韓國精密工學會 '97年度 秋季學術大會論文集 pp.518~523

상용차 운전석의 수동식 가변댐퍼에 대한 동적특성 해석

(Dynamic Characteristics Analysis of A Manually-Controlled Damper for Driver's Seat of Commercial Vehicles)

박재우*, 백운경(부경대학교, 자동차공학과), 김영호(부산대학교, 정밀정형 및 금형가공 연구센터)
Jae-Woo Park*(Tech. Center DPI),Woon Kyung Baek(Pukyung Univ.), Young-Ho Kim(Pusan Univ.)

ABSTRACT

To improve the seat comfort of commercial vehicles in various road conditions, it is necessary to design a seat shock absorber which can avoid the vibration zone imposing the discomfort feeling and fatigue on drivers. Through the vibration and dynamic analysis, a shock absorber that has 4 steps of damping ability is developed. Dynamic characteristics analysis of the seat damper is performed considering each valve and oil path for the design purpose.

Key Words : 4 steps damper(4단 충격흡수기), piston(피스톤), dynamic characteristic curve(동특성 커브), damping force(감쇠력), oil path(오일 유로)

1.서 론

상용차 운전석의 현가장치는 운전자의 승차감과 작업능률의 향상을 위해 노면으로 부터 진동 및 충격을 2차적으로 완화시켜주는 장치이다.

노면과 차량 타어어로 부터의 1차적인 진동 및 충격의 절연은 현가스프링, 댐퍼, 고무부싱 등의 현가장치가 담당하고 있다. 스프링 하부 질량으로 부터의 진동은 보통 10Hz 정도의 주파수 영역에 속한다. 이러한 스프링 하부 질량의 진동은 차량의 현가장치를 통해 진동 절연이 됨으로 10Hz 이하의 진동에 대해서는 운전석의 현가장치가 담당해야 한다.

일반적으로 승차감은 차량설계에 있어서 중요한 설계목표 중의 하나이다. 불쾌한 승차감은 운전자의 피로를 증대시킬 뿐만아니라 손과 눈의 동작에 영향을 미쳐 안전운행에도 지장을 초래한다. 승차감은 근본적으로 운전자의 주관적인 판단과 관계가 깊다. 그러나 많은 연구 결과 여러 가지의 객관적인 파라미터가 알려지게 되었다.

인체의 진동에 대한 허용치는 가속도 데이터와 관련이 있으며, ISO 2631[1]에서는 주파수 단계별 RMS(Root Mean Square)와 관련시켜 진동정도를 나타내었다. Griffin[2]은 차바닥의 운동에 대한 운전석의 운동을 퍼센트로 나타낸 'SEAT(Seat Effective Amplitude Transmissibility)'로 나타내었다. Pradko와 Lee[3]는 승차감의 척도를 흡수마력(Absorbed Power)으로 나타내었는데, '흡수마력'이란 인체에 전달된 가진력과 속도의 곱으로 계산된다. Janeway[4]는 '흡수마력'을 승차감을 판별하는 가장 좋은 방법이라고 하였다. 또한 Janeway는 운전석에 대한 수직방향의 진동판별 기준으로서 진동주파수 별로 진동폭의 상한치를 제시하고 주파수 대역을 1~6Hz, 6~20Hz, 20~60Hz 등 3가지 구간으로 구분하여 수직운동에 대한 운전자의 승차감 한계를 규정하였다. Rowell[5]은 승차감과 관련한 진동수는 1.5~2.3Hz 사이가 인체에 적절하다고 제시하였다. 이 주파수는 인체가 보행시 주파수이며, 인체와의 반응과

관련하여 다음과 같은 실험결과를 나타내었다.

1) 내이(inner ear)가 계속적으로 0.5-0.75Hz의 진동을 받으면 현기증이 생긴다.

2) 내장부위(viseral region)가 5-7Hz의 진동을 계속 받으면 멀미를 일으킨다.

3) 머리와 목부분은 18-20Hz의 진동에 민감하다.

