한국소음진동공학회 2001년도 추계학술대회논문집, pp. 1144~1149.

MR유체를 이용한 엔진마운트의 슬라이딩모드제어

A Sliding Mode Control for an Engine Mount Using Magneto-Rheological Fluid

이 동길* 안 영공** 정 석권** 양 보석**

Dong-Gil Lee, Young-Kong Ahn, Seok-Kwon Jeong and Bo-Suk Yang

Keyword: Magneto-Rheological Fluid (자기점성유체), Fluid Mount (유체마운트), Vibration Isolation (진동절연)
Sliding Mode Control (슬라이딩모드제어)

ABSTRACT

In this paper, a sliding mode controller of a fluid engine mount using MR (Magneto-Rheological) fluid was discussed. When the MR fluid is applied to a fluid mount, resistance of MR fluid can be controlled by electro-magnetic valve installed in the inertia track. Since the rheological property of the MR fluid shows a function of shear rate, the damping characteristics of the mount will be change according to the frequency. Changing an applied magnetic field to the valve changes the property of the mount, such as the resistance of the MR fluid, the notch and the resonant frequencies due to the fluid passing, quantity of the fluid passing, the effective piston area of the volumetric damping and stiffness. Therefore, the fluid mount using MR fluid can be regarded as a variable structure system. The sliding mode control known well as a particular type of variable structure control was introduced in this study. The sliding mode control, which has inherent robustness, is also expected to improve the control performance in the engine mount. The sliding mode controller for the mount formatted by taking into account the response property with a time constant to MR fluid and the variable mount property. The motion equations of the fluid mount are derived from Newton's law of motion and used in numerical simulation. Numerical simulations illustrate the effectiveness of the sliding mode controller.

1. 서 론

마운트는 일반적으로 한 곳에서 다른 곳으로 전달되는 진동을 절연시키며, 또한 두 구조물을 서로 결합시키는 특성을 가지고 있다. 즉, 정적으로 두 구조물을 서로 고정시키는 탄성요소와 동적으로는 서로 절연시키는 요소들로 구성되어 있다. 고무와 강성이 낮은 금속판으로 결합되는 고무마운트(elastomeric mount)는 다양한 산업현장에 사용되고 있다. 두 구조물의 결합상태를 좋게 하기 위해 마운트의 강성을 증가시키면, 동강성(dynamic stiffness)은 증가하나, 절연효과는 저하하게 된다. 한편 동강성을 낮추기 위해서는 보다 낮은 정강성(static stiffness)이 요구되고, 구조물 사이의 결합능력은 떨어진다. 고무마운트의 동강성은 가진주파수의 증가와 함께 상승하는 특성이 나타나며, 이러한 고무마운트의 단점을 극복하기 위해, 유체마운트(fluid mount)가 정적 및 동적 마운트의 요구사항 사이를 절충하여 보다 향상된 성능을 제공하기 위해 사용되어 지고 있다[1, 2].

유체마운트가 어떻게 설계되어지는가에 따라서 두개의 유연한 고무 챔버 사이로 이동하는 유체에 의해 기본 마운트 공진에 부가적인 감쇠를 제공하거나, 또는 단일 주파수에서 탁월한 절연효과를 제공하도록 동흡진기(tuned absorber) 효과를 일으킬 수 있다. 유체의 동흡진기 효과는 동강성이 노치를 가지는 결과를 가져온다. 노치현상은 동강성이 낮아지고 절연 효과가 높아지는 것을 의미한다. 유체마운트는 고무마운트보다 높은 정강성(통상 1.5-2배)을 가지도록 설계가 가능하고, 또한 외력주파수에서는 보다 양호한 진동 및 소음 절연능력(10배 정도, 혹은 20dB)을 가지고 있다. 이와 같은 부가적인 절연이득 때문에 유체마운트는 승용차, 트럭, 버스 등에 많이 이용되고 있고, 최근에는 항공기용 엔진마운트, 헬리콥터 pylon 절연기 등과 같은 항공기 산업에도 이용되고 있다[3, 4].

