

OPTIMUM DESIGN

드럼 세탁기의 SUPANSION SYSTEM 설계



기계공학부
200200 전하늘
2003007679 정태진
2004006152 남대곤

contents

1. Project/ Problem Statement.
2. Data & Information
3. Design Variables
4. Identification of Object function
5. Constraints
6. Graphical solution

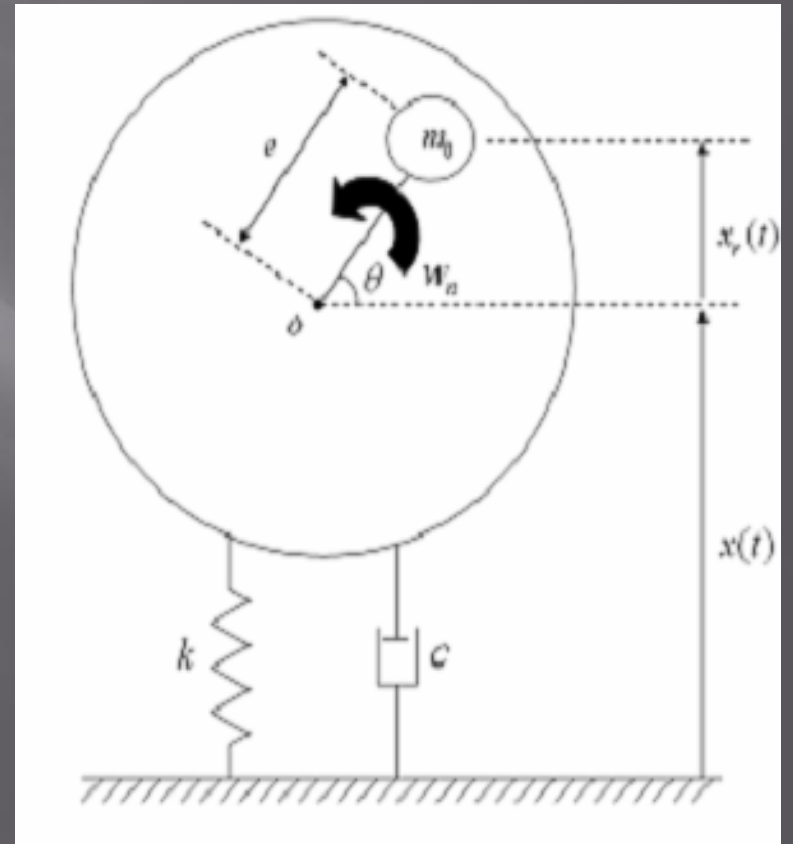
1. Project/Problem Statement.

- ▣ 드럼세탁기를 회전 불균형 문제로 모델링 해보았다.
- ▣ 설계 변수는 세탁기 내부에 들어가는 스프링의 강성 계수와 댐핑 계수이다.
- ▣ 설계의 목표는 드럼세탁기내부의 드럼의 진동으로 인해서 세탁기바닥에 전달되는 힘을 최소화시키는 것이다.

•Assumptions

- ◆ 아래위 방향의 한방향의 진동만을 고려한다.
(바닥에 전달되는 힘의 최소화 목적)
- ◆ 편심 질량은 중심으로부터 일정거리 떨어진 하나의 질점으로 가정한다.
- ◆ 설계할 스프링과 댐퍼에 이외의 요소에 대한 에너지 손실과 변환은 무시한다.

