

## 변위감응형 충격흡수기의 차량 동력학적 특성에 관한 연구

이춘태\*, 곽동훈\*, 정봉호\*, 이진걸\*\*

### A Study on the Vehicle Dynamic Characteristic of Displacement Sensitive Shock Absorber

Choon-Tae Lee\*, Dong-Hoon Kwak\*, Bong-Ho Jung\*, Jin-Kul Lee\*\*

#### ABSTRACT

The performance of shock absorber is directly related to the car behaviour and performance, both for handling and ride comfort. The displacement sensitive shock absorber has two modes of damping force (i.e. soft and hard) according to the position of piston. In this study, a mathematical nonlinear dynamic model is introduced to predict the performance of displacement sensitive shock absorber. Especially in this paper, the transient zone is considered and the simulation result is well fit with experimental data. And the vehicle dynamic characteristic of displacement sensitive shock absorber is presented using quarter car simulation model. The simulation results of frequency response are compared with passive shock absorber.

**Key Words** : Shock absorber(충격흡수기), Damping force(감쇠력), Displacement sensitive(변위감응), Stroke dependent(스트로크 의존), Piston valve(피스톤밸브), Body valve(몸체밸브)

#### 1. 서론

차량용 충격흡수기(shock absorber)는 차량의 주행특성 즉, 승차감(ride comfort)과 주행안정성(driving safety)에 많은 영향을 미치는 주요 부품이다. 변위감응형(displacement sensitive) 충격흡수기는 스트로크의존형(stroke dependent) 충격흡수기라고도 하며, 기존의 수동형 충격흡수기와 동일한 구조를 가지고 있으나 실린더 벽면에 별도의 유로(변위감응교축)를 형성하여 피스톤의 변위가 변위감응교축(displacement sensitive orifice) 영역 내에 있을 경우는 변위감응교축을 통한 누설에 의하여 낮은 감쇠력이 발생하고, 피스톤이 변위감응교축 영역 밖

에 있을 경우는 변위감응교축을 통한 누설이 차단되어 높은 감쇠력이 발생하도록 하여 피스톤 변위에 따라 두가지의 감쇠력이 발생하도록 하는 구조로 되어있다. 이러한 변위감응형은 시내주행 및 양로주행에서는 피스톤 변위의 진폭이 작아 소프트한 감쇠력이 발생하도록 하여 승차감을 향상시키고, 급커브에 의한 롤링(rolling) 및 악로주행과 같이 진폭이 큰 주행조건에서는 높은 감쇠력이 발생하여 주행안정성을 증대시켜 승차감과 조정안정성이 양립할 수 있도록 하고 있다. 또한 상용차량의 경우는 화물이 비어있을 경우에 주로 작용하는 피스톤의 스트로크 범위 내에서 변위감응교축을 설치하여 승차감을 향상시키고, 화물이 적재된 경우에 주로

\* 2002년 7월 4일 접수

\* 부산대학교 대학원 지능기계공학과

\*\* 부산대학교 기계공학부

작용하는 피스톤의 스트로크 범위 내에서 변위감응 교축을 설치하여 승차감을 향상시키고, 화물이 적재된 경우에 주로 작용하는 스트로크 범위 내에서는 감쇠력을 높여 주행안정성이 향상 될 수 있도록 하고 있다. 충격흡수기에 대한 연구는 Lang<sup>(1)</sup>에 의해 최초로 수학적 모델이 제시된 후 충격흡수기 해석을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. Koenraad<sup>(2)</sup>에 의해 튜브 타입(monotube type) 가스충전식 충격흡수기 모델의 수학적 모델이 제안되었으며, Herr<sup>(3)-(5)</sup> 등에 의한 튜브타입 타입(twintube type) 충격흡수기에 대한 모델이 제시되었지만 변위감응형에 대한 연구는 많지 않은 편이다. 최근 국내에서 변위감응형 충격흡수기에 대한 연구<sup>(6)</sup>가 보고되고 있으나 과도영역이 고려되지 않았을 뿐 아니라 차량에서의 성능 역시 제시하지 않았다. 다른 연구<sup>(7)</sup>에서는 1/4 차량에서의 성능을 시간영역에서만 해석하여 변위감응형의 특성을 파악하기에는 불충분한 면이 있다. 본 연구에서는 과도영역을 고려한 변위감응형 충격흡수기의 비선형 동적 모델을 제시하고, 시뮬레이션을 통하여 모델의 타당성을 검증하였다. 또한 1/4 차량모델을 이용하여 변위감응형과 수동형 충격흡수기의 차량에서의 동적 거동을 시간 및 주파수영역에서 비교 분석하였다.

