



팔목 나간다

-Lower Arm 피로파괴 분석-

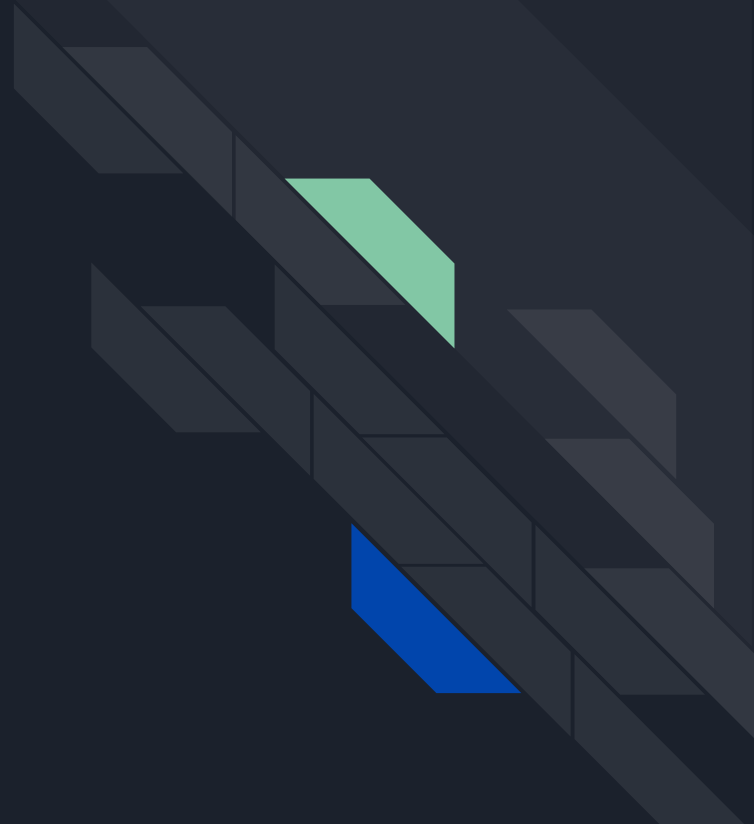
2016033445-김경직
2016033545-김진민
2016033663-왕지원



목차

1. 해석 목표
2. 입력 모델
3. COMSOL 해석
4. Matlab 피로 파괴 해석
5. 결과 토의 & QnA

해석목표



방지턱 표준모델

1. 높이: 0.1M
2. 폭 : 3.6M
3. 제한속도 : 30Km/h이하로 낮춰야 하는 곳에 설치한다.



Lower Arm

30Km/h을 넘으면 어떻게 될까?





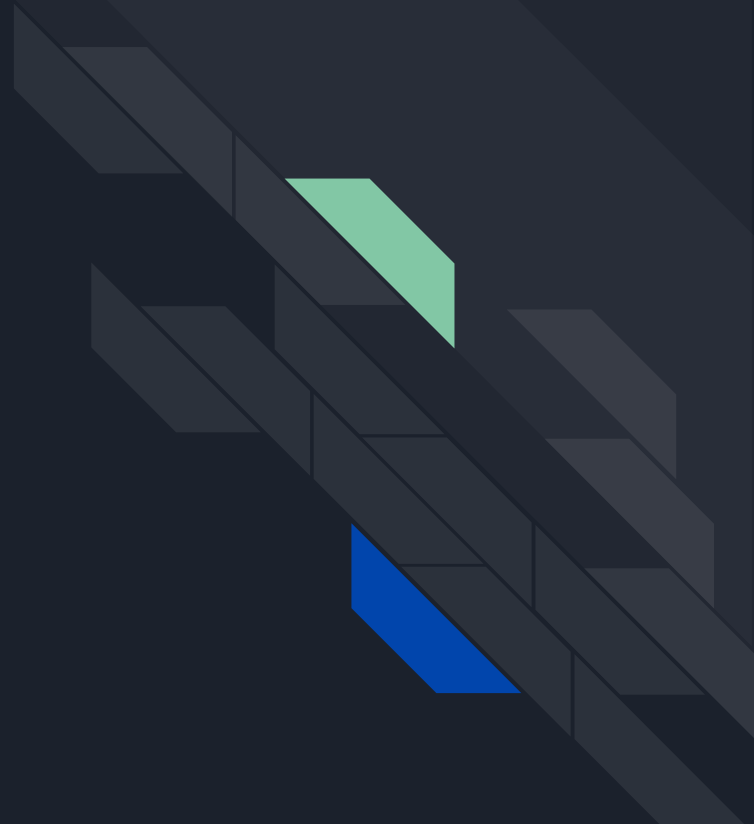
Assumption

1. 방지턱을 넘을 때 차가 뜨지 않고 바닥과 붙어서 움직인다.

1. 차는 등속도 운동을 하고 있다

1. 각 부품의 파라미터 값은 교재에 값을 참조하겠다.

입력 모델



입력 함수

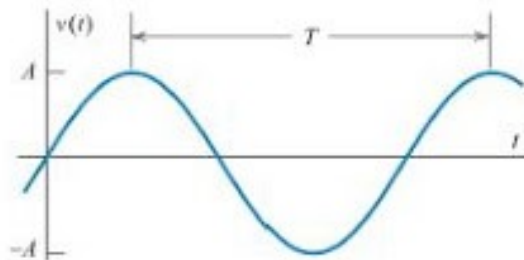
진폭 : 0.1 파장: $3.6 * 2 = 7.2$ 속도 = V

주기 $T = 7.2/V$ (sec/cycle) 주파수 $F = 1/T$ (Hz)

$\omega = 2\pi F$ (rad/sec)

$U = 0.1 * \sin(\omega * t)$

Sinusoidal function, $A \sin(\omega t)$



$$v(t) = A \sin(\omega t) \quad v(t+T) = v(t)$$

$$f = \frac{1}{T} [\text{Hz}], \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} [\text{rad/s}]$$

