

Mass Spring Damper System

[Matlab Simulink]

202014094 김보민

202214115 민병지

202214132 전형민

202214139 최건

Table of Contents

01



Mathematical Modeling

02



M, C, K값의 결정

03



입력 결정

04



Simulink System Modeling

05



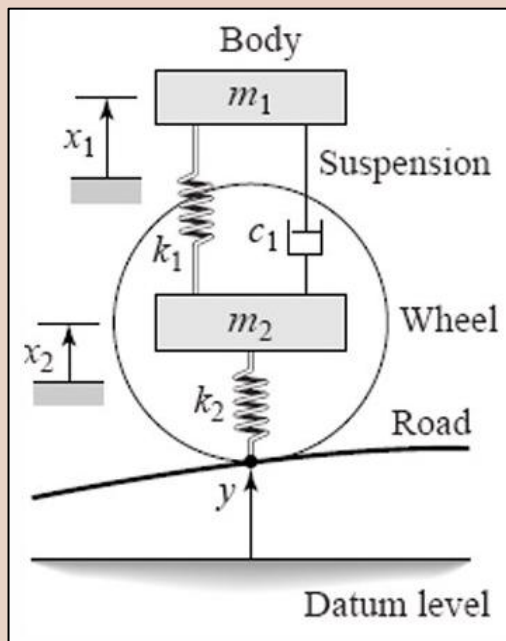
Simulation Results

06



결론 및 고찰 & 활용방안

1) Mathematical Modeling



주요 구성 요소

- m_1 : 차량 차체의 1/4 질량 (각 바퀴에 대한 Suspension을 고려함)
- m_2 : 휠, 타이어, 축 조립체의 질량.
- k_1 : 서스펜션의 스프링 상수 (서스펜션의 탄성 계수).
- k_2 : 타이어의 스프링 상수 (타이어의 탄성 계수).
- c_1 : 서스펜션의 감쇠 계수.

질량 m_1 에 대한 방정식 (차체의 운동)

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) = 0$$

- x_1 : 차체의 변위
- x_2 : 휠의 변위
- $c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)$: 서스펜션의 감쇠력
- $k_1(x_1 - x_2)$: 서스펜션 스프링에 의한 복원력

질량 m_2 에 대한 방정식 (휠-타이어의 운동)

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_1(x_2 - x_1) + k_2 x_2 = F_{road}$$

- F_{road} : 노면으로부터 전달된 입력 힘
- $k_2 x_2$: 타이어의 복원력
- $c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)$: 서스펜션 감쇠력
- $k_1(x_2 - x_1)$: 서스펜션 스프링에 의한 복원력

2) M, C, K 결정

- 차량의 질량은 **2,000kg**
- 체중 100kg인 탑승자 5인 가정했을 때 최대 변위 10cm로 가정 **$k = 12,500[\text{N/m}]$** $F=kx$ (Hooke's Law)
- m_2 의 질량: **50kg** (타이어+브레이크+서스펜션+구동축+휠)

1) 일반승용차 타이어 16kg

2) 브레이크 7kg

3) 서스펜션+구동축 12kg

4) 휠 14.8kg

- 고유진동수 0.839Hz

$$W_n = \left(\frac{\sqrt{k}}{2\pi} \right) [\text{Hz}]$$

- 완전감쇠 $c=4743$

$$\zeta = \frac{c}{2mW_n}$$

$k_2 : 160,000 \text{ N/m}$

$k_1 : 12,500 \text{ N/m}$

$m_2 : 50\text{kg}$

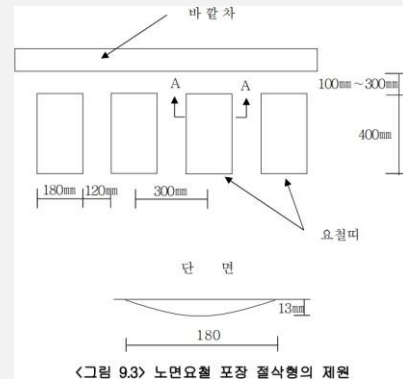
$m_1 : 450\text{kg}$

$C : ??? \text{ N*s/m} \rightarrow \text{결정해야 할 값}$

3) 입력 결정

• $y(t) \rightarrow$ 도로에 의한 변위 입력

1. 노면요철 포장 (고속도로 등 차선 옆에 설치하여 이탈을 막는 장치)



파라미터

사인파 유형: 시간 기반

시간(t): 시뮬레이션 시간 사용

진폭: 0.013

편향: 0

주파수(rad/s): $2\pi/0.0108$ 581.78

위상(rad): 0

샘플 시간: 0

☒ 벡터 파라미터를 1차원으로 해석

- 차량의 속도는 100km/h로 가정
- 요철띠 간의 거리: 300mm
- 깊이: 13mm 인 Sine Wave로 가정
- 해당 속도로 주행할 때 진폭과 주파수를 계산하여 모델링

2. 도로의 수직 단차



Step

스텝을 출력합니다.