## 2. 압축, 인장행정에서의 유동해석

차량용 튜브타입 수동형 충격흡수기에 대한 일반적인 구조를 Fig. 1에 나타내었다. 충격흡수기는 피스톤의 운동에 따라 피스톤로드(piston rod)에 설치된 피스톤밸브와 실린더 하단에 설치된 몸체밸브(body valve)에 의하여 감쇠력을 발생시키는 구조로 되어 있으며, 피스톤밸브와 몸체밸브는 원하는 감쇠력을 발생시키기 위하여 다양한 유체 교축으로 구성되어 있다. 변위감응형 충격흡수기는 이러한 수동형 충격흡수기의 구조에 실린더 벽면에 별도의 유로를 형성한 구조로 되어 있으며, Fig. 2에 변위감응형 충격흡수기의 구조를 나타내었다. 변위감응 구간은 소프트영역(soft zone), 하드영역(hard zone), 과도영역(transient zone)으로 구성되어 있으며, 과도영역은 감쇠력의 급격한 변동을 피하기 위하여 테이퍼 구조로 되어 있다.

피스톤 변위에 의한 유체의 유동을 설명하기 위한 해석모델을 Fig. 3에 나타내었다. 압축행정

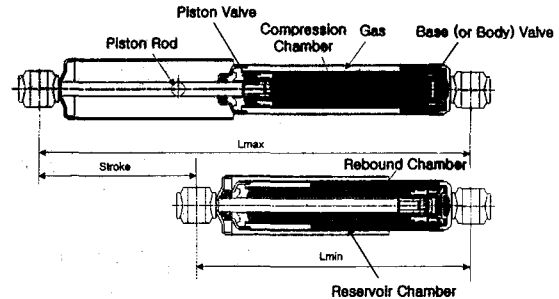


Fig. 1 Schematic diagram of typical twintube type passive shock absorber

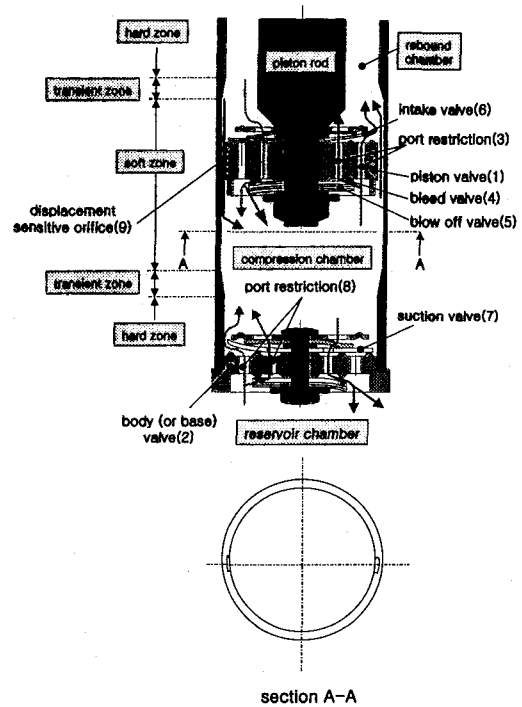


Fig. 2 Schematic diagram of displacement sensitive shock absorber

(compression stroke)에서의 유체 유동은 피스톤밸브(1)를 통하여 압축실(compression chamber)에서 인장실(rebound chamber)로 흐르는 유동  $Q_c$ 과 몸체밸브(2)를 통하여 압축실에서 저장실(reservoir chamber)로 흐르는 유동  $Q_c$ 로 구분할 수 있다. 압축행정에

서 몸체밸브(2)를 통과하는 유동  $Q_c$ 는 몸체밸브의 블리드밸브(bleed valve)를 통한 유동  $Q_{ci}$ 와 블로오프밸브(blow off valve)를 통한 유동  $Q_{co}$ 로 구분할 수 있다. 피스톤밸브를 통한 유동  $Q_r$ 은 피스톤밸브의 블리드밸브(4)를 통한 유동  $Q_{ri}$ 와 인테이크밸브(6)를 통한 유동  $Q_{ro}$  그리고 변위감응교축(9)을 통한 유동  $Q_{rd}$ 로 구분할 수 있다.

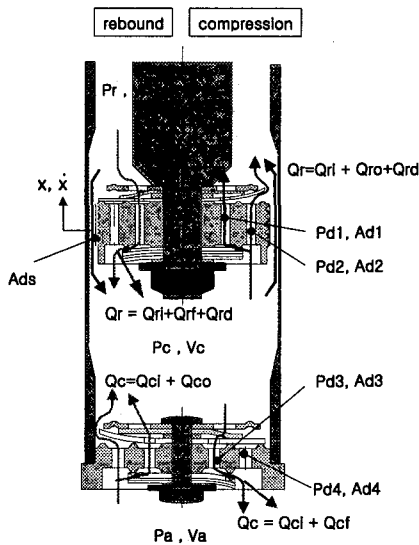


Fig. 3 Schematic diagram of oil flow and pressure at compression and rebound stroke

