

# 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



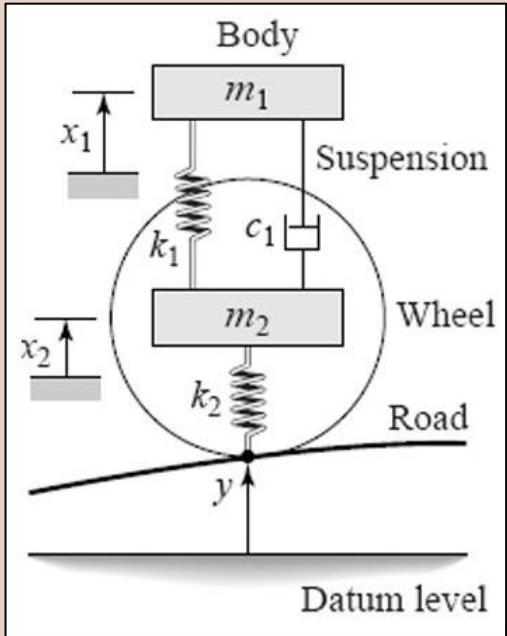
## Simulation Results

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[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

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

• 완전감쇠  $c=4743$

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

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

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

$m_2 : 50\text{kg}$

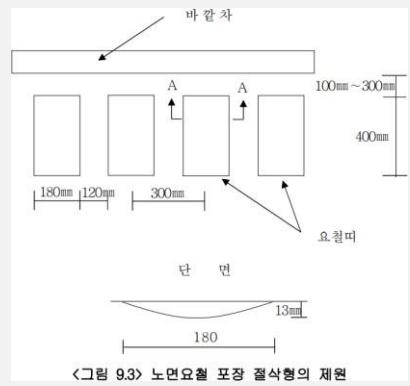
$m_1 : 450\text{kg}$

C : ??? N\*s/m → 결정해야 할 값

# 3) 입력 결정

- $y(t) \rightarrow$  도로에 의한 변위 입력

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



## 2. 도로의 수직 단차



사진출처 [https://www.clien.net/service/board/cm\\_bike/16029092](https://www.clien.net/service/board/cm_bike/16029092)

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

Step

스텝을 출력합니다.

기본 신호 특성

스텝 시간:

1

초기값:

0

최종 값:

0.03

샘플 시간:

0

벡터 파라미터를 1차원으로 해석

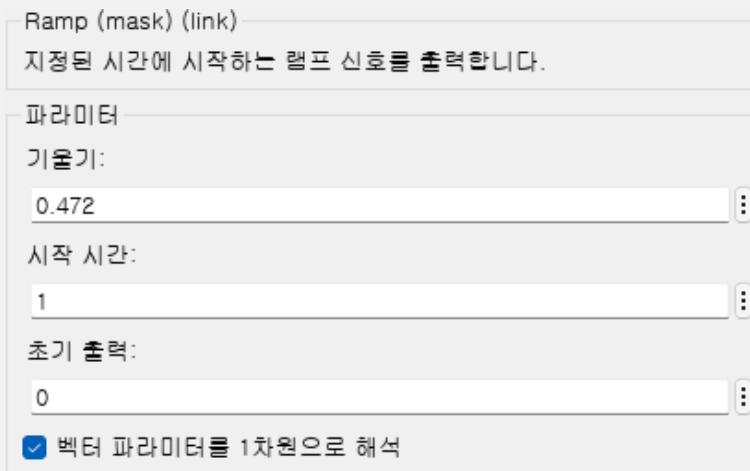
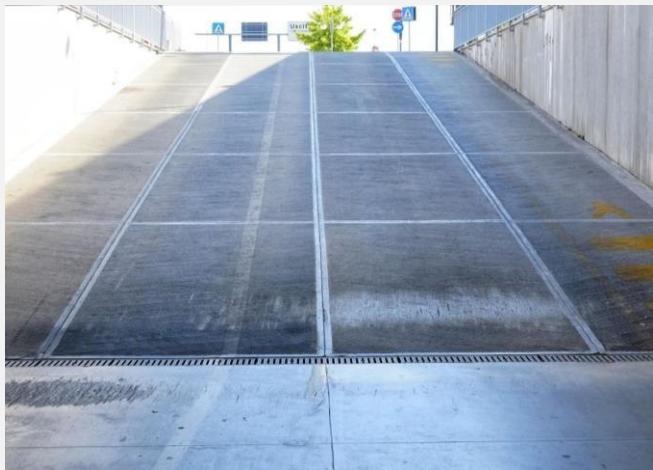
영질교차 걸출 활성화

