

# 제어 가능한 댐퍼를 적용한 시트 현가장치의 승차감 평가

## Ride Quality Evaluation of Seat Suspension Adopting Controllable Damper

한 영 민\* · 민 철 기\*

Young-Min Han and Chul-Gi Min

(2011년 11월 15일 접수 ; 2011년 11월 28일 심사완료)

**Key Words :** Seat Suspension(시트 현가장치), Damper(댐퍼), Sliding Mode Controller(슬라이딩모드 제어기), Ride Quality(승차감), Electrorheological Fluid(전기유변유체), Human Vibration(인체진동)

### ABSTRACT

In the present work, a seat suspension system adopting semi-active damper is evaluated for driver's ride quality. A cylindrical type of ER(electrorheological) damper is designed and manufactured for the seat suspension of heavy vehicles. The governing equation is derived under consideration of human vibration. A sliding mode controller is then synthesized and experimentally realized on the manufactured ER seat suspension while a driver is sitting on the controlled seat. Ride quality is evaluated by fatigue decreased proficiency boundary, vibration dose value and crest factor utilizing weighted-acceleration according to ISO2631.

### 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 운전자 가혹한 운행 환경에 노출되어 있다. 특히 상업차량은 주행안정성(driving stability)에 설계 주안점을 두고 개발되어 왔기 때문에 전륜의 큰 롤강성은 운전자가 큰 진동에 노출되게 한다. 따라서 운전자는 과도한 진동 노출에 의해 피로와 질병 등 건강상의 문제를 겪게 된다. 이와 같이 운전자에게 직접적으로 전달되는 진동을 억제

하기 인체에 직접 접촉하여 진동을 억제할 수 있는 시트 현가장치(seat suspension)의 장착 필요성이 대두가 되었다<sup>(1-3)</sup>.

일반적인 시트 현가장치는 작동기가 없는 형태의 댐퍼를 사용함으로써 저가이며, 안정성이 높다. 하지만 단일 감쇠특성만을 가지게 되므로 변화하는 외부의 조건에 적절히 대응하지 못한다. 따라서 최근 전기유변유체(electrorheological fluid: ER 유체)를 이용한 운전석용 반능동 ER 시트댐퍼가 제안되었다. ER 유체는 전기장의 인가에 따라 빠른 응답특성과 연속적인 변화를 보인다. 따라서 ER 시트댐퍼는 ER 유체의 이러한 특성을 가지므로 실시간 제어에 적합하다. 이러한 특성을 이용한 반능동형 ER 시트댐퍼의 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.

대표적으로 Wu 등은 ER 시트댐퍼를 제안하였고, on-off 제어기를 구현하여 시트의 end-stop 충격방지를 통하여 타당성을 검증하였고<sup>(4)</sup>, McManus 등은 상용차용 MR 시트댐퍼를 제작하였으며, 적응제어를 구현하여 실제시트에 장착하고 성능을 고찰하였다<sup>(5)</sup>. 국내의 경우에는 Choi 등이 ER 시트댐퍼

† 교신저자; 정회원, 아주자동차대학 자동차계열  
E-mail : ymhan@motor.ac.kr  
Tel : (041)939-3183, Fax : (041)939-3490

\* 인천대학교 기계시스템공학부

# 이 논문의 일부는 2011년 추계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

를 제작하여 제어 성능을 고찰하였다<sup>(6)</sup>. 그러나 이러한 연구들은 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.

따라서 이 연구에서는 시트와 인체의 동적거동 상태를 고려한 제어알고리즘을 ER 시트현가장치에 적용하여 운전자의 승차감(ride quality) 향상을 입증하고자 한다. 이를 위해 Choi와 Han이 인체진동을 고려하여 수행한 ER 시트댐퍼 연구를 확장하여 다양한 조건에서 진동제어 실험과 승차감 해석을 수행하였다<sup>(7)</sup>. 먼저 운전자의 수직 진동을 보다 정확하게 모델링 할 수 있는 4DOF 인체진동모델을 사용하여 ER 시트 현가장치를 모델링 하였으며, 인체의 동적거동을 고려하여 슬라이딩 모드 제어를 설계하였다. 그리고 제작된 시트현가장치를 실험적으로 구현하기 위해 1/4 차량 모델을 기반으로 임의가진 노면을 유압장치로 인가하였으며, 실제 운전자를 시트에 착석하도록 하여 운전자 머리와 시트프레임에서의 진동을 측정하였다. 이로부터 인체피폭 피폭량에 대한 다양한 평가지수를 적용하여 운전자의 승차감을 평가하였다.