그리하여 다양한 노면조건에 대한 운전자의 승차감 향상을 위해 진동, 동역학 해석을 통해 예측된 운전석 시트(seat)가 받게되는 진동 주파수 및 진동폭[6]에 대해 이러한 가진 입력으로 부터 시트가 최대한 진동 흡수를 하여 운전자가 불쾌감 및 피로를 느끼게되는 진동영역을 회피할 수 있는 4단의 감쇠성능을 가진 충격흡수기 개발을 위해 충격흡수기내 각 밸브 및 유로에 의해 형성되는 동적거동특성에 대해 해석을 수행하고자 한다.

2. 수학적 모델링을 위한 가정

충격흡수기 시스템의 수학적 모델링을 위해 필요한 가정은 다음과 같다.

1) 밸브의 누설량은 없다.

2) 캐비테이션(cabitation)은 발생하지 않는다.

3) 오리피스를 통한 압력강하로 인한 damping lag은 없는 것으로 한다..

4) 오리피스내에서 마찰손실과 누설은 없으며, 작동유의 온도와 밀도는 일정하다.

5) 오리피스내에서 작동유의 압축성은 무시한다.

6) 디스크 밸브의 재질은 homogenous하고, symmetric 하다.

Fig.1은 시트용 충격흡수기의 전체적인 개략도를 나타낸 것이다.

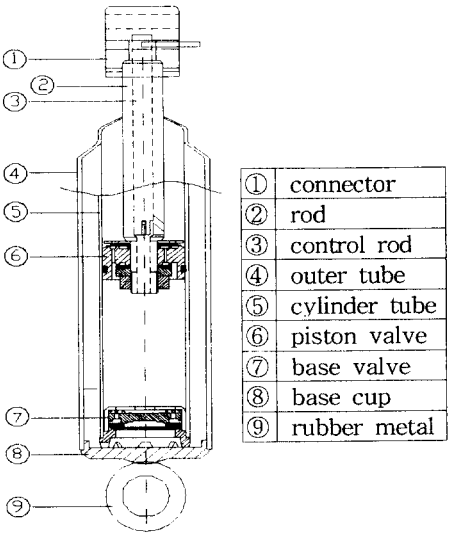


Fig.1 schematic of shock absorber for seat

3. 유동 시스템

도로의 조건이 달라지면, 운전자가 레바를 작동시켜 피스톤 조절 로드를 통해 오리피스의 유로면적을 조절함으로써 4단의 감쇠성능을 발생시킨다. 따라서 이 유로를 통한 유동을 고려하여 인장, 압축시 달라지는 유동 모델링을 수행하여야 한다.

Table 1 매뉴얼 방식 내부 조절 오리피스 유로형상

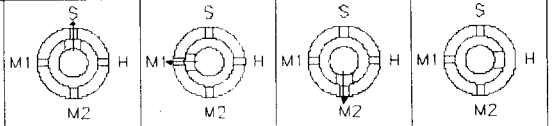
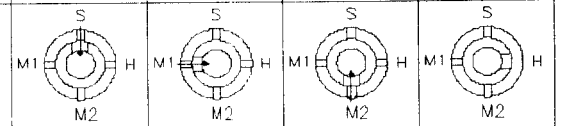
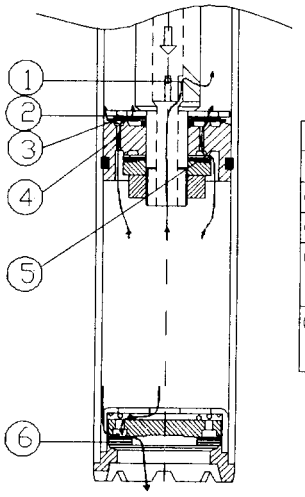
	SOFT	MEDIUM 1	MEDIUM 2	HARD
압축				
인장				

Table 1은 4단 충격흡수기의 매뉴얼 방식 내부 조절 오리피스 유로형상을 나타낸 것이다. 도로의 상

태에 따라 아스팔트길, 콘크리트길, 비포장도로, 자갈길로 나누고, 각각의 상태에 따라 알맞은 댐핑계수값을 적용하여 1단, 2단, 3단, 4단으로 조절할 수 있도록 되어 있다.