반대로 인장행정(rebound stroke)에서의 유체 유동은 피스톤밸브(1)를 통하여 인장실에서 압축실로 흐르는 유동  $Q_r$ 과 몸체밸브를 통하여 저장실에서 압축실로 흐르는 유동  $Q_c$ 로 구분할 수 있다. 몸체밸브(2)를 통과하는 유동  $Q_c$ 는 몸체밸브의 블리드밸브를 통한 유동  $Q_{ci}$ 와 흡입밸브(suction valve)(7)을 통한 유동  $Q_{co}$ 로 구분할 수 있다. 또한 피스톤밸브(1)를 통한 유동  $Q_r$ 은 피스톤밸브의 블리드밸브(4)를 통한 유동  $Q_{ri}$ 과 블로오프밸브(5)를 통한 유동  $Q_{ro}$  그리고 변위감응교축을 통한 유동  $Q_{rd}$ 로 구분할 수 있다.

### 3. 변위감응형 충격흡수기의 수학적 모델링

#### 3.1 압축실과 인장실의 연속 방정식

Fig. 3에서 표시한 변위감응형의 압축실에서의 연속방정식은 식 (1)과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{V_c}{K} \frac{\partial P_c}{\partial t} = -A_p \dot{x} + (Q_r + Q_c) \text{sgn}(\dot{x}) \quad (1)$$

여기서,  $K$ 는 유체의 체적탄성계수(bulk modulus of elasticity),  $V_c$ 는 압축실 체적,  $P_c$ 는 압축실 압력,  $A_p$ 는 피스톤 단면적,  $\dot{x}$ 는 피스톤 속도,  $Q_r$ 은 인장실과 압축실사이의 유량,  $Q_c$ 는 저장실과 압축실사이의 유량을 나타낸다. 또한,  $\text{sgn}(\dot{x})$ 는  $\dot{x} > 0$  이면 양(+),  $\dot{x} < 0$  이면 음(-)을 나타낸다. 같은 방법으로 인장실의 연속방정식은 식 (2)와 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{V_r}{K} \frac{\partial P_r}{\partial t} = (A_p - A_{rod}) \dot{x} - Q_r \text{sgn}(\dot{x}) \quad (2)$$

여기서,  $V_r$ 은 인장실 체적,  $P_r$ 은 인장실 압력,  $A_{rod}$ 는 피스톤로드 단면적을 나타낸다.

#### 3.2 압축 행정에서의 유량방정식

압축행정에서 피스톤밸브를 통한 인장실과 압축실 사이의 유량  $Q_r$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_r = Q_{ri} + Q_{ro} + Q_{rd} \quad (3)$$

$$Q_{ri} = C_d A_{pb} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_c - P_{d1})} = C_d A_{d1} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{d1} - P_r)} \quad (4)$$

$$Q_{ro} = C_d A_{d2} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_c - P_{d2})} = Q_{im} \frac{(P_{d2} - P_{icr})}{(P_{im} - P_{icr})} \quad (5)$$

단,  $P_{d2} < P_{icr}$ 이면  $Q_{ro} = 0$  이다.

$$Q_{rd} = C_d A_{ds} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_c - P_r)} \quad (6)$$

여기서,  $C_d$ 는 유량계수(coefficient of discharge),  $A_{pb}$ 는 피스톤밸브(1)의 블리드밸브(4) 교축단면적,  $A_{d1}$ 과  $A_{d2}$ 는 피스톤밸브 교축(port restriction)(3)

의 단면적,  $A_{ds}$ 는 변위감응교축의 단면적,  $P_{dl}$ 과  $P_{ds}$ 는 피스톤밸브 교축에서의 압력,  $Q_{im}$ 은 인테이크밸브(6)의 최대유량,  $P_{icr}$ 은 인테이크밸브의 크래킹압력(cracking pressure),  $P_{im}$ 은 인테이크밸브의 최대유량에서의 압력을 나타낸다. 그리고 여기서,  $Q_{rd}$ 는 피스톤의 변위가 변위감응구간을 벗어나면 0이 된다. 또한, 압축행정에서의 몸체밸브를 통한 압축실과 저장실 사이의 유량  $Q_c$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_c = C_d A_{ds} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_c - P_{ds})} = Q_{ci} + Q_{cf} \quad (7)$$

$$Q_{ci} = C_d A_{bb} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{ds} - P_d)} \quad (8)$$

$$Q_{cf} = Q_{bm} \frac{(P_{ds} - P_{bcr})}{(P_{bm} - P_{bcr})} \quad (9)$$

단,  $P_{ds} < P_{bcr}$ 이면  $Q_{cf} = 0$

여기서  $A_{bb}$ 는 몸체밸브(2)의 블리드밸브 교축 단면적,  $A_{ds}$ 는 몸체밸브의 교축(8) 단면적,  $P_{ds}$ 는 몸체밸브 교축의 압력,  $P_a$ 는 저장실의 압력,  $Q_{bm}$ 은 몸체밸브의 블로오프밸브 최대유량,  $P_{bcr}$ 은 몸체밸브의 블로오프밸브 크래킹 압력,  $P_{bm}$ 은 몸체밸브의 블로오프밸브 최대유량에서의 압력을 나타낸다.