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

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

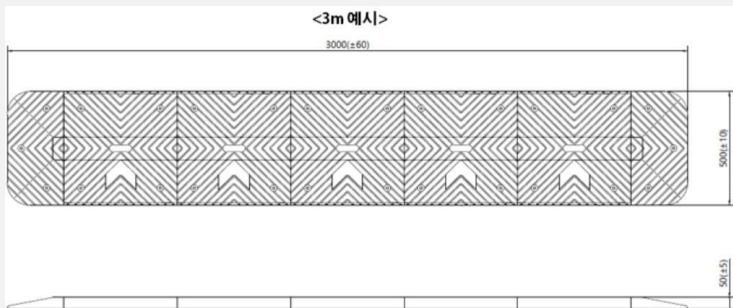
- $y(t) \rightarrow$  도로에 의한 변위 입력

### 3. 지하주차장 진출입로



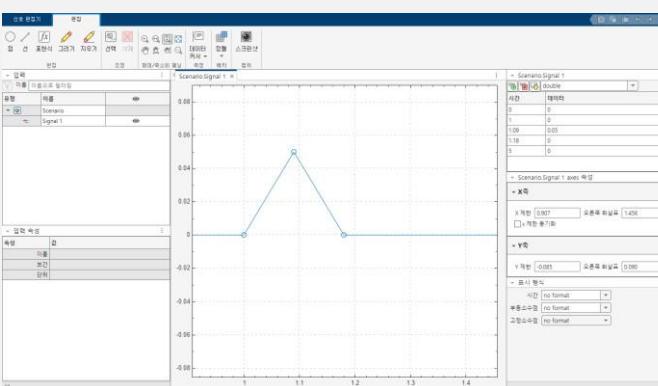
- 지하주차장 진출입로의 양 끝단에는 완화 경사 구간(8.5%)가 설치되도록 주차장법에 명시됨.
- 차량이 20km/h의 속도로 경사도 8.5%인 주차장 진출입로에 진입하는 경우를 ramp 함수로 모델링함
- 조립식 과속방지턱 중 판매량이 많은 종방 향 길이 500mm, 높이 50mm 제품을 선정
- Simulink의 Signal Editor 기능을 이용하여 차량이 10km/h의 속도로 과속방지턱을 지나가는 경우를 모델링 하였음.

