

CAE Project Presentation

Quarter Car Ride Quality Test

2016. 12. 08 / M.M.L.
coMsol. ModeLing.

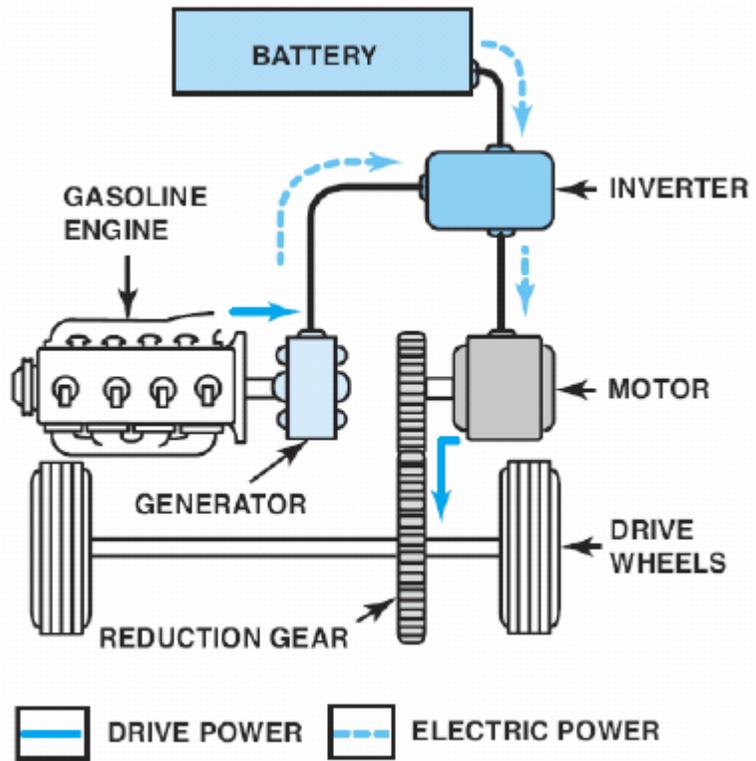
2011012142 권태준
2011012216 김석원
2011012313 송현섭

목 차

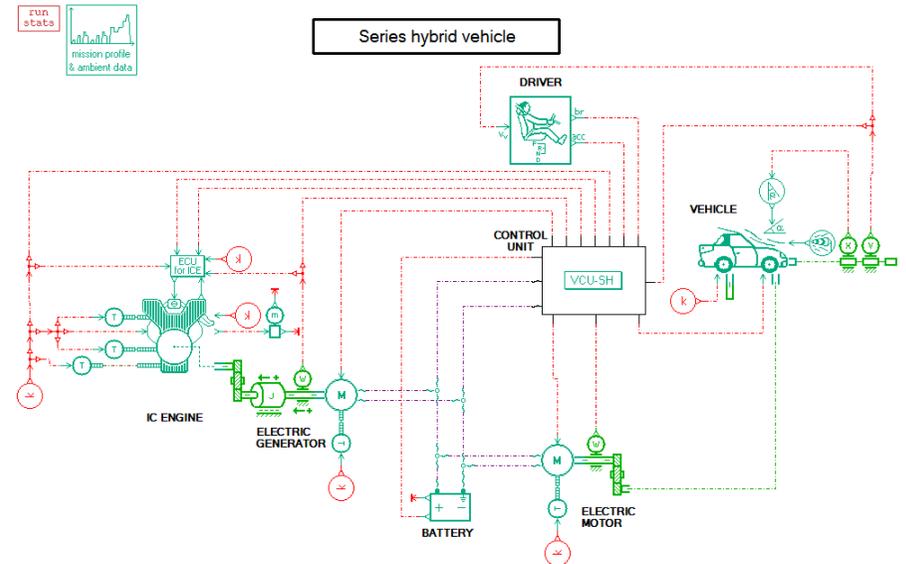
- I. 주제 변경 이유
- II. 주제 소개
- III. Modeling 과정
- IV. 결과 및 분석