## 2. ER 시트 현가장치

이 연구에서는 시트 현가장치를 위해 전기장에 따라 전단응력이 변화하는 ER 유체를 도입하였다. 그리고 기존의 수동형 시트댐퍼 댐핑력 크기를 고려하기 위해 ER 유체의 항복응력에 근거하여 댐핑력을 산출하고 댐퍼를 설계하였다. 이 연구에서 제안된 실린더형 ER 시트댐퍼는 ER 유체가 원형 덕트사이로 유동할 때 발생하는 유체저항은 다음과 같이 주어진다.

$$R_e = \frac{12\eta L}{bh^3} \quad (1)$$

여기서  $\eta$ 는 ER 유체의 점성계수이며,  $b$ ,  $h$ ,  $L$ 은 각각 유로의 폭, 간극, 길이를 나타낸다. 한편 전기장 부하시 ER 유체의 전단응력 증가에 따른 압력 강하는 다음과 같다.

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

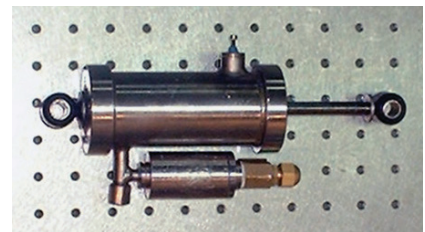
여기서  $\tau_y(E)$ 는 ER 유체의 항복응력을 표현한 것으로 전기장  $E$ 의 크기에 지수함수의 관계를 갖는다.  $\alpha$  및  $\beta$  값은 ER 유체의 고유치이며, 이 연구에 적용된 ER 유체는 실리콘 오일을 기본유로 하는 것으로  $16.5E^{1.97} Pa$ 의 항복응력 관계식으로 표현할 수 있다.

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

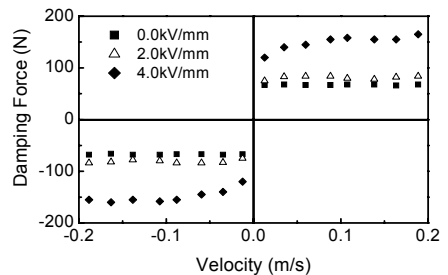
$$F_d = \frac{A_p^2}{C_g} x_p + (A_p - A_r)^2 R_e \dot{x}_p + (A_p - A_r) P_{ER} \operatorname{sgn}(\dot{x}_p) \quad (3)$$

여기서  $F_d$ 는 ER 댐퍼의 댐핑력을 나타낸다. 그리고  $x_p$ ,  $\dot{x}_p$ 는 피스톤 변위와 속도를 나타내고,  $A_r$ 은 피스톤 로드 단면적이고,  $A_p$ 는 피스톤 단면적을 나타낸다. 또한  $C_g$ 는 가스챔버에서 압축성으로 인해 발생하는 컴플라이언스이다. Fig. 1은 실제 제작된 댐퍼와 측정된 댐핑력을 보여주고 있다.

이 연구에서는 ER 시트댐퍼를 이용하여 현가



(a) Manufactured damper



(b) Measured damping force

Fig. 1 ER seat damper

장치를 구축하였으며, 승차감을 고려한 시트의 진동제어를 위해 인체진동모델을 이용한 시스템의 모델링을 수행하였다. Fig. 2는 제안된 진동모델을 보여준다. 시트는 프레임과 시트쿠션의 운동을 고려하였고, 운전자의 동적 거동을 보다 정밀하게 표현하기 위해 머리, 뒷상체, 아래상체, 윗다리로 구성된 4자유도의 인체진동모델을 도입하였다. 상기의 모델로부터 동적 지배방정식을 유도하면 다음과 같다<sup>(7)</sup>.