### 4. 과속방지턱

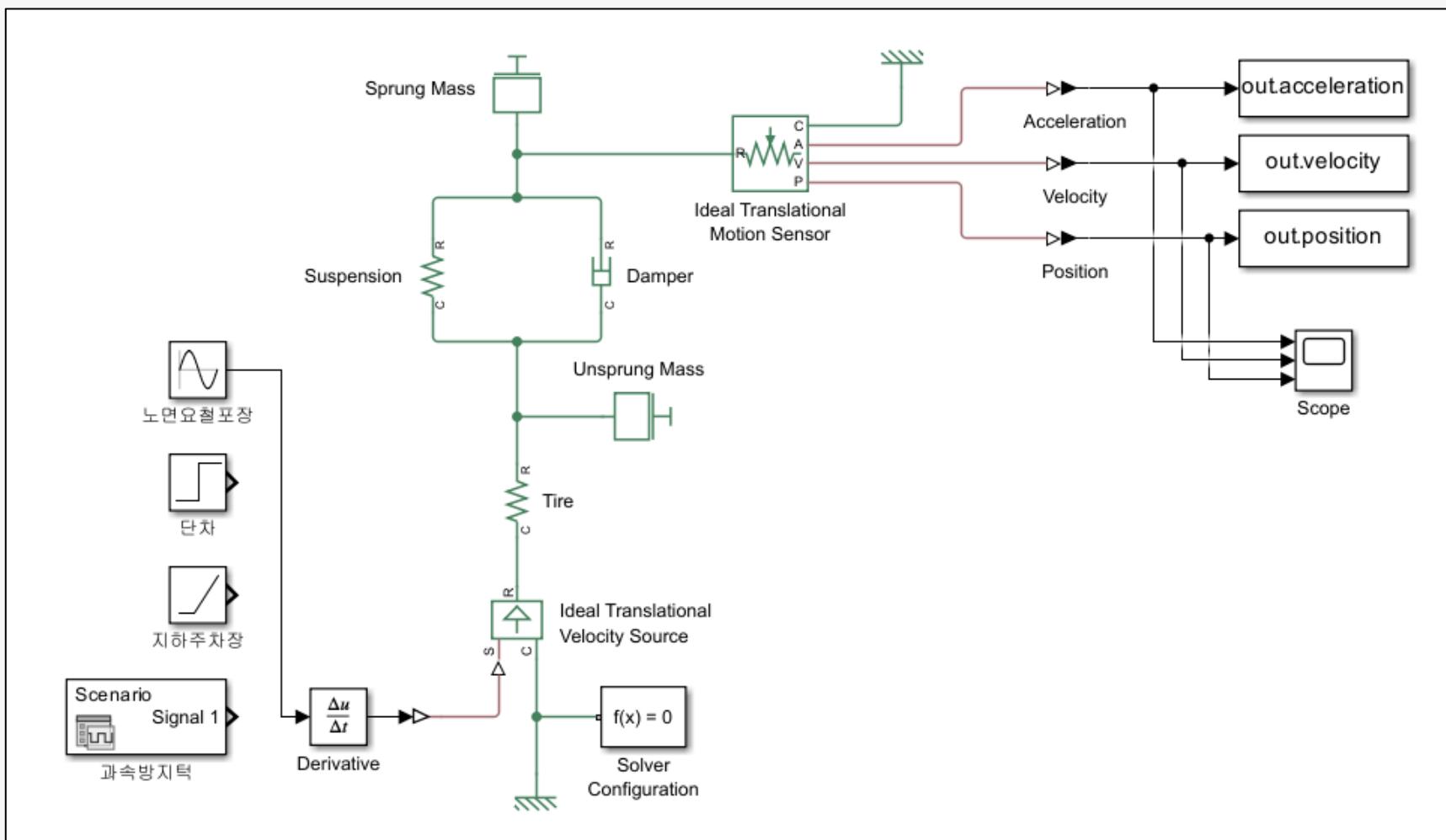


사진출처

[https://www.upsonara.com/shop/item.php?it\\_id=1406095559&ca\\_id=a0806050](https://www.upsonara.com/shop/item.php?it_id=1406095559&ca_id=a0806050)