능동 엔진마운트(active engine mount)[4, 5]와 외부에서 부가하는 전장 및 자장의 변화에 따라서 유체가 가지는 유동학적 특성이 변화하는 기능성유체인 ER유체(Electro-Rheological Fluid)및 MR유체(Magneto- Rheological fluid)를 이용한 마운트에 관한 연구가 수행 되었는데[6~10], 이들 마운트의 응답특성은 유체이동 통로의 유무에 관계없이 유체의

* 부경대학교 대학원 메카트로닉스
E-mail : dglee@mail1.pknu.ac.kr
Tel : (051) 620-6893, Fax : (051) 627-1096
** 부경대학교 기계공학부

특성변화에 따라 마운트의 유효피스톤 단면적 및 체적강성과 감쇠가 변화하는 특성을 나타내었다.

본 연구는 MR유체를 이용한 상용 항공기용 엔진마운트의 제진성능을 향상시키기 위해 슬라이딩 모드제어를 이용하여 제어를 수행하는 이론적 검토에 대한 내용이다. 먼저 유체마운트의 수학적 모델을 설명하고, MR유체에 부과하는 자장에 의한 감쇠력을 슬라이딩 모드제어기로 제어함으로써 보다 효과적으로 진동을 줄일 수 있음을 수치 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

2. MR유체

MR유체는 1948년 Rabinow[11]에 의해 최초로 보고된 것으로 알려져 있고, 외부자장에 의해 유체가 가지는 유동학적 특성이 변화하는 기능성유체로 알려져 있다. 일정한 용매에 높은 투자율(permeability)을 가진 직경 1~수십 μm의 철 분말을 분산시킨 용액이다. 외부에서 자장을 부과하면 MR유체 내부의 철 분말입자가 자계방향으로 사슬 모양의 클러스터(cluster)가 형성되어 유체의 유동저항이 증가되고, 매크로적으로 보면 유체의 항복응력이 증가하게 된다. 다시 말해서 겉보기상의 점도가 증가한다고 표현할 수 있다.

광학 현미경으로 MR유체를 관찰하면, 무자장하의 상태에서는 철의 미립자가 랜덤하게 분산되어져 있다가, 자속밀도를 서서히 증가시키면 자계의 방향으로 클러스터가 형성되고, 자계가 강하게 될수록 사슬모양의 클러스터는 길게 성장하고, 클러스터 사이의 간격이 조밀하게 되어 가는 것을 관찰할 수 있다[10].

전단속도가 일정한 회전식 점도계를 이용하여, 부가 전류를 변화시키면서 MR유체의 유동학적 특성을 측정하면, 부가 전류가 증가함에 따라서 MR유체의 항복응력이 증가하는 Bimgham유체의 특성이 나타난다. 또한 전단속도가 증가함에 따라서 겉보기 점도가 지수함수적으로 낮아지는 주파수 의존 특성을 나타낸다[12, 13].

Fig. 1은 MR유체의 MR효과에 관한 매커니즘을 나타내고 있다. (a)와 같이 자장을 부과하지 않았을 경우 유체내부의 미립자는 불규칙적으로 분산되어 있으나, 자장을 부과하였을 경우에는 그 미립자들은 사슬구조를 형성하여 (b)의 전단모드(shear mode), (c)의 유체 유동모드(flow mode), (d)의 스퀴즈모드(squeeze mode)와 같이 변화함으로써 외력에 저항하는 모습을 나타내고 있다.

MR유체를 이용한 감쇠기에 실링이 삽입된 경우 쿨롱마찰(Coulomb friction) 특성이 나타나는데[14], 이 특성은 실링의 마찰이 기본적으로 작용하기 때문에 단순히 항복응력의 변화에 의한 효과로 규정하기는 어렵다. 부가적인 외부적 마찰작용이 없는 MR유체를 이용한 유체마운트의 특성에는 항복응력에 의한 쿨롱마찰 효과는 미소하여, 점성감쇠(viscous damping)에 의한 효과가 현저하게 나타났다[9].