### 3.3 인장 행정에서의 유량방정식

인장행정에서 피스톤밸브를 통한 인장실과 압축실 사이의 유량  $Q_r$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_r = C_d A_{dl} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_r - P_{dl})} + Q_{rd} = Q_{ri} + Q_{rf} + Q_{rd} \quad (10)$$

$$Q_{ri} = C_d A_{pb} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{dl} - P_c)} \quad (11)$$

$$Q_{rf} = Q_{pm} \frac{(P_{dl} - P_{pcr})}{(P_{pm} - P_{pcr})} \quad (12)$$

단,  $P_{dl} < P_{pcr}$ 이면  $Q_{rf} = 0$

$$Q_{rd} = C_d A_{ds} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_r - P_c)} \quad (13)$$

여기서  $Q_{pm}$ 은 피스톤밸브의 블로오프밸브(5) 최대유량,  $P_{pcr}$ 은 피스톤밸브의 블로오프밸브 크래킹압력,  $P_{pm}$ 은 피스톤밸브의 블로오프밸브 최대유량에서의 압력을 나타낸다. 또한,  $Q_{rd}$ 는 피스톤의 변위가 변위감응구간을 벗어나면 0이 된다. 또한, 인장행정에서의 몸체밸브를 통한 압축실과 저장실 사이의 유량  $Q_c$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_c = Q_{ci} + Q_{co} \quad (14)$$

$$Q_{ci} = C_d A_{bb} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_a - P_{ds})} = C_d A_{ds} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_{ds} - P_c)} \quad (15)$$

$$Q_{co} = C_d A_{dl} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_a - P_{dl})} = Q_{sm} \frac{(P_{dl} - P_{scr})}{(P_{sm} - P_{scr})} \quad (16)$$

단,  $P_{dl} < P_{scr}$ 이면  $Q_{co} = 0$

여기서  $A_{dl}$ 는 몸체밸브 교축(8)의 단면적,  $P_{dl}$ 는 몸체밸브 교축에서의 압력,  $Q_{sm}$ 은 흡입밸브(7)의 최대유량,  $P_{scr}$ 은 흡입밸브의 크래킹압력,  $P_{sm}$ 은 흡입밸브의 최대유량에서의 압력을 나타낸다.

### 3.4 저장실의 유동해석

저장실은 압축실의 압력변동에 따라 몸체밸브를 거쳐 압축실에 유체를 보충하여 주거나, 여분의 유체를 받아들여 저장하기도 한다. 저장실 공기의 압력은 식 (17)과 같은 이상기체방정식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{air} V_{air} = m_{air} RT \quad (17)$$

여기서  $P_{air}$ 는 저장실 공기압력,  $V_{air}$ 는 저장실 공기체적,  $m_{air}$ 는 저장실 공기질량,  $R$ 은 기체상수,  $T$ 는 저장실 공기의 절대온도를 나타낸다. 저장실은 밀폐되어 있으므로 저장실 공기의 질량  $m_{air}$ 가 일정하고, 온도  $T$ 가 일정하다고 가정하면

이상기체방정식은 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{air} V_{air} = const \quad (18)$$

여기서 저장실 공기체적  $V_{air}$ 의 시간에 대한 체적변화는 피스톤 중립점에서의 체적  $V_{airo}$ 에서 저장실로 출입하는 유체의 체적을 뺀 식 (19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{air}(t) = V_{airo} - \int Q_c dt \quad (19)$$

그러므로 저장실 공기의 압력변동은 식 (17)과 식 (19)로부터 식 (20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{air} = \frac{m_{air}RT}{V_{airo} - \int Q_c dt} \quad (20)$$

### 3.5 피스톤 감쇠력

충격흡수기의 감쇠력은 피스톤 양단에 작용하는 압력 차에 의한 힘에 의하여 결정된다. 이 밖에 감쇠력을 결정하는 힘은 피스톤로드에 작용하는 마찰력 등이 있지만 마찰력에 의한 영향은 무시하였다. Fig. 4에 피스톤 양단에 작용하는 힘을 표시하였다. Fig. 4로부터 피스톤에 작용하는 감쇠력은 식 (21)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{damping} = P_r A_r - P_c A_p \pm F_{friction} \quad (21)$$

여기서  $F_{damping}$ 은 감쇠력,  $A_r = A_p - A_{rod}$ ,  $F_{friction}$ 은 피스톤로드에 작용하는 마찰력을 나타낸다.

