

가 반

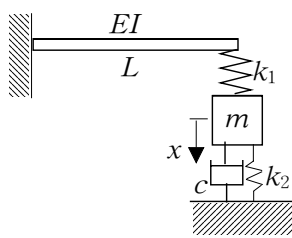
2003. 4. 1.

1.[4점] 다음 물음에 두 문장 이내로 답하라.

- (a) 역학적 진동(mechanical vibration)이란 무엇인가?
 (b) 1자유도계(1-DOF system)란 무엇이며, 실제 물리계에는 다자유도계 또는 연속계가 훨씬 더 많은데 1자유도계의 진동을 공부하는 이유는 무엇인가?

2.[7점] 길이가 L 이고 굽힘강성이 EI 인 탄성 외팔보의 자유단에 강성 k_1 인 스프링이 달려있고, 그 스프링의 끝에 질량 m 인 물체가 매달려 있으며, 물체 밑을 강성 k_2 이고 감쇠계수 c 인 충격흡수기가 받치고 있다.

- (a) 외팔보와 강성 k_1 인 스프링의 결합체의 등가 스프링 상수 k_{eq} 를 구하라.
 (b) 질량 m 인 물체 주변에 작용하는 힘들을 나타내는 자유물체도를 제시하라.
 (c) 운동방정식을 유도하라.



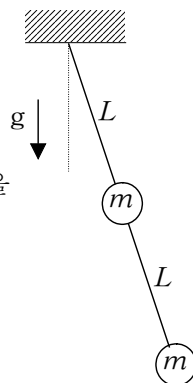
3.[8점] 1자유도 감쇠계에서, 질량 $m = 2.5 \text{ kg}$, 감쇠계수 $c = 3.3 \text{ kg/s}$, 강성 $k = 11 \text{ N/m}$ 로 알려져 있다.

- (a) 비감쇠고유진동수 ω_n , 감쇠비 ζ , 감쇠고유진동수 ω_d , 감쇠운동 중의 주기 T 를 구하라.
 (b) 이 1자유도 감쇠계의 진동 변위 $x(t)$ 를 다음 식의 형태로 표현하고자 한다.

$$x(t) = A_1 e^{-\zeta\omega_n t} \cos \omega_d t + A_2 e^{-\zeta\omega_n t} \sin \omega_d t$$

초기변위 $x_0 = 0.5 \text{ mm}$, 초기속도 $v_0 = -1.0 \text{ mm/s}$ 일 때, 파라미터 값들을 대입하고 미지의 상수 A_1 과 A_2 를 결정하여 식을 완성하라.

4.[6점] 그림과 같이 길이가 $2L$ 이고 질량을 무시할 수 있는 강체 막대에 두 개의 집중 질량 m 이 거리 L 만큼 떨어져 부착되어 있고, 한 끝을 중심으로 단진자 운동을 한다. 운동방정식을 유도하고, 진폭이 작을 때 고유진동수 ω_n 를 표현하라.



나 반

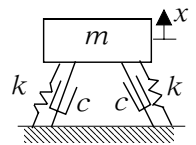
2003. 4. 2.

1.[4점] 다음 물음에 두 문장 이내로 답하라.

- (a) 진동 해석(analysis)이란 무엇이며, 진동 실험에 비해 어떤 장점이 있는가?
 (b) 역학적 진동을 하는 계(system)의 응답(response)이란 무엇이며, 특히 자유응답(free response)란 무엇인가?

2. [7점] 질량 m 인 물체가 그림과 같이 대칭적으로 경사진 충격흡수기(shock absorber) 두 개로 받쳐져 상하방향 진동을 하고 있다.

각각의 스프링상수는 k 이고 감쇠계수는 c 이고 수직방향으로 부터 기울어진 경사각은 θ 이다.



- (a) 스프링만을 고려하여 등가스프링상수를 구하되 근거를 제시하라.
 (b) 물체 주변에 작용하는 힘들을 나타내는 자유물체도를 제시하라.
 (c) 운동방정식을 유도하라.

