드럼세탁기의 진동을 최소화하기 위한 최적설계

2001009044 임민호

2002007030 조용주

1. Problem Statement

동 기 : 밤에 세탁기를 돌리면 세탁기의 진동소리 때문에 잠자리에 방해를 받는 경우가 많다.

진동의 원인 : 드럼 세탁기는 지면과 수평한 회전축을 가지고 편심 회전운동을 하므로 그에 따른 진동으로 소음과 흔들림 현상이 일어난다.

문제 제기 : 드럼세탁기의 편심 회전운동에서 발생되는 진동을 최소화 하기 위한 최적의 방법을 모색해 보자.

1. Problem Statement

문제 분석 :

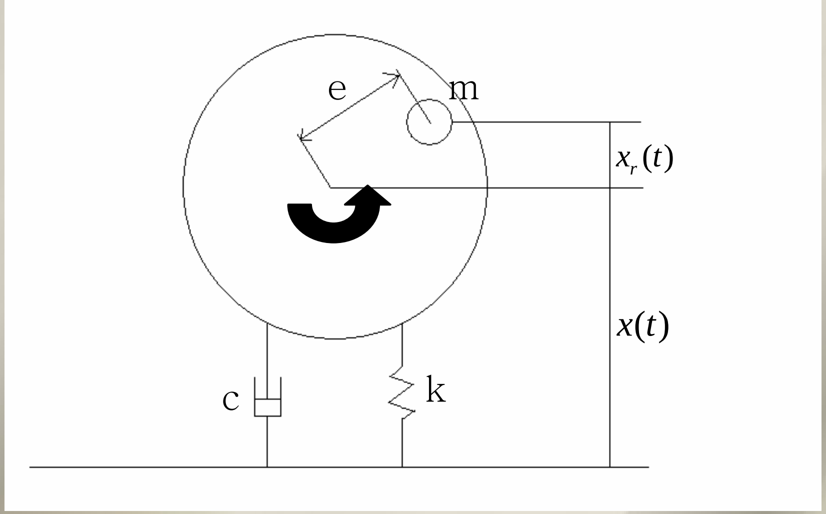
드럼세탁기의 편심 회전에 의한 진동은 결국 세탁기의 밑면을 통해 지면으로 전달됨으로써 지면과세탁기 사이에서 진동 및 소음이 가장 많이 발생함을 알수 있다. 그러므로 지면으로 전달되는 힘이 최소값을 갖게 하는것이 이번 프로젝트의 목표이다.

또한 세탁과정 중 가장 진동이 심한 구간은 탈수과정이다. 일반적으로 세탁과정에서는 회전속도가 느리기 때문에 큰 진동이 발생하지 않는다. 그러므로 탈수과정에 포커스를 맞추어 문제를 분석하기로 했다.

1. Problem Statement

가정

- 드럼세탁기를 < 그림 1 >과 같은 원운동을 하고 있는 스프링 댐퍼 시스템으로 모델링 할 수 있다.
- 세탁기 내부의 세탁물들은 원의 중심으로 부터 e 만큼 떨어진 곳에서의 한점에 질량이 집중되어 있다.
- 세탁기에서의 최대 진동은 탈수과정에서 일어난다.
- 탈수과정 동안 손실되는 물의 양은 무시한다. 즉 세탁물의 질량(m)은 일정하다.



