

ER 엔진마운트를 장착한 승용차량의 진동제어 성능

송헌정* · 최승복** · 전영식***

Vibration Control Performance of a Passenger Vehicle Featuring ER Engine Mounts

Hyun-Jeong Song, Seung-Bok Choi and Young-Sik Jeon

Key Words : Electro-Rheological Fluid(전기유동유체), ER Engine Mount(ER 엔진마운트), Skyhook Controller(스카이훅 제어기), Hardware-in-the-Loop-Simulation(실시간 실험모의실험)

Abstract

This paper presents vibration control performance of a passenger vehicle installed with electro-rheological(ER) engine mounts. As a first step, a mixed-mode ER engine mount is modeled and manufactured. After verifying the controllability of the dynamic stiffness by the intensity of the electric field, ER engine mounts are incorporated with a full-car model. The governing equation of motion is then formulated by considering engine excitation force. A skyhook controller to attenuate vibration motions is designed. The controller is implemented through hardware-in-the-loop simulation and control responses are presented in the both frequency and time domains.

1. 서 론

차량에서의 진동과 소음의 주된 원인중 하나는 엔진 구동계로 엔진에서 발생하는 가스폭발력과 불균형력이고 이는 승차감 및 내구성을 저하시키는 요인들로 작용한다. 따라서 엔진의 움직임에 기인되는 자동차의 소음, 진동 문제를 해결하기 위해 최근 엔진마운트의 최적위치 결정과 우수한 성능의 엔진마운트 설계 및 제어를 위한 연구와 개발이 고무마운트, 유체봉입마운트와 같은 수동형 마운트에서부터 능동형 마운트까지 활발히 진행되고 있다.

이중 지능재료의 하나인 전기유동유체(electro-rheological fluid)를 이용한 반능동형 엔진마운트의 설계 및 제어가 국내외적으로 활발히 연구되고 있다. ER 엔진마운트에 관한 대부분의 연구는 유동모드 형태로, 전극이 두 평판 형태로 고정되고 그 사이로 ER 유체가 유동되게 된다. 이러한 유동모드

형태의 ER 엔진마운트는 높은 전기장부하로 락업 상태가 발생될 경우, 공진주파수 이후의 비교적 높은 주파수 대역에서 진동 절연성능의 악화가 발생된다⁽¹⁾. 반면, 전단모드형태의 ER 엔진마운트는 유동모드형태의 ER 엔진마운트에서 발생하는 큰 진동절연성능의 악화는 없지만, 큰 저항력을 발생시키기 위해서는 전극 면적이 크게 증가되는 단점이 있다⁽²⁾. 복합모드 형태의 엔진마운트는 락업상태시 발생하는 진동절연성능의 악화를 줄이고 구조를 단순화시킬 수 있는 장점을 가진다⁽³⁾. 이러한 ER 유체를 이용한 반능동형 엔진마운트에 관한 연구가 많이 진행되어 오고 있으나 실제 시스템에 적용을 위한 연구는 미비한 실정이다. 대부분의 ER 엔진마운트는 1자유도 모델을 통해 마운트시스템에 적용되어 왔으나 본 연구에서는 실제 차량 시스템에 적용 가능하도록 3자유도를 갖는 복합모드 ER 엔진마운트를 제안하였고 이를 장착한 13자유도를 갖는 전체차량모델을 구성한 후 동적지배방정식을 도출하였다. 위와 같이 유도된 시스템 지배방정식과 하드웨어인 ER 엔진마운트를 통해 HILS를 구성하고 성능평가를 수행하였다.