회전식 점도계의 경우와 달리 감쇠기에 전단속도가 변화하는 왕복식의 전단, 유체유동, 스퀴즈작용이 일어나면 Fig. 1의 진동모드 (e)와 같이, MR유체 내부의 미립자들은 덩어리를 형성하지만 사슬구조를 유지하지 못하고, 불규칙하게 분산되어질 것으로 간주된다. 이러한 원인으로 감쇠기의 응답은 Bingham유체의 특성을 나타낸 회전식 점도계로 측정된 결과와는 달리 뉴톤 유체의 특성을 나타낸다. 따라서 본 수치 시뮬레이션에서는 MR유체를 뉴톤유체로 간주하고, MR유체에 의해 부가된 감쇠를 점성감쇠로 간주하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다.

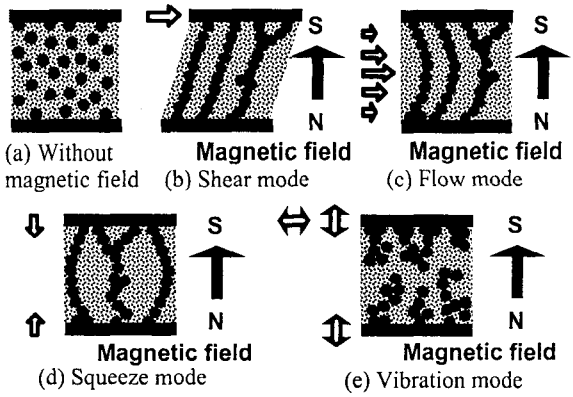


Fig. 1 Mechanism of MR effect in MR fluid

3. MR마운트 (MR유체를 이용한 마운트)의 개념

Fig. 2에 보이듯이 유체마운트는 두 개의 고무챔버(chamber) 사이로 유체의 이동이 가능한 고무마운트이다. 이들 두 챔버를 서로 연결하는데 사용되는 유체이동 통로(inertia track) 내부에 MR밸브가 설치 되어져 있다. 유체이동 통로는 Fig. 2에서와 같이 마운트의 주요 구조물의 외부 혹은 내부에 설치되어져 있다. 더욱이 온도에 따른 유체의 체적변화를 보상하기 위해 작은 체적 보상기(compensator)가 종종 사용된다.

