

# 유공압 현가장치(HPS)의 비선형 효과에 따른 차량 동적 특성 연구

한양대학교 미래자동차공학과  
4학년 안성주  
지도교수 지도교수 민승재

## 연구배경 / 목적

### ■ 연구 배경

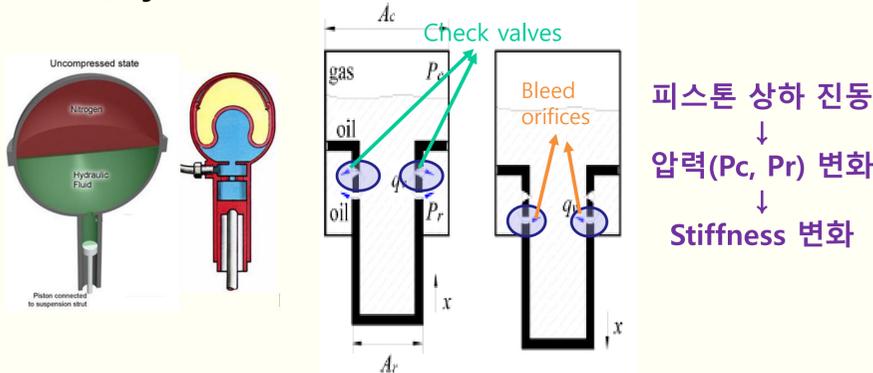
- HPS의 경우 코일 스프링 현가장치 대비 승차감 및 설계 공간 측면에서 유리 (적용사례 : Citroen C6 등)
- 액체와 기체의 영향에 의해 비선형 강성 특성이 나타나기 때문에 이를 고려한 분석 필요

### ■ 연구 목적

- 비선형성을 고려한 유공압 현가장치 모델 개발
- HPS 내 강성 영향인자 값 변화에 따른 차량 동적 특성 분석

## 유공압 현가장치 모델링

### ■ 유공압 현가장치 구성 및 작동 원리 (Hydro-Pneumatic Suspension)



설계인자	설명
$A_c$ ( $cm^2$ )	Area of the strut piston
$A_r$ ( $cm^2$ )	Area of the strut rod
$A_v$ ( $cm^2$ )	Area of check valves and/or orifices
$\beta$ (Mpa)	Effective fluid bulk modulus
$\rho$ ( $kg/m^3$ )	Fluid density
$P_0$ (Mpa)	Initial gas pressure
$V_{g0}$ ( $cm^3$ )	Initial gas volume
$C_d$	Discharge coefficient
$r$	Polytropic exponent

	피스톤 상승	피스톤 하강
Check Valve	Open	Close
Bleed Orifices	Open	Open

### ■ 수학적 모델

- Total force,  $F$

$$F = \frac{P_c A_c}{1} - \frac{P_r (A_c - A_r)}{2} + f$$

① Pressure,  $P_c$ ,

$$P_c V_g^r = P_0 V_{g0}^r \quad (V_g = V_{g0} - x \cdot A_r)$$

② Pressure,  $P_r$

(Bulk modulus,  $\beta = \frac{V \Delta P}{\Delta V}$ )

$$\therefore \frac{V_r}{\beta} \cdot \dot{P}_r = \dot{V} = q_v - (A_c - A_r) \dot{x} \quad (V_r = V_{r0} + x(A_c - A_r))$$

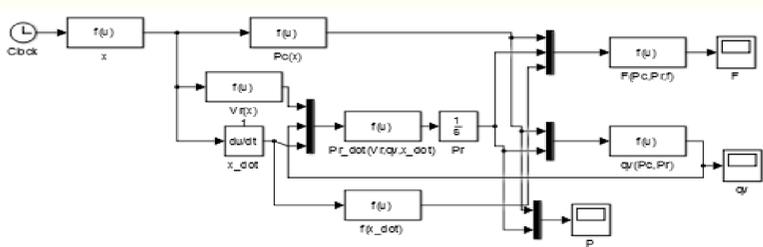
③ Rate of flow,  $q_v$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (\text{Bernoulli equation,})$$

$$\therefore q_v = \frac{\dot{m}}{\rho} = C_d A_v \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = C_d A_v \sqrt{\frac{2|P_c - P_r|}{\rho}} \cdot \text{sign}(P_c - P_r)$$

reference : Yin et al. "Effects of Entrapped Gas within the Fluid on the Stiffness and Damping Characteristics of a Hydro-Pneumatic Suspension Strut", 2017, SAE.