< 그림 1 >

2. Data and Information

스프링의 강성계수 : $10000 \le k \le 30000$

댐퍼의 댐핑계수 : $1000 \le c \le 2000$

드럼의 무게 : $M = 15kg$

젖은 세탁물의 무게 : $m = 6kg$

세탁물과 세탁기 회전축 사이의 거리 : $e = 30cm$

세탁기의 최대 회전 각속도 : 1200rpm

Natural frequency : $w_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Damping ratio : $\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$

3. design variables

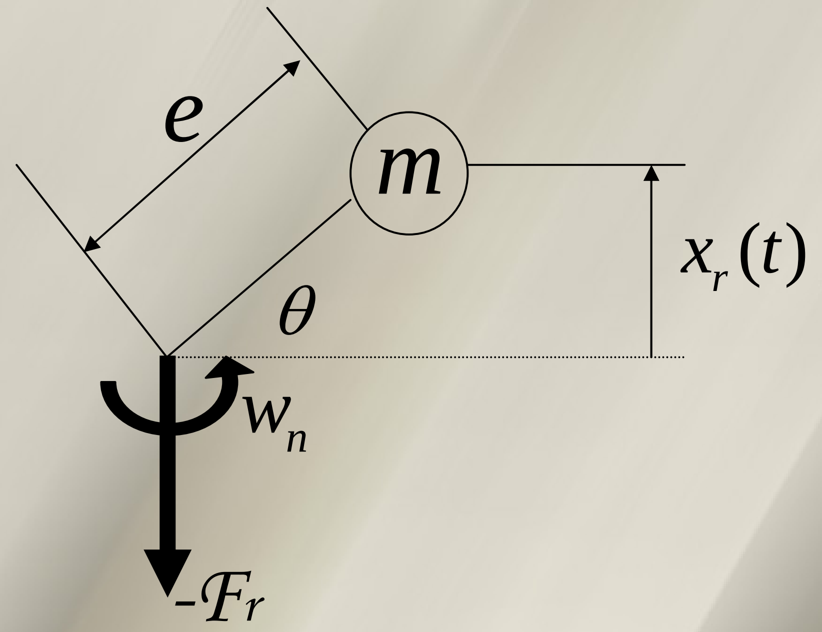
스프링의 강성계수 : k

댐퍼의 댐핑계수 : c

4. Objective function

바닥이 받는 하중을 구하기 위해 편심질량(m)과 원통중심에서 받는 하중에 대해 고려한 후 원통의 운동과 바닥이 받는 힘을 계산한다.