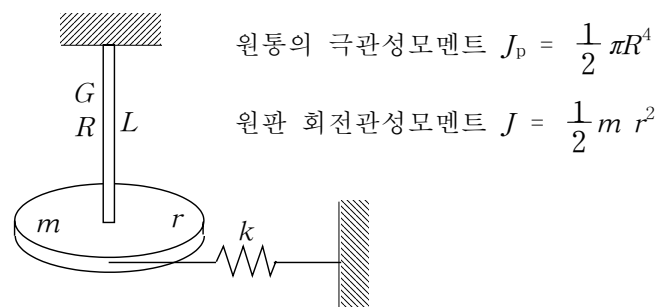
3.[8점] 1자유도 감쇠계에서, 질량 $m = 3.3 \text{ kg}$, 감쇠계수 $c = 3.7 \text{ kg/s}$, 강성 $k = 9.5 \text{ N/m}$ 로 알려져 있다.

- (a) 비감쇠고유진동수 ω_n , 감쇠비 ζ , 감쇠고유진동수 ω_d , 감쇠운동 중의 주기 T 를 구하라.
 (b) 이 1자유도 감쇠계의 진동 변위 $x(t)$ 를 다음 식의 형태로 표현하고자 한다.

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

초기변위 $x_0 = 0.5 \text{ mm}$, 초기속도 $v_0 = -1.0 \text{ mm/s}$ 일 때, 파라미터 값들을 대입하고 미지의 상수 A 와 ϕ 를 결정하여 식을 완성하라.

4.[6점] 질량을 무시할 수 있고 변형 가능한 축과 강체 원판으로 이루어져 축의 비틀림 진동을 하는 1자유도계에서, 원판의 원주방향으로 강성 k 인 스프링이 결합되어 있다. 축은 전단탄성계수 G , 길이 L , 단면 반지름 R 이다. 원판은 질량 m , 반지름 r 이다. 스프링과 축의 변형이 없는 상태에서 진동이 시작될 때, 운동방정식을 유도하고, 고유진동수를 표현하라.



가 반

2003. 5. 6.

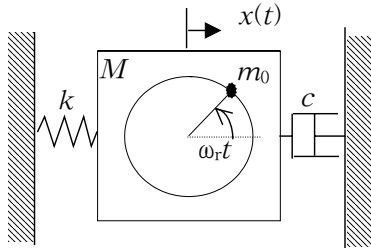
1.[2점] 공진(resonance)란 무엇이며, 어디에 활용될 수 있는가?

2.[6점] 그림과 같이 질량 M 인 물체 내에서 편심 질량 m_0 가 회전 반지름 r 로서 1초에 n 바퀴씩 회전하고 있다. 회전 불균형에 따른 수평방향 진동을 해석하려고 한다.

(a) 질량 M 인 물체 주변에 작용하는 외력을 나타내는 자유물체도를 제시하라

(b) 운동방정식을 유도하라.

(c) 물체의 진동으로 인해 왼쪽 벽에 전달되는 힘 $F_w(t)$ 를 그림에 주어진 문자들로 표현하라.



3.[7점] 강성이 15,000 N/m이고 점성감쇠계수가 600 N/(m/s)인 충격흡수기 위에 질량 70 kg인 물체가 올려져 있다. 물체가 평형상태에서 정지해 있을 때 조화가진력 $F(t) = 35 \sin 20t$ N에 의해 가진된다.

(a) 감쇠를 무시하고 비감쇠계라는 가정하에, 가진력에 의한 강제응답 $x_p(t)$ 를 구하라.

(b) 감쇠계의 가진력에 의한 강제응답의 진폭 X 와 위상 θ 를 구하고, 강제응답 $x_p(t)$ 를 완성하라.

4.[4점] 외부 진동에 민감한 정밀계측기를 설치함에 있어서, 진동 차단을 위하여 천정에 스프링으로 매다는 방안을 강구하였다. 외부 진동의 주파수 성분은 10 Hz부터 20 Hz까지라고 파악하였다. 계측기와 받침판의 질량의 합은 15 kg이다. 계측기의 진동 변위를 바닥 진동 변위의 15분의 1 이하로 하려면 감쇠를 무시할 수 있는 스프링의 등가 강성 k 는 어느 범위의 값이어야 하는가?