•Modeling



2. Data & Information

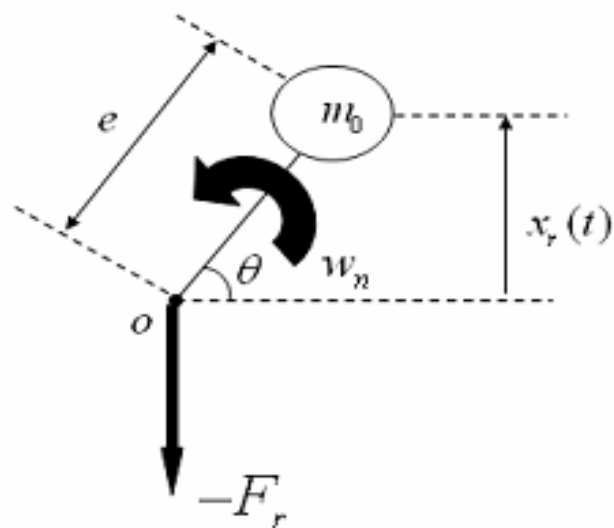
- ▣ 세탁기에 일반적으로 사용되는 스프링의 강성계수 : $20,000 \leq k \leq 40,000 (\text{N/m})$
- ▣ 세탁기에 일반적으로 사용되는 댐퍼의 댐핑계수 : $0 \leq c \leq 10000 (\text{N} \cdot \text{s/m})$
- ▣ 드럼과 그 내부의 무게(물 과 세탁물의 무게 포함) : $m=12\text{kg}$
- ▣ 편심질량 : $m_0=5\text{kg}$
- ▣ 편심질량과 원형 받침대 사이의 거리 : $e=0.3\text{m}$
- ▣ 드럼을 구동하는 모터의 각속도 : $0 \leq \omega \leq 1200\text{rpm}$
- ▣ 고유주파수: $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$
- ▣ 감쇠비: $\delta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$

3.Design Variables

- ▣ 스프링의 강성 계수 : k
- ▣ 댐퍼의 댐핑 계수 : c

4. Identification of Object function

- ▣ 바닥이 받는 하중을 구하기 위해 먼저 편심질량과 끈에 의해서 원형드럼의 중심에서 받는 하중에 대해 고려한 후 원형받침대의 운동과 마지막으로 바닥이 받는 힘을 계산한다.

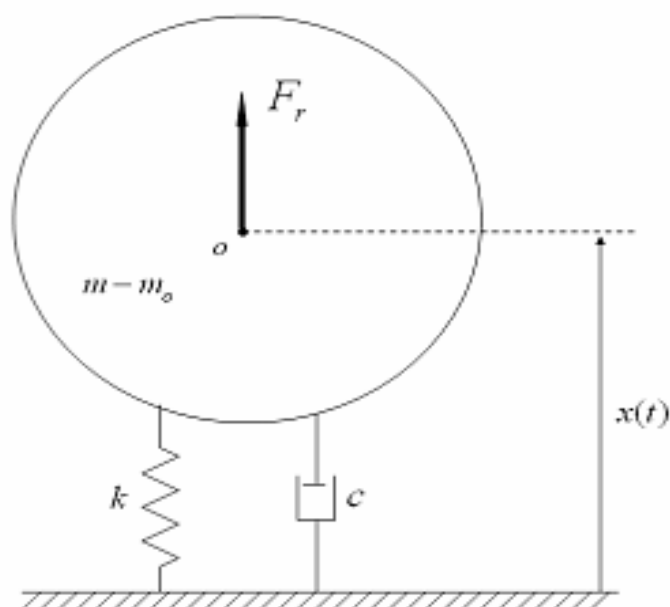


$$x_r = e \sin \omega_r t$$

$$\dot{x}_r = e \omega_r \cos \omega_r t$$

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

$$m_0 (\ddot{x} + \ddot{x}_r) = -F_r \dots\dots\dots (a)$$



$$(M - m_0) \ddot{x} = F_r - c \dot{x} - kx \dots\dots\dots (b)$$

$$(a) \triangleq + (b) \triangleq : M \ddot{x} + m_0 \ddot{x}_r + c \dot{x} + kx = 0$$

$$\therefore m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = m_0 e \omega_r^2 \sin \omega_r t$$