- 편심질량(m)과 원통중심에서 받는 하중



$$x_r = e \sin w_r t$$

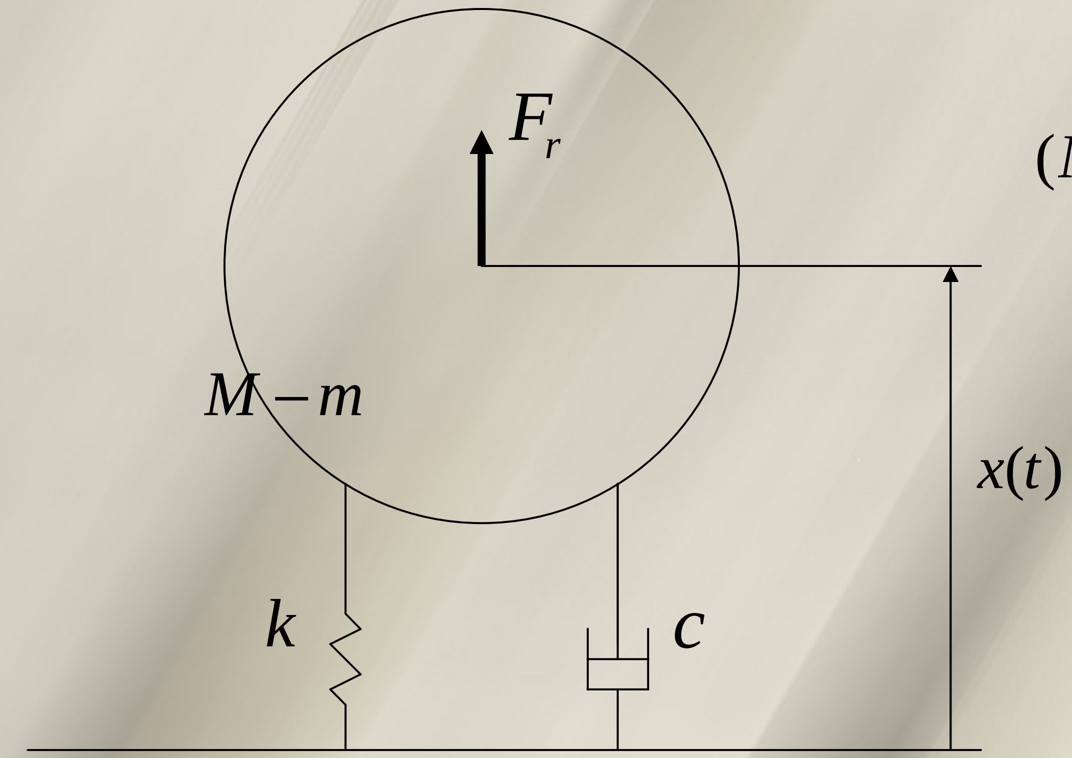
$$\dot{x}_r = e w_r \sin w_r t$$

$$\ddot{x}_r = -e w_r^{\,2} \sin w_r t$$

$$m(\ddot{x} + \ddot{x}_r) = -F_r$$

4. Objective function

- 원통의 운동과 바닥이 받는 힘



$$(M-m)\ddot{x} = F_r - c\dot{x} - kx$$

4. Objective function

$$m(\ddot{x}+\ddot{x}_r) = -F_r$$

$$(M-m)\ddot{x} = F_r - c\dot{x} - kx$$; 두 식을 더하면

$$M\ddot{x} + m\ddot{x}_r + c\dot{x} + kx = 0$$

$$\rightarrow M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = mew_r^{\ 2}\sin w_r t$$

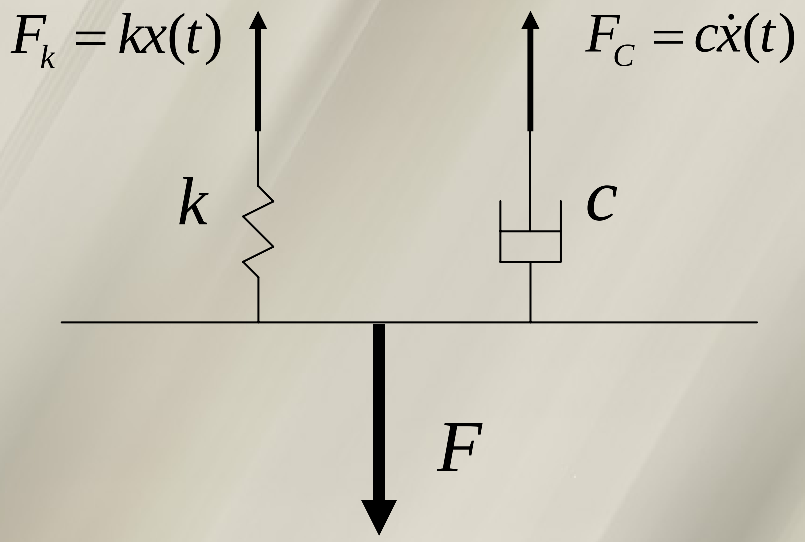
$$x_p(t) = X\sin(w_r t - \theta)$$

$$X = \frac{me}{M}\frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

$$(r = \frac{w_r}{w_n},\ \zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}})$$

이 방정식의 완전해는 정상상태에서의 거동을 다룬다고 가정, homogeneous solution은 소거된다.

4. Objective function



바닥은 스프링과 댐퍼에 의해 하중을 받게 된다. 그리고 그 힘의 크기는 Fk와 Fc의 합과 같다.