# 4) Simulink System Modeling

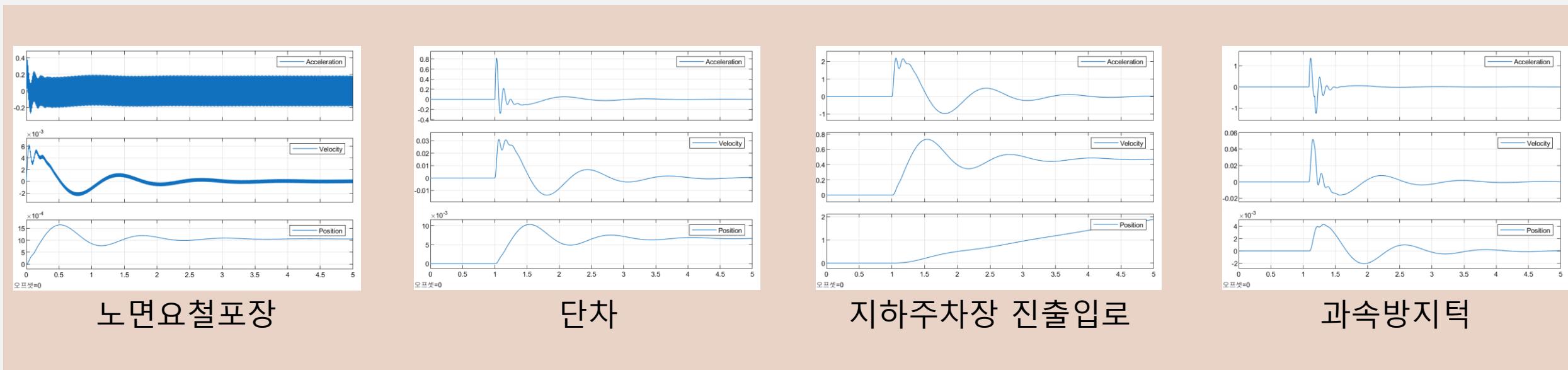


Matlab R2024a 사용하여 simulink로 구현한 system 모습

# 5) Simulation Results

## Case 1.

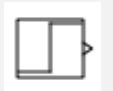
$\zeta=0.25$ ,  $c=1186 \text{ N*s/m}$



Sine Wave



Step



Ramp

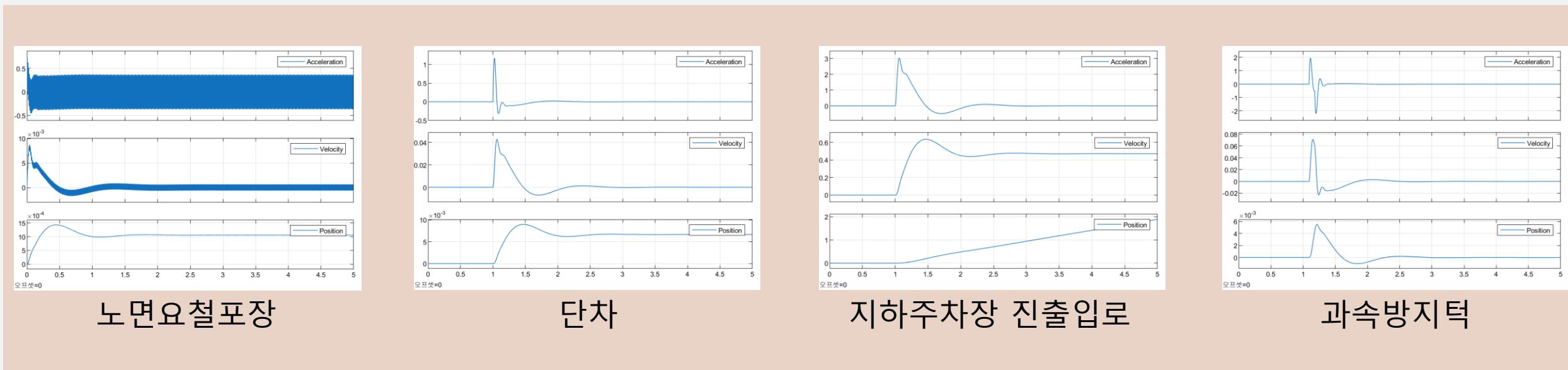


Signal Editor



## Case 2.

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