A : amplitude of the sinusoid

T : period of oscillation

f : frequency (or number of cycles per second)

ω : angular frequency

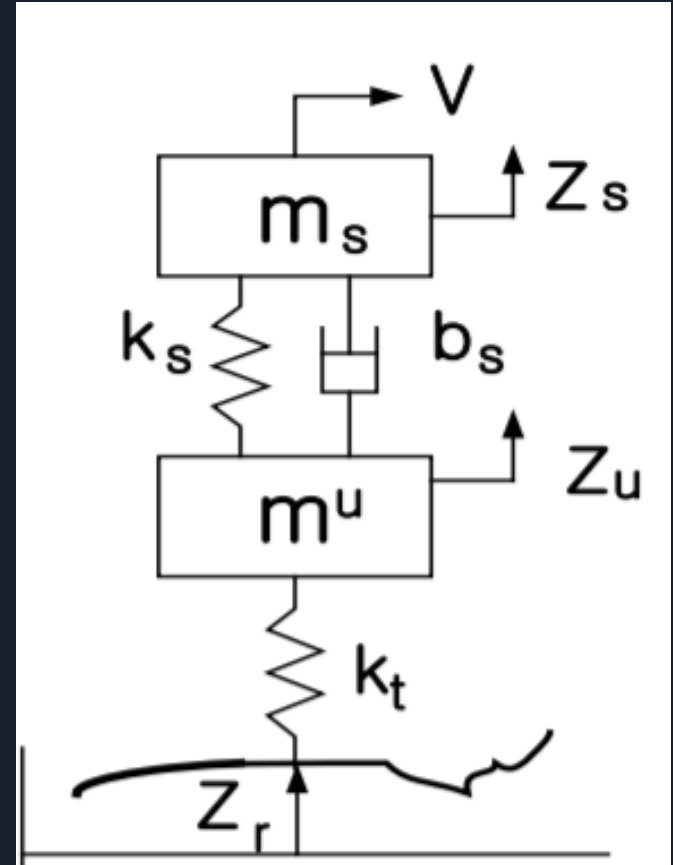
2DOF Quarter car model

$$M_s \cdot Z_s'' = -K_s(Z_s - Z_u) - b_s(Z_s' - Z_u')$$

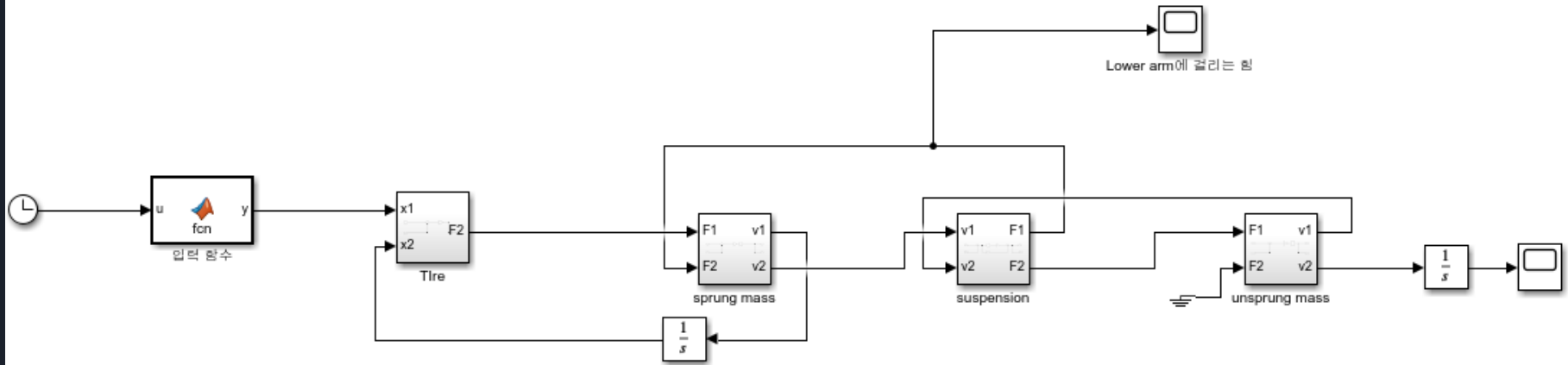
$$M_u \cdot Z_u'' = K_s(Z_s - Z_u) + b_s(Z_s' - Z_u') - K_t(Z_u - Z_r)$$