5.[6점] 질량 15 kg, 감쇠계수 135 N/(m/s), 강성 2500 N/m인 시스템이 정지상태에 있었는데, $t = 0$ 일 때와 $t = 3$ s 일 때 각각 충격량 2 N·s인 충격이 가해졌다.

(a) $0 < t < 3$ s 동안의 응답 $x(t)$ 를 구하라.

(b) $t > 3$ s 일 때의 응답 $x(t)$ 를 구하라.

나 반

2003. 5. 7.

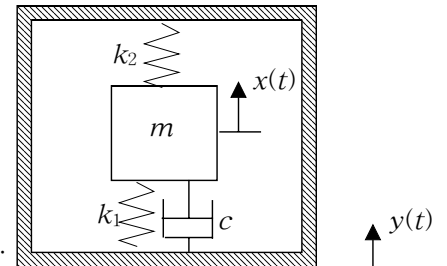
1.[2점] 맥놀이(beat)란 무엇이며, 어디에 활용될 수 있는가?

2.[6점] 그림과 같이 강체 케이스에 들어 있는 시스템에서 케이스의 진동에 따른 질량체의 진동을 모델링하려고 한다.

(a) 질량 m 인 질량체 주변에 작용하는 힘들을 나타내는 자유물체도를 제시하라.

(b) 운동방정식을 유도하라.

(c) 케이스의 상판이 스프링(k_2)를 통해 질량체에 가하는 힘 $F_w(t)$ 를 그림에 주어진 문자들로 표현하라.



3.[7점] 강성이 25,000 N/m이고 점성감쇠계수가 750 N/(m/s)인 스프링 위에 질량 80 kg인 물체가 올려져 있다. 물체가 평형상태에서 정지해 있을 때 조화가진력 $F(t) = 40 \cos 20t + 25 \sin 15t$ N에 의해 가진된다.

(a) 감쇠를 무시하고 비감쇠계라는 가정하에, 가진력에 의한 강제응답 $x_p(t)$ 를 구하라.

(b) 감쇠계의 가진력에 의한 정상상태(steady-state) 응답 $x_p(t)$ 를 구하라.

4.[4점] 고속 프레스에서는 회전 불균형으로 인하여 수직방향 진동이 발생한다.

(a) 회전진동수와 고유진동수의 비 r 에 따른 힘 전달률 그래프를 감쇠비가 0인 경우와 0.1인 경우에 대하여 개략적으로 나타내어라.

(b) 바닥으로 전달되는 힘의 크기 F_T 가 편심 질량의 원심력($m_0 e \omega_r^2$)의 3분의 1 이하가 되도록 프레스를 설계하고자 한다. 600 rpm과 900 rpm의 회전수로 사용될 이 프레스의 감쇠는 무시될 만하다면, 고유진동수 ω_n 은 어느 범위의 값이어야 하는가?

5.[6점] 질량 10 kg, 감쇠계수 115 N/(m/s), 강성 2500 N/m인 시스템이 정지상태에 있었는데, $t = 0$ 일 때 충격량 2 N·s인 충격이 가해지고, $t = 4$ s 일 때 충격량 1 N·s인 충격이 가해졌다.

(a) $0 < t < 4$ s 동안의 응답 $x(t)$ 를 구하라.

(b) $t > 4$ s 일 때의 응답 $x(t)$ 를 구하라.

(가/나반 통합)

2003. 6. 16.

1.[6점] 충격흡수기(shock absorber)는 스프링과 감쇠기(damper)로 이루어진 기계요소이다. 이 장치에 질량 18 kg인 추를 매달고 정적 처짐을 측정 한 후, 초기 변위를 가하여 부족감쇠운동을 관찰하였다.