I. 주제 변경 이유

1. Series-Hybrid vehicle



△ series hybrid vehicle concept

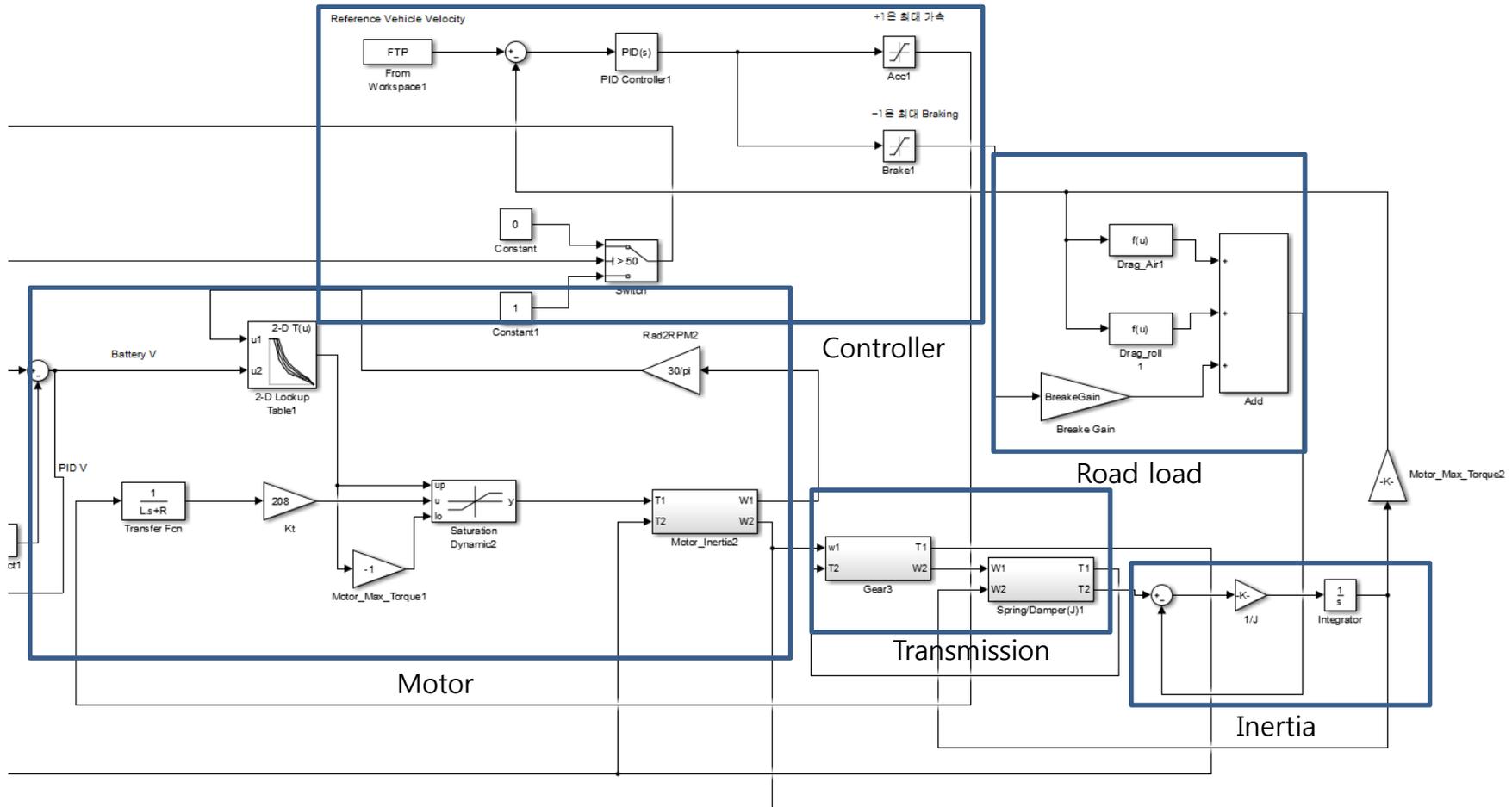


△ AMESIM series hybrid vehicle example

- 엔진 : 배터리 충전을 위해 발전기 구동
- 발전기 : 엔진 구동력을 통해 배터리 충전
- 모터 : 배터리 전기에너지로 차량 구동

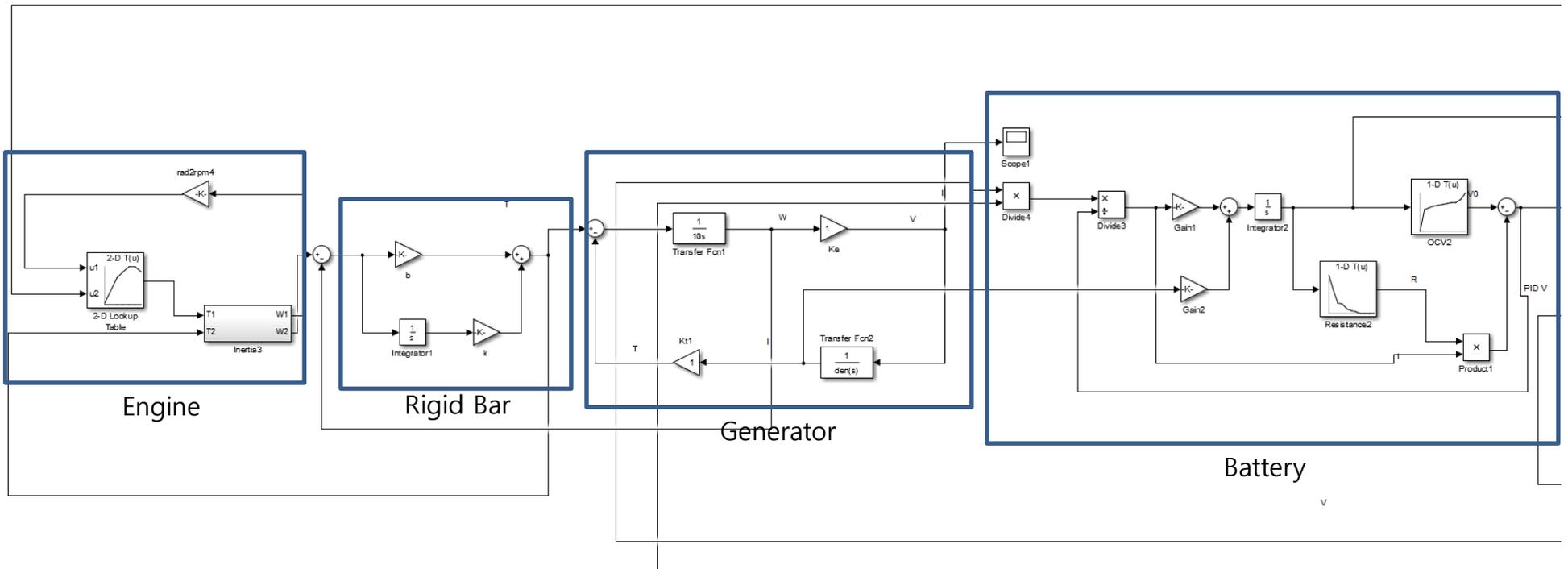
I. 주제 변경 이유

2. Series-Hybrid vehicle Simulink modeling



I. 주제 변경 이유

2. Series-Hybrid vehicle Simulink modeling



I. 주제 변경 이유

3. Series-Hybrid vehicle Simulink modeling 문제점

- Generator 설계 문제점

- ▷ 발전 시 Engine 속도 고정 문제 해결 불가
- ▷ 충전이 맞게 되는 것인지 확인 불가
- ▷ Engine과 Battery 사이의 연결 구현 문제

- 정확한 parameter 정보 문제점

- ▷ 차량을 구현하고 실제 차량과 비교하는 과정으로 진행 예상
- ▷ 실제 차량의 여러 변수들이 공개되어 있지 않음

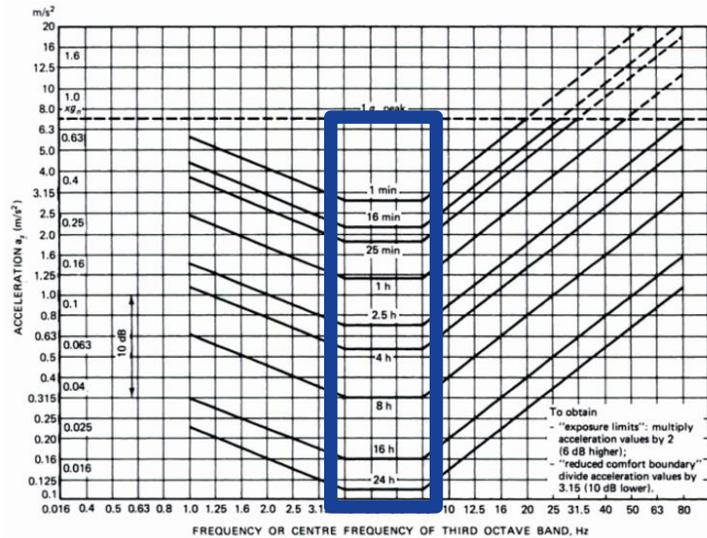
4. 변경 주제

- 차량의 승차감을 Quarter Car Model을 통해서 확인
- Comsol을 이용해서 Spring, Damper, Mass로 구성된 Model 해석

표. 주제 소개

1. 주제 선정 배경