* 인하대학교 기계공학과 대학원

** 인하대학교 기계공학과

*** 유한대학 금형설계과

2. ER 엔진마운트의 모델링

본 연구에서 제안하여 설계·제작된 복합모드 ER 엔진마운트의 구조는 Fig.1 과 같다. 실제 시스템에 적용하여 사용할 수 있도록 ER 엔진마운트에서 ER 유체에 의해 수직방향(z 축방향)으로 발생하는 댐핑력외에 수평한 두개의 축방향에 대해 강성과 댐핑을 가지도록 설계하였다. 또한 ER 엔진마운트의 수직방향 이외의 가진력이 작용하더라도 전극간격을 일정하게 유지시키는 선형베어링으로 인해 수직방향에 의해서만 ER 효과에 의한 댐핑력이 작용하도록 하였으며 수평방향의 성분은 고무의 강성과 댐핑으로 진동절연을 담당하도록 하였다.

ER 엔진마운트의 해석을 위한 가정으로 ER 유체는 비압축성으로 가정하였고 ER 유체의 유동 및 고무의 탄성변형에 따른 열역학적 거동은 고려하지 않았다. 또한 전기장 인가시 ER 유체에 의한 댐핑력 발생은 수직방향(z 축)으로만 일어난다고 가정하였다.

본 연구에서 제안된 ER 엔진마운트는 Fig.2 와 같은 역학적 모델로 표현될 수 있고 이 모델로부터 복합모드 ER 엔진마운트에서 발생하는 댐핑력을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다⁽³⁾.

$$\begin{aligned} F_x &= c_{xxe} \dot{x} + k_{xxe} x \\ F_y &= c_{yye} \dot{y} + k_{yye} y \\ F_z &= c_{zze} \dot{z} + k_{zze} z + F_{ERz} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 k_{ij} 는 j 방향의 힘에 의해 i 방향으로 변위가 발생될 때 저항하는 강성이고 k_{xxe}, c_{xxe} 는 ER 엔진마운트가 가지고 있는 x 방향의 주강성과 댐핑이다.

$$F_{ERz} = F_{ERs} + 2 \frac{A_p C_2}{(C_1 + C_2)} \cdot \frac{L}{h} \tau_{yf} \operatorname{sgn}(\dot{z} - \dot{z}')$$

위식에서 C_1, C_2 는 각각 상부챔버와 하부챔버의 컴플라이언스, A_p 는 상부 피스톤 단면적 L 은 전극 길이, h 는 전극 간격이다. 그리고 첫째항 F_{ERs} 는 전기장 부하시 전단모드에 의한 ER 유체의 항복응력에 의한 댐핑력이고 둘째항은 전기장 부하시 유동모드에 의한 ER 유체의 댐핑력을 나타낸다.

Fig.3 (a), (b)는 각각 시뮬레이션과 실험을 통해 가진변위가 0.25mm로 일정할때의 동강성(dynamic stiffness) 값을 나타낸다. 이는 정현파형의 진동상태에 대한 마운트의 하중변화와 그것에 대한 변형 정도의 상호관계를 표시한 값이다. ER 엔진마운트

에 부하된 전기장은 각각 0, 1, 2 kV/mm 로 하였으며 전기장 부하에 따른 댐핑력 증가로 인해 동강성이 증가하는 경향을 확인 할 수 있다. 이를 통해 컴퓨터 시뮬레이션값과 실험치가 일치하는 것을 알 수 있었고 모델의 타당성을 확인 할 수 있다.

