

"Anti-Vibe"

2003007301 김주현

2003007077 천대원

# OPTIMUM DESIGN OF THE BICYCLE VIBRATION

# 1. PROBLEM STATEMENT

자전거 Suspension system은 전문가용 자전거 시장에서 복잡하고 민감한 부분이다. 요즘의 자전거들은 최고 시속 60km/h의 속도로 달리고 있고, 자전거 레저활동의 증가로 수요가 늘고 있어서 어느 때보다 완충시스템의 중요성이 높아지고 있다. 이 설계의 목적은 suspension system의 최적설계를 통하여 자전거 이용자에게 전달되는 변위를 최소화 하는 것이다.

## 2. INFORMATION COLLECTION



*Vibration = Underdamped \_ system*

$0.2 \leq \zeta \leq 0.5 \rightarrow (\because \text{resonance for machine})$

*Input = (Right \_ terms)*

*"A sin wt + B sin wt"*

*Linear  $\rightarrow$  Superposition!*

## 2. INFORMATION COLLECTION



*Governing \_Equation*

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = A\sin wt$$

*Displacement \_Transmissibility*

$$\left[ \frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$$

*where*

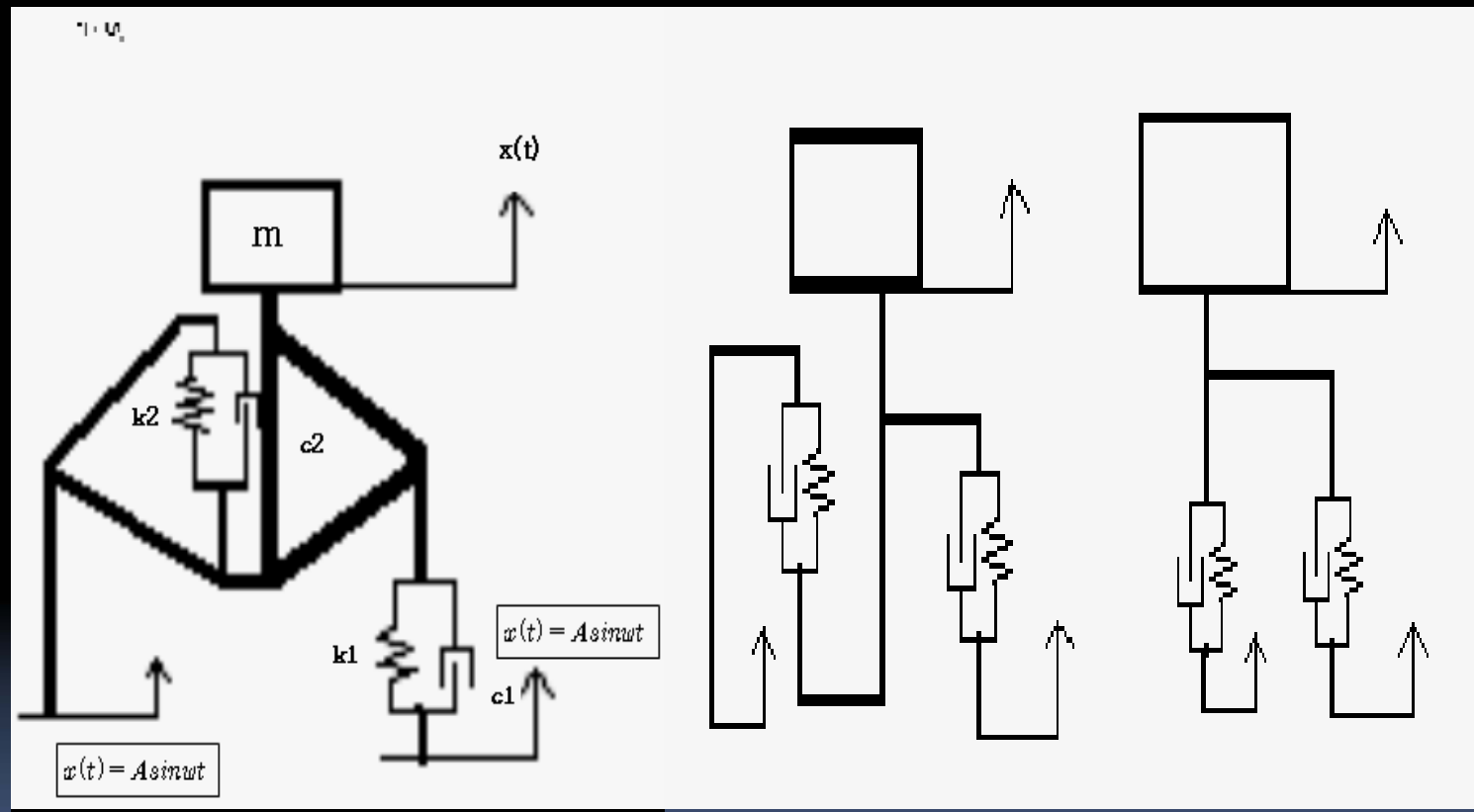
$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}, r = w_b / w_n$$