3.1 압축행정

압축시에는 압축실의 오일을 베이스 밸브쪽에 있는 압축 디스크 밸브를 밀고 저장실로 빠져나가면서 압축감쇠력을 형성시키고, 또 피스톤의 바깥쪽 구멍을 닫고 있는 피스톤 디스크 스프링의 장력을 밀고 인장실로 오일이 유입되면서 부가적인 감쇠력이 동시에 형성된다.



①	control rod hole
②	disc spring
③	rebound dis
④	piston outer hole
⑤	piston constant control disc
⑥	base compression disc

Fig. 2 Oil flux during compression process

Fig.2는 압축행정시 유동상태를 나타낸 것으로 일반적으로 저속구간(0.05m/s)에서는 베이스 밸브위의 일정 틈새를 가진 밸브(base valve constant disc)를 통해 유동이 일어나고, 점차 속도가 빨라지면 압축밸브(compression disc)의 강성(stiffness)을 이기면서 압축 밸브의 처짐양만큼 오일유동이 발생하게된다.

그리하여 베이스 밸브부와 피스톤 밸브부의 유량식은 다음과 같이 결정되어진다.

$$Q_{Bc} = C_{dBci} A_{Bci} \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{(P_c - P_{res})}{H_{Bci}}} \quad (1)$$

$$Q_{Pc} = C_{dPci} A_{Pci} \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{(P_c - P_r)}{H_{Pci}}} + C_{dPco} A_{Pco} \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{(P_c - P_r)}{H_{Pco}}} \quad (2)$$

Fig.4에서 피스톤 로드를 통한 내부 조절 오리피스를 통한 유동이 있을때에는 식(2)가 다음과 같게 되어진다.

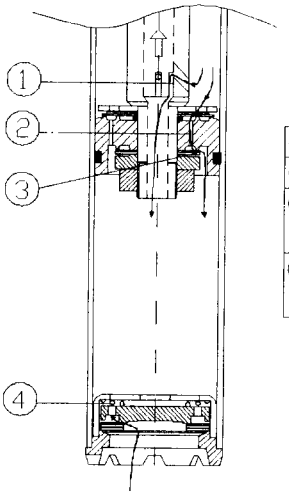
$$Q_{Pc} = C_{dPci} A_{Pci} \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{(P_c - P_r)}{H_{Pci}}} + C_{dPco} A_{Pco} \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{(P_c - P_r)}{H_{Pco}}} + C_{dPc_{hole}} A_{Pco_{hole}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_c - P_r)} \quad (3)$$

그리하여 압축실의 압력(P_c) 변화율은 다음식과 같이 된다.

$$\beta V_c \frac{\partial P_c}{\partial t} = -A_p \dot{X} + (Q_{Pc} + Q_{Bc}) sgn(\dot{X}) \quad (4)$$

3.2 인장행정

인장시에는 인장실의 오일이 피스톤의 안쪽 구멍을 통해 리바운드 밸브를 밀면서 압축실로 의 유동이 일어나면서 인장감쇠력을 형성시키고, 또한 로드 표면의 구멍을 통하여 컨트롤 로드의 홈을 통과하면서 감쇠력을 형성시키며 로드의 아래쪽 구멍을 통하여 압축실로 오일유동이 일어난다. 이때 컨트롤 로드의 홈의 크기를 컨트롤핀을 이용하여 조절함으로써 감쇠력을 변화시키게 된다. 그리고 저장실의 오일은 로드의 체적만큼 베이스 밸브의 코니컬 스프링(conical spring)을 밀면서 압축실로 흡입된다.



①	control rod hole
②	piston inner hole
③	piston compression dis
④	base conical spring

Fig.3 Oil flux during extension process

Fig.3는 인장행정시 오일의 유동상태를 나타낸 것으로 인장 감쇠력을 조절하기 위해서는 피스톤 압축 디스크(piston compression disc)의 물성치, 두께, 갯수, 외경/내경의 비 등으로 결정되어 진다.