기본 신호 특성

스텝 시간: 1

초기값: 0

최종 값: 0.03

샘플 시간: 0

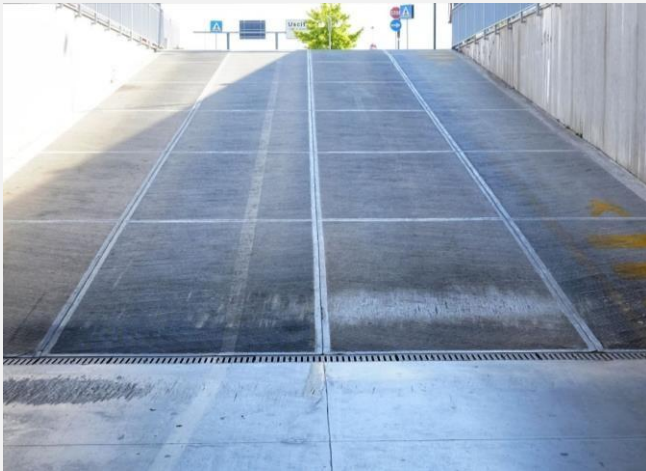
☒ 벡터 파라미터를 1차원으로 해석

☐ 영점교차 검출 활성화

- 노면상태 이상으로 3cm의 단차가 발생한 상황을 가정하였음
- 해당 조건을 Step으로 가정하여 모델링

• $y(t) \rightarrow$ 도로에 의한 변위 입력

3. 지하주차장 진출입로



Ramp (mask) (link)
지정된 시간에 시작하는 램프 신호를 출력합니다.

파라미터

기울기:
0.472

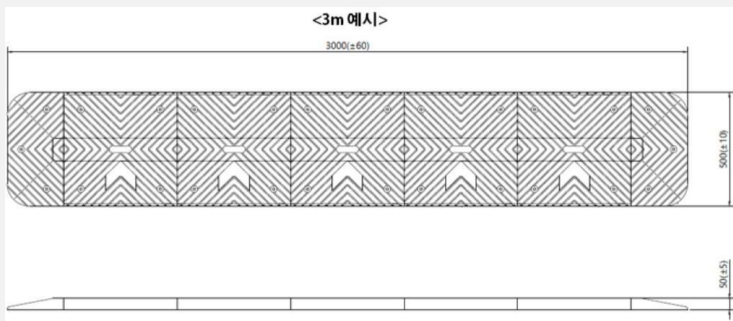
시작 시간:
1

초기 출력:
0

☒ 벡터 파라미터를 1차원으로 해석

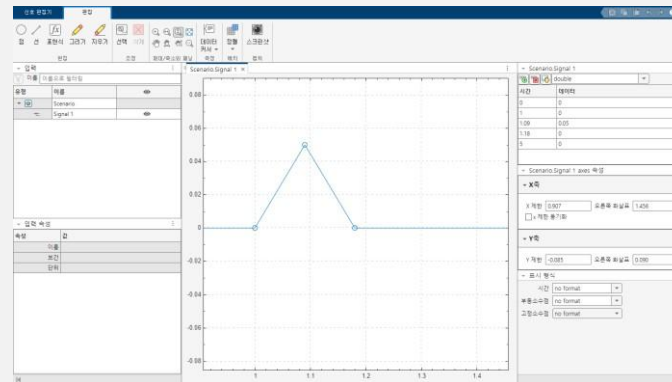
- 지하주차장 진출입로의 양 끝단에는 완화 경사 구간(8.5%)가 설치되도록 주차장법에 명시됨.
- 차량이 20km/h의 속도로 경사도 8.5%인 주차장 진출입로에 진입하는 경우를 ramp 함수로 모델링함