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 &= -c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0) - k_1(x_1 - x_0) \\
 &\quad + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2(x_2 - x_1) - u \\
 m_2 \ddot{x}_2 &= -c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_2(x_2 - x_1) \\
 &\quad + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + k_3(x_3 - x_2) \\
 m_3 \ddot{x}_3 &= -c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - k_3(x_3 - x_2) \\
 &\quad + c_4(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) + k_4(x_4 - x_3) \\
 m_4 \ddot{x}_4 &= -c_4(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) - k_4(x_4 - x_3) \\
 &\quad + c_5(\dot{x}_5 - \dot{x}_4) + k_5(x_5 - x_4) \\
 m_5 \ddot{x}_5 &= -c_5(\dot{x}_5 - \dot{x}_4) - k_5(x_5 - x_4) \\
 &\quad + c_6(\dot{x}_6 - \dot{x}_5) + k_6(x_6 - x_5) \\
 m_6 \ddot{x}_6 &= -c_6(\dot{x}_6 - \dot{x}_5) - k_6(x_6 - x_5)
 \end{aligned} \tag{4}$$

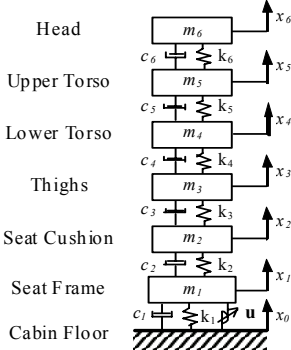


Fig. 2 Mechanical model

Table 1 Parameter values of seat-driver model

Parameter	Value	Parameter	Value
$m_1$	15 kg	$k_4$	162800 N/m
$m_2$	1 kg	$k_5$	183000 N/m
$m_3$	12.78 kg	$k_6$	310000 N/m
$m_4$	8.62 kg	$c_1$	830 Ns/m
$m_5$	28.49 kg	$c_2$	200 Ns/m
$m_6$	5.31 kg	$c_3$	2064 Ns/m
$k_1$	31000 N/m	$c_4$	4585 Ns/m
$k_2$	18000 N/m	$c_5$	4750 Ns/m
$k_3$	90000 N/m	$c_6$	400 Ns/m

여기서,  $m_1$ 과  $m_2$ 는 시트프레임과 쿠션의 질량,  $k_1$ 과  $c_1$ 은 시트 현가계의 스프링상수와 댐핑계수,  $k_2$ 와  $c_2$ 는 쿠션의 스프링상수와 댐핑계수를 각각 나타낸다.  $m_3, m_4, m_5$  그리고  $m_6$ 는 각각 넓적다리, 아랫상체, 윗상체, 머리의 질량을 나타낸다.  $k_3$ 와  $c_3$ 는 엉덩이(buttock)와 넓적다리뼈(thigh spine),  $k_4$ 와  $c_4$ 는 요추(lumbar spine),  $k_5$ 와  $c_5$ 는 흉부뼈(thoracic spine),  $k_6$ 와  $c_6$ 는 목뼈(cervical spine)의 스프링상수와 댐핑계수를 각각 나타낸다. 이 연구에서 도입된 시트와 인체모델의 각 매개변수 값은 Table 1과 같다. 식 (4)로부터 12개의 상태변수를 갖는 상태공간방정식으로 정리하면 다음과 같이 표현할 수 있다<sup>(7)</sup>.