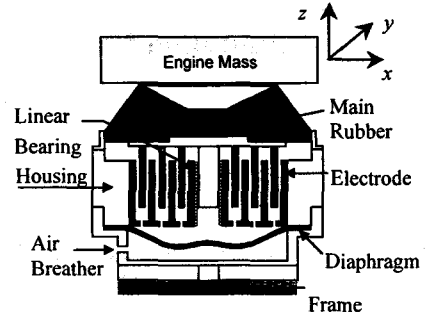


Fig. 1 Configuration of the mixed-mode ER engine mount

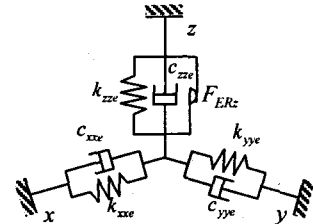


Fig. 2 Mechanical model of ER engine mount

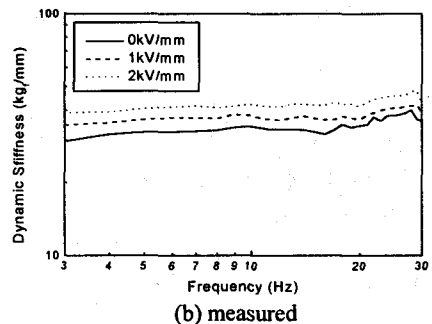
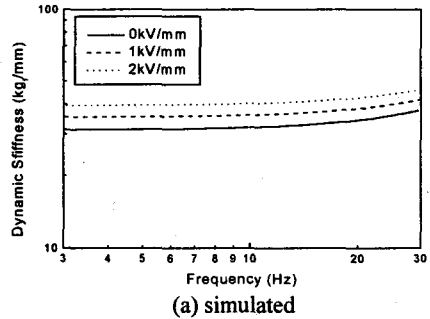


Fig. 3 Dynamic stiffness of ER engine mount

3. 전체 차량시스템의 모델링

전체 차량모델은 Fig.4 와 같이 13 자유도로 모델링하였다. 본 연구에서 사용된 엔진은 FF 형 4 실린더 4 행정 직렬(in-line)형이다. 엔진, 차체 그리고 차륜은 강체로 해석하였으며, 가진력으로는 엔진에서 발생하는 가진력과 차륜의 불균일 질량에 의한 가진력이 작용한다고 보았다. 엔진 마운트는 3 점 지지방식으로 엔진의 전방부(No.1), 후방부(No.2) 그리고 트랜스미션부(No.3)에 엔진마운트가 임의의 각도와 위치를 가지고 장착되었다.

ER 엔진마운트의 탄성축추과 평행한 마운트좌표계(x, y, z)를 방향여현(direction cosine)으로 구성된 좌표변환행렬($[T]$)을 이용하여 엔진의 무게중심을 기준으로 하는 엔진좌표계(X, Y, Z)로 변환을 시키면 다음과 같다(4).

$$\{X\} = [T]^T \{x\}, [K] = [T]^T [k] [T], [C] = [T]^T [c] [T] \quad (2)$$

여기서 $[K], [C]$ 는 엔진좌표계에서 강성과 댐핑이며 $[k], [c]$ 는 마운트좌표계에서의 강성과 댐핑을 나타낸다. 이로부터 ER 엔진마운트가 장착되었을 경우 전체차량시스템 지배방정식을 구하면 다음과 같다.

- X 축 방향의 힘에 대한 평형방정식 :

$$\begin{aligned} m\ddot{X} + \sum_{n=1}^3 C_{xx}\dot{X} + \sum_{n=1}^3 C_{yx}\dot{Y} + \sum_{n=1}^3 C_{zx}\dot{Z} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{xx}Y - C_{yx}Z)\dot{Y} + \sum_{n=1}^3 (C_{xx}Z - C_{zx}X)\dot{Z} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{yx}X - C_{zx}Y)\dot{X} + \sum_{n=1}^3 K_{xx}X + \sum_{n=1}^3 K_{yx}Y + \sum_{n=1}^3 K_{zx}Z + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{xx}Y - K_{yx}Z)Y + \sum_{n=1}^3 (K_{xx}Z - K_{zx}X)X + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{yx}X - K_{zx}Y)X + \sum_{n=1}^3 F_{ERX} = F_{eX} \end{aligned} \quad (3)$$