4. 과속방지턱



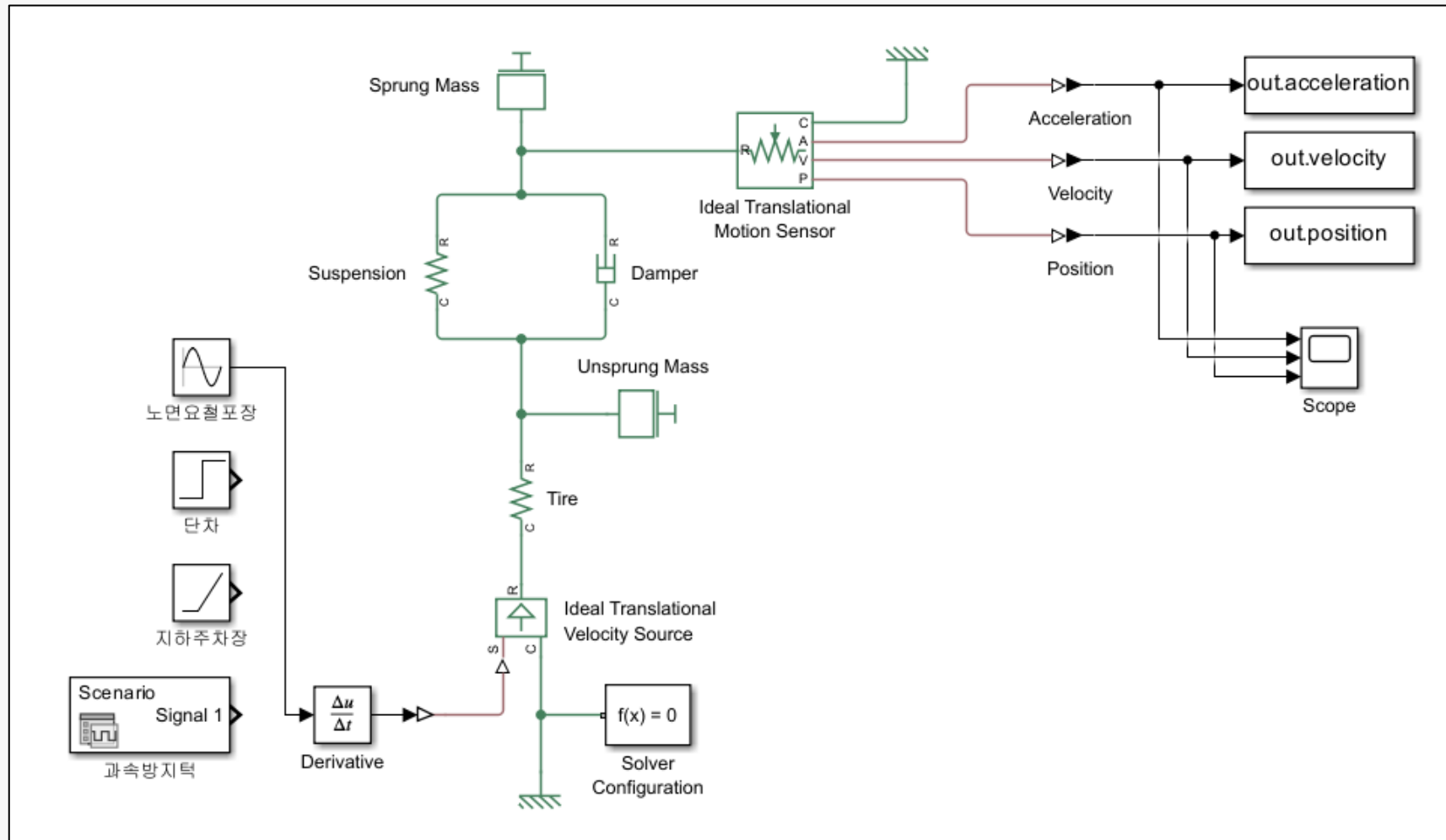
사진출처

https://www.upsonara.com/shop/item.php?it_id=1406095559&ca_id=a0806050



- 조립식 과속방지턱 중 판매량이 많은 종방향 길이 500mm, 높이 50mm 제품을 선정
- Simulink의 Signal Editor 기능을 이용하여 차량이 10km/h의 속도로 과속방지턱을 지나가는 경우를 모델링 하였음.

4) Simulink System Modeling

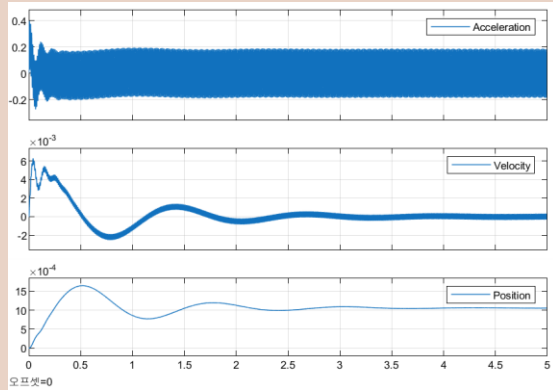


Matlab R2024a 사용하여 simulink로 구현한 system 모습

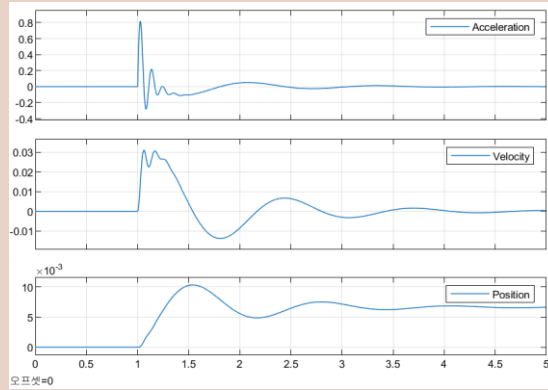
5) Simulation Results

Case 1.

