

MacPherson Strut Suspension의 SIDE LOAD

저감을 위한 스프링 설계 최적화

한양대학교 미래자동차공학과
4학년 유지원, 홍윤석
지도교수: 민승재 교수님

논문 배경 및 목적

■ 논문 배경

- 맥퍼슨 서스펜션의 3절 링크 구조상 스트럿에 Side Load(횡력)이 발생
- Side Load는 댐퍼와 스프링 간에 마찰 일으켜 승차감 저하, 수명 단축 등의 문제 발생

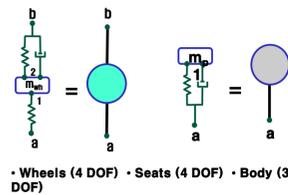
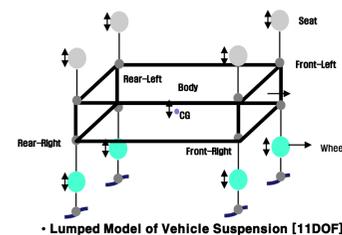
■ 논문 목적

- MBD 모델 해석을 통해 다양한 Parameters에서 스프링이 받는 부하를 확인
- CATIA & COMSOL을 통해 Side Load를 저감하는 최적 각도를 도출
- 최적설계를 통해 Side Load를 저감하는 C-type 스프링 모델 도출

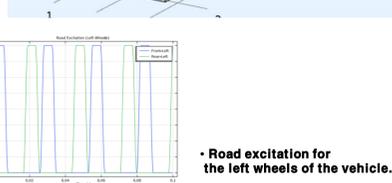
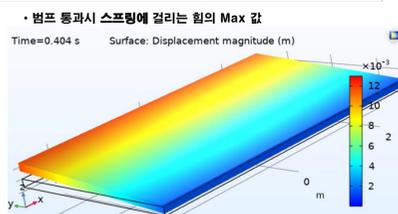
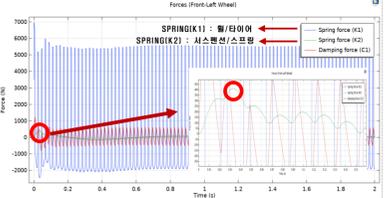
논문 내용

■ MBD Lumped Model of Vehicle Suspension

- 댐퍼를 고려한 스프링에 작용하는 정확한 부하를 도출하기 위해 COMSOL을 통해 Full-Car Lumped Model을 구현 후 Bump Test 진행



Name	Expression	Value	Description
m_body	1200[kg]	1200 kg	Mass of vehicle body
I_roll	1423[kg*m^2]	1423 kg·m ²	Inertia around roll
I_pitch	910[kg*m^2]	910 kg·m ²	Inertia around pitch
m_wh	30[kg]	30 kg	Mass of wheels
m_p	124[kg]	124 kg	Mass of passengers
k_wh	175000[N/m]	1.75E5 N/m	Stiffness of wheels
k_sus	32078[N/m]	32078 N/m	Stiffness of suspension...
k_seat	1750[N/m]	1750 N/m	Stiffness of seat springs
c_sus	1200[N*s/m]	1200 N·s/m	Viscosity of suspension...
c_seat	700[N*s/m]	700 N·s/m	Viscosity of seat dampers
r_wb	1.36[m]	1.36 m	Wheel base
r_tw	0.8[m]	0.8 m	Track width
hb	4[cm]	0.04 m	Bump height
wb	7.5[cm]	0.075 m	Bump width
speed	50[km/h]	13.889 m/s	Vehicle speed
td	4*wb/speed	0.0216 s	Bump time period
tb	r_wb/speed	0.09792 s	Time delay between fro...