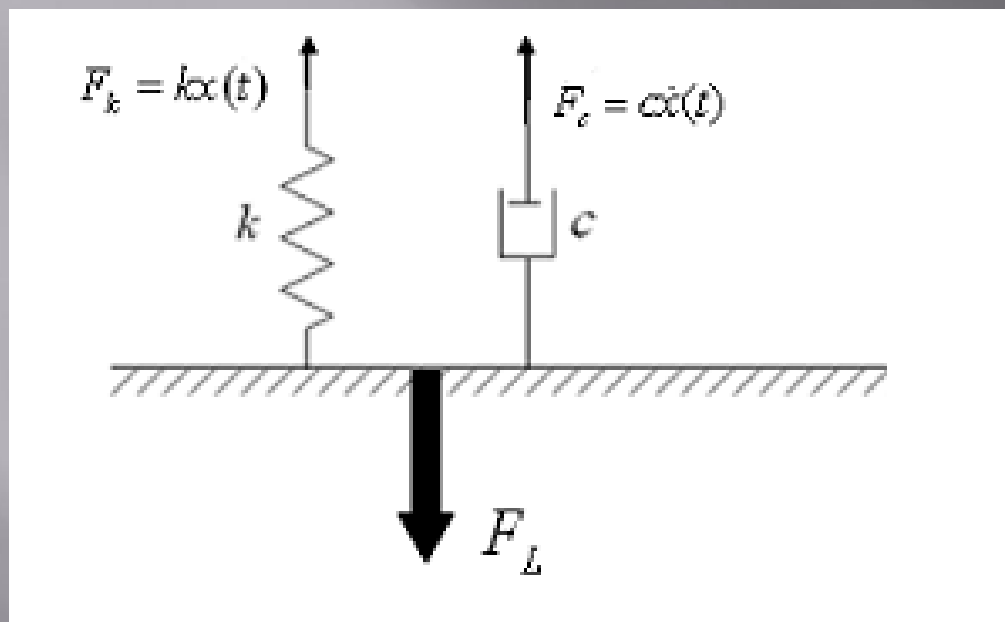
- ▣ 이 지배방정식의 완전 해는 homogeneous solution과 particular solution의 합으로 이루어 지는데 정상상태에서의 거동을 다룬다고 가정하면 homogeneous solution은 정상상태에서 소거 되고 particular solution은

$$x(t) = x_p(t) = X \sin(\omega_r t - \theta)$$

$$X = \frac{(m_0 e / m) r^2}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} = \frac{m_0 e}{m} \frac{r^2}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

$$\left(r = \frac{\omega_r}{\omega_n}, \quad \zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \right)$$

- ▣ 지면은 스프링과 댐퍼에 의해 하중을 받게 된다.



$$F_L = F_c + F_k = c\dot{x}(t) + kx(t) = kX\sin(w_r t - \theta) + cXw_r\cos(w_r t - \theta)$$

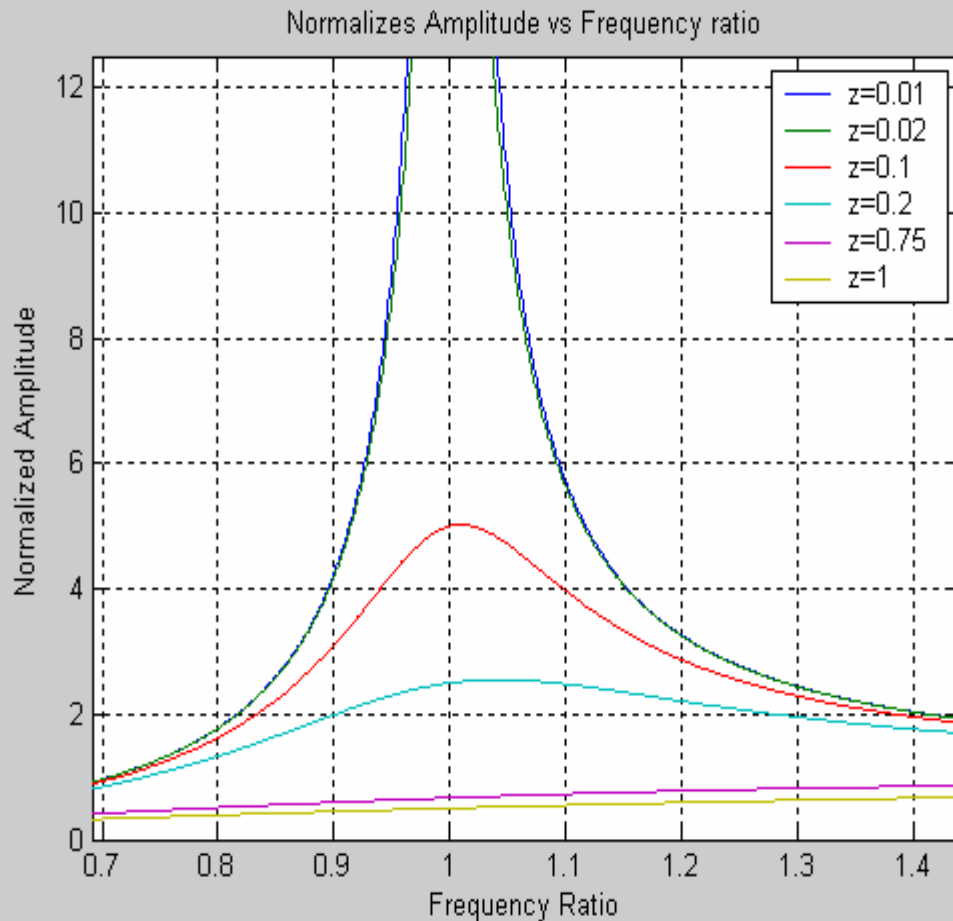
$$|F_L| = X\sqrt{k^2 + c^2w_r^2} = \sqrt{k^2 + c^2w_r^2} \frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