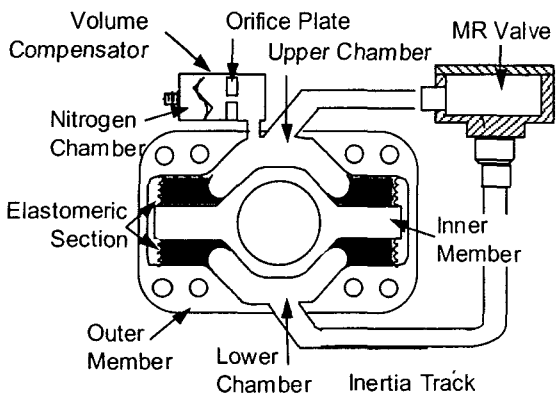


Fig. 2 Schematic diagram of an engine mount using MR fluid valve

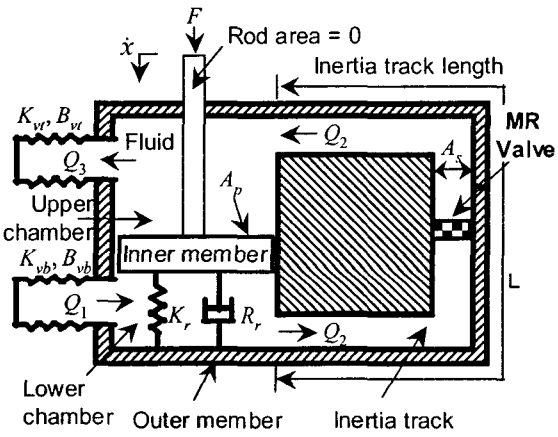


Fig. 3 Fluid/Mechanical model of an engine mount using MR fluid valve

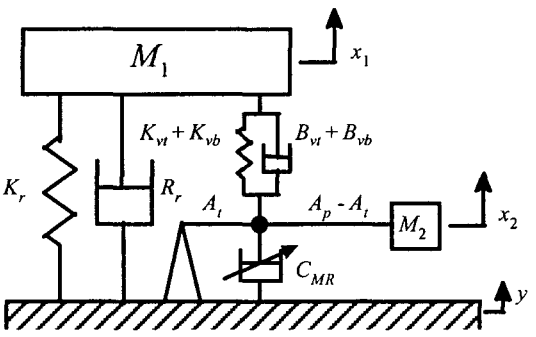


Fig. 4 Mechanical model of an engine mount using MR fluid valve

이 장치는 상용 항공기의 대형 터보 휀 엔진(turbofan engine)의 진동절연을 위해 일반적으로 사용되는 마운트와 적합한 성능 특성을 가지고 있다[15]. 내부요소는 엔진에 연결되어 있고, 외부요소는 비행기 구조물에 연결된다.

MR유체에 의한 마운트의 감쇠특성은 앞에서 언급하였듯이 MR유체의 항복응력 변화에 의한 쿨롱감쇠 특성이 미소하므로 점성감쇠특성으로 간주할 수 있다.

4. 유체마운트의 모델

Fig. 2의 유체마운트에 대한 유체·기계적 모델을 Fig. 3에 나타내었다. A_p는 상하 챔버의 유효 피스톤 면적이다. 내부요소에 작용하는 힘 F에 기인하여 피스톤 면적 A_p에 동압이 발생한다. 그리고 힘 F는 외부요소에 대한 내부요소의 변위 x를 발생시킨다.

Fig. 3에 보여지듯이 유량 Q_1과 Q_3는 같고, 상하 챔버의 유입과 유출에 각각 대응한다. K_{vl}와 K_{vb}는 상하 챔버의 체적강성계수이고, B_{vl}와 B_{vb}는 상하 챔버의 체적감쇠계수이다. 체적강성과 감쇠계수는 고무(elastomer)의 벌지현상에 대한 체적컴플라이언스(volume compliance)로부터 산정된 계수들로서, 병렬로 작동하고, 합하면 다음과 같다.

$$K_v = K_{vb} + K_{vl}, \quad B_v = B_{vb} + B_{vl} \tag{1}$$

내부요소가 외부요소에 대해 변위를 가질 때, 병렬로 연결된 스프링 K_r과 감쇠기 R_r에 의해 모델링된 고무에 의해 복원력이 발생한다.

참고문헌 (3)에서 제안된 마운트의 기계적 모델을 이용한 엔진마운트의 모델을 Fig. 4에 나타내고 있다. 이 모델은 Fig. 3의 유체·기계모델을 순수한 기계적 모델로 나타낸 것으로 두 모델의 해석결과는 동일하다. 참고문헌 (3)에는 유체마운트의 운동방정식을 유도하는데 bond graph 모델법을 이용하고 있다. 그러나 bond graph 모델은 기계기술자에게는 잘 알려져 있지 않으므로, 본 연구에서는 Newton의 운동법칙을 이용하여 운동방정식을 유도하여 식 (2)에 나타내었다.

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & \frac{A_t}{A_P}M_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} C_1+C_2 & -\frac{A_t}{A_P}C_2 \\ -(\frac{A_t}{A_P})^2C_2 & (\frac{A_t}{A_P})^3(C_2+C_3) \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix}$$
$$+\begin{bmatrix} K_1+K_2 & -\frac{A_t}{A_P}K_2 \\ -(\frac{A_t}{A_P})^2K_2 & (\frac{A_t}{A_P})^3K_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \quad (2)$$
$$=\begin{Bmatrix} 0 \\ M_2 \end{Bmatrix}\ddot{y}+\begin{Bmatrix} C_1 \\ (\frac{A_t}{A_P})^2C_3 \end{Bmatrix}\dot{y}+\begin{Bmatrix} K_1 \\ 0 \end{Bmatrix}y$$