$$\begin{aligned}
 \dot{X} &= AX + BU + D \\
 Y &= CX
 \end{aligned} \tag{5}$$

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

$$A = \begin{bmatrix}
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} & a_{68} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{85} & a_{86} & a_{87} & a_{88} & a_{89} & a_{8,10} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{10,7} & a_{10,8} & a_{10,9} & a_{10,10} & a_{10,11} & a_{10,12} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{12,9} & a_{12,10} & a_{12,11} & a_{12,12}
 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix}
 0 & -\frac{1}{m_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}^T$$

$$C = \begin{bmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix}
 0 & \frac{1}{m_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}^T$$

$$a_{21} = -\frac{k_1 + k_2}{m_1}, \quad a_{22} = -\frac{c_1 + c_2}{m_1}, \quad a_{23} = \frac{k_2}{m_1}, \quad a_{24} = \frac{c_2}{m_1},$$

$$a_{41} = \frac{k_2}{m_2}, \quad a_{42} = \frac{c_2}{m_2}, \quad a_{43} = -\frac{k_2 + k_3}{m_2}, \quad a_{44} = -\frac{c_2 + c_3}{m_2},$$

$$a_{45} = \frac{k_3}{m_2}, \quad a_{46} = \frac{c_3}{m_2}, \quad a_{63} = \frac{k_3}{m_3}, \quad a_{64} = \frac{c_3}{m_3},$$

$$\begin{aligned}
 a_{65} &= -\frac{k_3+k_4}{m_3}, & a_{66} &= -\frac{c_3+c_4}{m_3}, & a_{67} &= \frac{k_4}{m_3}, & a_{68} &= \frac{c_4}{m_3} \\
 a_{85} &= \frac{k_4}{m_4}, & a_{86} &= \frac{c_4}{m_4}, & a_{87} &= -\frac{k_4+k_5}{m_4}, & a_{88} &= -\frac{c_4+c_5}{m_4}, \\
 a_{89} &= \frac{k_5}{m_4}, & a_{8,10} &= \frac{c_5}{m_4}, & a_{10,7} &= \frac{k_5}{m_5}, & a_{10,8} &= \frac{c_5}{m_5}, \\
 a_{10,9} &= -\frac{k_5+k_6}{m_5}, & a_{10,10} &= -\frac{c_5+c_6}{m_5}, & a_{10,11} &= \frac{k_6}{m_5}, \\
 a_{10,12} &= \frac{c_6}{m_5}, & a_{12,9} &= \frac{k_6}{m_6}, & a_{12,10} &= \frac{c_6}{m_6}, & a_{12,11} &= -\frac{k_6}{m_6}, \\
 a_{12,12} &= -\frac{c_6}{m_6}
 \end{aligned}$$

시트 현가장치의 제어를 위해 댐퍼에 들어갈 제어입력은 슬라이딩모드 제어기법에 의해 결정되었다. 이를 위해 먼저 다음과 같이 슬라이딩 서피스를 설정하였다.

$$s = g\tilde{X}(t) \tag{6}$$

여기서  $\tilde{x}$ 는 전차수 상태관측기(full-order state observer)에 의해 다음과 같이 추정된 시스템 상태 변수이다.

$$\dot{\tilde{X}}(t) = A\tilde{X}(t) + Bu(t) + L(y - C\tilde{X}(t)) \tag{7}$$

그리고  $g = [g_1 \ g_2 \ g_3 \ g_4 \ \dots \ g_{12}]$ 는 슬라이딩 서피스의 기울기를 나타내는 벡터이고, 슬라이딩 모드가 존재하기 위한  $ss < 0$ 을 만족하는 슬라이딩 모드 제어기를 다음과 같이 설계할 수 있다.

$$u(t) = -(gB)^{-1}gA\tilde{X}(t) + k \cdot sat(s) \tag{8}$$

여기서  $k$ 는 불연속 계인,  $sat(s)$ 는 포화함수를 나타낸다. 최종 결정된 제어입력  $u$ 는 다음과 같이 전기장의 함수로 전환되어 ER 시트댐퍼에 공급된다.

$$E = \left[ \frac{u}{(A_p - A_r)} \cdot \left( \frac{h}{2L\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} \tag{9}$$

