sqrt{mk} = 2\sqrt{(50 \text{ kg})(4096 \text{ N/m})} = 905 \text{ kg/s}$$

$$\Rightarrow c < 905 \text{ kg/s}$$

$$2. \quad \ddot{x}(t) + \omega^2 x(t) = \frac{F_0}{m} \sin \omega t$$

$$x_h(t) = A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t$$

$$x_p(t) = A_0 t \cos \omega t + B_0 t \sin \omega t$$

$$\dot{x}_p = A_0 (\cos \omega t - \omega t \sin \omega t) + B_0 (\sin \omega t + \omega t \cos \omega t)$$

$$\ddot{x}_p = A_0 (-2\omega \sin \omega t - \omega^2 t \cos \omega t) + B_0 (2\omega \cos \omega t - \omega^2 t \sin \omega t)$$

$$[A_0 (-2\omega \sin \omega t - \omega^2 t \cos \omega t) + B_0 (2\omega \cos \omega t - \omega^2 t \sin \omega t)]$$

$$+ \omega^2 [A_0 t \cos \omega t + B_0 t \sin \omega t] = \frac{F_0}{m} \sin \omega t$$

$$A_0 (-2\omega) \sin \omega t = \frac{F_0}{m} \sin \omega t \rightarrow A_0 = -\frac{F_0}{2m\omega}$$

$$B_0 (2\omega) \cos \omega t = 0 \rightarrow B_0 = 0$$

$$\Rightarrow x_p(t) = -\frac{F_0}{2m\omega} t \cos \omega t$$

$$3. \quad (a) \text{ X } \quad (b) \text{ X } \quad (c) \text{ X }$$

$$4. \quad (a) \quad \begin{array}{c} k(x-y) \leftarrow \boxed{\phantom{000}} \\ c(\dot{x}-\dot{y}) \leftarrow \boxed{\phantom{000}} \end{array} \quad \leftarrow kx$$

$$-k[x(t) - y(t)] - c[\dot{x}(t) - \dot{y}(t)] - kx(t) = m\ddot{x}(t)$$

$$\Rightarrow m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + 2kx(t) = c\dot{y}(t) + ky(t)$$

$$(b) \quad x(t) = X \sin(25\pi t - \theta) \rightarrow F_{tr}(t) = kx(t) = kX \sin(25\pi t - \theta)$$

$$\rightarrow F_T = kX = (15000 \text{ N/m})(8.5 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$\Rightarrow F_T = 127.5 \text{ N}$$

$$5. \quad (a) \text{ 증폭률 그래프}$$

$$(b) \quad \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} < \frac{1}{2}, \quad \zeta = 0.1 \rightarrow r^4 - 1.96r^2 - 3 > 0$$

$$r^2 > 2.97$$

$$\Rightarrow r > 1.72$$

$$(c) \quad \omega_r \approx \omega_n, \quad N = 15 \text{ revolutions/sec} \times (60 \text{ sec})/(\text{min}) = 900 \text{ revolutions/min}$$

$$\Rightarrow N = 900 \text{ rpm}$$