4. Objective function

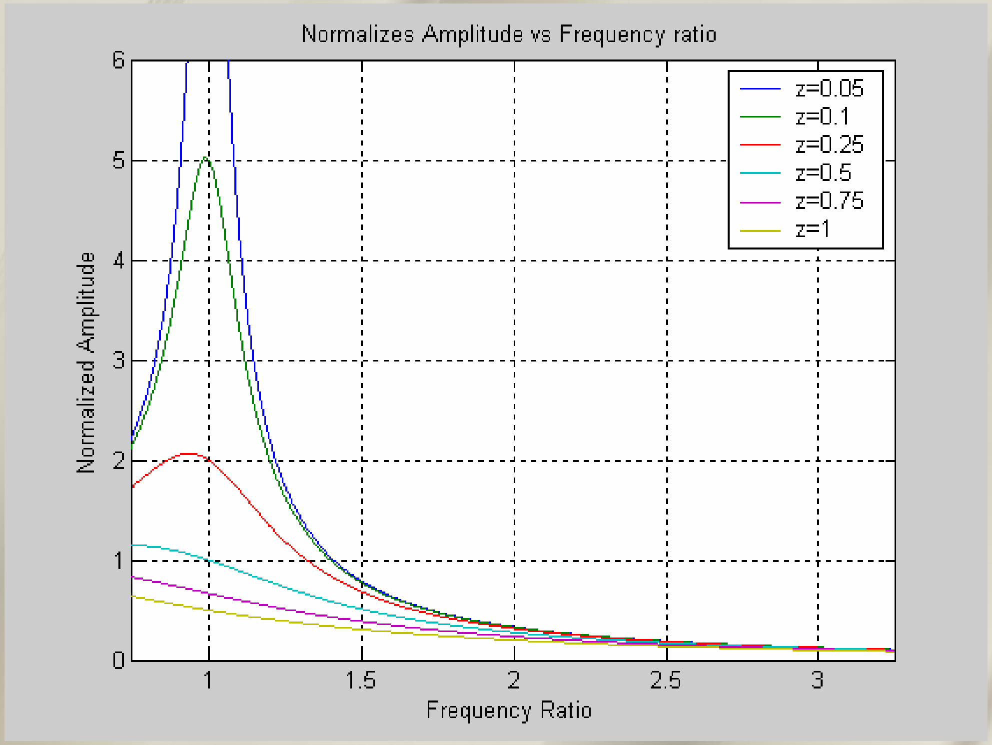
$$F_{total} = F_k + F_c = kX\sin(w_r t - \theta) + cXw_r\cos(w_r t - \theta)$$

$$\left|F_{total}\right| = X\sqrt{k^2 + c^2 w_r{}^2} = \frac{me}{M}\sqrt{k^2 + c^2 w_r{}^2}\,\frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

∴ 목적함수는 $\frac{me}{M}\sqrt{k^2 + c^2 w_r{}^2}\,\frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$ 이고

이를 최소화 시키는 것이 목표이다.

5. Identification of constraints



위 그림을 통해 r이 1 주변에 있을 경우 resonance 가 일어날 수 있다는 것과 damping 계수가 높을 때에는 resonance의 영향이 적음을 알 수 있다.

5. Identification of constraints

앞의 경우를 고려하여

$r = \dfrac{w_r}{w_n} \geq 3, \quad \zeta = \dfrac{c}{2\sqrt{km}} \geq 0.75$ 일때 진동의 영향이 최소화 될 수 있다.

$$r = \frac{w_r}{w_n} = \sqrt{\frac{m}{k}} \geq 3$$

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \geq 0.75$$

$$10000 \leq k \leq 30000$$

$$1000 \leq c \leq 2000$$

5. Identification of constraints

$$g_1 = 3 - \sqrt{\frac{m}{k}} \leq 0$$

$$g_2 = 0.75 - \frac{c}{2\sqrt{km}} \leq 0$$

$$g_3 = 10000 - k \leq 0$$

$$g_4 = k - 30000 \leq 0$$

$$g_5 = 1000 - c \leq 0$$

$$g_6 = c - 2000 \leq 0$$