### 3. 승차감 평가

국제표준규격(ISO2631)에 명시된 바에 의하면 인체와 시트의 접촉부를 통해 인체로 전달되는 진동

량의 크기에 따라 인체에 미치는 영향이 다음과 같은 3가지의 범주로 구분된다. 즉 인간의 인지 레벨(perception level)이상의 진동 성분은 일차적으로 안락도(comfort)의 손실을 야기하며, 안락도 한계이상의 진동성분은 정상활동성(normal activity) 및 작업효율성(proficiency)의 저하를 초래하며, 이보다 더 가혹한 진동 성분은 건강과 안전(health and safety)을 침해하게 된다. 인체 피폭진동은 상용차 운전석 시트에서 운전자의 안락도를 평가하기 위한 주요한 요소이다. 인간이 인식할 수 있는 수준 이상의 진동에 신체가 노출되면 안락감을 잃게 된다.

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. Fig. 3은 인체로 전달되는 진동의 주파수 성분에 따른 인체의 인지 정도를 등가화 한 주파수 가중함수(frequency weighting function)이다<sup>(8)</sup>. 이 연구에서는 운전자의 머리에 가속도계를 으며, 측정된 단순 물리량인 가속도로부터 주파수별 인체 영향의 가중치가 고려된 가속도

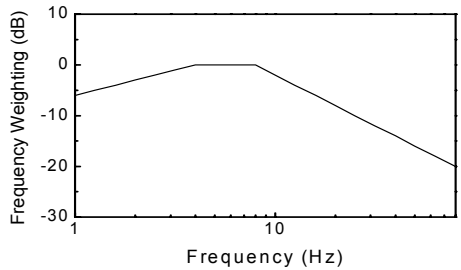


Fig. 3 Frequency weighting(ISO 2631-1)

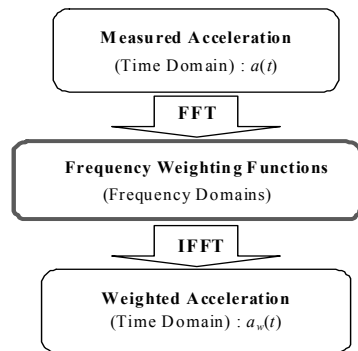


Fig. 4 Signal process of frequency weighting

(weighted-acceleration)를 도출하기 위해 Matlab프로 그램을 이용하였다. Fig. 4는 가중된 가속도를 얻기 위한 신호처리(signal processing)과정을 나타낸다. FFT(fast fourier transform)를 수행하여 주파수 영역에서 가중치를 적용하고 다시 IFFT(inverse fast fourier transform)를 통해 가중된 가속도의 시간 영역 값을 구하였다. 가중된 가속도는 운전성에 영향을 미치는 피로 한계 곡선인 FDP(fatigue decreased proficiency boundary)의 주파수 영역에서 운전자가 피로를 느끼는 정도를 평가할 수 있다<sup>(9)</sup>.

또한 제안된 현가장치가 적용된 시트에 있어 승차감과 관련한 성능을 평가하기 위해 운전석을 통해 운전자의 인체에 전달되는 진동피폭량(vibration dose value : VDV)을 고찰하였다.

$$VDV = \left[ \int_{t=0}^{t=T} a_w^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (10)$$

여기서,  $a_w(t)$ 는 가중된 가속도의 신호이며,  $T$ 는 측정된 진동신호의 개수이다. 실효치가 진동량의 단순 크기를 나타내는 것에 반해 VDV는 승차감에 관련된 안락도를 나타낸다. 이로부터 가진 입력과 시트프레임의 진동피폭량의 비는 다음과 같이 정의된다.

$$VDV \text{ ratio} = \frac{VDV_{seat}}{VDV_{floor}} \quad (11)$$

그리고 쇼크(shock) 등의 가진입력에 대한 운전자가 느끼는 승차감은 다음과 같은 과고율(crest factor)로 평가할 수 있다.