$$M_s = 400 \text{ Kg}, M_u = 50 \text{ Kg}, b_s = 1500 \text{ Ns/m},$$

$$K_s = 20000 \text{ N/m}, K_t = 200000 \text{ N/m}$$



Simulink



입력함수

Matlab Function



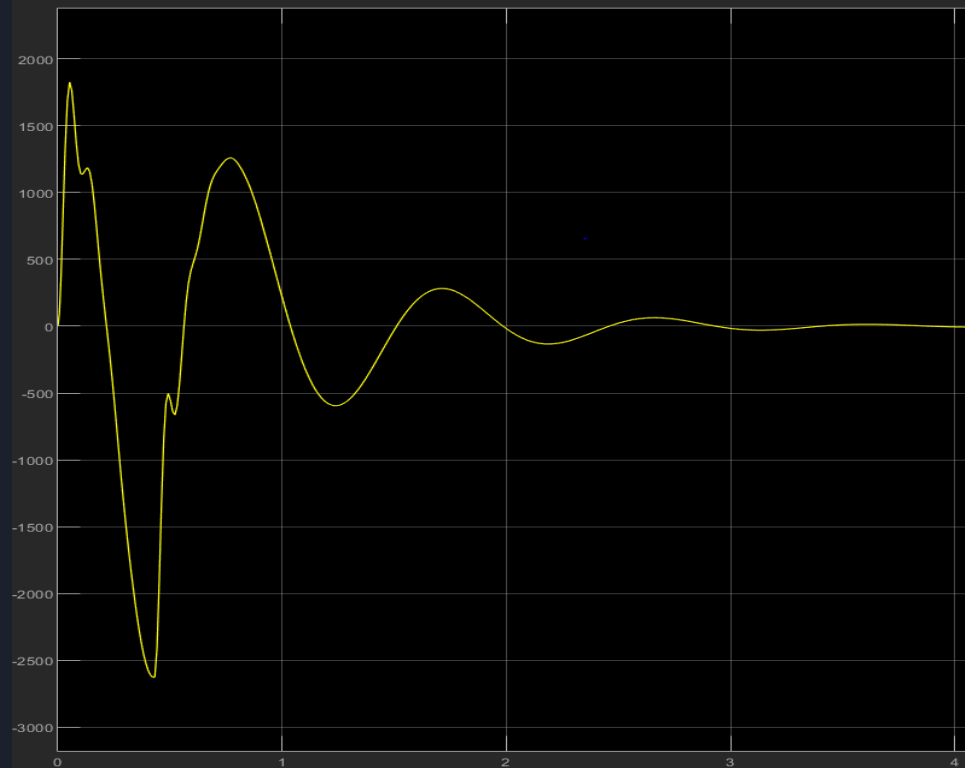
```
function y = fcn(u)
v=30;
v2=v/3.6;
T=v2/7.2;f=1/T
if u<T
    y=0.1*sin(2*pi*f*u)
else
    y=0;
end
if y<0
    y=0
end
```

결과 분석(30Km/h)

첫 번째 진폭:2150N

두 번째 진폭:900N

세 번째 진폭:200N

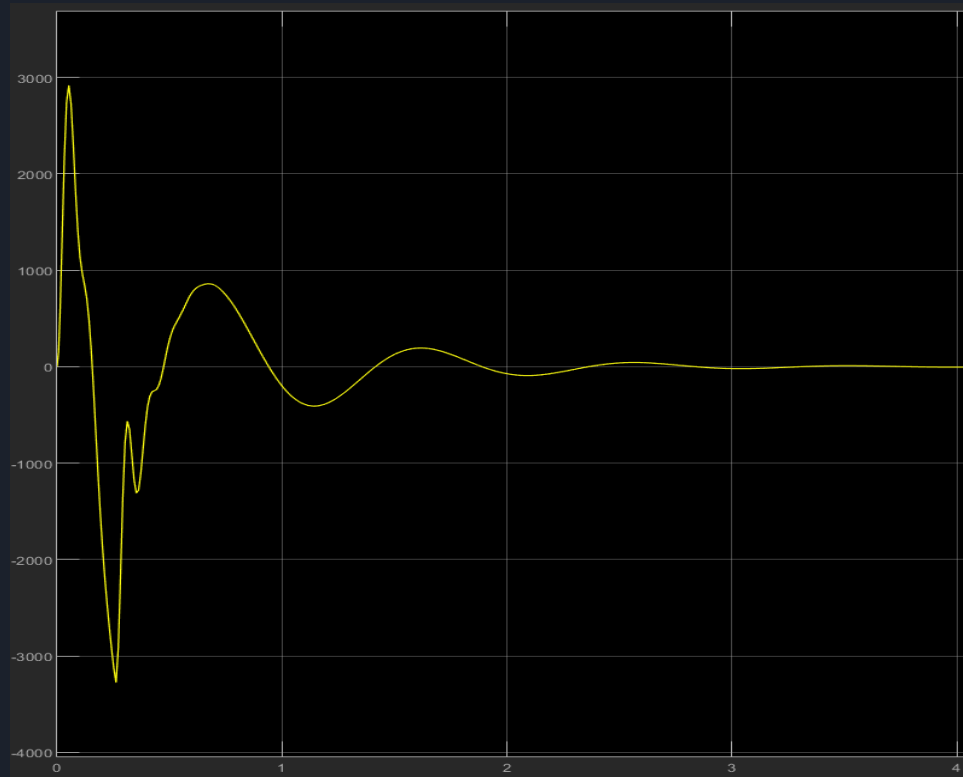


결과 분석(50Km/h)