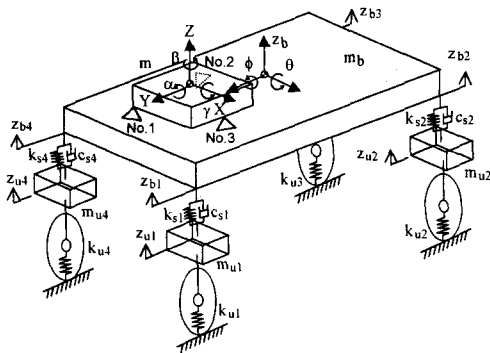


Fig. 4 Dynamic model of a vehicle installed with ER engine mounts

- X 축의 모멘트에 대한 평형방정식 :

$$\begin{aligned} I_{xx}\ddot{\gamma} - I_{yy}\ddot{\beta} - I_{zz}\ddot{\alpha} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{zx}Y - C_{zy}Z)\dot{X} + \sum_{n=1}^3 (C_{yz}Y - C_{yy}Z)\dot{Y} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{zx}Y - C_{zy}Z)\dot{Z} + \sum_{n=1}^3 (C_{yy}Z^2 + C_{zz}Y^2 - 2C_{zy}YZ)\dot{Y} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{zx}ZY + C_{yz}XZ - C_{yy}Z^2 - C_{zz}XY)\dot{\beta} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{yx}ZY + C_{yz}XY - C_{yy}XZ - C_{zz}Y^2)\dot{\alpha} + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{zx}Y - K_{zy}Z)X + \sum_{n=1}^3 (K_{yz}Y - K_{yy}Z)Y + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{zx}Y - K_{zy}Z)Z + \sum_{n=1}^3 (K_{yy}Z^2 + K_{zz}Y^2 - 2K_{zy}YZ)Y + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{zx}ZY + K_{yz}XZ - K_{yy}Z^2 - K_{zz}XY)\dot{\beta} + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{yx}ZY + K_{yz}XY - K_{yy}XZ - K_{zz}Y^2)\dot{\alpha} + \\ \sum_{n=1}^3 (F_{ERZ}Y_{ec} - F_{ERY}Z_{ec}) = M_{eX} \end{aligned} \quad (4)$$

- Y 축 방향의 힘에 대한 평형방정식 :

$$\begin{aligned} m\ddot{Y} + \sum_{n=1}^3 C_{yy}\dot{X} + \sum_{n=1}^3 C_{yy}\dot{Y} + \sum_{n=1}^3 C_{zy}\dot{Z} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{zy}Y - C_{yy}Z)\dot{Y} + \sum_{n=1}^3 (C_{yz}Z - C_{zy}X)\dot{\beta} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{yy}X - C_{zy}Y)\dot{\alpha} + \sum_{n=1}^3 K_{yy}X + \sum_{n=1}^3 K_{yy}Y + \sum_{n=1}^3 K_{zy}Z + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{zy}Y - K_{yy}Z)Y + \sum_{n=1}^3 (K_{yz}Z - K_{zy}X)X + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{yy}X - K_{zy}Y)X + \sum_{n=1}^3 F_{ERY} = F_{eY} \end{aligned} \quad (5)$$

- Y 축의 모멘트에 대한 평형방정식 :

$$\begin{aligned} -I_{yx}\ddot{\gamma} + I_{yy}\ddot{\beta} - I_{yz}\ddot{\alpha} + \sum_{n=1}^3 (C_{xx}Z - C_{xz}X)\dot{X} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{yx}Z - C_{yz}X)\dot{Y} + \sum_{n=1}^3 (C_{zx}Z - C_{zz}X)\dot{Z} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{zx}YZ + C_{yz}XZ - C_{zz}XY - C_{yx}Z^2)\dot{Y} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{xx}Z^2 + C_{zz}X^2 - 2C_{xz}XZ)\dot{\beta} + \\ \sum_{n=1}^3 (C_{yx}XZ + C_{xz}XY - C_{xx}YZ - C_{yz}X^2)\dot{\alpha} + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{xx}Z - K_{xz}X)X + \sum_{n=1}^3 (K_{yx}Z - K_{yz}X)Y + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{xz}Z - K_{zz}X)Z + \\ \sum_{n=1}^3 (K_{xz}YZ + K_{yz}XZ - K_{zz}XY - K_{yx}Z^2)Y + \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^3 (K_{xx}Z^2 + K_{zz}X^2 - 2K_{xz}XZ)\beta + \sum_{n=1}^3 (K_{yx}XZ + K_{zx}XY - K_{xx}YZ - K_{yz}X^2)\alpha + \sum_{n=1}^3 (F_{ERX}Z_{ec} - F_{ERZ}X_{ec}) = M_{eY}$$