▣ 따라서 목적함수는

$$\therefore F = X \sqrt{k^2 + c^2 \omega_r^2} = \sqrt{k^2 + c^2 \omega_r^2} \frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

위와 같이 정의 될 수 있으며, 이를 최소화 시키는 것이 이번 문제의 설계 목표이다. 이 목적함수를 최소화 시키기 위해서는 여러 가지 구속조건이 있는데, 이는 다음의 plot 으로 설명하도록 하겠다.

5. Constraints



- ▣ 옆의 그림은 r 과 δ 에 대한 진폭 X 의 크기를 나타낸 것이다
- ▣ damping 계수가 높을 때는 공명시 ($r=1$) X 의 피크 값이 나타날 수 있다.
- ▣ $\delta \geq 0.7$

- ▣ 일반적으로 사용되는 세탁기의 강성계수와 댐핑 계수의 범위보다 조금 더 확장(상식에 어긋나지 않게 최적해를 찾기 위해)
- ▣ $20000 \leq k \leq 40000$
- ▣ $0 \leq c \leq 10000$
- ▣ 바닥에 전달 되는 힘도 중요하지만 드럼의 진폭도 중요하므로
드럼의 진폭 $X \leq 0.02\text{m}$

EXCEL을 이용한 최적해

step 4 : Identification of Object function

$$X = (m_0 \cdot e / m) \cdot r^2 / ((1 - r^2)^2 + (2 \cdot \delta \cdot r)^2)^{0.5}$$