첫 번째 진폭:2950N

두 번째 진폭:625N

세 번째 진폭:140N

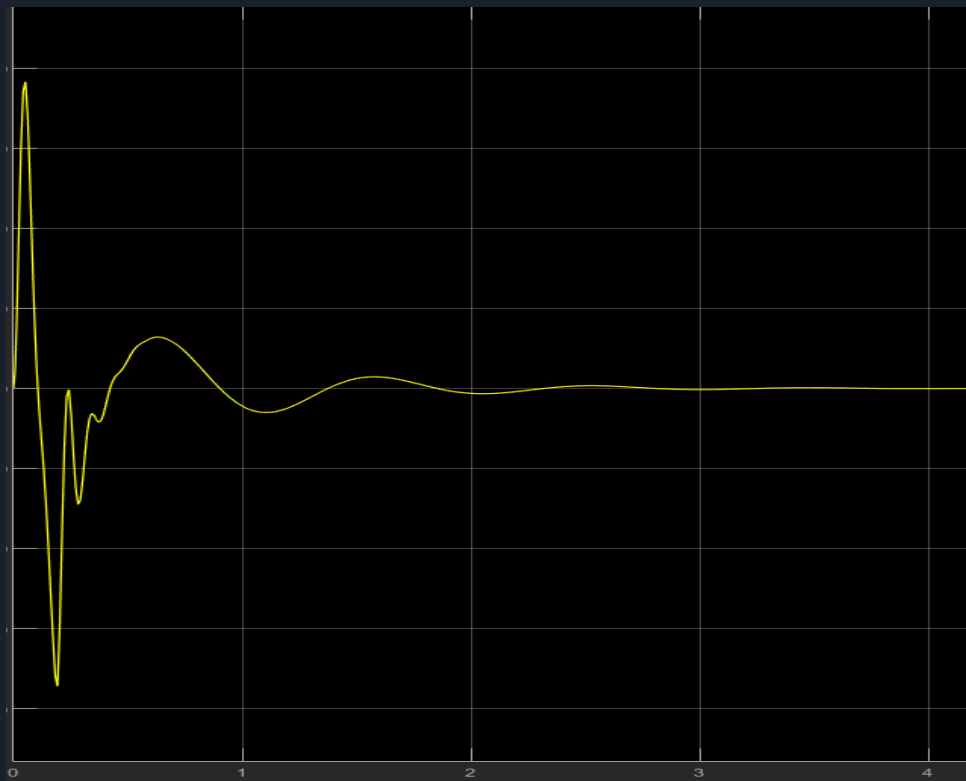


결과 분석(70Km/h)