Sine Wave



Step



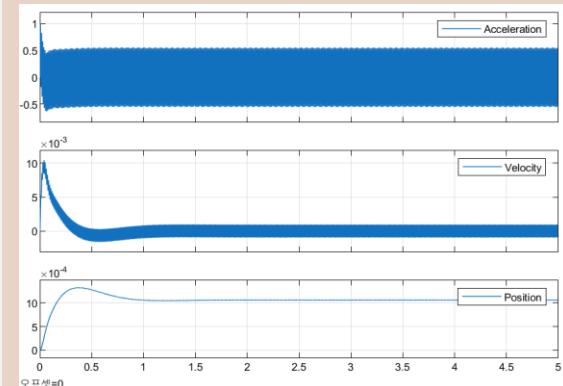
Ramp



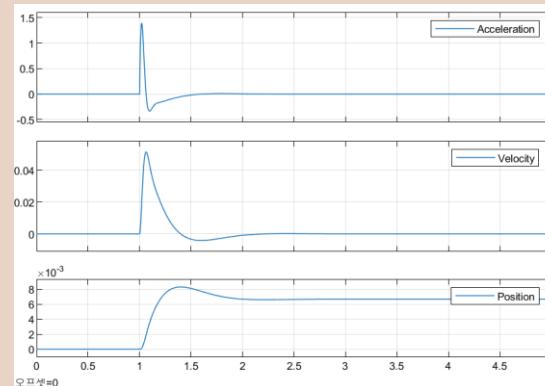
Signal Editor

# Case 3.

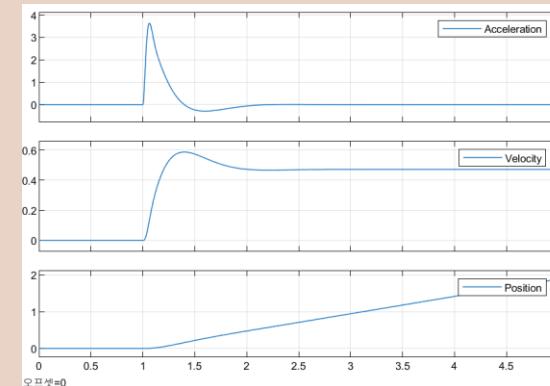
$\zeta=0.75, c=3557 \text{ N*s/m}$



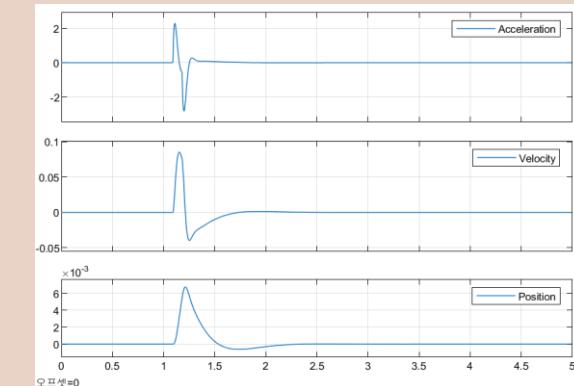
노면요철포장



단차



지하주차장 진출입로



과속방지턱



Sine Wave



Step



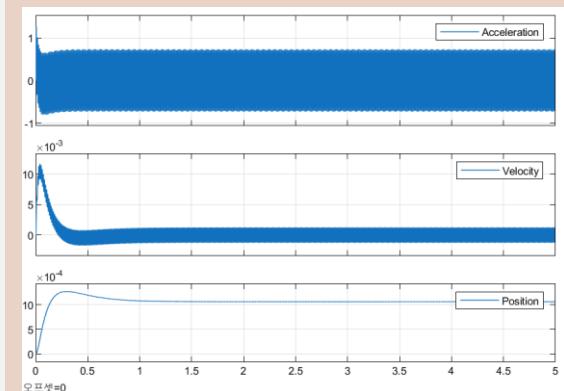
Ramp



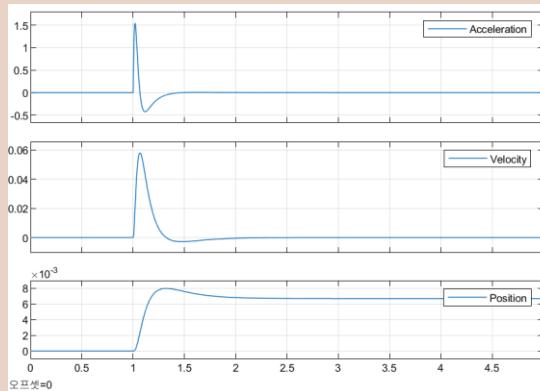