### 3. Design Variables

- $C_1(\text{kg/s})$ = damping coefficient at front wheel
- $C_2(\text{kg/s})$ = damping coefficient at rear wheel
- $K_1(\text{N/m})$ = spring constant at front wheel
- $K_2(\text{N/m})$ = spring constant at rear wheel

- 일반적으로 자전거 앞뒤바퀴의 스프링상수는 다른 값을 가진다.

## 4. MODELING AND ASSUMPTION



## 4. MODELING AND ASSUMPTION

- 앞뒤바퀴로 들어오는 입력은 무작위 입력이지만 평균값을 가지므로  $W=\text{constant}$  이고 SIN 입력으로 가정한다.
- 피치를 고려하지 않았기 때문에 두 바퀴에 의한 변위전달을 단순 SUPERPOSITION으로 구한다.
- 바퀴와 의자와의 거리의 기하학적 형상을 고려해서 피치를 대신한다.
- 앞 바퀴와 뒷바퀴의 입력은 같고 시간차가 없다. 이것은 강건 설계 혹은 과잉 설계가 된다.

## 5. OBJECTIVE FUNCTION

- 앞 바퀴 입력 "1" → 의자에 "0.5"
- 뒷바퀴 입력 "1" → 의자에 "2.0"
- ※(앞뒤바퀴로부터 거리 비 = 2:1)

$$\frac{Y_i}{X_i} = \left[ \frac{1 + (c_i w_b / k_i)^2}{[(1 - m w_b^2 / k_i)^2 - (c_i w_b / k_i)^2]} \right]^{1/2} \quad \text{where } i = 1, 2$$

$$m = [kg], k = [N / m], c = [kg / s], w = [rad / s]$$

$$\text{Minimize} \rightarrow "0.005Y_1 + 0.02Y_2 "(m)$$

## 6. CONSTRAINTS

- 1. K와 C값은 양수다.
- 2. 최대변위가 일어났을 때 K는 정적하중보다 커야 한다. 삭의 최대 변위는 3 inch이다.
- 3. 동적 하중 140kg으로 눌렀을 때 최소 1cm는 움직여야 충격흡수를 하는것이다.
- 4. r값이  $\sqrt{2}$  보다 작으면 변위전달비는 오히려 1보다 커진다.
- 5. 감쇠 비는 0.2~0.5사이로 r값이  $\sqrt{2}$ 보다 큰 범위에서 0.3을 선택한다.
- 6. 뒷바퀴 스프링은 강성이 1500[N/m]이상이다.