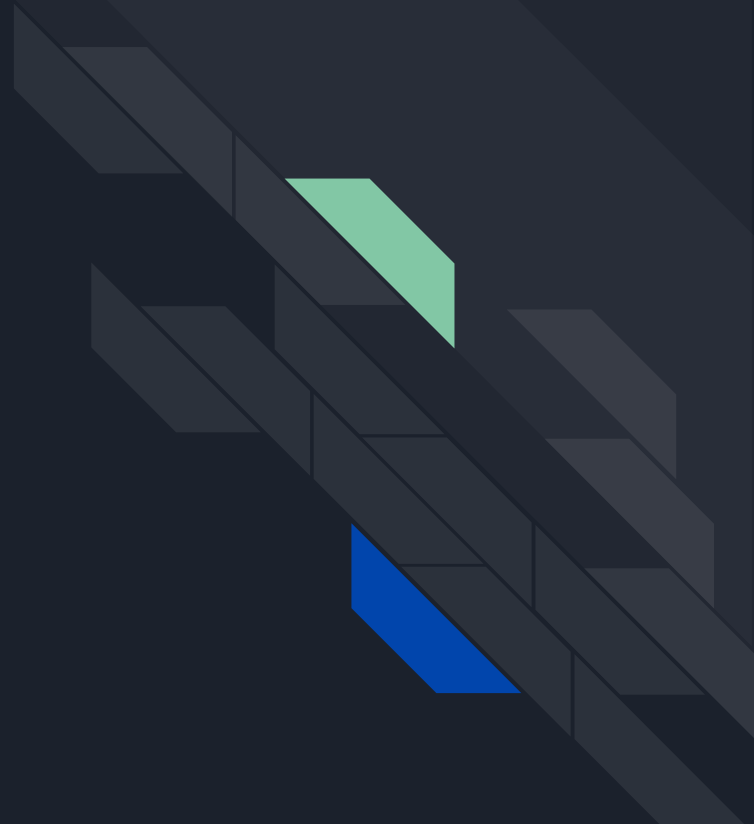
첫 번째 진폭:3650N

두 번째 진폭:460N

세 번째 진폭:100N

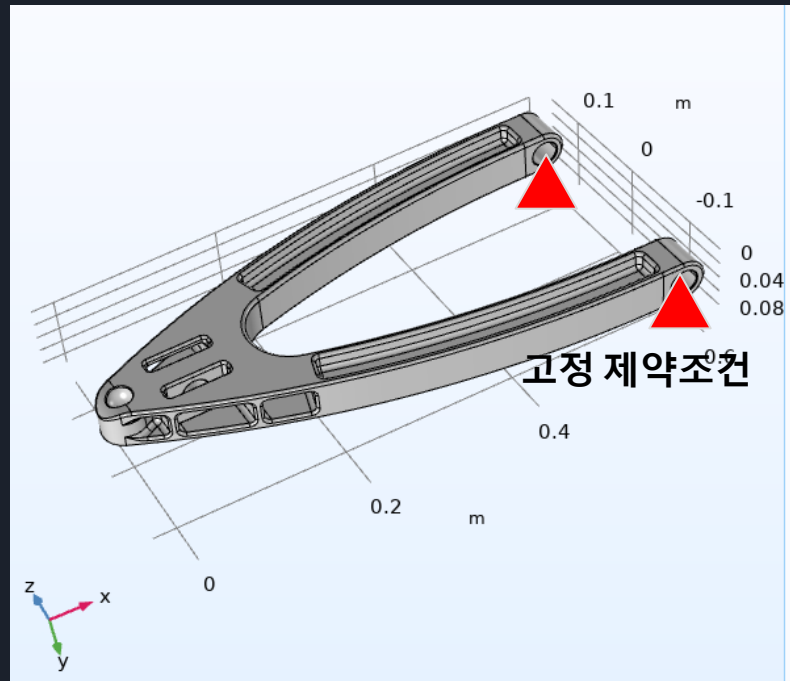


COMSOL 해석



해석모델 준비

1. 위시본 형태의 로워암 모델 준비
2. 차에 고정된 상황을 구현하기 위해 차체 연결부위에 구속조건 부여



30km/h 일때의 하중

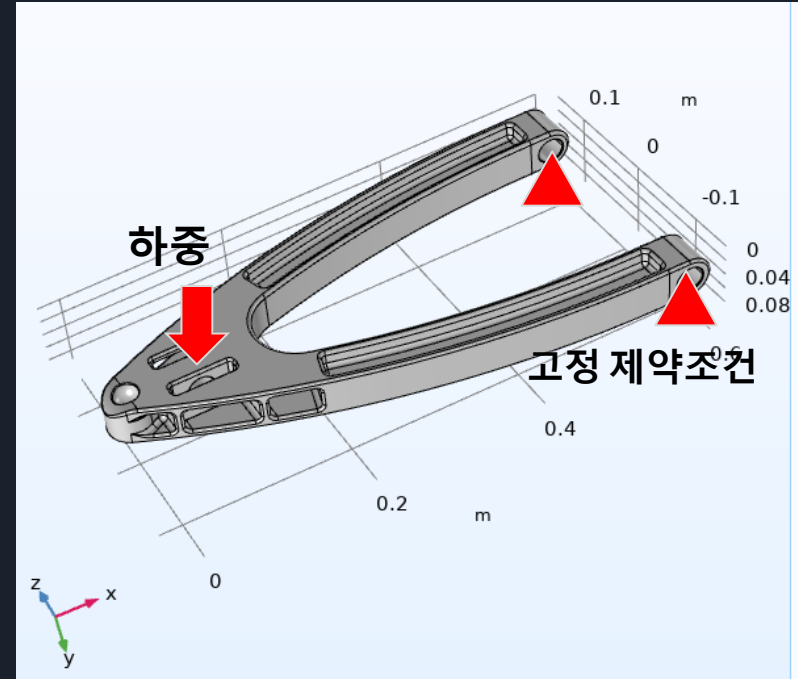
입력 데이터 분석

1. 방지턱을 한번 넘을때 마다 약 진동하는 힘이 3번 생김을 확인
2. $F(\text{alternative}) \gg F(\text{mean})$ 이므로 fully reversed force 로 가정