(a) 정적 처짐이 15 mm라면, 이 충격흡수기의 강성 k 의 값은 얼마인가? (중력가속도는 9.8 m/s^2)

(b) 부족감쇠운동의 응답 변위 극대값이 처음에 19 mm, 그 다음에 5 mm로 측정되었다. 이 충격흡수기의 감쇠비 ζ 와 감쇠계수 c 의 값은 얼마인가?

(c) 위의 실험에서 변위 응답의 처음 극대점과 그 다음 극대점 사이의 시간 간격을 측정하면 몇 초로 나타나겠는가?

* 임의의 가진력 $F(t)$ 에 대한 진동계의 응답 $x(t)$

$$x(t) = \int_0^t F(\tau) h(t-\tau) d\tau = \int_0^t F(t-\tau) h(\tau) d\tau$$

$$h(t) = \frac{1}{m\omega_d} e^{-\zeta\omega_n t} \sin\omega_d t$$

2.[6점] 질량이 1.5 kg인 강체와 강성이 6.0 N/m인 스프링으로 구성된 1자유도 비감쇠계에 다음과 같은 가진력이 가해진다. 여기서 t_1 은 4초, F_0 는 25 N이다.

$$F(t) = \begin{cases} \frac{F_0 t}{t_1} & 0 \leq t \leq t_1 \\ 0 & t > t_1 \end{cases}$$

(a) 4초 이전의 응답을 구하라.

(b) 4초 이후의 응답을 구하라.

* 조화가진력 $F_0 \sin\omega t$ 에 대한 응답의 진폭과 위상

$$X = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta\omega_n\omega)^2}}, \quad \Theta = \tan^{-1} \frac{2\zeta\omega_n\omega}{\omega_n^2 - \omega^2}$$

3.[6점] 질량이 2.0 kg이고 강성이 200 N/m이며 감쇠비가 0.25인 1자유도계에 다음과 같이 Fourier 급수로 표현된 톱니파형 가진력이 가해질 때 정상상태 응답 $x_p(t)$ 를 구하라.

$$F(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin nt \quad (\text{N})$$

4.[3점] 일반적으로 계측시스템을 구성하는 3단계는 다음과 같다. 각 단계의 역할을 간략히 설명하고, 이에 해당하는 진동 계측기를 제시하라.

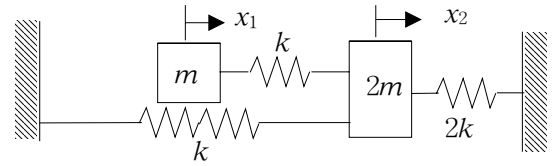
제1단계 (센서-변환기 단계) :

제2단계 (신호 조정 단계) :

제3단계 (판독-기록 단계) :

5.[9점] 2자유도계에 대한 다음 물음에 답하라.

(a) 다음 그림과 같은 2자유도 비감쇠계의 자유진동을 나타내는 운동방정식을 구하고, 그 식을 행렬 형태로 표현하라.



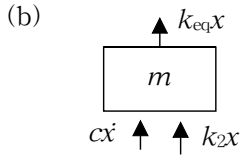
(b,c) 질량행렬과 강성행렬이 다음과 같이 표현되는 2자유도 비감쇠계의 고유진동수와 모드형상을 구하라.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & 2k \end{bmatrix}$$

여기서 $m = 10 \text{ kg}$, $k = 4000 \text{ N/m}$ 이다.

시험#1 (가반) -----

$$2. (a) k_{eq} = \frac{3EI k_1}{3EI + k_1 L^3}$$



$$(c) m\ddot{x} + c\dot{x} + (k_2 + k_{eq})x = 0$$

$$3. (a) \omega_n = 2.10 \text{ rad/s}, \quad \zeta = 0.314$$

$$\omega_d = 1.99 \text{ rad/s}, \quad T = 3.16 \text{ s}$$

$$(b) x(t) = 0.5 e^{-0.66t} \cos 1.99t - 0.337 e^{-0.66t} \sin 1.99t \quad (\text{mm})$$

$$4. \Theta + \frac{3g}{5L} \sin \Theta = 0 \quad \omega_n = \sqrt{\frac{3g}{5L}}$$