여기서,

$$C_1 = R_r,\ C_2 = A_p{}^2B_v,\ C_3 = A_p{}^2C_{MR}$$
$$K_1 = K_r,\ K_2 = A_p{}^2K_v,\ M_2 = A_t\rho L \quad (3)$$

외부에서 가진되는 변위 입력을 $y = Ye^{j\omega t}$ 로 가정하면, 위식의 응답은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix}e^{j\omega t} \quad (4)$$

여기서, Y, X_1, X_2는 y, x_1, x_2의 복소 진폭을 각각 나타낸다. 이 조화 가진력에 대한 마운트로 지지된 엔진의 질량 M_1과 유체질량 M_2의 응답특성은 아래와 같이 구해진다.

$$\frac{X_1}{Y} = \frac{A_4(K_1+C_1s)-A_2(M_2s^2+(\frac{A_t}{A_p})^2C_3s)}{(A_1A_4-A_2A_3)} \quad (5)$$

$$\frac{X_2}{Y} = \frac{A_1(M_2s^2+(\frac{A_t}{A_p})^2C_3s)-A_3(K_1+C_1s)}{(A_1A_4-A_2A_3)} \quad (6)$$

여기서, $s\ (=j\omega)$는 라플라스 연산자이고, 각 계수는 다음과 같다.

$$A_1 = M_1s^2+(C_1+C_2)s+(K_1+K_2)$$
$$A_2 = -(\frac{A_t}{A_P})(C_2s+K_2),\ A_3 = -(\frac{A_t}{A_P})^2(C_2s+K_2) \quad (7)$$
$$A_4 = (\frac{A_t}{A_P})M_2s^2+(\frac{A_t}{A_P})^3\{(C_2+C_3)s+K_2\}$$

유체질량은 동흡진기의 보조질량과 유사한 메커니즘으로 되어 있다. C_{MR}은 외부에서 가하는 자장의 세기에 의해 변화하는 감쇠계수이며, 수치 시뮬레이션에 사용된 계수들의 값은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 MR mount parameters for numerical simulation

Symbol	Description	Value
A_P	Piston area	$0.01678m^2$
A_t	Inertia track area	$7.1\times10^{-5}m^2$
C_{MR}	Fluid resistance	$9.26\times10^8\ N\cdot s/m^5$
R_r	Elastomeric damping	$17.5\ N\cdot s/m$
R_v	Volumetric damping	$1.052\times10^8\ N\cdot s/m^5$
K_r	Elastomeric stiffness	$5.78\times10^7\ N/m$
K_v	Volumetric stiffness	$5.685\times10^{11}\ N/m^5$
L	Inertia track length	$0.18\ m$
ρ	Fluid density	$3.42\times10^3\ kg/m^3$
M_1	Sprung mass	$1.22\times10^5 kg$

5. MR마운트의 슬라이딩모드제어

MR마운트는 MR유체에 부과하는 자장의 세기가 변화함에 따라서 마운트의 체적강성 및 감쇠, 유효피스톤 단면적, 유체의 저항력과 이동량 등이 변화하는 가변요소의 특성을 가지고 있다. 또한 MR유체는 온도와 가진주파수[13]에 대해 변화하는 특성이 있으며, 그 응답특성에는 시간지연 특성[18]이 나타난다. 이와 같은 마운트의 특성을 고려하여, 가변구조 제어기로서 잘 알려져 있는 슬라이딩모드제어[16, 17] 이론을 MR유체를 이용한 마운트에 부과하는 자장을 제어하기 위해 도입하였다. 그러나 본 연구에서는 MR마운트와 MR유체의 가변요소는 고려하지 않고 유체의 저항만이 변화하는 것으로 간주하여 수치 시뮬레이션을 행하였다.