Signal Editor

# Case 4.

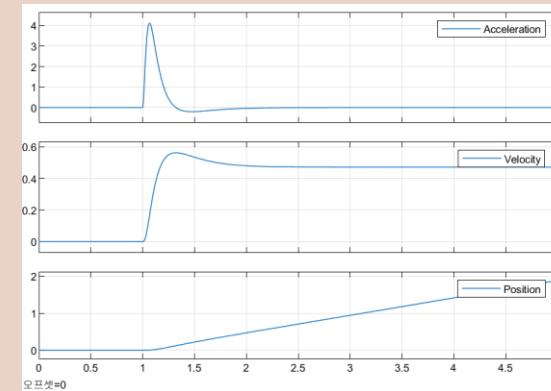
$\zeta=1$ ,  $c=4743 \text{ N*s/m}$



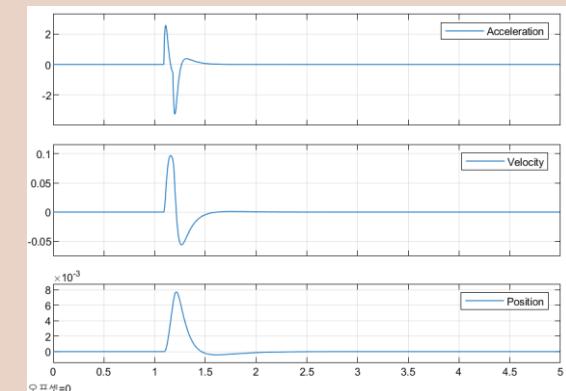
노면요철포장



단차



지하주차장 진출입로



과속방지턱



Sine Wave



Step



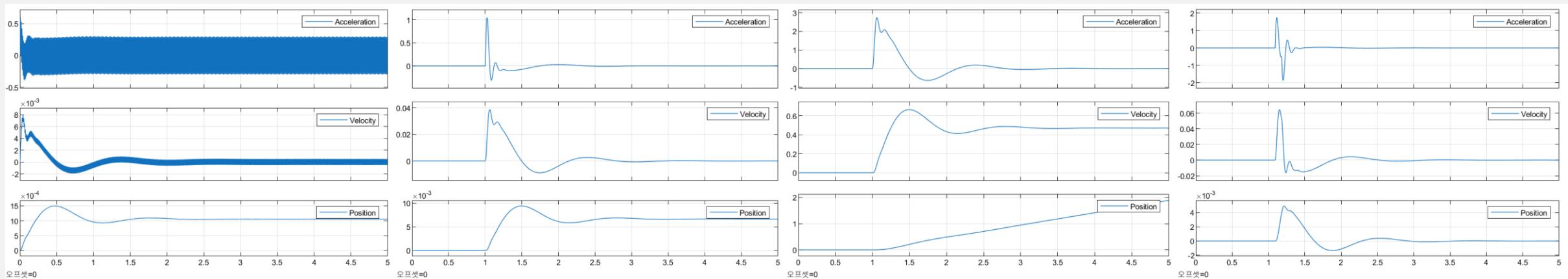
Ramp



Signal Editor

# 6) 결론 및 고찰

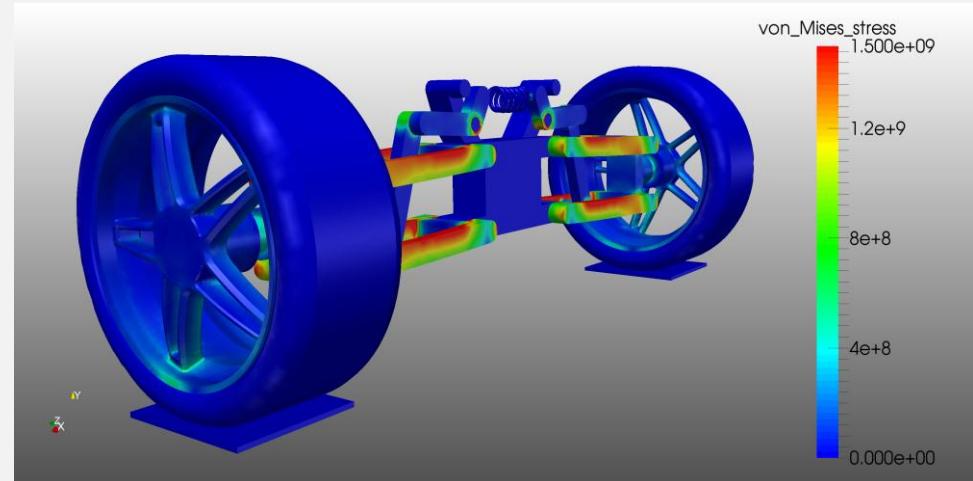
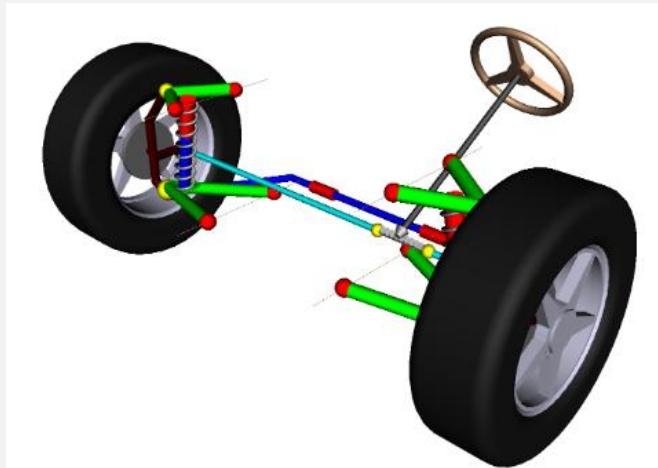
