

제어가능한 시트 댐퍼를 적용한 차량의 승차감 평가

Ride Quality Evaluation of Vehicle Adopting Controllable Seat Damper

한영민† · 최성철* · 민철기**

Young-Min Han, Seong-Cheol Choi and Chul-Gi Min

1. 서 론

화물을 수송하기 위한 대형트럭이나 특수설비가 장착된 특수차량과 같은 상업용 차량은 산업 전반에 걸쳐 활용되고 있지만, 운전자는 장시간의 운행, 장거리, 거친 도로환경 등으로 인하여 일반 승용차 운전자에 비해 가혹한 운행 환경에 노출되어 있으며, 과도한 진동 노출에 의해 피로와 질병 등 건강상의 문제를 겪게 된다. 이와 같이 운전자에 직접적으로 전달되는 진동을 억제하기 인체에 직접 접촉하여 진동을 억제할 수 있는 시트 현가장치(seat suspension)의 장착 필요성이 대두되었다.

일반적인 수동형 시트 현가장치는 안정성이 높지만 단일 감쇠특성만을 가지게 되므로 변화하는 외부의 조건에 적절히 대응하지 못한다. 따라서 최근 전기유변유체(electrorheological fluid: ER 유체)를 이용한 운전석용 반능동 ER 시트댐퍼가 제안되었다. 그러나 운전자와 시트 현가장치 시스템의 동특성을 고려하지 않고 단순히 시트프레임의 변위와 가속도를 제어하고 있다. 특히, 실제 운전자와 강체모델 사이의 동적 거동에 큰 차이가 있음에도 운전자를 강체로 하여 모델링을 수행함으로써 인체의 진동특성을 고려한 제어기 설계에 있어 매우 미흡하다⁽¹⁾. 따라서 본 연구에서는 시트와 인체의 동적거동 상태를 고려한 제어알고리즘을 ER 시트현가장치에 적용하여 승차감 향상을 입증하고자 한다.

2. ER 시트 현가장치

본 연구에서는 시트 현가장치를 위해 전기장에

따라 전단응력이 변화하는 ER 유체를 도입하였다. 먼저 전기장 부하 시 ER 유체의 전단응력 증가에 따른 압력강하는 다음과 같다.

$$P_{ER} = 2 \frac{L}{h} \tau_y(E) = 2 \frac{L}{h} \alpha E^\beta \quad (1)$$

여기서 $\tau_y(E)$ 는 ER 유체의 항복응력으로 $16.5E^{1.97} Pa$ 로 측정되었다. 그리고 h, L 은 각각 유로의 간극과 길이를 나타낸다.

유체 유동 시 발생하는 쿨롱 마찰력과 유체 관성을 무시할 때 ER 시트댐퍼의 동적지배방정식은 다음과 같다.

$$F_d = \frac{A_p^2}{C_g} x_p + (A_p - A_r)^2 R_e \dot{x}_p + (A_p - A_r) P_{ER} \text{sgn}(\dot{x}_p) \quad (2)$$

여기서 F_d 는 ER댐퍼의 댐핑력, R_e 는 ER유체가 원형 덕트사이로 유동할 때 발생하는 유체저항을 나타낸다. 그리고 x_p 는 피스톤 변위를 나타내고, A_r 과 A_p 는 각각 피스톤과 로드의 단면적이다. 또한 C_g 는 가스챔버에서 압축성으로 인해 발생하는 컴플라이언스이다. Fig. 1(a)는 실제 제작된 댐퍼를 보여주고 있다.

본 연구에서는 고려한 시트의 진동제어를 위해 인체진동모델을 이용한 시스템의 모델링을 수행하였다⁽¹⁾. Fig. 2(b)는 인체를 고려한 진동모델을 보여주며, 동적 지배방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0) - k_1(x_1 - x_0) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2(x_2 - x_1) - u \\ m_2 \ddot{x}_2 &= -c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_2(x_2 - x_1) + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + k_3(x_3 - x_2) \\ m_3 \ddot{x}_3 &= -c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - k_3(x_3 - x_2) + c_4(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) + k_4(x_4 - x_3) \\ m_4 \ddot{x}_4 &= -c_4(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) - k_4(x_4 - x_3) + c_5(\dot{x}_5 - \dot{x}_4) + k_5(x_5 - x_4) \\ m_5 \ddot{x}_5 &= -c_5(\dot{x}_5 - \dot{x}_4) - k_5(x_5 - x_4) + c_6(\dot{x}_6 - \dot{x}_5) + k_6(x_6 - x_5) \\ m_6 \ddot{x}_6 &= -c_6(\dot{x}_6 - \dot{x}_5) - k_6(x_6 - x_5) \end{aligned} \quad (3)$$

그리고 상태변수 \mathbf{X} 를 정의하면 식(3)는 다음과 같이 상태방정식의 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}} &= \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{U} + \mathbf{D} \\ \mathbf{Y} &= \mathbf{C}\mathbf{X} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\mathbf{X} = [x_1 \ \dot{x}_1 \ x_2 \ \dot{x}_2 \ x_3 \ \dot{x}_3 \ x_4 \ \dot{x}_4 \ x_5 \ \dot{x}_5 \ x_6 \ \dot{x}_6]^T$$