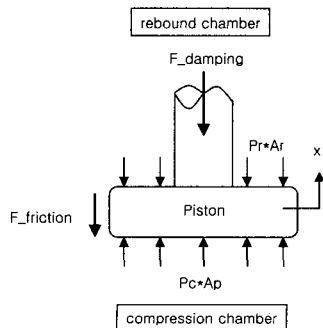


Fig. 4 Damping force of shock absorber

## 4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

### 4.1 변위감응형 충격흡수기 단품에 대한 시뮬레이션결과

가진속도 0.1, 0.3, 0.6, 1.2 m/sec일 때의 변위-감쇠력선도 및 속도-감쇠력선도에 대한 시뮬레이션 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5로부터 스트로크  $\pm 20$  mm 근방에서 변위감응 특성에 의해 감쇠력이 소프트모드에서 하드모드로 변함을 알 수 있다. 특히, 과도영역에서는 감쇠력이 완만히 변화하므로 급격한 감쇠력 변화를 방지하기 위한 과도영역의 특성이 잘 나타나 있음을 알 수 있다. 본 시뮬레이션 결과의 타당성을 검증하기 위하여 다른 연구<sup>(7)</sup>에서 제시한 시험결과를 Fig. 7에 나타내었다. 본 연구에서 제시한 결과와 매우 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

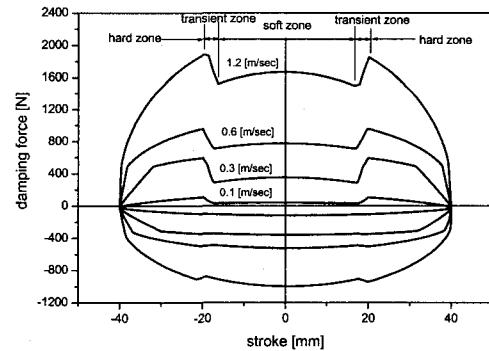


Fig. 5 Simulation result of stroke-damping force diagram of displacement sensitive shock absorber

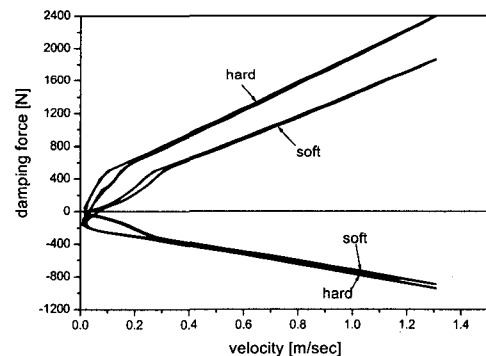


Fig. 6 Simulation result of velocity-damping force diagram of displacement sensitive shock absorber

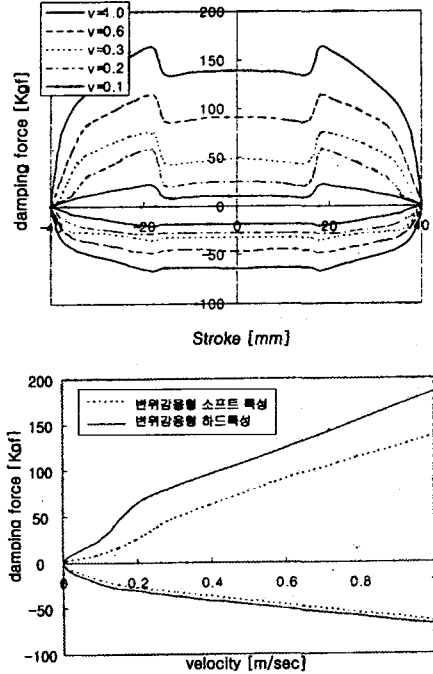


Fig. 7 Experimental result of stroke-damping force and velocity-damping force diagram of displacement sensitive shock absorber

4.2 1/4 차량 시뮬레이션 결과

실제 차량에서의 동적거동을 해석하기 위한 1/4 차량모델을 Fig. 8에 나타내었다. 여기서 타이어는 스프링 특성과 감쇠특성을 모두 가지는 모델로 선정하였으며, 변위감응특성을 구현하기 위하여 차체와 차륜의 절대 변위로부터 충격흡수기의 상대변위를 계산하여, 상대변위에 따른 소프트영역과 하드영역을 감지하여 감쇠력이 변화되도록 모델링 하였다. Table 1에 1/4 차량 시뮬레이션에 사용한 주요 물리량을 나타내었다. Table 1에서 주어진 주요 파라미터에 의한 차체의 감쇠비는  $C = 1,273 \text{ N/m/sec}$  및  $1,697 \text{ N/m/sec}$  일 때 각각 0.3, 0.4가 된다. 또한, 변위감응형 충격흡수기의 동적특성을 분석하기 위하여 Table 2와 같이 4가지 모드의 감쇠계수를 선정하여 비교하였다. 여기서 미드모드(mid mode)는 소프트모드와 하드모드의 중간 특성을 가지며 변위감응형과 비교대상이 되는 수동형 충격흡수기의 특성이라고 가정하였다. 또한, 변위감응형은 소프트모드와 하드모드의 2가지 모드를 가진다고 가정하였다.