- 감쇠비가 증가할수록 잔향의 횟수가 감소하였으나, 모든 입력에서 가속도의 최댓값이 증가
- 뉴턴의 운동 제 2법칙에 의하면 힘은 가속도에 비례하므로 승객이 느끼는 가속도가 낮을수록 승차감 우수
- 그러나 과도한 잔향이 발생할 경우 차량의 출렁임이 멀미를 유발
- 따라서 가급적 낮은 감쇠비를 선택하되, 2회 이상의 잔향이 남지 않는  $0.4(c=1900N*s/m)$ 을 선정



# 6) 활용방안

## 1) 잔류수명예측(PHM) 활용

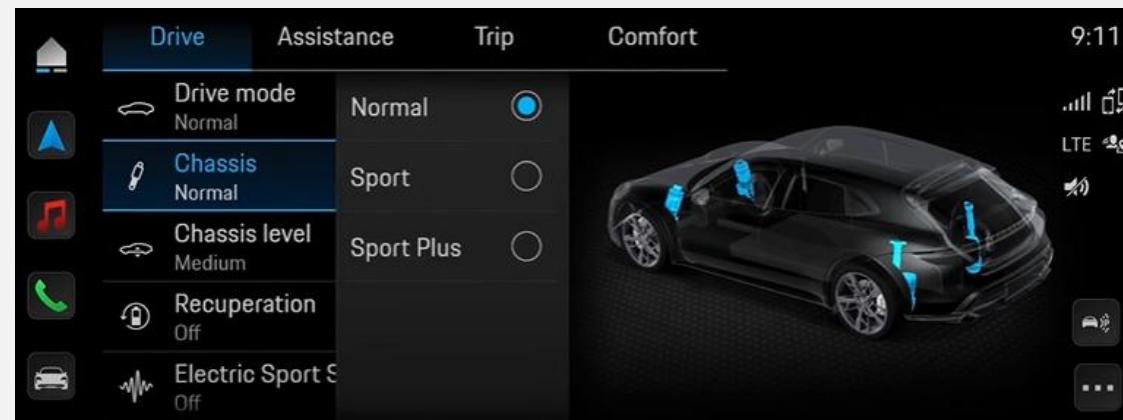
- 진동 및 피로파괴에 의한 suspension에 가해지는 힘을 simulation을 통하여 수명예측 가능
- Suspension의 유지보수 주기를 파악하여 적절한 시스템 교체 시기 파악가능