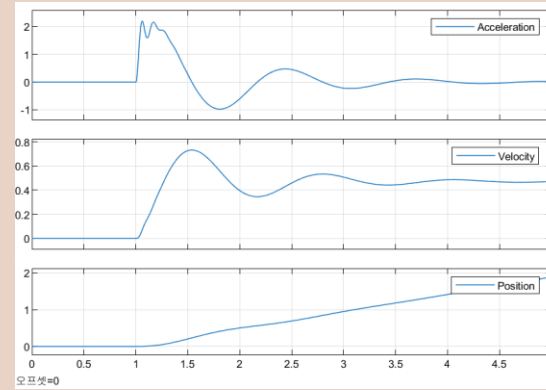
$$\zeta=0.25, c=1186 \text{ N*s/m}$$



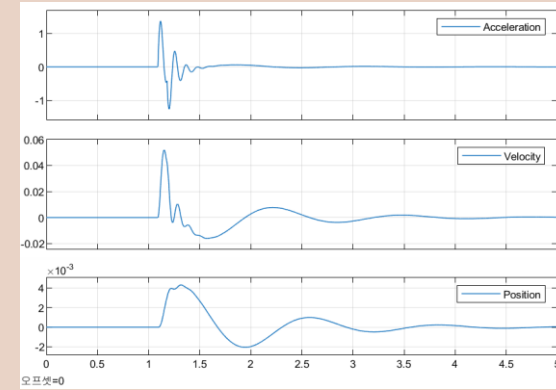
노면요철포장



단차



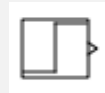
지하주차장 진출입로



과속방지턱



Sine Wave



Step



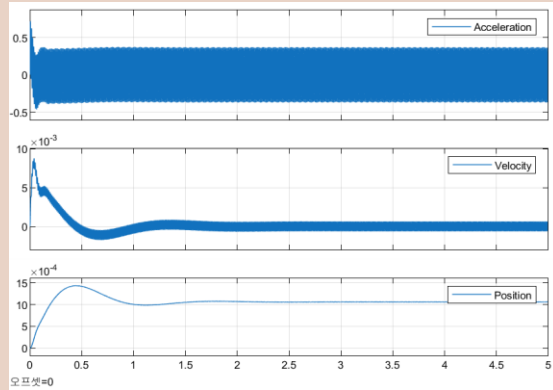
Ramp



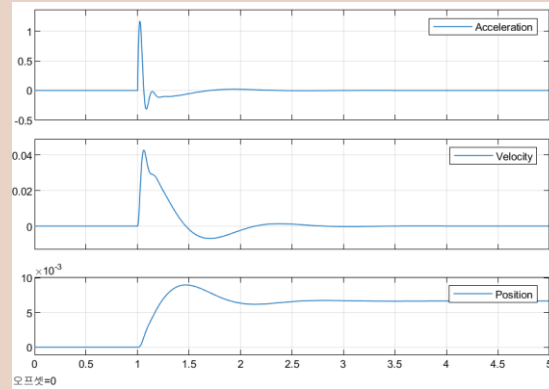
Signal Editor

Case 2.