### ■ HPS Modeling

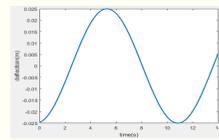


<Simulink model>

## 모델 검증

### 실험 조건

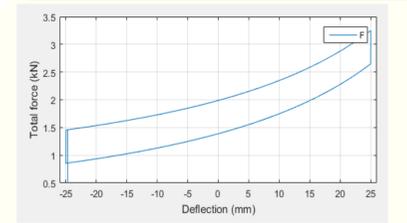
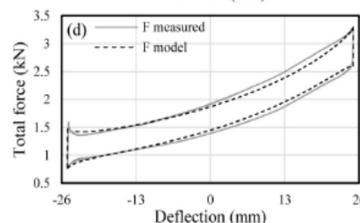
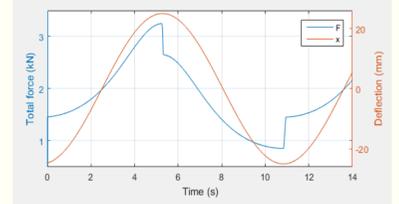
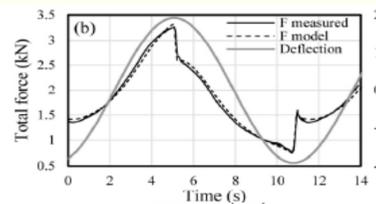
피스톤 입력 변위 :  
50mm harmonic excitation  
0.1Hz low frequency



### 설계인자

### 값

$A_c$	44.179
$A_r$	19.635
$A_v$	0.153 (피스톤 상승) 0.0707 (피스톤 하강)
$\beta$	240
$\rho$	830
$P_0$	0.86
$V_{g0}$	132
$C_d$	0.73
$r$	1.4



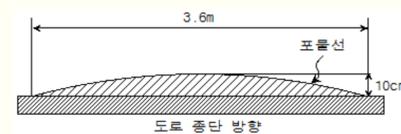
< 논문 결과 >

< 시뮬레이션 결과 >

## 차량 동적 특성 해석 결과

### ■ 해석 조건

30 km/h 로 방지턱 통과 시 차체 최대 변위 확인



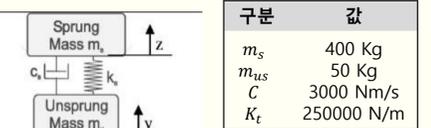
설치 대상 : 30km/h 미만 속도 준수

(ex: school zone)

설치 기준 : 폭 3.6m 이내, 높이 10cm 이내

포물선 :  $-\frac{1}{22.4}(x-5)^2 + 0.1$  ( $3.2 < x < 6.8$ )

※ Quarter Car 모델



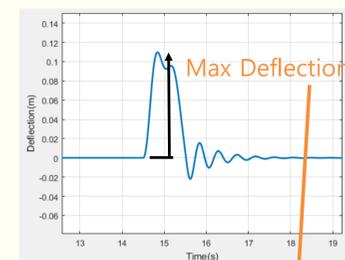
구분	값
$m_s$	400 Kg
$m_{us}$	50 Kg
$C$	3000 Nm/s
$K_t$	250000 N/m

기존 선형 강성 값 대신 모델링에서 나온 비선형 강성 값 대입

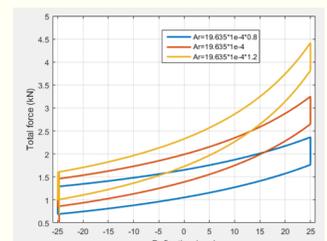
### ■ 동특성 영향도 분석

$$m_s \ddot{y}_s = -k_s (y_s - y_{us}) - c_s (\dot{y}_s - \dot{y}_{us})$$

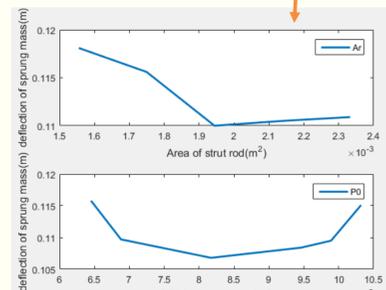
$$m_{us} \ddot{y}_{us} = k_s (y_s - y_{us}) + c_s (\dot{y}_s - \dot{y}_{us}) + k_t (s - y_{us})$$



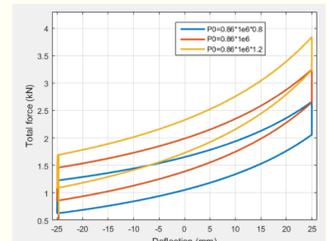
< 방지턱 통과 시 sprung mass의 변위 >



< Rod 면적( $A_r$ ) 변화에 따른 강성 >



< 설계인자 값 변화에 따른 최대 변위 변화 >



< 가스 압력( $P_0$ ) 변화에 따른 강성 >

⇒ 설계인자 값인  $A_r$  과  $P_0$ 의 변화에 따라 차체 최대변위 값 변동량 확인

## 결론

- 비선형 특성이 반영된 HPS 모델 개발
- Quarter Car 모델을 통한 방지턱 통과 시 동특성 해석
- HPS 설계 인자 값 변화에 따른 동특성 영향도 분석