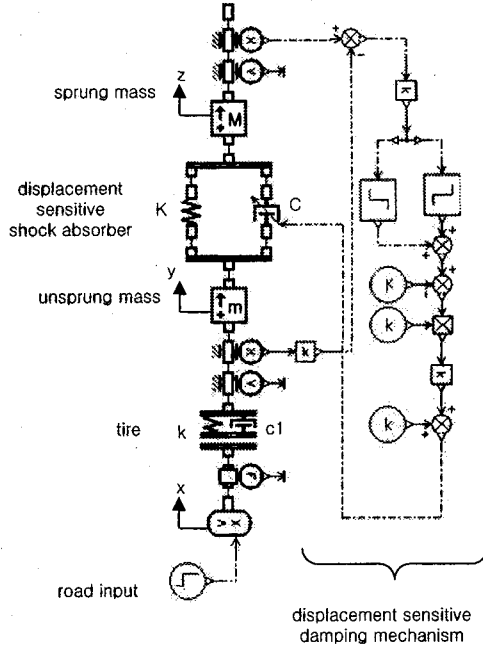


Fig. 8 Quarter car simulation model of displacement sensitive shock absorber

Table 1 Parameters of quarter car simulation model

parameter	value
sprung mass M	250 Kg
unsprung mass m	50 Kg
shock absorber spring constant K	18 N/mm
shock absorber damping coefficient C	1,273 ~ 1,697 N/m/sec
tire spring constant k	270.8 N/mm
tire damping coefficient c1	0.1 N/m/sec

Table 2 Damping modes

mode	damping coefficient [N/m/sec]	damping ratio $\zeta$
soft mode	1,273	0.3
mid mode	1,485	0.35
hard mode	1,697	0.4
displacement sensitive mode	1,273 ~ 1,697	0.3 ~ 0.4

±30 mm 스텝입력에 대한 변위감응형의 변위-감쇠력선도와 속도-감쇠력선도를 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 9는 충격흡수기의 상대 변위에 따른 감쇠력 변화 이력을 나타낸 것으로 ±20 mm의 변위감응 구간에서 감쇠력이 소프트모드에서 하드모드로 변화되고 있음을 알 수 있다.

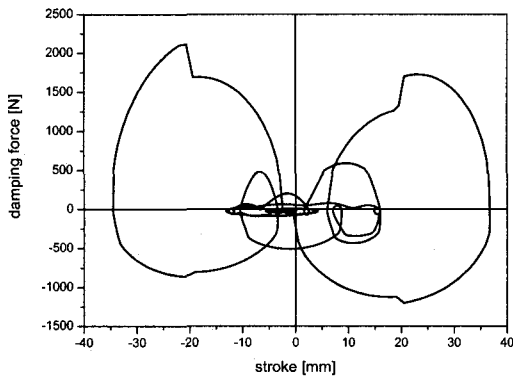


Fig. 9 Stroke-damping force diagram of displacement sensitive shock absorber at ±30 mm step input

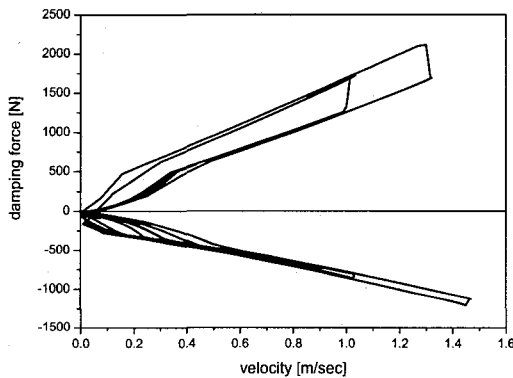


Fig. 10 Velocity-damping force diagram of displacement sensitive shock absorber at ±30 mm step input

Fig. 11과 Fig. 12에 ±30 mm 스텝입력에 대한 인장실, 압축실 및 저장실의 압력 및 유량변동을 나타내었다. Fig. 11로부터 스텝입력 초기의 인장실의 최대압력은 34.6 bar, 압축실의 최대압력은 32.5 bar, 저장실 최대압력은 1.2 bar임을 알 수 있다. 또

한 Fig. 12로부터 스텝입력 초기의 압축실 최대유량은 61.6 lpm, 인장실 최대유량은 44.6 lpm, 저장실 최대유량은 17.7 lpm임을 알 수 있다. Fig. 13에 ±30 mm 스텝입력에 대한 변위감응교축을 통과하는 유량을 나타내었다. 그림으로부터 변위감응 특성에 의해 그림의 "A" 및 "B"에서 소프트모드에서 하드모드로 변하며 동시에 교축을 통과하는 유량이 순간적으로 0이 됨을 알 수 있다. 또한 교축을 통과하는 최대 유량은 8.2 lpm임을 알 수 있다.