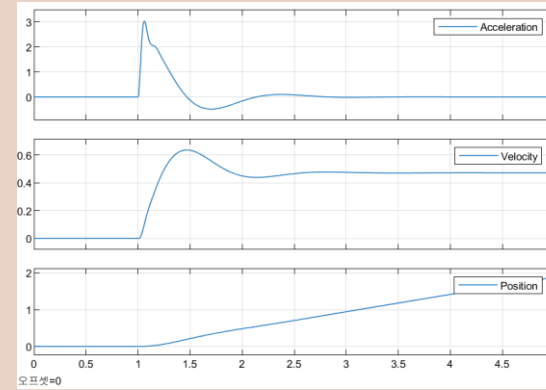
$$\zeta=0.5, c=2372 \text{ N*s/m}$$



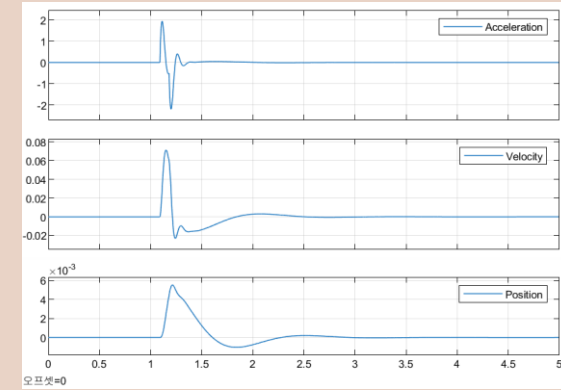
노면요철포장



단차



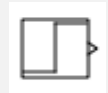
지하주차장 진출입로



과속방지턱



Sine Wave



Step



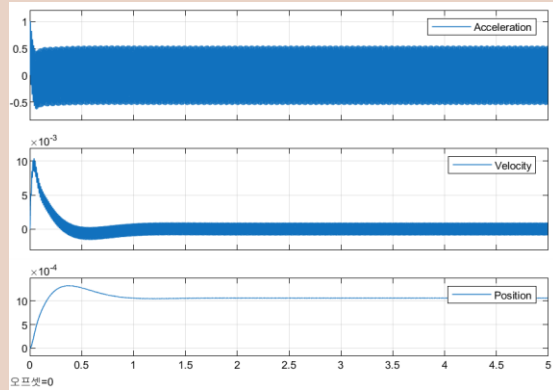
Ramp



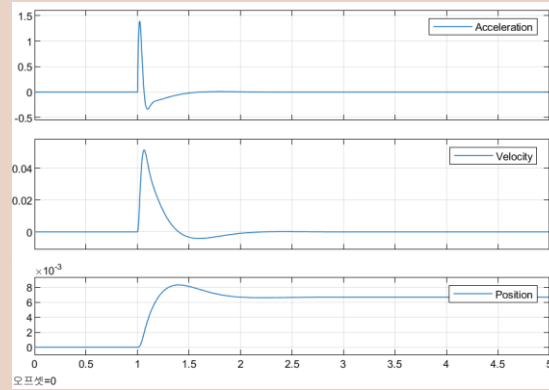
Signal Editor

Case 3.

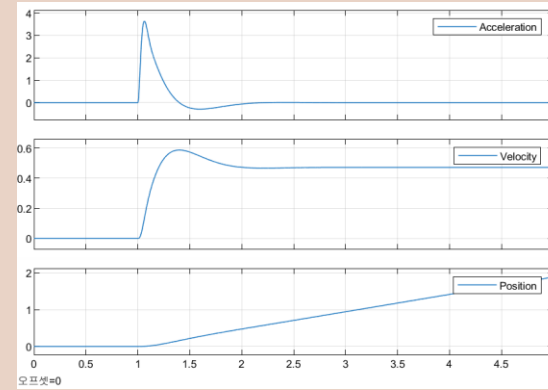
$\zeta=0.75$, $c=3557 \text{ N}\cdot\text{s/m}$