## 6. CONSTRAINTS

- Constraints

$$\text{const.1} = k_i, c_i \geq 0 \rightarrow i = 1, 2$$

$$\text{const.2} = 901.8 \leq k_{1,2} \leq 1.3 \times 10^5 [N/m]$$

$$\text{const.3} = 100.8 \leq c_{1,2} \leq 3000 [kg/s]$$

$$\text{const.4} = \sqrt{2} < r$$

$$\text{const.5} = 0.2 \leq \zeta \leq 0.5$$

### Properties

$$m = 70 [kg]$$

$$w = 34.9 [rad/s]$$

$$w_b = 20 (km/h) \left( \frac{1}{0.001 km} \right) \left( \frac{hour}{3600 s} \right) \left( \frac{2\pi rad}{cycle} \right) = 34.9 (rad/s)$$

| A1 |                    | Y1과 Y2에 대해서 두번 한다. |          |        |                      |      |          |   |
|----|--------------------|--------------------|----------|--------|----------------------|------|----------|---|
|    | A                  | B                  | C        | D      | E                    | F    | G        | H |
| 1  | Y1과 Y2에 대해서 두번 한다. |                    |          |        |                      |      |          |   |
| 2  |                    |                    |          |        |                      |      |          |   |
| 3  | constant           |                    |          |        |                      |      |          |   |
| 4  | wb                 | 34,9 (rad/s)       |          |        |                      |      |          |   |
| 5  | m                  | 70 (kg)            |          |        |                      |      |          |   |
| 6  |                    |                    |          |        |                      |      |          |   |
| 7  | variables          | 초기값                | 최적값      |        | Variables            | 초기값  | 최적값      |   |
| 8  | c1                 | 100                | 759,4099 |        | c2                   | 100  | 743,4289 |   |
| 9  | k1                 | 1000               | 928,4507 |        | k2                   | 1000 | 2378,614 |   |
| 10 |                    |                    |          |        |                      |      |          |   |
| 11 | objective function |                    |          |        | objective function 2 |      |          |   |
| 12 | 0,3                |                    |          |        | 0,299999996          |      |          |   |
| 13 |                    |                    |          |        |                      |      |          |   |
| 14 | constraints for y1 |                    |          |        |                      |      |          |   |
| 15 |                    | c1_low             | c1_high  | k1_low | k1_high              |      |          |   |
| 16 | g1                 |                    |          | 0      | 0                    |      |          |   |
| 17 | g2                 |                    |          | 908,1  | 130000               |      |          |   |
| 18 | g3                 | 100,8              | 3000     |        |                      |      |          |   |
| 19 | g4(r조건)            | 9,582857534        | 1,414214 |        |                      |      |          |   |
| 20 | g5                 | 0,300000045        | 0,3      |        |                      |      |          |   |
| 21 | constraints for y2 |                    |          |        |                      |      |          |   |
| 22 |                    | c1_low             | c1_high  | k1_low | k1_high              |      |          |   |
| 23 | g1                 |                    |          | 0      | 0                    |      |          |   |
| 24 | g2                 |                    |          | 1500   | 130000               |      |          |   |
| 25 | g3                 | 100,8              | 3000     |        |                      |      |          |   |
| 26 | g4(r조건)            | 66197,38136        | 1,414214 |        |                      |      |          |   |
| 27 | g5                 | 0,299999996        | 0,3      |        |                      |      |          |   |
| 28 |                    |                    |          |        |                      |      |          |   |

## 7. 결과, 기존설계와 비교

- 기존설계의 변위 전달비 = 0.384
- ( $m=70\text{kg}$ ,  $c=1000\text{ s/N}$ ,  $k=1500\text{ N/m}$ )
- 최적화 이후 변위 전달비 = 0.300
- ( $m=70\text{kg}$ ,  $c=759$ ,  $k=928\text{N/m}$ )
- 10cm 입력에 대해 0.84cm의 변위를 줄임
- 통증완화

## 8. 한계, 토의, 우리의 생각

- 1. 기존의 설계보다 작은 값들이 나옴. 원인은, 우리는 정상상태만 고려하고 갑작스런 충격을 고려하지 않았기 때문으로 보인다.
- 2. 피치를 고려하지 않고 직관에 의존해서 진행하였기 때문에 앞뒤바퀴의 간섭을 묘사하지 못했고, 목적함수 두 개의 단순 합으로 표현할 수밖에 없었다.
- 3. 기존에 설계식이 나와 있다면 그 식을 활용하는 것이 현명한 일인 것 같다.