$$f_c = \frac{[a_w(t)]_{max}}{a_w} \quad (12)$$

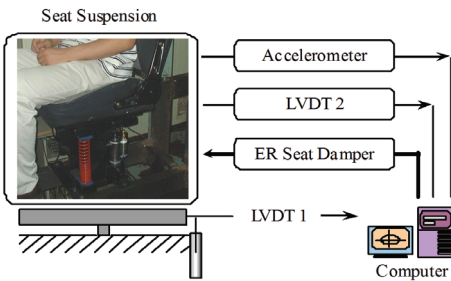
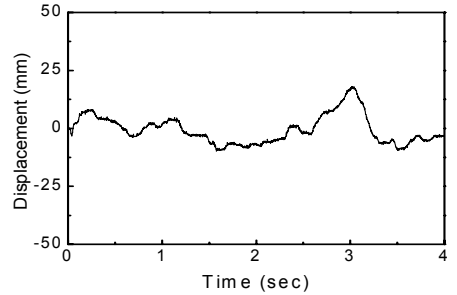
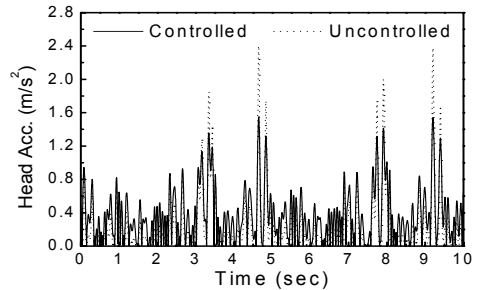


Fig. 5 Experimental set-up

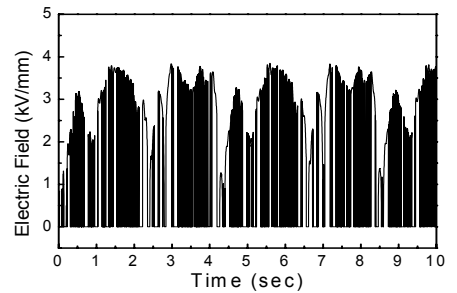
Fig. 5는 운전자의 승차감을 평가하기 위한 실험 장치의 구성을 보여준다. 운전자는 유압장치로 가진 되는 시트 위에 직접 앉아 있으며 시트 프레임에서



(a) Random excitation



(b) Head acceleration



(c) Control input

Fig. 6 Control results

Table 2 Parameter values of 1/4 vehicle model

Parameter	Value	Value
Unsprung mass	$m_{unsp}$	500 kg
Sprung mass	$m_{sp}$	400 kg
Damping ratio of suspensions	$c_{susp}$	0 Ns/m
Damping ratio of tire	$c_{tire}$	33000 Ns/m
Spring constant of suspensions	$k_{susp}$	400000 N/m
Spring constant of tire	$k_{tire}$	4000000 N/m

측정되는 변위에 따라 슬라이딩모드 제어기에 의해 제어입력이 결정되며, 운전자의 머리에서 측정된 가속도를 이용하여 승차감을 평가하였다. Fig. 6은 랜덤 가진에 따른 제어결과를 나타내고 있다. 노면으로부터 전달된 가진과 1/4차량 모델을 이용하여 시트를 가진하는 시트바닥의 진동을 계산하였다. 이때 이용된 차량모델의 주요 변수는 Table 2와 같다.

시간영역에서 도시된 Fig. 6의 결과와 같이 가진 입력에 따라 슬라이딩모드 제어기에 의해 계산된 전기장이 인가되고 있으며, 운전자 머리에서 가속도가 현저히 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 이 가속도에 Fig. 4의 절차에 따라 Fig. 3의 가중함수를 적용하여 실효치를 피로 한계 곡선에 도시하여 비교하면 Fig. 7과 같다. 결과에 나타난 바와 같이 운전자가 피로를 느끼는 한계 시간이 현저하게 증가되고 있으며, 특히 가장 피로가 극심한 3 Hz 대역에서 제안된 시트 현가장치에 의해 약 2시간의 작업시간을 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한, 시트

프레임에서 측정된 신호로부터 계산된  $VDV$ 비와 파고율은 Fig. 8과 같이 각각 20%와 50%로 감소하고 있으며 이로부터 운전자가 느끼는 승차감이 현저히 증가함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