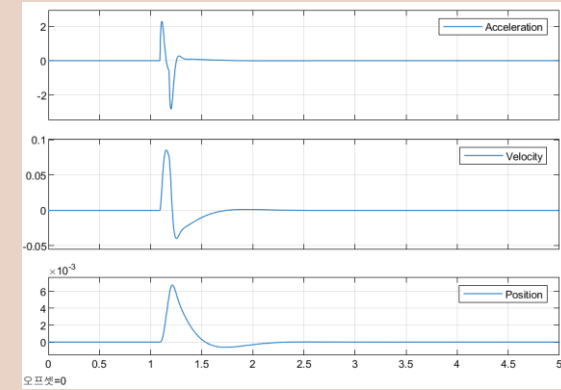
노면요철포장



단차



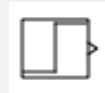
지하주차장 진출입로



과속방지턱



Sine Wave



Step



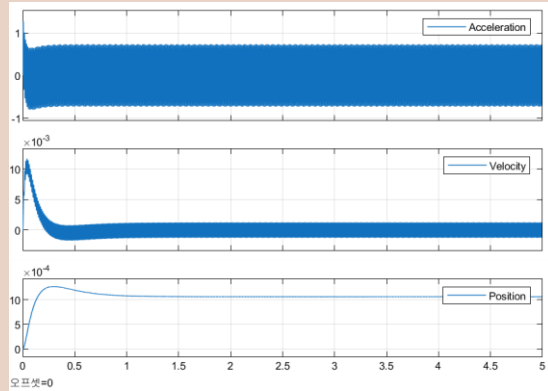
Ramp



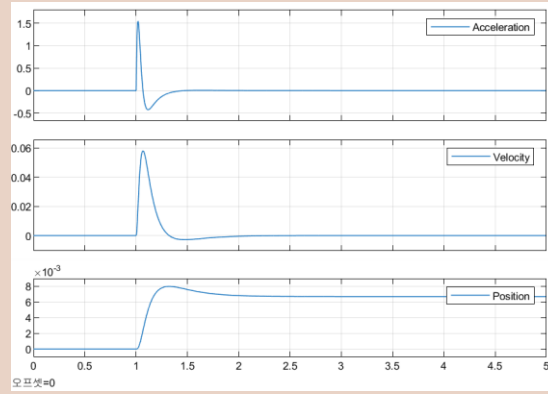
Signal Editor

Case 4.

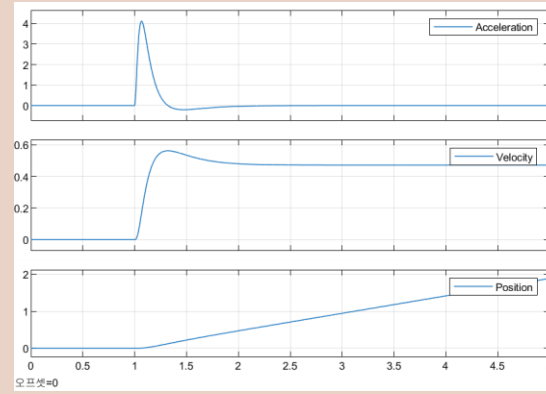
$\zeta=1$, $c=4743 \text{ N}\cdot\text{s/m}$