5.1 슬라이딩모드의 존재 조건

본 시스템에서 주목하고 있는 질량체 M_1의 변위를 제어하고자 식 (2)와 같은 2차계의 시스템을 슬라이딩모드 제어하기 위해서 식 (8)과 같은 1차계의 슬라이딩평면을 도입한다.

$$S = Cx_1+\dot{x}_1,\ C>0 \quad (8)$$
$$\dot{S} = C\dot{x}_1+\ddot{x}_1 \quad (9)$$

여기서 C는 슬라이딩 평면의 기울기이다. 슬라이딩 평면 $S=0$ 부근에서 슬라이딩 모드가 발생하기 위한 조건은 $S\dot{S}<0$ 이다. 슬라이딩모드가 발생할 때의 등가제어입력 u_{eq}를 식 (2)와 (9)를 이용하여 유도하면 식 (10)과 같다.

$$u_{eq} = C\dot{x}_1 + \frac{1}{M_1}\left[-\frac{M_2}{Atp}\ddot{x}_2 - AtpC_3\dot{x}_2 - C_1\dot{x}_1 - K_1x_1 + \frac{M_2}{Atp^2}\dddot{y} + (C_1+C_3)\ddot{y} + K_1\dot{y}\right] \quad (10)$$

식 (10)으로부터 정상 도달법칙을 사용하여 슬라이딩모드 제어입력 u를 구하면 식 (11)과 같이 나타내어진다.

$$u = C\dot{x}_1 + \frac{1}{M_1}\left[-\frac{M_2}{Atp}\ddot{x}_2 - AtpC_3\dot{x}_2 - C_1\dot{x}_1 - K_1x_1 + \mathrm{sgn}(S)\left\{\frac{M_2}{Atp^2}\dddot{y} + (C_1+C_3)\ddot{y} + K_1\dot{y}\right\}\right] \quad (11)$$

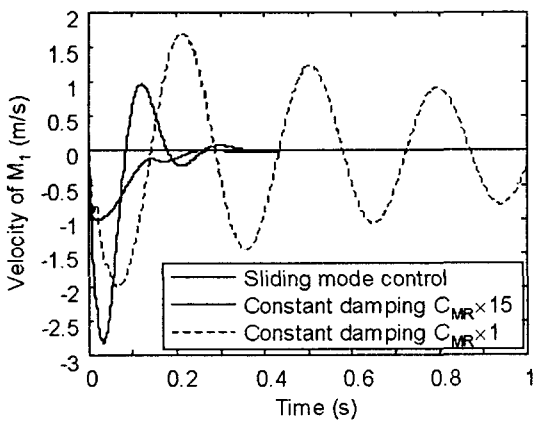
여기서 $sgn(S)$은 부호함수이다. 슬라이딩 모드제어의 안정화 조건은 식 (12)와 같다.

$$S\left[C\dot{x}_1 + \frac{1}{M_1}\left[-\frac{M_2}{Atp}\ddot{x}_2 - AtpC_3\dot{x}_2 - C_1\dot{x}_1 - K_1x_1 + \mathrm{sgn}(S)\left\{\frac{M_2}{Atp^2}\dddot{y} + (C_1+C_3)\ddot{y} + K_1\dot{y}\right\}\right]\right] < 0 \quad (12)$$

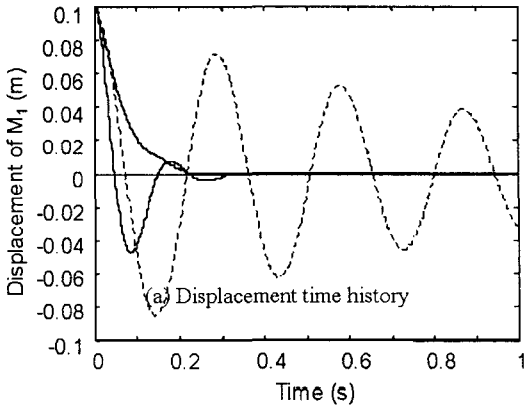
사용되어진 제어법칙은 슬라이딩모드 제어 중에서 DDS (Discontiunuos Damping Servomechanism)를 사용하고, 이를 식으로 표현하면 아래와 같이 나타낼 수가 있다.