### 4.3 주파수 특성 시뮬레이션 결과

차량의 주행 특성은 차체 수직가속도(sprung mass vertical acceleration), 타이어 동적력(dynamic wheel force) 및 현가장치변위(suspension deflection)에 의하여 영향을 받는다. 차체 수직가속도는 차체에 전달되는 진동의 크기를 나타내는 값으로 승차감과 관련되며, 타이어 동적력은 타이어와 노면사이의 접촉성(road holding)에 영향을 미치며 주행안정성에 영향을 미친다. 현가장치의 변위는 현가시스템의 작동에 필요한 공간(rattle space)에 영향을 미치므로 현가시스템 설계시의 구속조건(constraint)이 된다. 본 연구에서는 이러한 3가지 물리량에 대한 주파수 특성을 수동형 충격흡수기(미드모드)와 비교 분석하였다. Fig. 14는 차량의 승차감에 영향을 미치는 차체 수직가속도의 PSD(Power Spectrum Density)를 나타내었다. 변위감응형은 차체 공진점 및 차체 공진점과 특정 주파수(약 3.6 Hz)까지는 소프트특성을 나타내고 3.6Hz 부터 차륜 공진점까지는 하드특성을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 변위감응 특성에 의해 특정 주파수 이상에서는 승차감이 매우 저하되어 승차감에 악영향을 미침을 알 수 있다. Fig. 15는 현가장치변위(suspension deflection)에 대한 PSD 특성을 나타내었다. 그림에서와 같이 3.6Hz 근방까지는 소프트특성을 가지며 3.6Hz 이상에서는 하드모드 특성을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 3.6 Hz 이하의 주파수 영역에서는 수동형 충격흡수기에 비해 현가변위특성이 저하되지만 3.6 Hz 이상에서는 향상됨을 알 수 있다. Fig. 16은 차량의 주행안정성에 영향을 미치는 타이어 동적력에 대한 주파수 특성을 나타내었다. 타이어 동적력은 3.6Hz 이하의 주파수영역에서는 수동형 충격흡수기(미드특성)와 거의 유사한 경향을 보이지만 3.6Hz 이상에서는 하드특성을 보여 타이어 동적력 특성이 크게 향상됨을 알 수 있다.

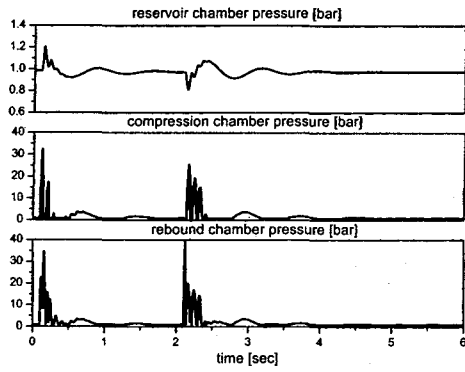


Fig. 11 Pressure variation of rebound, compression and reservoir chamber at  $\pm 30$  mm step input

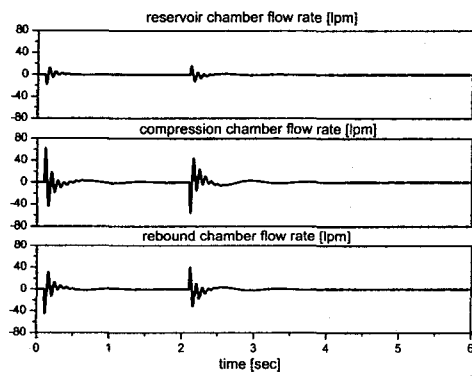


Fig. 12 Flow rate variation of rebound, compression and reservoir chamber at  $\pm 30$  mm step input