- Vibration Safety



△ ISO 2631 Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration

- 사람이 가장 민감한 frequency 대역 : 약 1 ~ 10 Hz

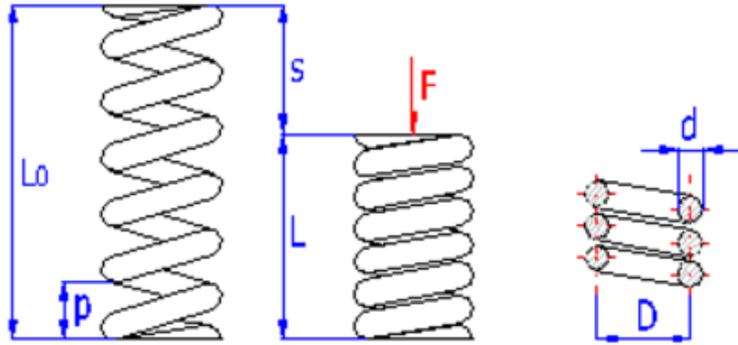
- Spring constant 따른 차량의 eigen-frequency 및 vertical acceleration을 분석

- Human Response to Vibration

Description	Resonance frequency [Hz]
Legs	2 ~ 20
Abdominal area (복부)	4 ~ 8
Eyes	30 ~ 80
Head	26
Hand grip	50 ~ 200

II. 주제 소개

2. Spring Analysis



△ Free Body Diagram of a Coil Spring

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$\delta = \frac{8FD^3N}{Gd^4}$$

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{Gd^4}{8D^3N}$$

G = modulus of rigidity [N/m^2]

E = Young's modulus [Pa]

ν = Poisson's ratio

F = force [N]

D = average diameter [m]

N = turning number of spring [turns]

d = diameter of wire [m]