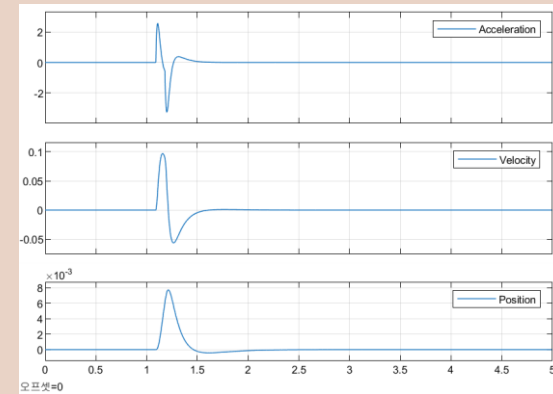
노면요철포장



단차



지하주차장 진출입로



과속방지턱



Sine Wave



Step



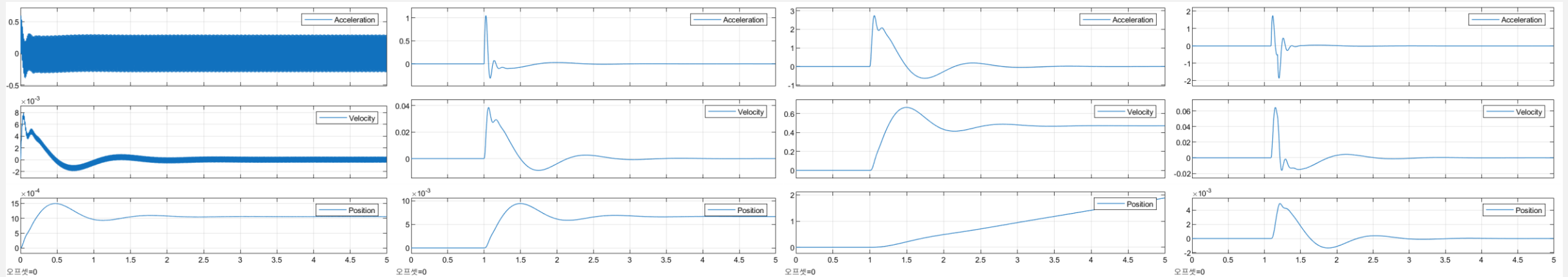
Ramp



Signal Editor

6) 결론 및 고찰

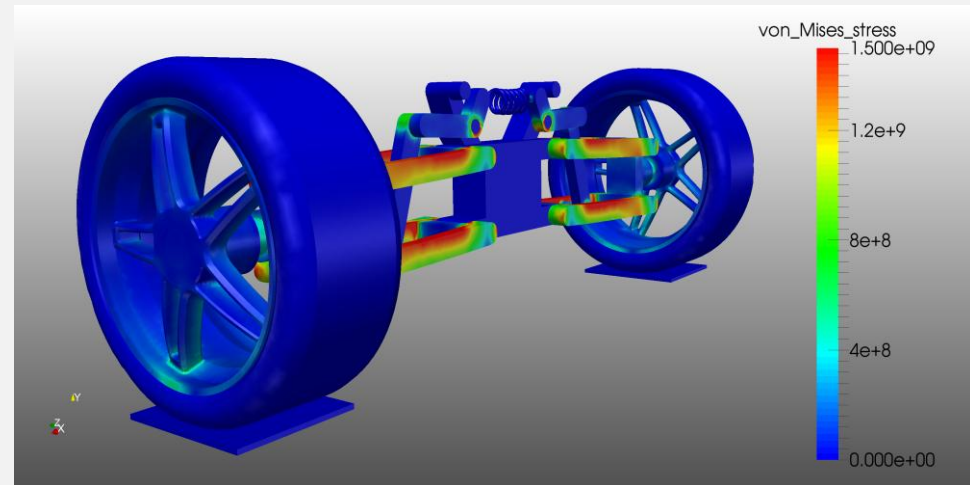
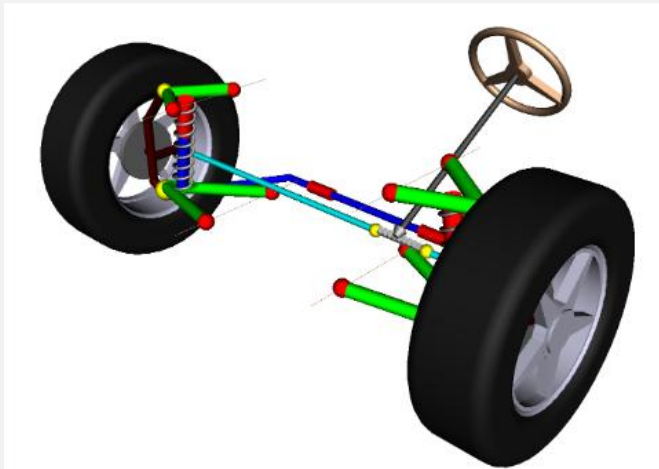
- 감쇠비가 증가할수록 잔향의 횟수가 감소하였으나, 모든 입력에서 가속도의 최대값이 증가
- 뉴턴의 운동 제 2법칙에 의하면 힘은 가속도에 비례하므로 승객이 느끼는 가속도가 낮을수록 승차감 우수
- 그러나 과도한 잔향이 발생할 경우 차량의 출렁임이 멀미를 유발
- 따라서 가급적 낮은 감쇠비를 선택하되, 2회 이상의 잔향이 남지 않는 $0.4(c=1900\text{N}\cdot\text{s/m})$ 을 선정



6) 활용 방안

1) 잔류수명예측(PHM) 활용

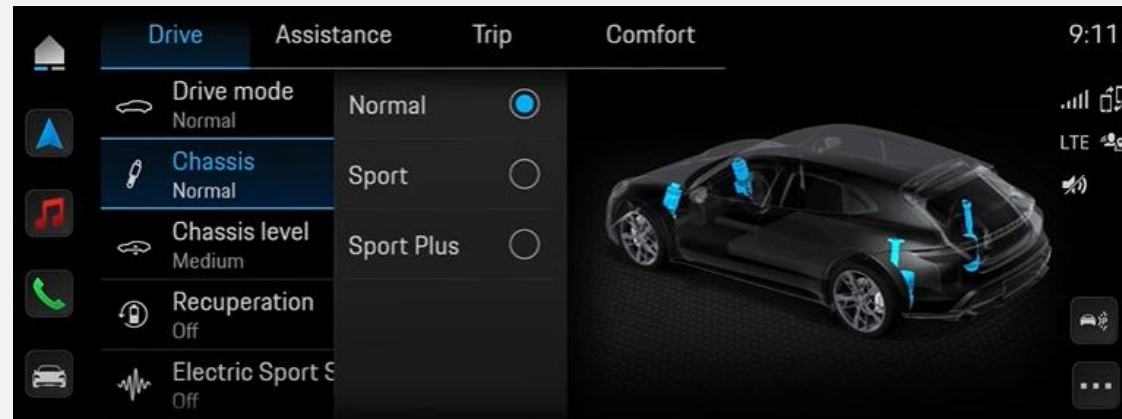
- 진동 및 피로파괴에 의한 suspension에 가해지는 힘을 simulation을 통하여 수명예측 가능
- Suspension의 유지보수 주기를 파악하여 적절한 시스템 교체 시기 파악가능