$$F = X \cdot (k^2 + (c \cdot w)^2)^{0.5} \quad \text{<----최소화}$$

Step 5 : Constraints

$$20000 \leq k \leq 40000$$

$$0 \leq c \leq 10000$$

$$X \leq 0.02m$$

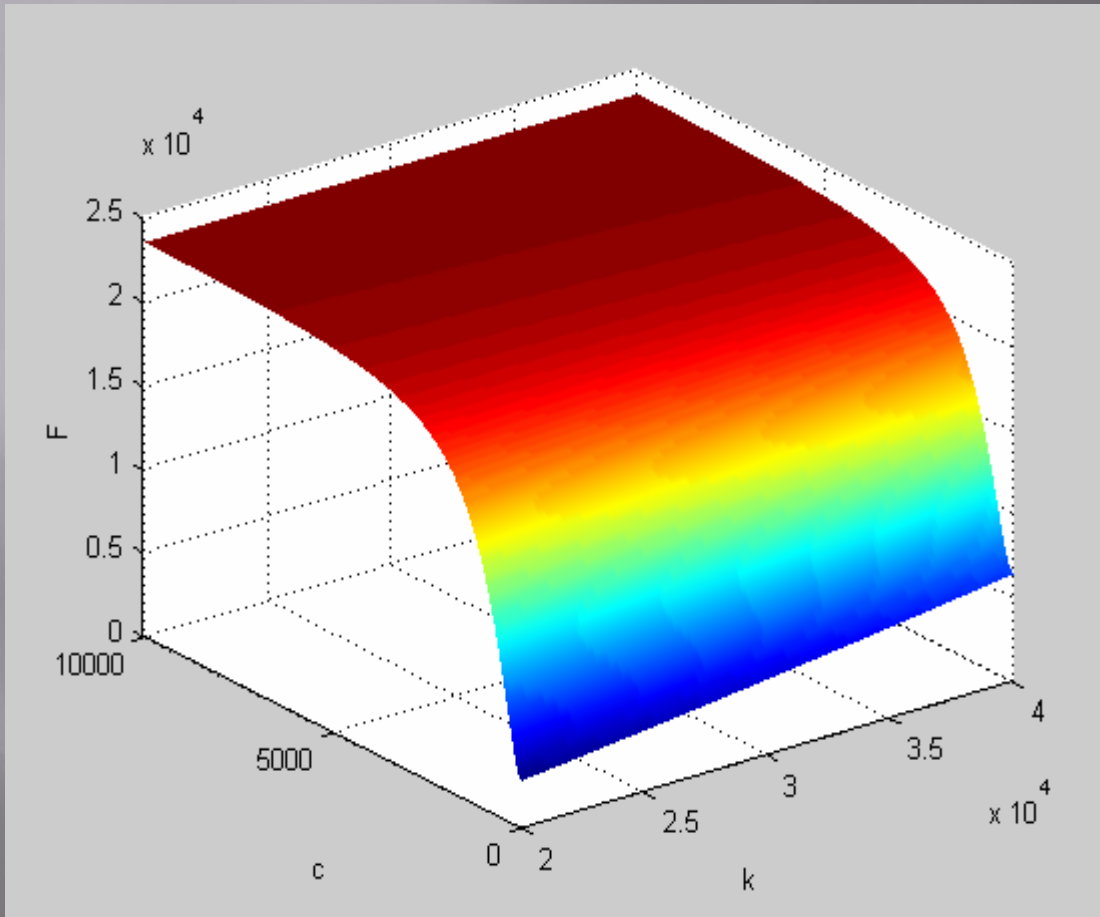
$$\delta \geq 0.7$$

k	c	wn	w	r	δ	X	F
20000	9327.559	40.82483	125.6637	3.07812	9.519900016	0.020000427	23446.63