• Z 축 방향의 힘에 대한 평형방정식 :

$$m\ddot{Z} + \sum_{n=1}^3 C_{zx}\dot{X} + \sum_{n=1}^3 C_{yz}\dot{Y} + \sum_{n=1}^3 C_{zz}\dot{Z} + \sum_{n=1}^3 (C_{zx}Y - C_{yz}Z)\dot{\eta} + \sum_{n=1}^3 (C_{zx}Z - C_{zz}X)\dot{\beta} + \sum_{n=1}^3 (C_{yz}X - C_{zx}Y)\dot{\alpha} + \sum_{n=1}^3 K_{zx}X + \sum_{n=1}^3 K_{yz}Y + \sum_{n=1}^3 K_{zz}Z + \sum_{n=1}^3 (K_{zx}Y - K_{yz}Z)\eta + \sum_{n=1}^3 (K_{zx}Z - K_{zz}X)\beta + \sum_{n=1}^3 (K_{yz}X - K_{zx}Y)\alpha + \sum_{n=1}^3 F_{ERZ} = F_{eZ}$$

• Z 축의 모멘트에 대한 평형방정식 :

$$-I_{xx}\ddot{\gamma} - I_{yy}\ddot{\beta} + I_{zz}\ddot{\alpha} + \sum_{n=1}^3 (C_{xy}X - C_{xx}Y)\dot{X} + \sum_{n=1}^3 (C_{yy}X - C_{yx}Y)\dot{Y} + \sum_{n=1}^3 (C_{zy}X - C_{zx}Y)\dot{Z} + \sum_{n=1}^3 (C_{yx}YZ + C_{zy}XY - C_{yy}XZ - C_{zz}Y^2)\dot{\eta} + \sum_{n=1}^3 (C_{xy}XZ + C_{zx}XY - C_{xx}YZ - C_{zy}X^2)\dot{\beta} + \sum_{n=1}^3 (C_{xx}Y^2 + C_{yy}X^2 - 2C_{xy}XY)\dot{\alpha} + \sum_{n=1}^3 (K_{xy}X - K_{xx}Y)X + \sum_{n=1}^3 (K_{yy}X - K_{yx}Y)Y + \sum_{n=1}^3 (K_{zy}X - K_{zx}Y)Z + \sum_{n=1}^3 (K_{yx}YZ + K_{zy}XY - K_{yy}XZ - K_{zz}Y^2)\eta + \sum_{n=1}^3 (K_{xy}XZ + K_{zx}XY - K_{xx}YZ - K_{zy}X^2)\beta + \sum_{n=1}^3 (K_{xx}Y^2 + K_{yy}X^2 - 2K_{xy}XY)\alpha + \sum_{n=1}^3 (F_{ERY}X_{ec} - F_{ERX}Y_{ec}) = M_{eZ}$$

• 차체의 피칭(pitching)운동방정식

$$J_{ph}\ddot{\phi} = -t_{br}F_{s1} - t_{br}F_{s2} + t_{bl}F_{s3} + t_{bl}F_{s4} + t_{bl}(F_{ze1} + F_{ER1}) - t_{el}(F_{ze2} + F_{ER2}) - t_{er}(F_{ze3} + F_{ER3}) \quad (9)$$

• 차체의 롤링(rolling)운동방정식 (10)

$$J_{th}\ddot{\theta} = l_{br}F_{s1} - l_{br}F_{s2} - l_{br}F_{s3} + l_{br}F_{s4} - l_{el}F_{ze1} - l_{el}F_{ER1} - l_{e2}(F_{ze2} + F_{ER2}) - l_{e3}(F_{ze3} + F_{ER3})$$

• 차체의 수직운동방정식

$$m_b\ddot{z}_b = -(F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4}) + (F_{ze1} + F_{ze2} + F_{ze3}) + (F_{ER1} + F_{ER2} + F_{ER3}) \quad (11)$$