시험#1 (나반) -----

$$2. (a) k_{eq} = 2k \cos^2 \Theta$$

$$(c) m\ddot{x} + 2c \cos^2 \Theta \dot{x} + 2k \cos^2 \Theta x = 0$$

$$3. (a) \omega_n = 1.70 \text{ rad/s}, \quad \zeta = 0.33$$

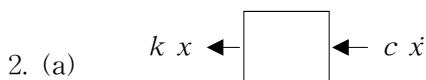
$$\omega_d = 1.60 \text{ rad/s}, \quad T = 3.92 \text{ s}$$

$$(b) x(t) = 0.673 e^{-0.56t} \cos(1.6t + 0.73) \quad (\text{mm})$$

$$4. \frac{mr^2}{2} \ddot{\Theta} + \left(\frac{\pi R^4 G}{2L} + kr^2 \right) \Theta = 0$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{\pi R^4 G + 2kr^2 L}{mr^2 L}}$$

시험#2 (가반) -----



$$(b) m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m_0 r (2\pi n)^2 \cos 2\pi n t$$

$$(c) F_{tr}(t) = kx(t)$$

$$3. (a) x_p(t) = -2.69 \sin 20t \text{ mm}$$

$$(b) X = 1.97 \text{ mm}, \quad \Theta = 2.4 \text{ rad},$$

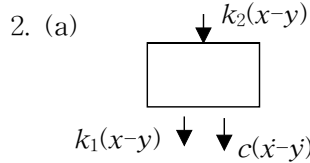
$$x_p(t) = 1.97 \sin(20t - 2.4) \text{ mm}$$

$$4. k \leq 3700 \text{ N/m}$$

$$5. (a) x(t) = 0.011 e^{-4.5t} \sin 12.1t \text{ m}$$

$$(b) x(t) = 0.011 e^{-4.5t} \sin 12.1t + 0.011 e^{-4.5(t-3)} \sin 12.1(t-3) \text{ m}$$

시험#2 (나반) -----



$$(b) m\ddot{x} + c\dot{x} + (k_1 + k_2)x = c\dot{y} + (k_1 + k_2)y$$

$$(c) F_{tr}(t) = k_2(x-y)$$

$$3. (a) x_p(t) = -5.76 \cos 20t + 3.54 \sin 15t \text{ mm}$$

$$(b) x_p(t) = 2.42 \cos(20t - 2.0) + 1.88 \sin(15t - 1.0) \text{ mm}$$

$$4. (b) \omega_n \leq 31.4 \text{ rad/s}$$

$$5. (a) x(t) = 0.0136 e^{-5.75t} \sin 14.7t \text{ m}$$

$$(b) x(t) = 0.0136 e^{-5.75t} \sin 14.7t + 0.0068 e^{-5.75(t-4)} \sin 14.7(t-4) \text{ m}$$

학기말시험 -----

$$1. (a) k = 11760 \text{ N/m}$$

$$(b) \zeta = 0.208, \quad c = 191 \text{ N/(m/s)} \quad (c) T = 0.25 \text{ s}$$

$$2. (a) x(t) = 1.04 (t - 0.5 \sin 2t) \text{ m}$$

$$(b) x(t) = 4.17 \cos 2(t-4) + 0.52 [\sin 2(t-4) - \sin 2t] \text{ m}$$

$$3. x_p(t) = 0.0025 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin(n\omega t - \theta_n)$$

$$X_n = -\frac{1}{2\pi} \frac{1}{n\sqrt{n^4 - 175n^2 + 10000}}$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{5n}{100 - n^2}$$

$$5. (a) \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & 2m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & 4k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$(b,c) \omega_1 = 12.3 \text{ rad/s} \quad \omega_2 = 32.3 \text{ rad/s}$$

$$u_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0.62 \end{Bmatrix} \quad u_2 = \begin{Bmatrix} -0.61 \\ 1 \end{Bmatrix}$$