2) 전자제어 서스펜션(ECS)의 활용

- 차량 주행모드(컴포트, 스포츠 등)에 따라 실시간으로 감쇠력 변경

주행모드	감쇠비 ζ	특징
Normal Mode	0.4~0.75	승차감과 핸들링의 균형
Comfort Mode	0.25~0.5	승객이 받는 가속도를 낮춰 승차감 향상
Sport Mode	0.75~1.0	즉각적인 반응성과 차체 안정성 확보



2) 에너지 회수형 서스펜션 시스템

- 차량의 진동에너지를 회수하여 전기에너지로 변환하는 기술
- 감쇠계수 최적화를 하여도 발생하는 잉여 에너지(진동)를 활용 가능

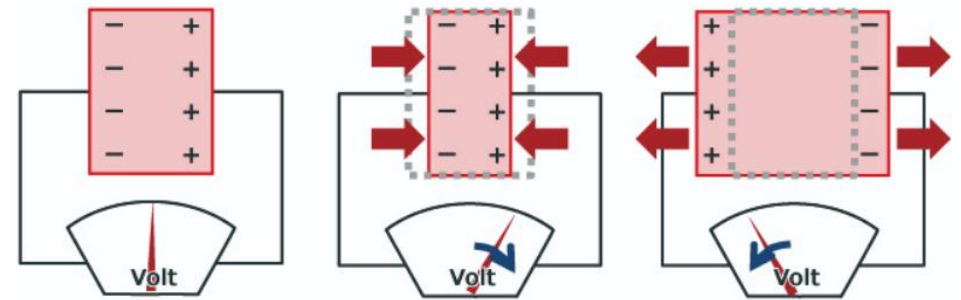
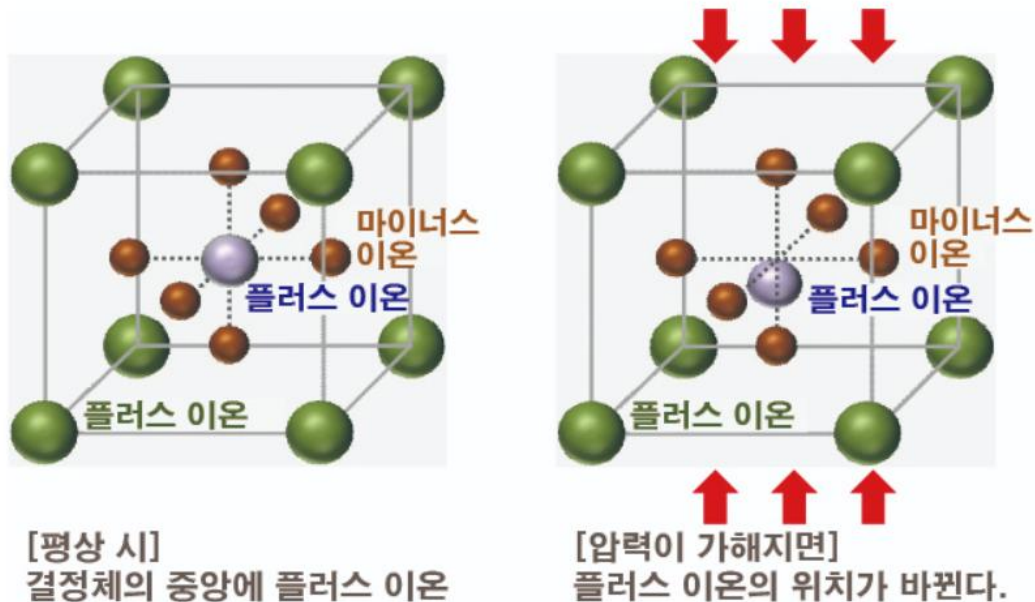


사진 출처 : <https://www.rohm.co.kr/electronics-basics/piezo/what1>

∴ 압력(진동에너지)에 의해 발생된 전기 분극으로 전압 발생 -> 에너지 전환

7) 참고 문헌

- Calvo, J. & Diaz, V. & San Román, J.. (2005), Establishing inspection criteria to verify the dynamic behaviour of the vehicle suspension system by a platform vibrating test bench. International Journal of Vehicle Design, Volume 38, Issue 4, 2005, Pages 290-306.
- Sezgin et al, Analysis of the vertical vibration effects on ride comfort of vehicle driver, Journal of Vibroengineering, Volume 14, Issue 2, 2012, Pages 559-571.
- Nagarkar et al, Optimization of nonlinear quarter car suspension–seat–driver model, Journal of Advanced Research, Volume 7, Issue 6, 2016, Pages 991-1007.
- 김홍식, 신도섭. (2013-11-20). 서스펜션 댐퍼의 감쇠력에 따른 Moving Mass의 주파수 특성 변화 연구. 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, 일 산.

Thank You