• 현가장치(suspension)의 운동방정식

$$\begin{aligned} m_{u1}\ddot{z}_{u1} &= F_{s1} - k_{u1}z_{u1} \\ m_{u2}\ddot{z}_{u2} &= F_{s2} - k_{u2}z_{u2} \\ m_{u3}\ddot{z}_{u3} &= F_{s3} - k_{u3}z_{u3} \\ m_{u4}\ddot{z}_{u4} &= F_{s4} - k_{u4}z_{u4} \end{aligned} \quad (12)$$

상기식에서 m 은 엔진의 무게를 나타내며, m_b 는 차체의 무게 그리고 m_{ui} 는 차륜의 질량, X_{ec}, Y_{ec}, Z_{ec} 는 엔진무게중심에서 ER 엔진마운트의 탄성중심까지의 거리를 나타낸다. $F_{ERX}, F_{ERY}, F_{ERZ}$ 는 엔진좌표계에서의 전기장 부하시 ER 효과에 의해 발생하는 댐핑력과 $F_{ER1}, F_{ER2}, F_{ER3}$ 은 차체에 위치한 좌표계에서의 ER 효과에 의한 댐핑력을 나타내며 이것은 마운트좌표계에서 수직방향으로 작용하는 댐핑력 F_{ERz} 를 좌표변환 행렬을 이용하여 구해진다. x_{e1}, y_{e1}, z_{e1} 은 No.1 의 엔진좌표계로부터 탄성중심에서의 엔진마운트의 변위이고, F_{s1} 은 차륜에서부터 차체로 전달되는 전달력이며 F_{ze1} 은 엔진으로부터 차체에 좌표계를 두고있는 Z 방향으로의 전달력이다.

식(3)-(12)를 행렬로 표현하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} [M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} &= \{F_e\} + \{F\} \\ \{F_e\} &= \{F_{eX}, F_{eY}, F_{eZ}, M_{eX}, M_{eY}, M_{eZ}\} \\ \{F\} &= \{F_{ERX}, F_{ERY}, F_{ERZ}, F_{ER1}, F_{ER2}, F_{ER3}\} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 $\{F_e\}$ 는 엔진으로부터 발생되어 차체로 전달되는 가진력을 나타낸다.

4. 제어기 설계

스카이훅제어 알고리즘은 구조가 간단하며, 일반적으로 차량의 승차감제어를 위해 많이 사용된다. 스카이훅제어 알고리즘은 차체의 진동을 제어하기 위해 차체 위 공간상의 가상 고정면과 차체 사이에 이상적인 댐퍼를 설치하여 이때 이상적인 댐퍼에서 발생하는 댐핑력을 차량의 요구 댐핑력으로 사용한다⁶⁾. 이렇게 얻어진 요구 댐핑력을 ER 엔진마운트 모델링으로부터 얻어진 전기장의 함수로 표현된 수식을 통하여 제어입력을 결정할 수 있다.

요구댐핑력은 마운트의 수직변위에 따라 다음과 같이 정의한다.

$$U_n = C_g (\dot{z}_n - \dot{z}_{bn}) \quad (13)$$

여기서 C_g 는 스카이훅 알고리즘의 제어게인값을 나타내며 물리적으로는 댐핑계수를 나타내고 \dot{z}_n 은 엔진으로부터 각 마운트에서의 수직방향의 속도를 나타내며 \dot{z}_{bn} 은 차체의 각 마운트에서의 수직방향의 속도를 나타낸다. ER 엔진마운트는 반응동형이므로 식(13)으로부터 얻어진 제어입력은 다음과 같은 반응동형 조건을 만족해야한다.

$$U_n = \begin{cases} U_n & \text{for } U_n(\dot{z}_n - \dot{z}_{bn}) > 0 \\ 0 & \text{for } U_n(\dot{z}_n - \dot{z}_{bn}) \leq 0 \end{cases} \quad (14)$$