- 사용 재료
연강

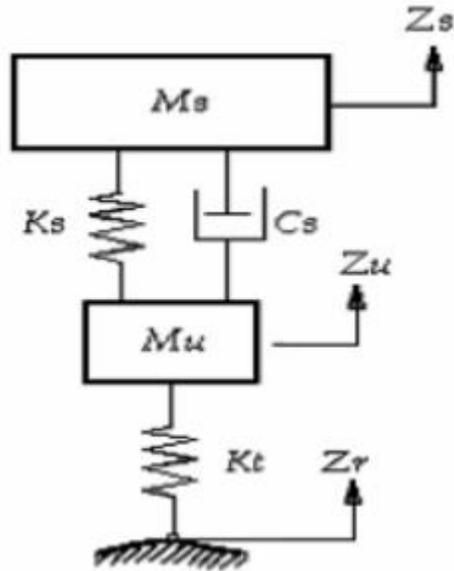
Material Parameter	Expression	Value	Unit
Young's modulus	E	200e9	Pa
Poisson's ratio	ν	0.33	
Density	ρ	7850	kg/m^3
Modulus of rigidity	G	7.84e-2	N/m^2

3. Damper Analysis

- Damper의 경우는 모델링하여 계수를 직접 대입하는 것으로 대체

II. 주제 소개

4. Quarter Car Modeling



$$m_s z_s'' = -k_s(z_s - z_u) - c_s(z_s' - z_u')$$

$$m_u z_u'' = k_s(z_s - z_u) + c_s(z_s' - z_u') + k_t(z_r - z_u)$$

m_s = sprung mass [kg], m_u = unsprung mass [kg]

k_s = spring constant of suspension spring [N/m]

c_s = damping ratio [Ns/m]

k_t = spring constant of tire [N/m]

z_r = road profile [m]

z_u = displacement of unsprung mass [m]

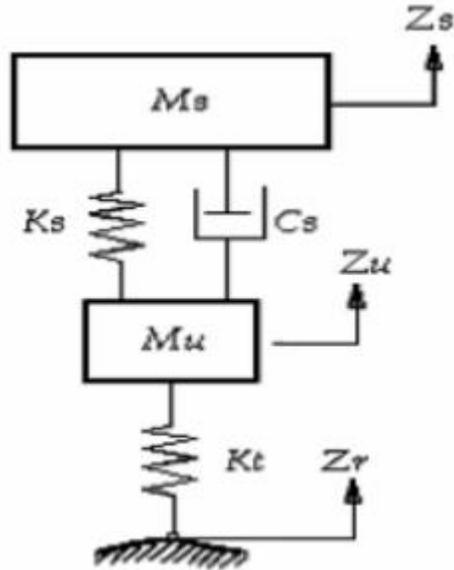
z_s = displacement of sprung mass [m]

△ Quarter Car Model about unsprung and sprung mass

- Ride Quality 확인을 위해서는 sprung mass vertical acceleration인 z_s'' 를 확인

Ⅲ. Modeling 과정

1. Parameter setting



$$z_r = 0.05 \sin\left(\frac{5}{3.14} t\right) [m] \text{ (사람이 민감한 영역 중 5Hz에 대해서 분석)}$$

$$m_s = 240 [kg]$$

$$m_u = 36 [kg]$$

$$c_s = 980 [Ns/m]$$

$$k_t = 160 [kN/m]$$

$$k_s = 4, 16, 64 [kN/m] \text{ (변경하면서 ride quality 해석)}$$

△ Quarter Car Model about unsprung and sprung mass

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{Gd^4}{8D^3N}$$

△ The equation for calculating spring constant

	d	D	N	E	v	G	k
위 스프링	0.0135	0.2	10	2.10E+11	0.33	7.89E+10	4097.253
아래 스프링	0.0338	0.2	10	2.10E+11	0.33	7.89E+10	160999.5
	d	D	N	E	v	G	k
위 스프링	0.019	0.2	10	2.10E+11	0.33	7.89E+10	16075.78
아래 스프링	0.0338	0.2	10	2.10E+11	0.33	7.89E+10	160999.5
	d	D	N	E	v	G	k
위 스프링	0.0268	0.2	10	2.10E+11	0.33	7.89E+10	63635.12
아래 스프링	0.0338	0.2	10	2.10E+11	0.33	7.89E+10	160999.5

Ⅲ. Modeling 과정

2. Spring Modeling and Effectiveness Verification

Geometry 1

- Helix 1 (*hel1*)
- Cylinder 1 (*cy1*)
- Cylinder 2 (*cy2*)
- Point 1 (*pt1*)
- Union 1 (*uni1*)

Number of turns: 10

Major radius: 0.01 m

Minor radius: 0.001 m

Axial pitch: 0.003 m

Radial pitch: 0 m

△ Geometry setting

Load type:

Total force

0	x
0	y
-10	z

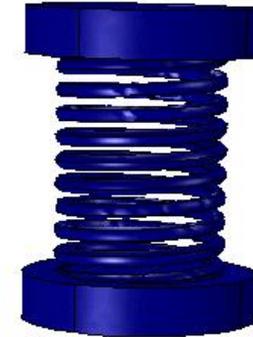
F_{tot} N

Total displacement (m), Point: 15

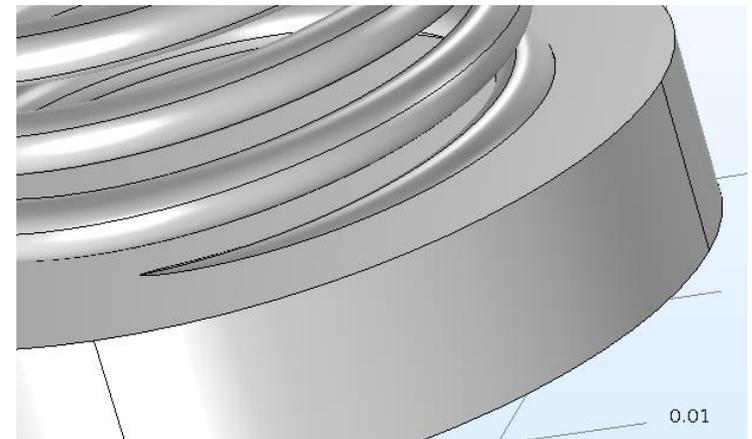
0.0047314

△ boundary load

△ Simulation result



△ spring simulation result



△ The main reason of error

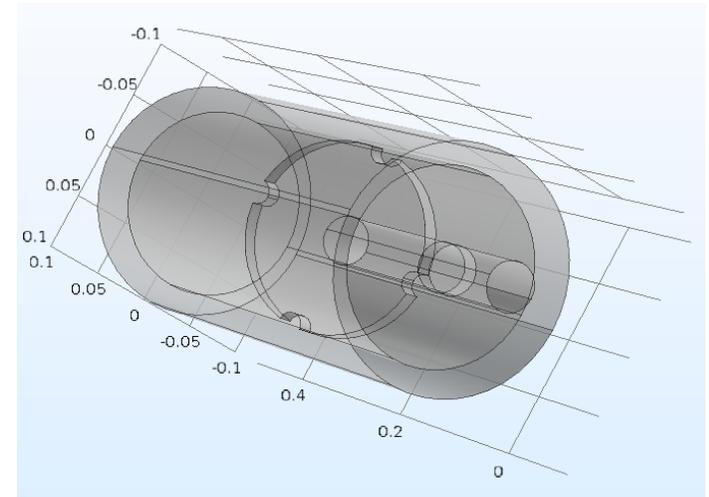
- 이론 spring constant = 1.9786 [kN/m] (N = 9.5)
- Comsol spring constant = 2.1135 [kN/m]
- Error = (-)6.383%
- The main reason of error
모델의 유효 감김 수가 9~10사이 정도로 존재
오차를 확인해 보았을 때 해석 결과는 신뢰 가능

III. Modeling 과정

3. Damper Modeling Failure

- Geometry 1
 - cylinder_outer (cy11)
 - cylinder_bottomhole (cy12)
 - cylinder_inner (cy13)
 - cylinder_build (dif1)
 - piston_plane (cy14)
 - piston_bong (cy15)
 - piston_hole1 (cy16)
 - piston_hole2 (cy17)
 - piston_hole3 (cy18)
 - piston_hole4 (cy19)
 - piston_build (uni1)
 - pistonhole_build (dif2)
 - fluid_base (cy110)
 - fluid_minus (dif3)
 - fluid_build (dif4)
 - Form Union (fin)
- Solid Mechanics (solid)
 - Linear Elastic Material 1
 - Free 1
 - Initial Values 1
 - Roller 1
 - Prescribed Acceleration 1
- Laminar Flow (spf)
 - Fluid Properties 1
 - Initial Values 1
 - Wall 1
- Multiphysics
 - Fluid-Structure Interaction, Fixed Geometry 1 (fsifg1)

△ Comsol Setting



△ Damper Modeling

- Multiphysics로 해석 시도 (Fluid-Structure Interaction)
- Solid Mechanic, Laminar Flow로 구현하려고 했으나 구현 실패
- Multibody Dynamics(MBD)의 Spring and Damper기능을 사용하기로 결정

- Multibody Dynamics 2 (mbd2)
 - Linear Elastic Material 1
 - Free 1
 - Initial Values 1
 - Prismatic Joint 1
 - Spring and Damper 1