† 교신저자; 정회원, 아주자동차대학 자동차계열

E-mail : ymhan@motor.ac.kr

Tel : (041) 939-3183, Fax : (041) 939-3490

* 아주자동차대학 자동차계열

** 인천대학교 기계시스템공학부

3. 제어기 설계 및 승차감 평가

시트 현가장치의 제어를 위해 댐퍼에 들어갈 제어입력은 슬라이딩모드 제어기법에 의해 다음과 같이 결정되었다.

$$u(t) = -(g\hat{B})^{-1}(g\hat{A}\hat{x}(t) + k \cdot sat(s)) \quad (5)$$

여기서 k 는 불연속계인, $sat(s)$ 는 포화함수이다.

운전자가 차량을 운행 중 전신평폭 진동에 대한 안락감의 손실 정도를 승차감이라 하고, 특히 머리에서 느끼는 진동의 영향이 크다. 운전자가 느끼는 진동의 양은 진동 가속도의 주파수 성분에 따라서 상대적으로 인식을 하게 된다. 본 연구에서는 ISO 2631에 제시된 가중치를 고려하여 승차감을 평가하였고, 인체피폭진동의 누적량을 고려한 진동피폭량(vibration dose value : VDV)과 진동의 가혹성을 나타내는 피고율(crest factor)을 계산하였다.

$$VDV = \left[\int_{t=0}^{t=T} a_w^4(t) dt \right]^{1/4}, \quad f_c = \frac{[a_w(t)]_{\max}}{a_w} \quad (6)$$

여기서 $a_w(t)$ 는 ISO 2631에 따른 가중치를 고려한 가속도의 시간 함수이다.

Fig. 2는 운전자의 승차감을 평가하기 위한 실험 장치의 구성을 보여준다. 운전자는 유압장치로 가진되는 시트 위에 직접 앉아 있으며 운전자의 머리에서 측정된 가속도를 이용하여 승차감을 평가하였다. Fig. 3은 랜덤 가진에 따른 제어결과이다. 운전자 머리에서의 가속도가 감소하고 있으며, 피로 한계 곡선인 FDP(fatigue decreased proficiency boundary)와 비교하여 운전자가 피로가 감소하고 있음을 확인하였다. 또한 운전자에게 전달되는 VDV 비와 피고율은 각각 20%와 50%로 감소하였다.

4. 결론

본 논문에서는 가혹한 운행 조건 하에 있는 상용차 운전자의 승차감을 향상 시키기 위하여, ER 댐퍼를 이용한 반능동형 시트 현가장치를 제안하고, 인체진동 모델을 고려한 슬라이딩모드 제어기를 구축하여 진동제어 성능을 실험적으로 평가하였다. 그리고 머리에서 측정된 가속도로부터 승차감 평가지수를 도출하여 우수한 승차감 향상 효과를 입증하였다.

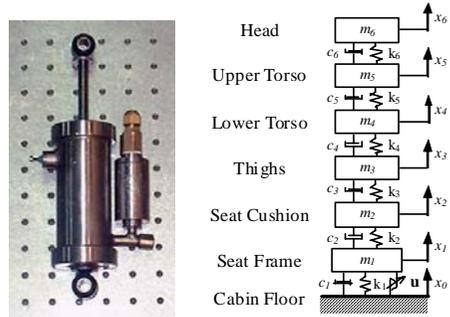
후 기

본 논문은 2011년 아주자동차대학(산학협력단)의

연구지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- (1) Rahkeja S., Afework Y., Sankar S., 1994, An Analytical and Experimental Investigation of the Driver-Seat-Suspension System, Vehicle System Dynamics, 23, pp. 501~524.



(a) manufactured damper (b) mechanical model

Fig. 1 ER seat suspension

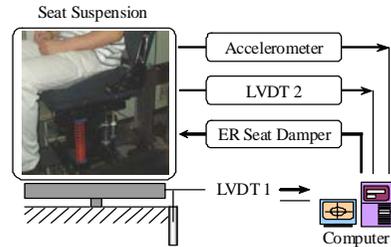


Fig. 2 Experimental set-up

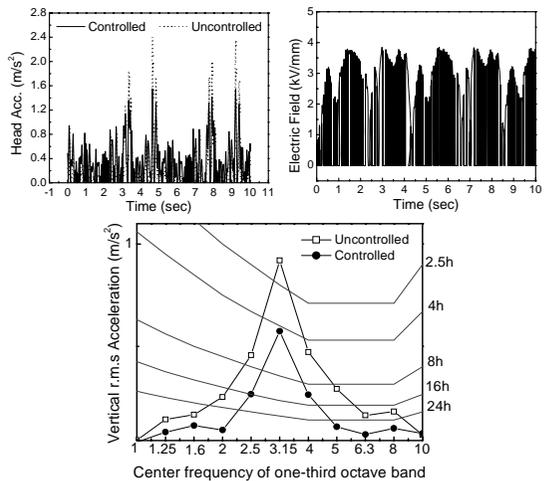


Fig. 3 Control results