• Parameters : Lumped Model of Vehicle

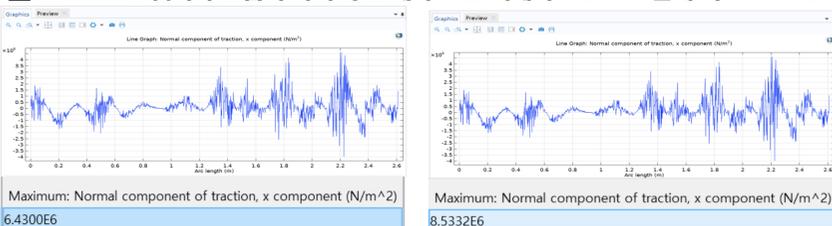
NAME	EXPRESSION
bump height	4cm
bump width	7.5cm
범프 사이의 간격 : bump width의 4배	16cm
진후론 [time delay]	r_wb/speed

• Bump Test 재현

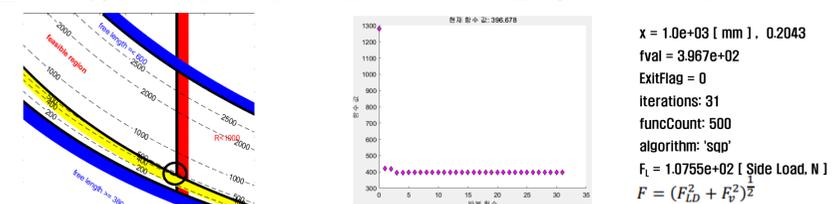
- Bump test 결과, 입력한 차량 제원과 댐핑을 고려하여 스프링에 최대 411N의 힘이 작용하는 것을 확인

논문 결과

■ Tilted : 댐퍼와 간섭이 나지 않는 제약 조건 내에서 6.5° 로 설계 시 SIDE LOAD 저감 효과 확인



■ C-type : 스프링의 하중 축 이동 및 곡률을 고려한 Optimal Point 찾기

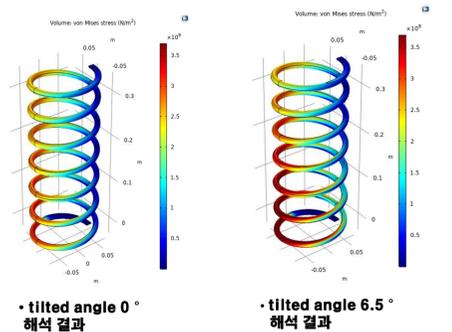
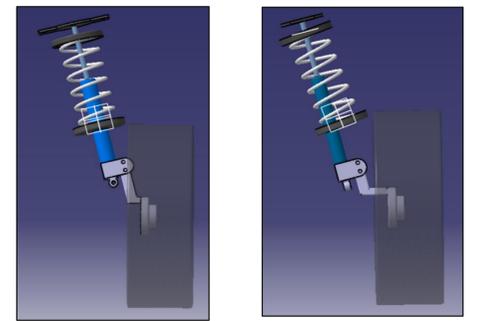


논문 결론

- 스프링 축과 스트럿 축 사이에 각도가 증가함에 따라 Side Load가 감소하다가 지오메트리의 제한 내에서 Tilted 6.5° 일 때 스트럿에 가해지는 Side Load가 최대로 감소함을 확인
- C-type spring의 수학적 모델링을 통해 댐퍼와의 간섭이 발생하지 않는 제약조건들 내에서 Side Load를 최대로 저감할 수 있는 최적해 도출
- 힘의 얼라인먼트의 변화 및 부상, 압 등의 지오메트리를 고려하여 실제 차량에 적합하도록 추가적인 연구가 필요

■ Tilted 스프링 가해지는 횡방향 응력 비교

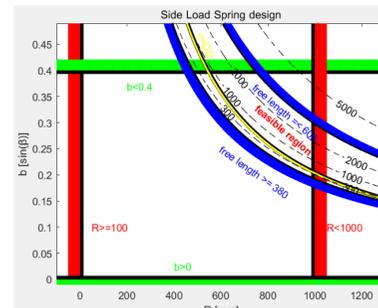
Assumption & Spring Specification	
Wire Diameter	12.3 mm
Coil outside Diameter	140.3 mm
Free Length	380 mm
Spring Constant	32.078 N/mm
Number of Active Coils	6
Number of Total Coils	7
공차중량	1200Kg
최대 중량 (2인)	1324Kg
하부 장착 각도 [kingpin Angle]	14°
Tilt Angle	4~6~8°
스프링의 소재	SAE 9254