이로부터 각각 ER 엔진마운트에 부하되는 제어전기장을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$E_n = \left(\frac{U_n}{\alpha_s (b_e L_e + 1.92 \cdot 2 \cdot A_p C_2 L_e / (h(C_1 + C_2)))} \right)^{1/\beta_s}$$

여기서 제어전기장은 ER 유체의 절연파괴를 고려하여 2kV/mm로 제한하였다

5. HILS를 통한 성능해석

본 연구에서는 3개의 ER 엔진마운트가 장착된 전체 차량모델을 통해 HILS를 구성하였고 HILS 구성도가 Fig.5에 도시되었다. 이들 세개의 ER 엔진마운트중 우측에 위치한 No.3의 댐핑력을 측정하여 HILS를 수행하였다. 전체차량 모델로부터 얻어진 지배방정식은 소프트웨어부분이 되고 이때 No.3 위치에서의 엔진과 차체의 상대변위 즉 엔진마운트의 변위를 실시간으로 계산한다. 여기에서 얻어진 상대변위는 AD/DA 변환기에 의해 전자석 구동가진기를 통해 ER 엔진마운트 즉 하드웨어부에 가해지게 된다. 이때 제어기는 상대변위를 토대로 제어전기장을 계산하게 되며 고전압장치를 통해 ER 엔진마운트에 전기장을 부하하게 된다. 전기장 부하시 로드셀로부터 측정된 댐핑력은 다시 AD/DA 변환기를 통해 소프트웨어 부의 전체 차량모델에 입력된다. 이러한 과정으로 하나의 루프를 이루게 되며 이를 반복적으로 수행하여 HILS를 구성하였다.

Fig.6은 엔진좌표계에서의 x , y , z 방향으로의 변위를 RMS(root mean square)값으로 나타낸것이다.

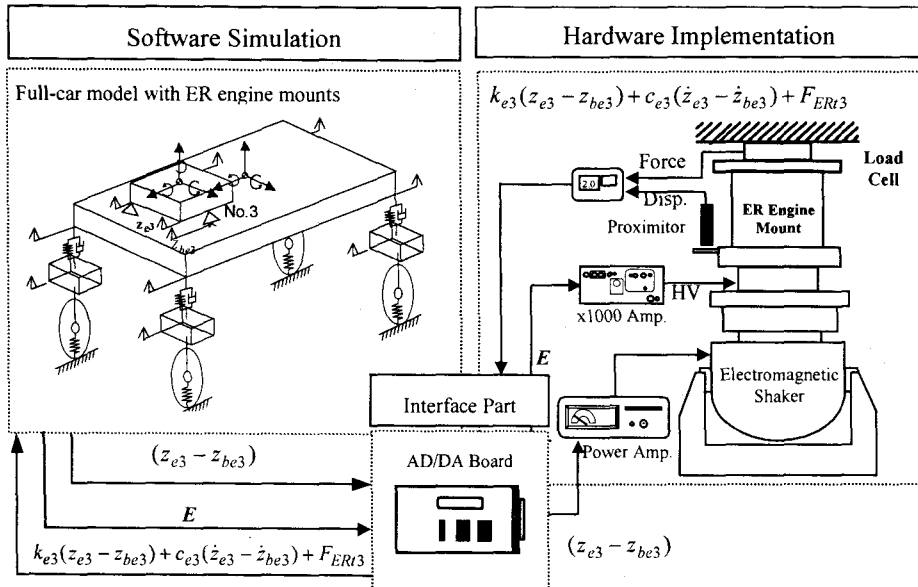


Fig.5 Schematic diagram of HILS for a vehicle with ER engine mounts

ER 엔진마운트를 장착한 전체 차량모델에 스카이훅제어기를 이용하여 제어를 수행하였을 경우와 제어를 하지 않았을 경우의 엔진의 x , y , z 방향변위를 비교하였다. 제어를 수행한 거의 모든 영역에서 ER 엔진마운트의 변위가 우수하게 제어됨을 볼 수 있다. Fig. 7은 승차감의 척도로서 차량의 아이들링(idling)시 주행자 위치에서의 가속도를 시간영역에서 나타내고 있다. 제어가 수행된 경우 주행자 위치에서의 가속도가 낮아짐을 볼 수 있고 이를 통해 승차감의 향상을 예상할 수 있다.