그리하여 베이스 밸브부와 피스톤 밸브부의 유량식을 나타내면 다음과 같다.

$$Q_{Br} = C_{dBr} A_{Br} \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_{res} - P_c)} \quad (5)$$

$$Q_{Pr} = C_{dPr} A_{Pr} \sqrt{\frac{2}{\rho}\frac{(P_r - P_c)}{H_{Pr}}} \quad (6)$$

Fig.7에 나타낸 것처럼 피스톤 로드를 통한 내부 조절 오리피스를 통한 유동이 있을때에는 식(6)이 다음과 같게 되어진다.

$$Q_{Pr} = C_{dPr} A_{Pr} \sqrt{\frac{2}{\rho}\frac{(P_r - P_c)}{H_{Pr}}} + C_{dHole} A_{PrHole} \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_r - P_c)} \quad (7)$$

그리하여 인장실의 압력(P_r) 변화율은 다음식과 같이 된다.

$$\beta V_r \frac{\partial P_r}{\partial t} = -(A_p - A_{rod})\dot{X} - Q_{Pr}\, sgn(\dot{X}) \quad (8)$$

4. 4단 충격흡수기의 수치해석 결과 및 검토

4단 충격흡수기의 압축과 인장행정에 관한 유량방정식으로 부터 각 유량에 따른 압력 변화율식을 유도하여 변화된 압력을 피스톤에 작용하는 감쇠력에 대입하여 감쇠성능을 얻게 된다.

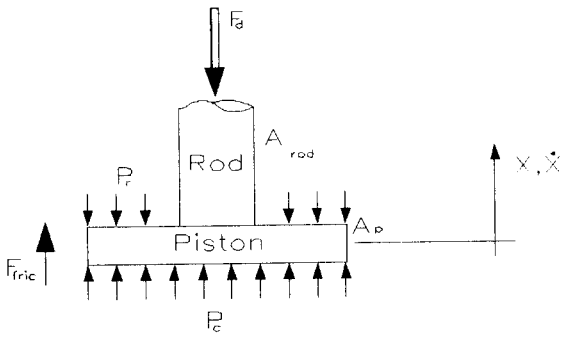


Fig.4 Free body diagram of piston

Fig.4은 피스톤 밸브 양단면에 작용하는 압력차에 의한 감쇠력에 대한 자유물체도로 감쇠력은 다음식으로 얻어진다.

$$F_{Damping\ Force} = P_r(A_p - A_{rod}) - P_c A_p \pm F_{fric} \quad (9)$$

식(9)에서 F_d 는 충격흡수기에서 발생하는 감쇠력을 나타내며, P_r 은 인장실(rebound chamber)의 압력, P_c 는 압축실(compression chamber)의 압력 그리고 A_p 는 피스톤 밸브의 단면적, A_{rod} 는 피스톤 로드의 단면적이고, F_{fric} 는 내부 실린더와 피스톤 밸브 사이의 마찰력을 나타낸다.

이 식으로 부터 얻고자 하는 감쇠성능을 구하는 절차를 Fig.5의 플로우차트를 통해 나타내었다.