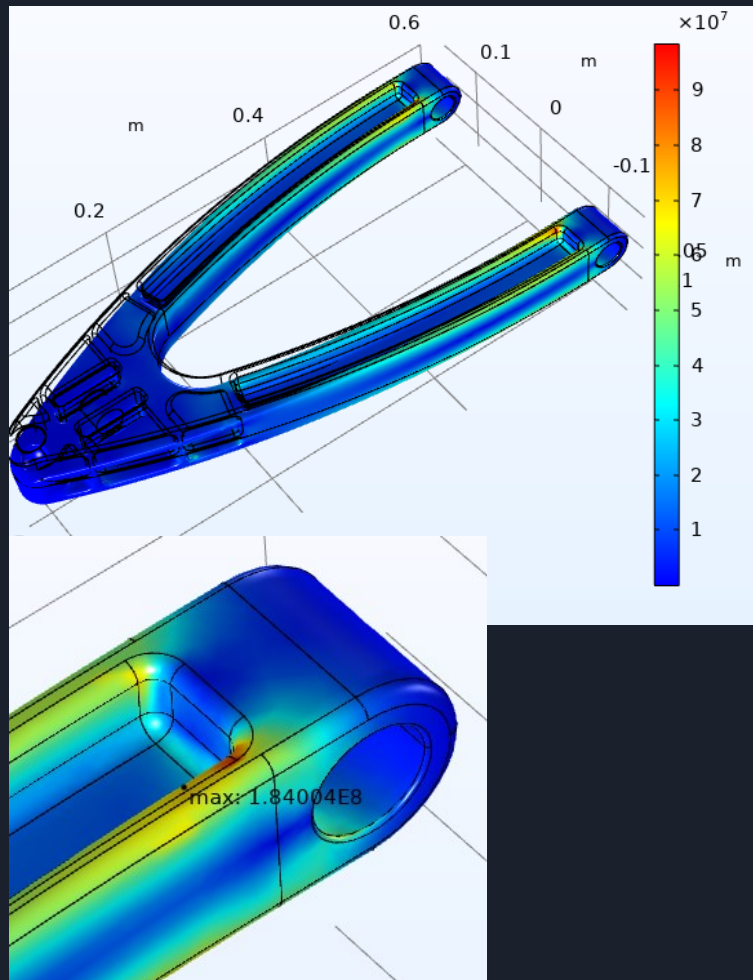
하중값 입력

1. simulink 에서 나타난 하중의 진폭을 입력
2. 하중 진폭은 $(F_{max} - F_{min})/2$ 로 계산



해석 및 응력확인

1. 로워암의 재질을 강철로 설정한 뒤 해석 진행
2. 해석 진행 후 고정시킨 부분 주위에서 최대 응력이 발생함을 확인



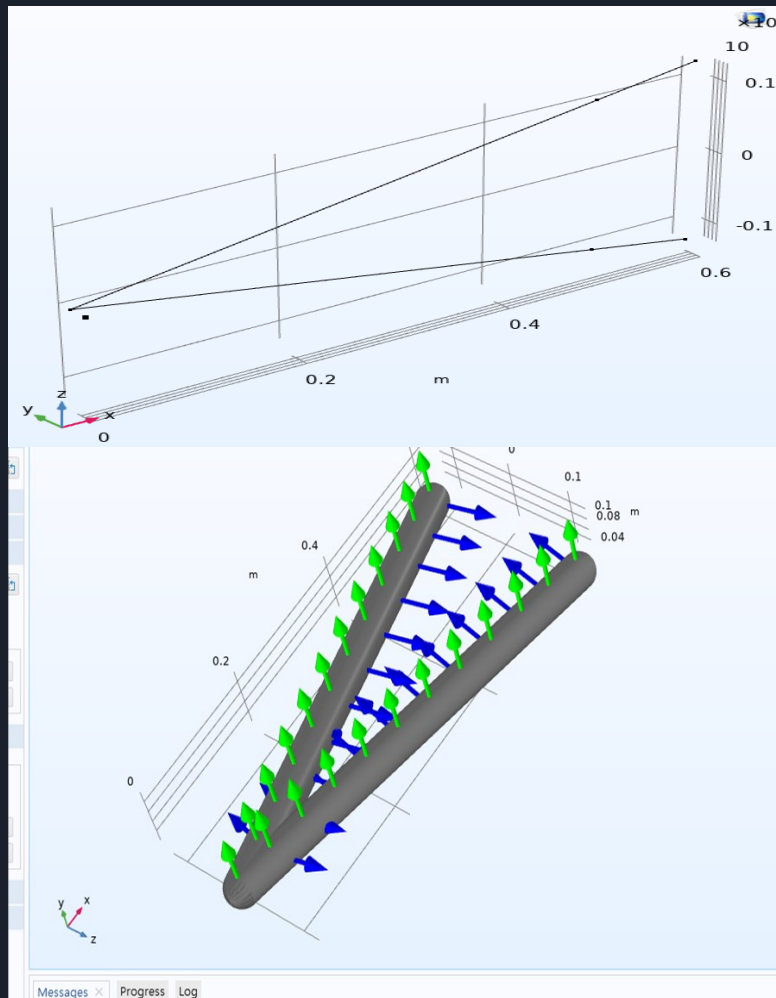
데이터 정리

1. 방지턱을 넘을 때 발생하는 힘을 각 진폭별로 계산
2. 각 진폭별로 계산한 힘을 입력하여 최대 응력을 구함
3. 첫 진동 이후 발생하는 응력은 endurance limit 보다 낮을 것으로 예상

v=30Km/h	1	2	3
힘 진폭	2150N	900N	200N
응력	184[MPa]	<u>77[MPa]</u>	<u>17.4[MPa]</u>
v=50Km/h	1	2	3
힘 진폭	2950N	625N	100N
응력	252.4[MPa]	<u>53.5[MPa]</u>	<u>10.0[MPa]</u>
v=70Km/h	1	2	3
힘 진폭	<u>3650N</u>	460N	100N
응력	312.4[MPa]	<u>39.4[MPa]</u>	<u>8.6[MPa]</u>

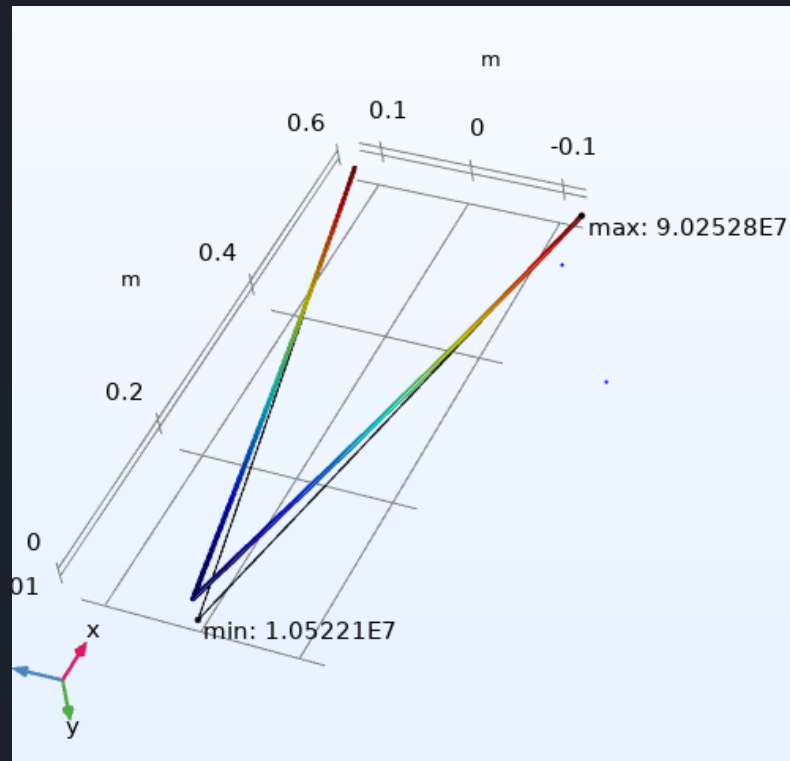
응력집중의 영향

1. 응력 집중에 의한 영향 해석을 위해 bezier polygon 으로 응력 집중이 일어나지 않는 비슷한 모델 설정
2. 단면 지름은 기존 모델의 너비와 동일한 5cm로 설정