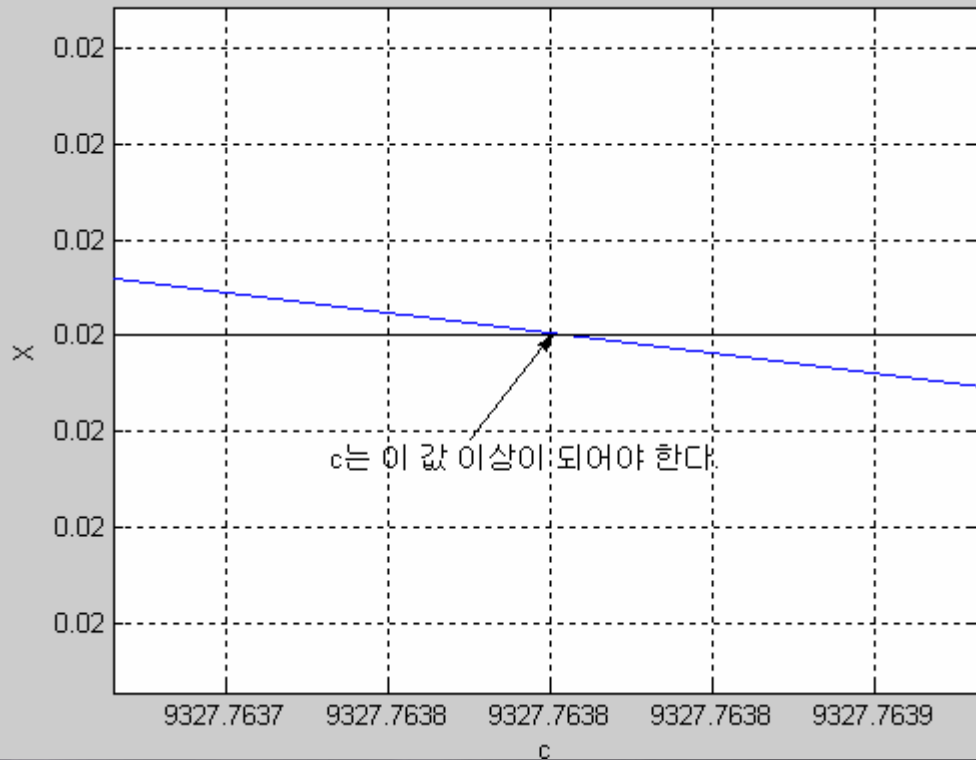
최적해

k	c	X	F
20000	9327.559	0.02	23446.63

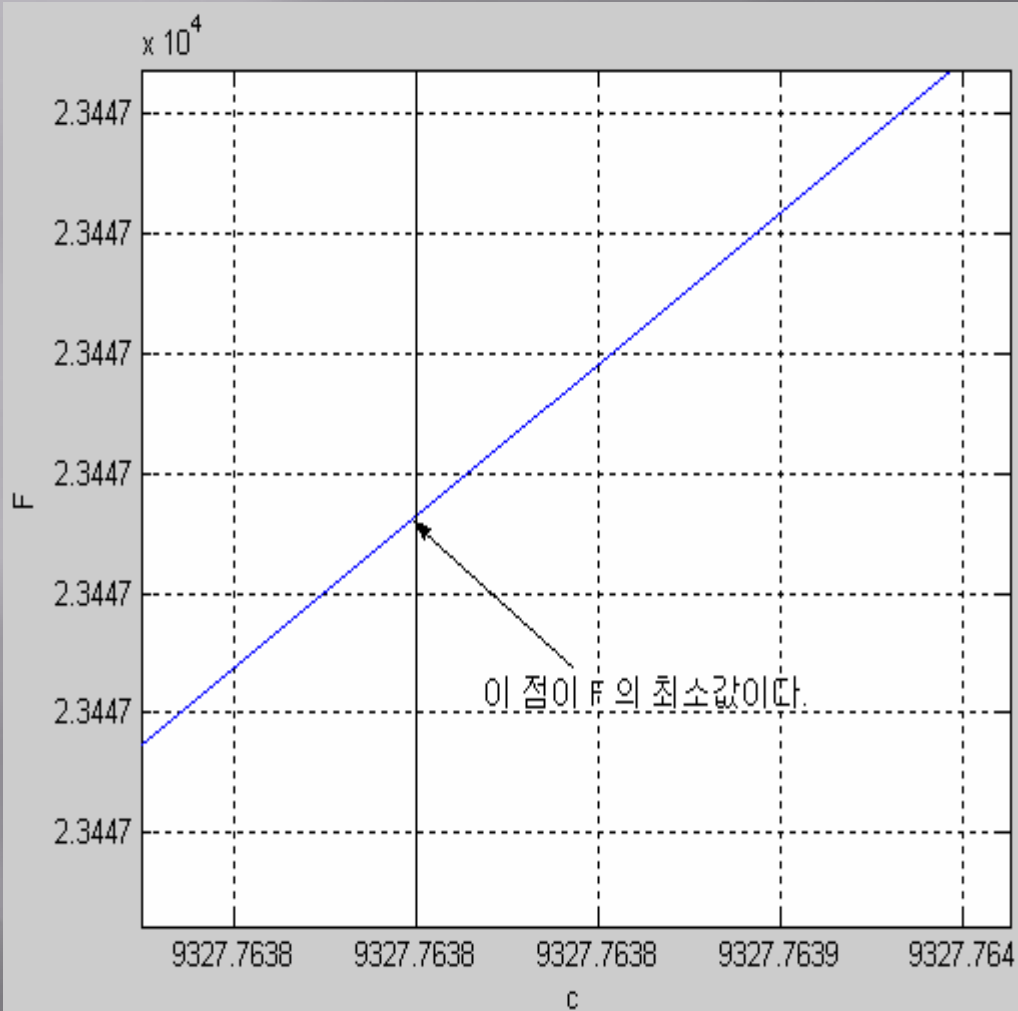
Matlab을 이용한 최적해



- ▣ c 와 k 값이 감소 할 수록 F 는 감소 하는 것을 볼 수 있다.
- ▣ 일단 k 값은 최소값인 20000으로 정한다.



- ▣ k 값이 20000일 때의 c 와 X 의 그래프이다.
- ▣ $X \leq 2\text{cm}$ 이므로 $c \geq 9327.76\text{N}\cdot\text{s/m}$ 를 만족해야 한다.



- ▣ F 의 최소값은 2.3447N으로 엑셀에서 구한 값과 일치함을 볼 수 있다.

6. Comment

- ❖ 드럼세탁기의 편심에 의한 진동문제를 고려하여 바닥에 전달되는 힘의 최소화를 목적으로 드럼과 바닥에 연결할 스프링과 댐퍼의 상수를 최적화 방법으로 결정하는 것을 목표로 하였다.
- ❖ 모델링에는 해석의 편의를 위하여 알고있던 간단한 편심 회전 모델로 하였고 편심질량의 오차등으로 실재와는 다소 차이가 있을 것으로 예상되어 진동이 크게 발생하는 상황을 가정하였다.
- ❖ 정식화를 한 후 graphical한 방법으로 해를 구하여보았으나 k, c 값이 작을수록 목적함수가 최소화 되는 해를 얻게되어 다른 구속 조건을 더 늘리는 등의 고찰이 필요할 것으로 보인다.