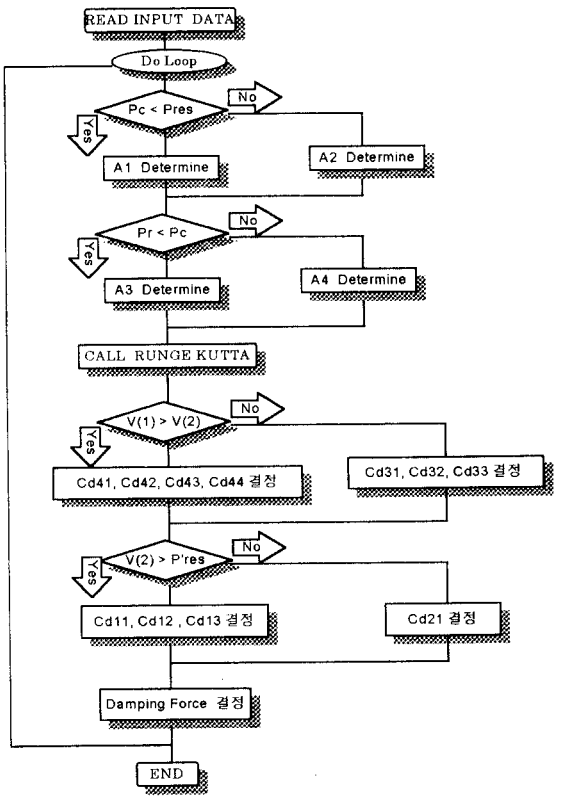


Fig.5 Flowchart of 4 steps shock absorber

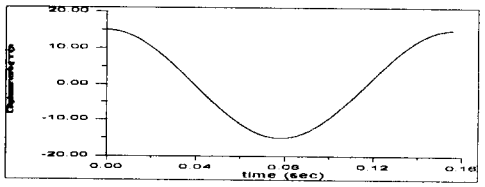
우선 입력 데이터로 부터 치수 및 변수값들을 읽어들여서 압축실과 저장실의 압력을 비교해서 인장과

압축을 결정한 다음 베이스 밸브부의 밸브 열림량에 따른 유량 단면적을 계산한다. 그리고 피스톤부도 마찬가지로 인장실과 압축실의 압력을 비교하여 피스톤 밸브의 열림량에 따른 주요 밸브의 유량 단면적을 계산한다. 그런 다음 변위에 따른 피스톤 로드의 체적 변화율에 기인한 각 실의 압력 변화율을 Runge Kutta 법을 통해 계산한다. 또한 그때의 각 오리피스를 통과하는 유량에 따른 유량계수(coefficient of discharge)를 결정한다. 변화된 압력을 감쇠력식에 대입함으로써 시간, 변위, 속도에 따른 감쇠성능을 산출하게 되는 것이다.

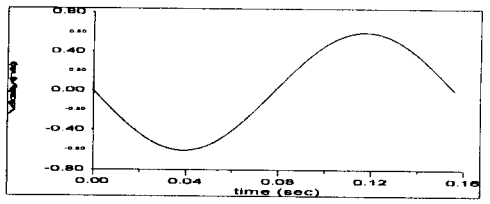
$$x = dm \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (10)$$

$$\dot{x} = \omega dm \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (11)$$

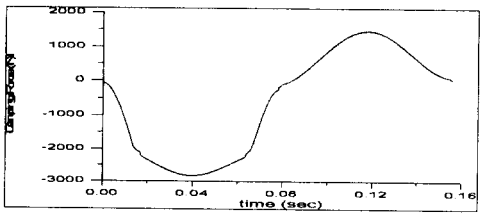
이므로 Fig.6에 시간에 따른 변위, 속도 그리고 감쇠력 선도가 다음과 같다.



(a) stroke



(b) velocity



(c) damping force

Fig.6 Stroke, velocity, damping force vs time

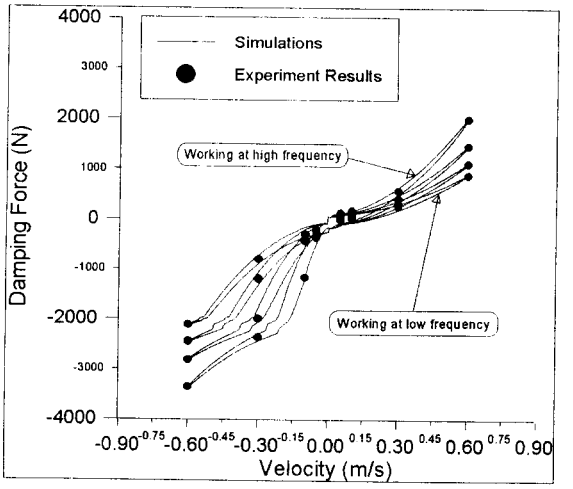


Fig.7 Variation of damping forces according to velocities

Fig.7는 속도에 따른 4단 감쇠 성능을 나타내는 그림으로 낮은 진동수 영역에서는 비교적 부드러운(soft) 감쇠성능이, 그리고 높은 진동수 영역에서는 높은 감쇠 성능으로 조절할 수 있다. 그림에서 실험치와 상당히 잘 일치하고 있지만, 높은 감쇠 성능 영역의 저속구간에서는 실험치와 약간의 차이를 보이고 있다.