대조모델 해석

1. 기존 모델과 동일한 구속조건과 하중을 입력해 준 뒤 해석 진행
2. 각 하중 별로 최대응력 확인

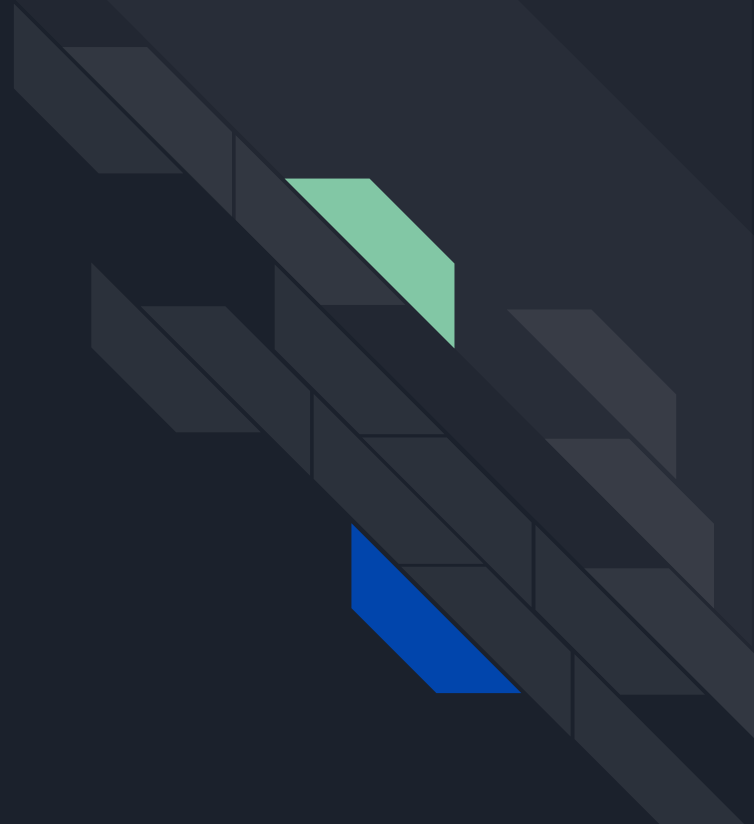


데이터 비교

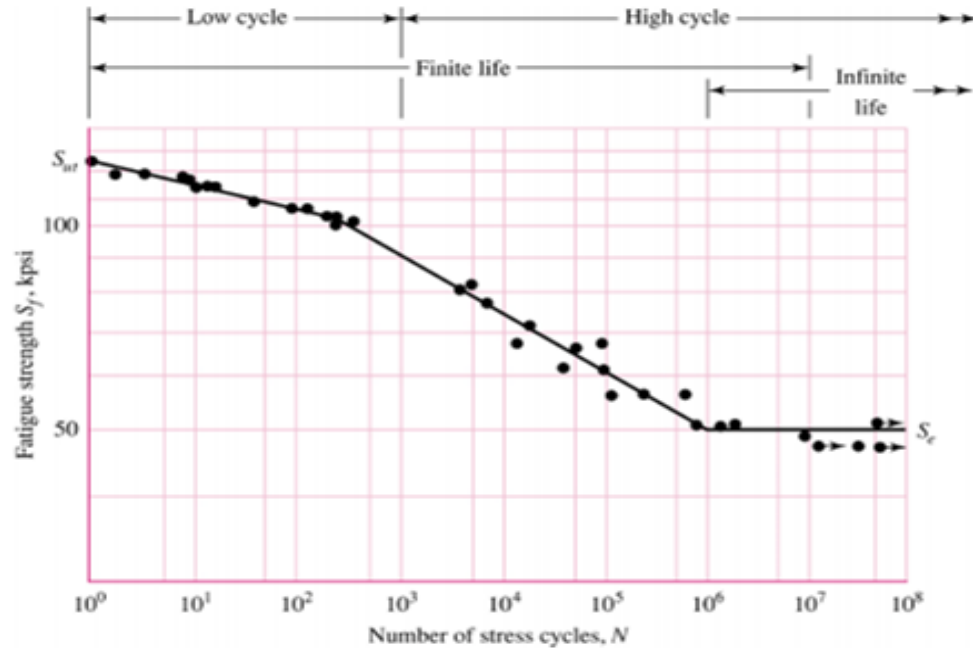
1. 기존모델과의 최대응력 비교시 응력집중이 일어난 모델의 응력이 3~4배 큰 응력이 발생
2. 응력집중이 없을시 endurance limit 보다 낮을 것으로 예상되는 응력 발생
3. 피로파괴에서 응력집중 현상이 결정적 역할을 한다는 것을 확인 가능

v=30Km/h	1
힘 진폭	2150N
응력	184[MPa]
응력(대조모델)	<u>53.2[Mpa]</u>
v=50Km/h	1
힘 진폭	2950N
응력	252,4[MPa]
응력(대조모델)	<u>72.9[Mpa]</u>
v=70Km/h	1
힘 진폭	3650N
응력	312.4[MPa]
응력(대조모델)	<u>90.2[Mpa]</u>

MATLAB 해석



피로실험의 결과 S-N선도



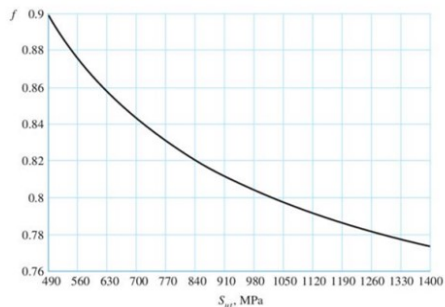
Fatigue Failure

1. 재료 선정

1020 CD steel - S_{ut} : 470[MPa]

7075 T6 Aluminum - S_{ut} : 593[MPa]

2. 피로강도 성분



f for $490 \leq S_{ut} \leq 1400$ MPa
 $f = 0.9$ for $S_{ut} \leq 350$ MPa

Fatigue Failure

$$S_f = aN^b$$
$$S_f = fS_{ut} @ N = 10^3$$
$$S_f = S_e @ N = 10^6$$

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{fS_{ut}}{S_e} \right)$$

피로한도 수정계수

Endurance limit

$$S_e = k_{surf} k_{size} k_{load} k_{temp} k_{reliab} k_{misc} S'_e$$

1. 표면 계수

Surface factors

$$k_{surf} = a S_{ut}^b (\leq 1)$$

Surface Finish	a	b
Ground	1.58	-0.085
Machined/cold-rolled	4.51	-0.265
Hot-rolled	57.7	-0.718
As-forged	272	-0.995

2. 크기 계수

Size factor

- The larger parts fail at lower stresses
- For rotating bending and torsion

$$k_{size} = \begin{cases} 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

사용한 데이터 값

v=30Km/h	1	2	3		v=30Km/h	1	2	3	
힘 진폭	2150N	900N	200N		힘 진폭	2150N	900N	200N	
응력	184[MPa]	77[MPa]	17.1[MPa]		응력	178[MPa]	77[MPa]	17.1[MPa]	
	53.2[Mpa]	22.3[Mpa]	4.9[Mpa]						
v=50Km/h	1	2	3		v=50Km/h	1	2	3	
힘 진폭	2950N	625N	140N		힘 진폭	2950N	625N	140N	
응력	252.4[MPa]	53.5[MPa]	12[MPa]		응력	244.7[MPa]	53.5[MPa]	12[MPa]	
	72.9[Mpa]	15.4[Mpa]	3.5[Mpa]						
v=70Km/h	1	2	3		v=70Km/h	1	2	3	
힘 진폭	3650N	460N	100N		힘 진폭	3650N	460N	100N	
응력	312.4[MPa]	39.4[MPa]	8.6[MPa]		응력	302.7[MPa]	39.4[MPa]	8.6[MPa]	
	90.2[Mpa]	11.3[Mpa]	2.4[Mpa]						
			재료	1020 CD steel				재료	aluminum