△ Multibody Dynamics Modeling

Ⅲ. Modeling 과정

4. Damper Modeling

- Attachment 1
- Attachment 2
- Prismatic Joint 1
 - Spring and Damper 1

Attachment Selection

Source: Attachment 1

Destination: Attachment 2

Use selection filter

Center of Joint

Axis of Joint

Specify direction

0	x
0	y
1	z

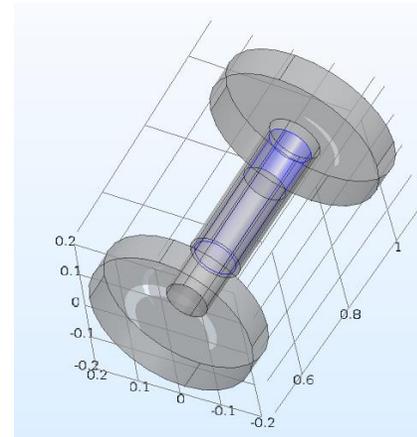
Spring constant: k_u 0 N/m

Pre-deformation: u_0 0 m

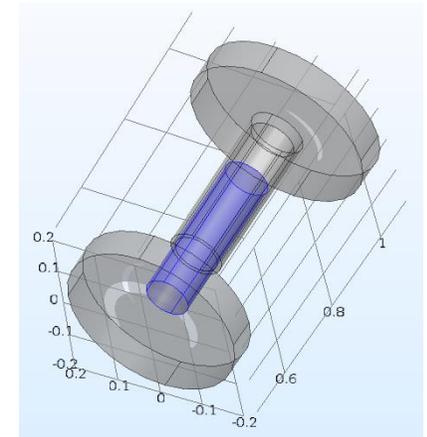
Damping coefficient: c_u 980 N·s/m

△ Damping coefficient Setting

△ Prismatic Joint Setting



△ Attachment1 Setting



△ Attachment2 Setting

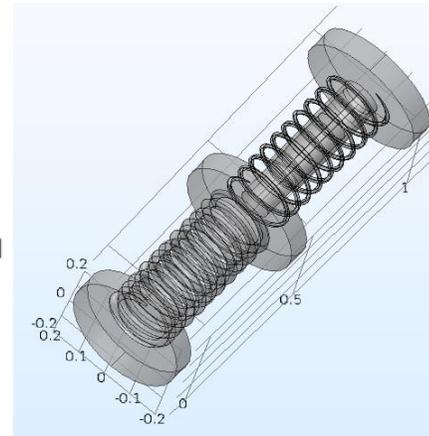
- Multibody Dynamics로 Damper 구현
- Cylinder의 안쪽 면, Piston의 바깥쪽 면을 각각 Source와 Destination으로 설정
- Axis of Joint를 운동 방향으로 잡고 하위 기능을 이용해 Damping coefficient 설정

III. Modeling 과정

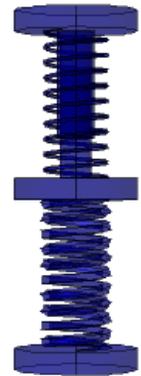
5. Spring and Damper Modeling

- Geometry 1
 - sprung_mass (cyl7)
 - cylinder_outer (cyl2)
 - cylinder_inner (cyl1)
 - cylinder_build (dif1)
 - piston_bong (cyl3)
 - piston_bottom (cyl4)
 - piston_build_union (uni2)
 - spring1_base (hel1)
 - spring_cutoff_upper (cyl6)
 - spring_cutoff_bottom (cyl5)
 - spring_build (dif2)
 - spring2_base (hel2)
 - spring2_cutoff_upper (cyl8)
 - spring2_cutoff_bottom (cyl9)
 - spring2_build (dif3)
 - mass_bottom (cyl10)
 - union_final (uni3)
 - Form Assembly (fin)
- Multibody Dynamics (mbd)
 - mass_less
 - Free 1
 - Initial Values 1
 - Attachment 1
 - Attachment 2
 - Prismatic Joint 1
 - Spring and Damper 1
 - Prescribed Displacement 1
 - Attachment 3
 - spring
 - unsprung_mass
 - sprung_mass
 - road_condition

△ Comsol Setting



△ Spring and damper model



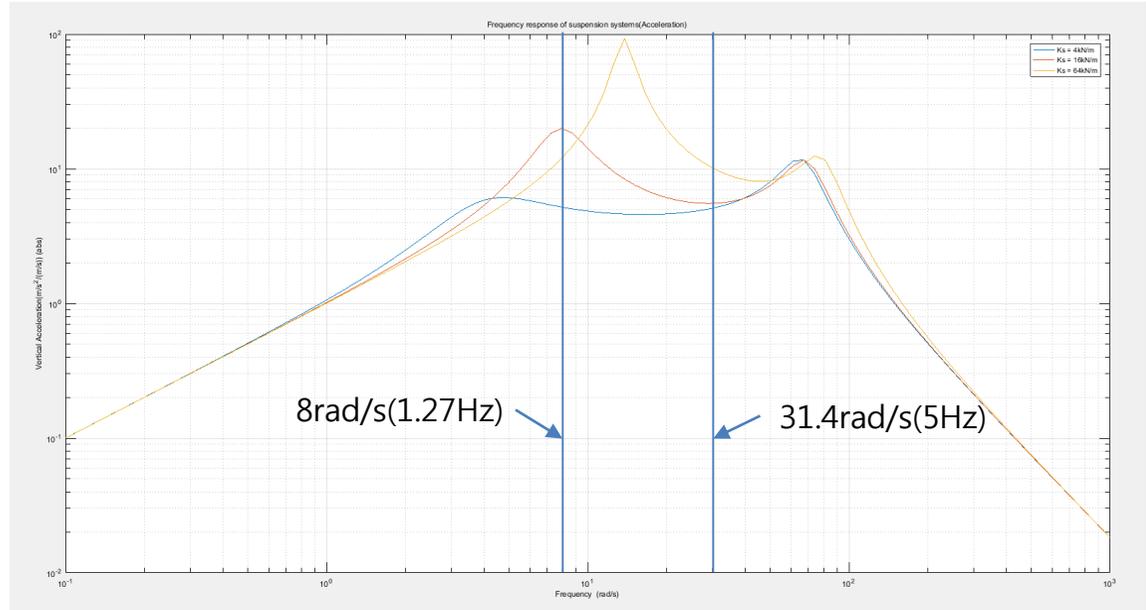
- 기존 modeling 하였던 Spring, Damper를 합쳐 Quarter Car Model 제작
- Cylinder를 이용하여 Sprung, Unsprung mass를 구현
- Spring의 두께 등을 조절하여 원하는 Damper, Spring constant 구현