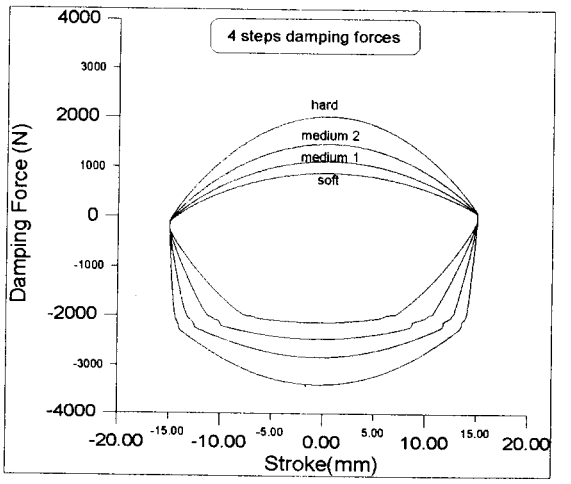


Fig.8 4 steps damping forces variation according to strokes

상용차용 운전석 시트의 충격흡수기에서는 비교적 낮은 속도 레벨인 0.05와 0.1, 0.3 m/s에서의 감쇠 성능을 기준으로 삼고 있다.

Fig.8은 변위(stroke)에 따른 감쇠 성능을 나타낸 그래프로 면적은 흡수되는 에너지를 말한다. 따라서 그래프에서 soft 에서 hard로 갈수록 흡수해야할 에너지가 많다는 것을 알 수 있다. 즉, 진동흡수 능력이 향상되는 것을 알 수 있다.

상용차용 운전석 시트의 충격흡수기는 비교적 짧은 stroke에서 큰 감쇠력을 발생시키므로 운전석 시트의 기구(mechanism)를 효과적으로 활용한 최적설계가 요구된다.

5. 결 론

상용차의 운전자가 경험하게 되는 운전조건과 노면조건이 다양하므로 동역학 시뮬레이션을 통해 운전석 현가장치의 스프링 상수와 댐핑계수에 대한 적절한 값이 제시된 몇가지 전형적인 조건에서 진동절연 효과를 발휘할 수 있는 4단 충격흡수기가 개발되었다.

본 연구를 통해 피스톤 로드의 유로 단면적 변화에 따른 4단 감쇠성능을 발휘하는 충격흡수기의 동적거동 특성 해석과 실제 실험결과를 비교하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 노면 입력주파수에 따른 감쇠력을 기계적으로 변환시킬 수 있다.

2) 저주파 입력시와 고주파 입력시 감쇠계수를 알맞게 변화시켜줌으로써 안정성과 승차감을 향상시킬 수 있다.

3) hard, soft 감쇠력 변환 포인트를 인장과 압축행정에서 각각 가변시킬 수 있다.

[참고문헌]

1. Inernational Standard Organization(ISO 2631) "Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration", 1974

2. Griffin, M. J., "The Evaluation of Vehicle Vibration and Seats", Applied Ergonomics, Vol. 9, pp. 15-21,1978.

3. Pradko, F., Lee, R., "Vibration Comfort Criteria", SAE 660139.

4. Janeway, R. N., "Human Vibration Tolerance Criteria and Applications to Ride Evaluation", SAE 750075.

5. T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc, 1992.

6. '96 지역컨소시엄 공동기술개발 과제, "4단 감쇠력 조절기능을 가진 Seat용 Shock Absorber 개발", 부경대학교 산학연협동연구센터