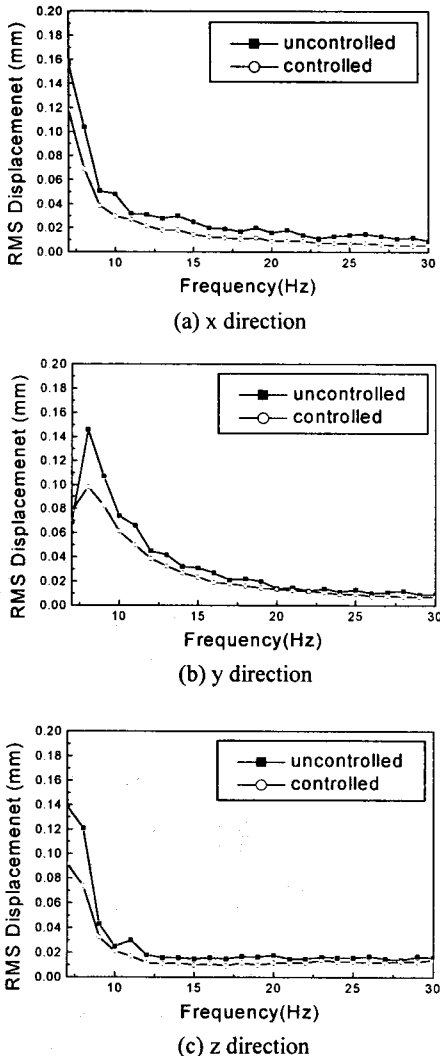


Fig.6 RMS Displacement at engine C.G. point

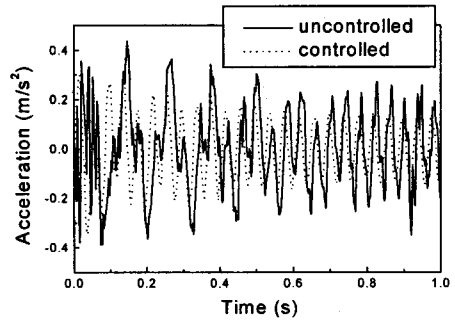


Fig.7 Acceleration at driver position during idling (750rpm)

6. 결론

본 연구에서는 실제 차량에 적용할 수 있는 복합모드형 ER 엔진마운트를 제안하였으며, HILS를 통하여 진동저감 성능을 평가하였다. 엔진무게중심에서 각 방향의 변위를 현저히 줄일 수 있었으며, 엔진 아이들링시 운전석에서의 가속도를 효과적으로 감소시킬 수 있었다. 향후 실제 상황에서 발생할 수 있는 불확실성에 대한 강건제어 로직구성과 실차시험을 추진할 예정이다.

참고문헌

- (1) 최영태, 김기선, 최승복, 정재천, 전영식, 1994, "전기유동유체를 이용한 엔진마운트의 모델구성과 성능해석", 한국자동차공학회논문집, 제 2 권, 제 11 호, pp.62-74.
- (2) Choi, S. B., and Choi, Y. T., 1999, "Sliding Mode Control of a Shear-Mode Type ER Engine Mount", *KSME International Journal*, Vol.13, No.1, pp.26-33.
- (3) Jeon, Y. S., Choi, Y. T., Choi, S. B., Cheong, C. C., 1999, "Performance Evaluation of a Mixed Mode ER Engine Mount via HILS", *7th Int. Conf. ER and MR Suspensions*.
- (4) Harris, C. M., 1997, *Shock and Vibration Handbook*, McGraw-Hill.
- (5) Karnopp, D. and Crosby, M. J., 1974, "Vibration Control Using Semi-active Force Generator", *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol.96, No.2, pp.619-626.