IV. 결과 및 분석

1. Matlab Simulation result

```
clear all; clf;  
  
g = 9.81; ms = 240; mu = 36; cs = 980; ks = [4000 16000 64000]; kt = 160000;  
% g = gravitation acceleration(m/s^2)  
% ms = sprung mass(kg) % mu = unsprung mass(kg)  
% cs = sprung damping coefficient(N+s/m)  
% ks = sprung spring constant(N/m) % kt = tire spring constant(N/m)  
  
freq = logspace(-1,3,100); option = bodeoptions;  
option.FreqUnits = 'rad/s'; option.MagUnits = 'abs'; option.MagScale = 'log';  
  
for i = 1 : 3  
    num = [cs*kt ks(i)*kt 0];  
    den = [ms+mu mu+ms+cs ks(i)+(ms+mu)+ms*kt cs*kt ks(i)*kt];  
    bodemag(tf(num, den),freq,option); hold on  
    title('Frequency response of suspension systems(Acceleration)')  
    ylabel('Vertical Acceleration(m/s^2/(m/s))')  
end  
legend('Ks = 4kN/m', 'Ks = 16kN/m', 'Ks = 64kN/m'); grid on
```

△ matlab code

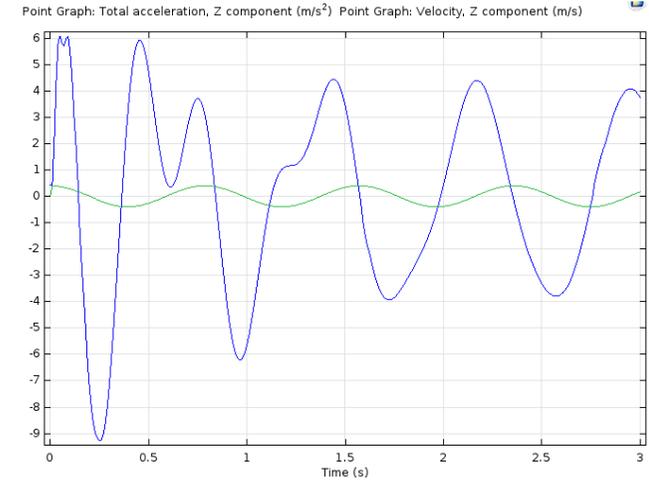
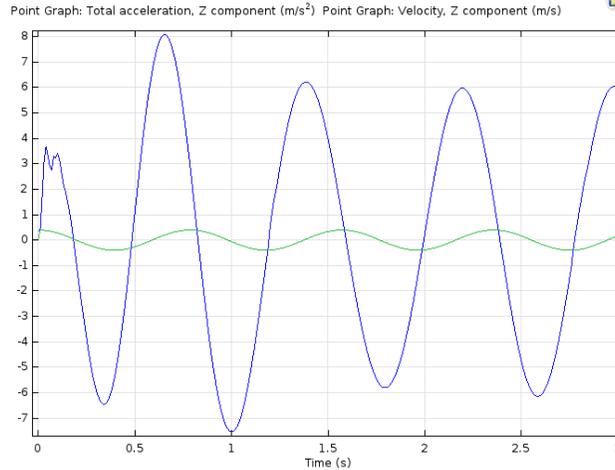
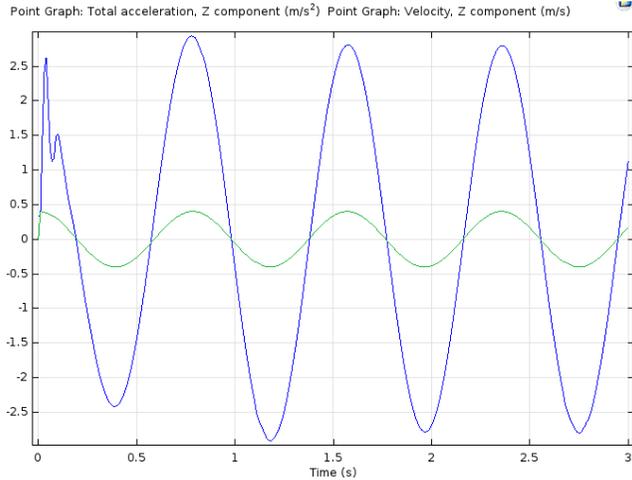


△ matlab simulation graph

- 입력 주파수 1.27Hz과 5Hz에서의 Sprung mass vertical acceleration을 확인
- Damper coefficient를 고정하고 suspension spring constant를 변경시키면서 관찰
- 1.27Hz의 경우 K 값이 4, 64, 16 [kN/m] 순으로 ride quality가 좋을 것으로 예상
- 5Hz의 경우 K 값이 4, 16, 64 [kN/m] 순으로 ride quality가 좋을 것으로 예상

IV. 결과 및 분석

2. COMSOL Simulation result (1.27Hz)



△ Comsol Simulation graph(K = 4, 16, 64 [kN/m])

u_{0z} m

△ Road profile (1.27Hz)