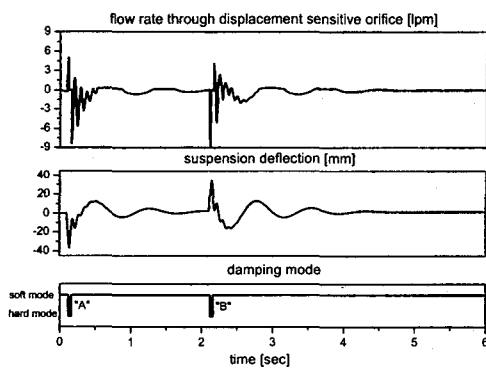


Fig. 13 Flow rate through displacement sensitive orifice

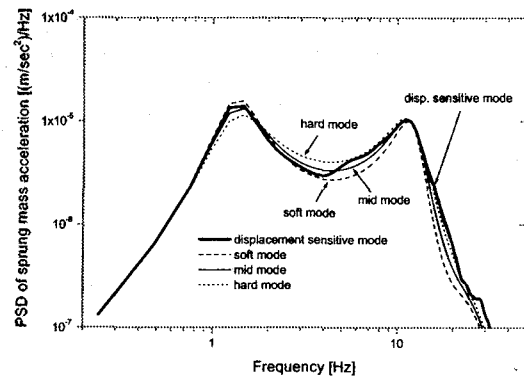


Fig. 14 PSD of sprung mass acceleration

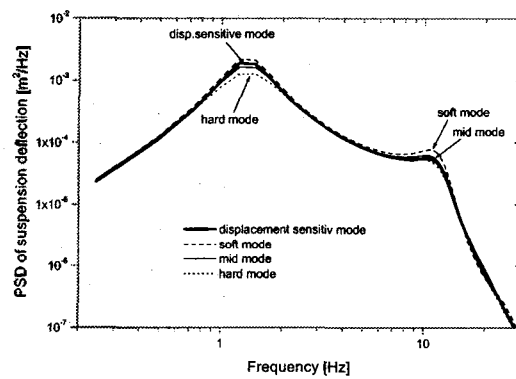


Fig. 15 PSD of suspension deflection

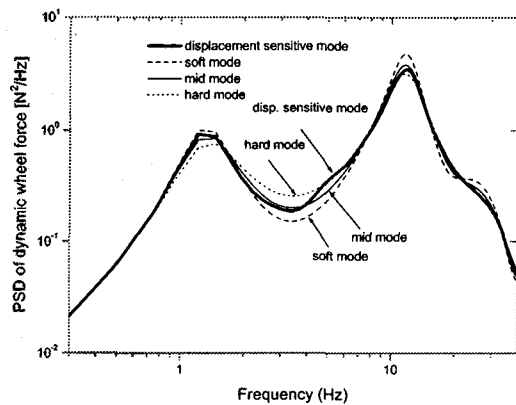


Fig. 16 PSD of dynamic wheel force



## 5. 결론

변위감응형 충격흡수기에 대한 시간영역 및 주파수영역에서의 차량 동력학적 특성분석을 수행한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구를 통하여 실험결과와 경향이 잘 일치하는 감쇠력을 예측할 수 있는 비선형 동적 모델을 제시하였다. 특히, 본 연구에서 제시한 과도영역을 고려한 모델은 과도영역 특성이 실험결과와 경향이 잘 일치함을 확인하였다.

(2) 1/4차량 모델을 이용하여 변위감응형 충격흡수기의 시간영역에서의 주요챔버의 압력 및 유량 변동 및 감쇠력선도 변화를 제시하였다.

(3) 변위감응형 충격흡수기의 승차감은 시내주행 등의 통상적인 양로주행에서는 수동형 충격흡수기에 비해 소프트한 감쇠력을 유지하여 우수한 승차감을 나타내지만, 본 연구에서 보인바와 같이 악로 또는 범퍼통과와 같은 큰 변위의 조건에서는 특정 주파수 이상에서 승차감이 저하되는 특성이 있다.

(4) 악로 또는 범퍼통과와 같은 큰 변위의 조건에서의 주행안정성은 특정 주파수 이하에서는 수동형 충격흡수기와 비슷한 성능을 나타내지만 특정 주파수 이상에서는 수동형 충격흡수기에 비해 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

(5) 현가장치변위는 특정 주파수 이하에서는 수동형 충격흡수기에 비해 성능이 저하되지만 특정 주파수 이상에서는 하드모드의 특성을 나타냄으로서 성능이 향상됨을 확인하였다.

## 참고문헌

1. Lang. Harold Harvey, "A Study of the Characteristics of Automotive Hydraulic Dampers at High Stroking Frequencies," Ph. D. dissertation, university of michigan, 1977.
2. Koenraad Reybrouck, "A Nonlinear Parametric Model of an Automotive Shock Absorber," SAE 940869.
3. F. Herr, T.Malin, J.Lane and S.Roth, "A Shock Absorber Model Using CFD Analysis and Easy5," SAE International Congress and Exposition, 1999-01-1322.
4. Stefaan W. Duym, Randy Stiens, Gino V.Baron,

Koenraad G. Reybrouck, "Physical Modeling of the Hysteretic Behaviour of Automotive Shock Absorbers," SAE 970101.

5. John G. Cherng and Tone Ge, John Pipis and Richard Gazala, "Characterization of Air-Borne Noise of Shock Absorber by Using Acoustics Index Method," SAE International Congress and Exposition, 1999-01-1838.
6. 박재우, 주동우, 김영호, "변위감응형 충격흡수기의 연구," 한국정밀공학회지, 제14권, 제11호, pp. 11-16, 1997.
7. 조경일, 소상균, "새로운 구조의 스트로크 감응형 댐퍼연구," 한국자동차공학회논문집, 제7권, 제3호, pp. 294-300, 1999.