## 2) 전자제어 서스펜션(ECS)의 활용

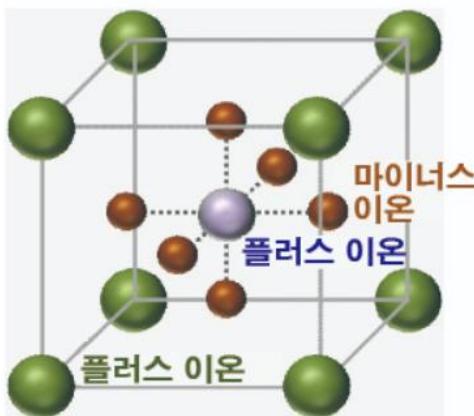
- 차량 주행모드(컴포트, 스포츠 등)에 따라 실시간으로 감쇠력 변경

주행모드	감쇠비 $\zeta$	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

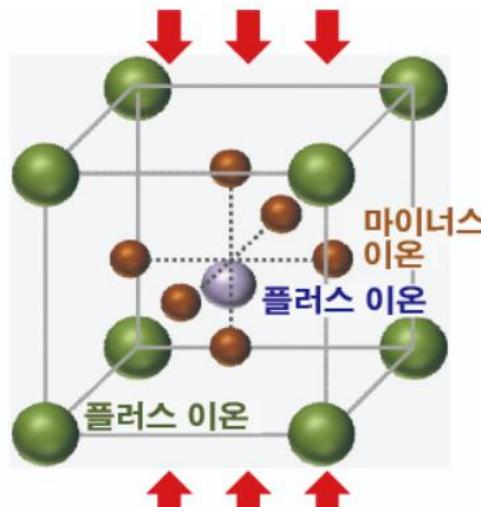


## 2) 에너지 회수형 서스펜션 시스템

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



[평상 시]  
결정체의 중앙에 플러스 이온



[압력이 가해지면]  
플러스 이온의 위치가 바뀐다.

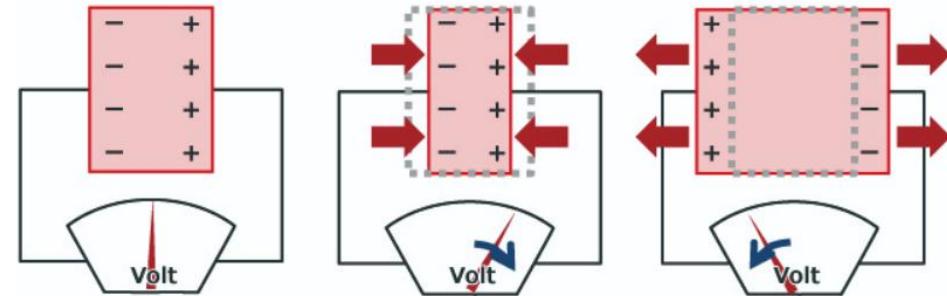


사진 출처 : <https://www.rohm.co.kr/electronics-basics/piezo/what1>

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

## 7) 참고문헌

- 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 추계학술 대회 및 전시회, 일 산.

Thank You