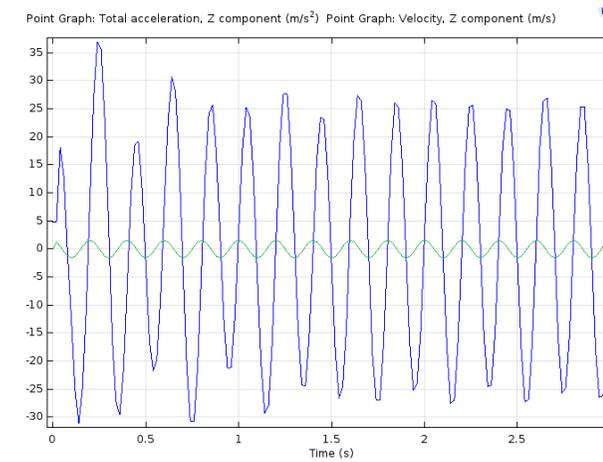
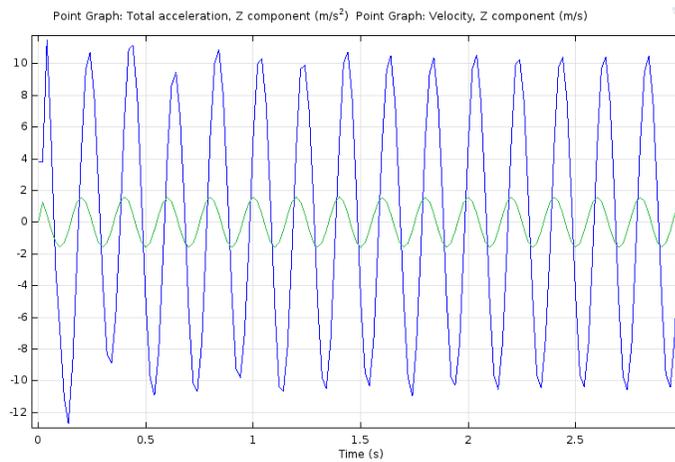
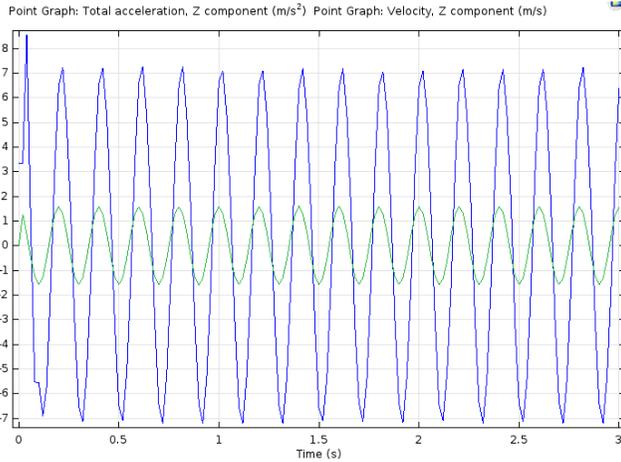
K [kN/m]	Vertical acceleration amplitude
4	약 2.75
16	약 6
64	약 4

△ Comsol Simulation result (K = 4, 16, 64 [kN/m])

- 전달 함수를 기반으로 그린 Matlab graph와 유사한 경향성을 보이는 것을 확인
- Spring constant가 16kN/m일 때, vertical acceleration이 가장 큼 (ride quality가 떨어짐)
- Spring constant가 4kN/m일 때, vertical acceleration이 가장 작음 (ride quality가 좋음)

IV. 결과 및 분석

3. COMSOL Simulation result (5Hz)



△ Comsol Simulation graph(K = 4, 16, 64 [kN/m])

u_{0z} m

△ Road profile (5Hz)

K [kN/m]	Vertical acceleration amplitude
4	약 7
16	약 10
64	약 25

△ Comsol Simulation result (K = 4, 16, 64 [kN/m])

- 전달 함수를 기반으로 그린 Matlab graph와 유사한 경향성을 보이는 것을 확인
- Spring constant가 64kN/m일 때, vertical acceleration이 가장 큼 (ride quality가 떨어짐)
- Spring constant가 4kN/m일 때, vertical acceleration이 가장 작음 (ride quality가 좋음)

IV. 결과 및 분석

4. 결과 분석 및 고찰

1) 결과 분석

- 우리가 설계한 quarter car model로 ride quality test를 하였을 때, 수학적 모델과 경향성이 일치함을 확인할 수 있음
- 1.27Hz에서는 k가 16[kN/m], 5Hz에서는 64[kN/m]일 때 ride quality가 가장 떨어지는 것을 확인
- Road의 입력 frequency에 따라 ride quality가 좋은 spring constant가 바뀜을 확인
- 대체로 k가 낮을 때, ride quality가 좋게 나오는 것을 확인

2) 의미

- NVH 해석 시, 형상이 복잡할 경우 수학적 모델링이 어려움
- FEM software로 형상을 입력하여 NVH 해석이 가능할 것으로 예상

3) 고찰

- Damper를 Multiphysics(solid mechanics, fluid dynamics)를 이용해 구현하지 못한 점이 아쉬움
- 결과 해석을 frequency 기준으로 볼 수 있으면 다양한 frequency 대역에서의 해석이 가능하였을 것으로 예상
- Time dependent 해석으로 frequency를 각각 입력함으로써 여러 frequency 대역을 확인하지 못한 점이 아쉬움
- 현재 해석은 ride quality에 대해서만 진행하였으나 handling 등의 여러 조건 등을 고려하였을 때, 단순히 k가 낮은 것이 좋다고 할 수 없을 것으로 예상

감사합니다