이 논문에서는 가혹한 운행 조건 하에 있는 상용차 운전자의 승차감을 향상시키기 위하여, ER 댐퍼를 이용한 반응동형 시트 현가장치를 제안하였다. 그리고 인체진동 모델을 고려한 슬라이딩모드 제어기를 구축하여 제안된 시트현가장치의 진동제어 성능을 운전자를 가정한 실제 인체를 도입하여 실험적으로 평가하였다. 그리고 머리와 시트프레임에서 측정된 가속도에 인체 인지 정도를 등가화 한 주파수 가중함수를 적용하여 승차감 평가지수를 도출하였으며, 제안된 ER 시트현가장치의 우수한 승차감 향상 효과를 입증하였다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Amirouche, F., Palkovics, L. and Woodrooffe, J., 1994, Optimal Driver Seat Suspension Design for Heavy Trucks, Transportation Systems ASME, pp. 277~291.
- (2) Rahkeja, S., Afework, Y. and Sankar, S., 1994, An Analytical and Experimental Investigation of the Driver-seat-suspension System, Vehicle System Dynamics, Vol. 23, pp. 501~524.
- (3) Kim, H. K., Song, S. C. and Kwon S. K., 1995, Vibration Analysis of Seat-human Model for the Design of Seat Suspension System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 5, No.1, pp. 67~73.
- (4) Wu, X. and Griffin, M. J., 1997, A Semi-active Control Policy to Reduce the Occurrence and Severity of End-stop Impacts in a Suspension Seat with an Electrorheological Fluid Damper, Journal of Sound and Vibration, Vol. 203, No. 5, pp. 781~793.
- (5) McManus, S. J., Clair, K. A. St., Boileau, P. E. and Boutin, J., 2002, Evaluation of Vibration and

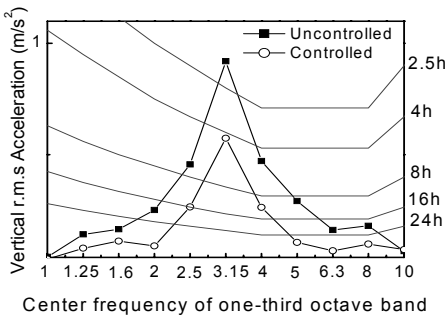


Fig. 7 Fatigue decreased proficiency boundary

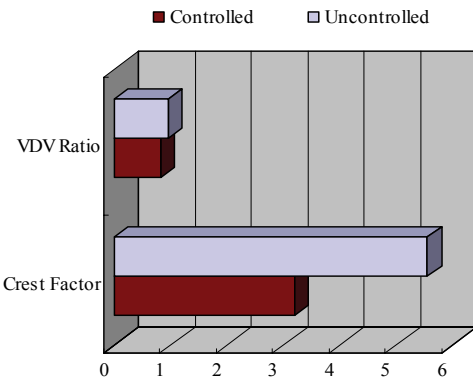


Fig. 8 Vibration dose value and crest factor of the ER seat suspension

Shock Attenuation Performance of a Suspension Seat with a Semi-active Magnetorheological Fluid Damper, Journal of Sound and Vibration, Vol. 253, No. 1, pp. 313~327.

(6) Choi, S. B., Choi, J. H., Nam, M. H., Cheong, C. C. and Lee, H. G., 1999, A Semi-active Suspension Using ER Fluids for a Commercial Vehicle Seat, Journal of Intelligent Material System and Structure, Vol. 9, No. 8, pp. 601~606.

(7) Choi, S. B. and Han, Y. M., 2007, Vibration

Control of Electrorheological Seat Suspension with Human Body Model Using Sliding Mode Control, Journal of Sound and Vibration, Vol. 303, No. 1-2, pp. 391~404.

(8) International Standard Organization ISO-2631/1, 1985, Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration, Part1: General Requirements.

(9) Fahy, F., 1998, Fundamental of Noise and Vibration, E & FN Spon.