- Tilt 각도 최적설계 & 해석 결과, Tilt 각도 0° 에서 6.5° 로 증가했을 때 스프링에 작용하는 횡방향 부하가 6.43 Mpa 에서 8.53 Mpa로 스트럿에 작용하는 Side Load를 흡수함을 확인

■ C-type Spring Formulation & Optimization

- Matlab을 통해 Graphical method 및 fmincon 함수를 활용하여 제약조건 내에서 Side Load spring의 곡률과 각도, 중심축의 이동에 따라 Side Load의 저감을 최대화 하기 위한 최적설계

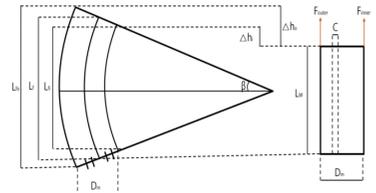


• 그림. Graphical Map

-Design Variable
R : Radius of Curvature [mm]
b : sin(β) [rad]

- objective function [minimize]
f = (k*(2.*R.*b-Lw))² % free length of Side Load spring

- subject to
g1 = -R; % Radius of Curvature >= 0 [mm]
g2 = b-0.4; % sin(β)<= 0.4
g3 = R-1000; % Radius of Curvature <= 1000 [mm]
g4 = 2.*R.*b-600; % free length of Side Load spring [mm] Lf=2.*R.*sin(b)
g5 = -b; % sin(β)>= 0
g6 = -2.*R.*b + Lw; % Lf >= 380 [mm] ; working length
g7 = b.*D-2.*R.*b + Lw; % Displacement of spring force action line, c [mm]R



-Data Collection [C-type Spring]

$$F_v = \frac{1}{2} * k * (\Delta h_1 + \Delta h_2) = k * (L_f - L_w)$$

$$\sin \beta \approx \tan \beta = \frac{L_f/2}{(L_f/\rho)} = \frac{L_f * \rho}{2}$$

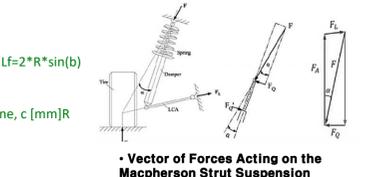
$$\text{Deflection: } \delta = \frac{8W.C^3.n}{G.d} = \frac{(8 * 1640 * 5.75^3 * 10)}{(80 * 10^9 * 8 * 10^{-3})} * 10^3$$

$$\text{stiffness of the spring: } k = \frac{G.d}{8C^3.n}$$

$$\text{Spring index: } C = \frac{D}{d}$$

$$\text{Total force on the suspension is: } F = (F_{LD}^2 + F_S^2)^{1/2}$$

$$c = \frac{\rho * D_h^2 * L_f}{4 * (L_f - L_w)} = \rho * 4 * c = \frac{(L_f - L_w)}{D_h * L_f}$$



- Strut과 Spring에 걸리는 하중이 Tilted 각도가 증가함에 따라 Spring에 걸리는 횡 방향 응력이 늘어남을 확인
- Strut축과 Spring축의 tilted 각도가 0° 에서 6.5° 로 증가함에 따라 Spring이 받는 하중이 6.43Mpa에서 8.53Mpa까지 증가함을 확인 할 수 있고 이에 따라 Strut이 받는 Side Load는 24.8% 저감을 확인

- Graphical Method를 활용해 하중 축의 이동과 최대 곡률의 제약 내에서 Matlab fmincon 함수로 spring free length의 최소가 되는 지점을 확인 : L_f = 396.7mm
- 이를 통해 C-type Spring 관련 수식을 활용하여 횡방향 힘을 최대로 흡수할 수 있는 Spring의 곡률과 각도를 확인
- Spring의 곡률반경이 최대 R=1000mm으로 제한될 때 Optimal point인 b=sin(β) 값은 0.2043으로, end point 각도는 β=11.79° 임을 확인
- 스프링에 411N의 힘이 가해질 때 107.55N의 Side Load 저감효과를 확인