피로파괴와 수명

```
>> fatiguesteel
```

```
1.0e+05 *
```

```
9.6112 0.7083 0.1219
```

```
fx >> |
```

```
1 %% initial value
2 Sut=470; f=0.9;
3
4 %% load & stress
5 load=[2150 2950 3650];
6 stress=[184 252.4 312.4];
7
8 %% limit
9 if Sut<1400
10     limit=0.5*Sut;
11 else
12     limit=700;
13 end
14
15 %% surface factor
16 %Machined
17 a=4.51;b=-0.256;
18 Ksurf= a*Sut^b;
19 %% critical surface size
20 tf=0.01; a1=0.05; b1=0.05;
21 if tf>0.025+a1
22     A=0.05*b1+a1;
23 else
24     A=0.1+a1+tf;
25 end
26 %% effective diameter
27 de=sqrt(A/0.0766);
28 %% side factor
29 if (1000*de>2.79)&&(1000*de<51)
30     Ksize=1.24*(1000*de)^(-0.107);
31 elseif (1000*de>51)&&(1000*de<254)
32     Ksize=1.51*(1000*de)^(-0.157);
33 end
34 ~
35 endurancelimit=Ksurf*Ksize*limit;
36 for i= 1:3
37     sigma=stress(i);
38
39
40     a2=(f*Sut)^2/endurancelimit;
41     b2=-1/3*log10(f*Sut/endurancelimit);
42     life(i)=(sigma/a2)^(1/b2);
43     if sigma<endurancelimit
44         life(i)='infinte';
45     end
46 end
47
48 disp(life)
49
```

안전계수 비교

```
1 %% initial value
2 Sut=593; f=0.9;
3 Sut2=470;
4 %% load &stress
5 stress1=[178 244.7 302.7];
6 stress2=[184 252.4 312.4];
7 %% limit
8 if Sut<330
9     limit=0.4*Sut;
10 else
11     limit=130;
12 end
13 if Sut2<1400
14     limit2=0.5*Sut2;
15 else
16     limit2=700;
17 end
18 for i=1:3
19     signal=stress1(i);
20     sigma2=stress2(i);
21     safty_f1(i)=limit/signal;
22     safty_f2(i)=limit2/sigma2;
23 end
24 disp(safty_f1)
25 disp(safty_f2)
26
```

```
>> safteyfactor
    0.7303    0.5313    0.4295
    1.6114    1.1747    0.9491
>> |
```

해석결과 분석

1. 높은 속도로 주행할 수록 lower arm이 받는 하중이 증가하고 그에 따라 피로수명이 급격히 감소한다. 특히 30km/h 로 주행할 때 수명이 10^6 cycles에 가까워지므로 피로한도에 근접함을 알 수 있다.
2. 응력 집중이 피로파괴에 결정적인 역할을 한다.

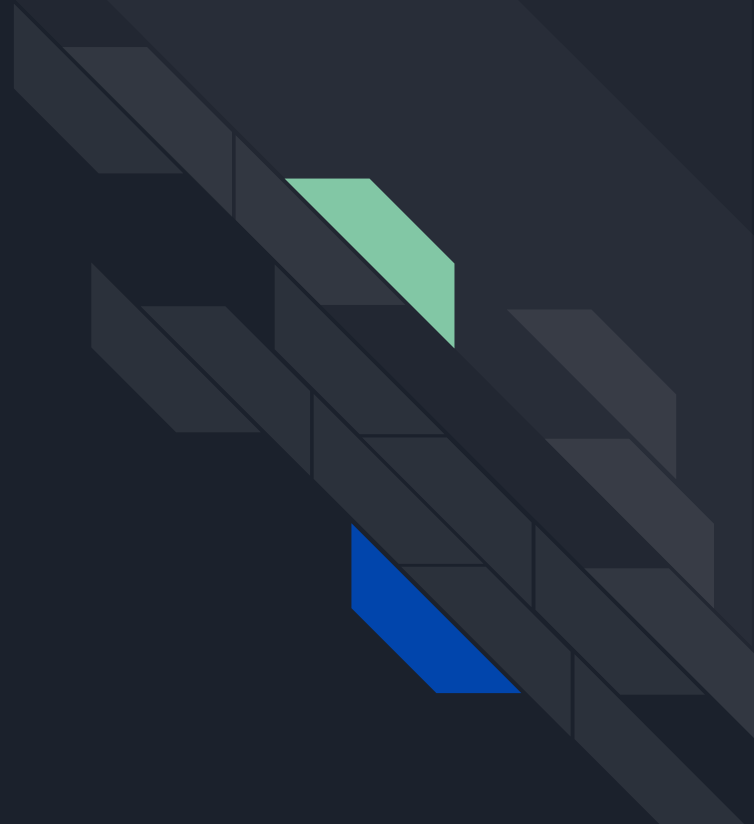
v=30Km/h		1
힘 진폭	2150N	
응력	184[MPa]	
응력(대조모델)	53.2[Mpa]	
v=50Km/h		1
힘 진폭	2950N	
응력	252.4[MPa]	
응력(대조모델)	72.9[Mpa]	
v=70Km/h		1
힘 진폭	3650N	
응력	312.4[MPa]	
응력(대조모델)	90.2[Mpa]	

```
>> fatiguesteel
1.0e+05 *

9.6112  0.7083  0.1219

fx >> |
```

Thank you.



QnA