$$\begin{cases} u(\dot{x}_1 - \dot{y}) > 0 \Rightarrow \max C_{MR} \\ u(\dot{x}_1 - \dot{y}) \le 0 \Rightarrow C_{MR} \end{cases} \quad (13)$$

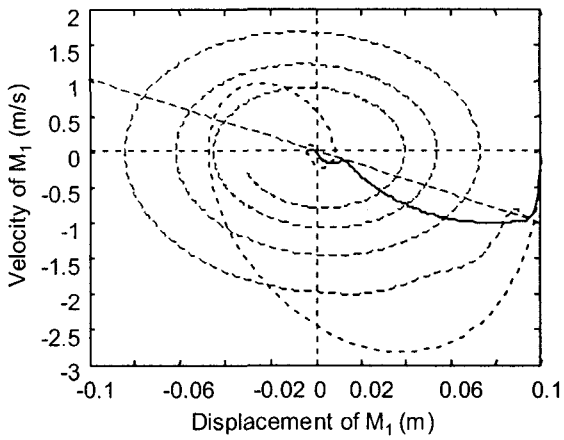
5.2 과도응답특성의 시뮬레이션 및 고찰



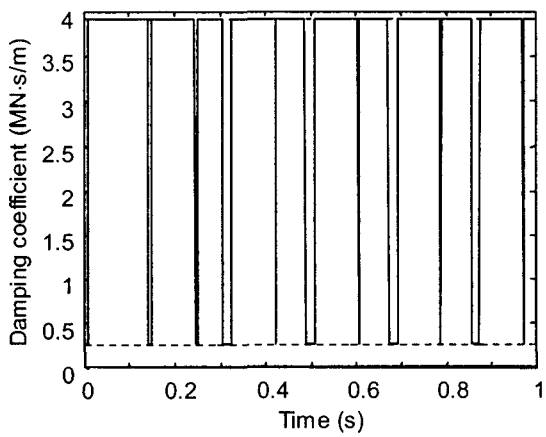
(a) Velocity time history



(b) Displacement time history



(c) Phase plane trajectory



(d) Input damping coefficient

Fig. 5 Transient response

본 절에서는 질량체 M_1의 초기변위를 0.1로 하고, 이 상태에서 슬라이딩모드 제어, 고정 C_{MR}, 15배의 C_{MR}을 각각 적용한 경우의 마운트의 과도응답특성을 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 (a)는 속도응답 특성, (b)는 변위응답 특성을 그리고 (c)와 (d)는 위상평면 궤적과 슬라이딩모드제어에 의한 점성감쇠계수의 변화 모습을 각각 보여 주고 있다.

MR효과에 의한 유체저항 C_{MR}은 Table1에 주어진 값과 그 값의 15배의 값을 각각 사용하였다.

Fig. 5(a)에서, 15배의 C_{MR}이 주어진 경우의 진동 수렴시간은 기본 C_{MR}의 경우에 비해 짧아졌음을 알 수 있다. 그러나, 15배의 C_{MR}의 경우라 하더라도 슬라이딩모드제어에 비해 상대적으로 변위가 진동하면서 수렴하는 것을 알 수 있고 그 수렴시간도 늦게 됨을 보이고 있다.

슬라이딩모드 제어를 적용한 경우는, 진동상태가 슬라이딩 평면 (C = 10) 선상에 수렴함에 따라서 진동수렴시간이 급격하게 줄어졌음을 알 수 있다.

6. 결 론

종래의 수동형 유체마운트에 MR유체를 적용하고, 부과하는 자장의 변화에 따라서 변화하는 감쇠력을 슬라이딩모드제어로 제어함으로써 마운트의 제진성능을 향상시킬 수 있음을 수치 시뮬레이션을 통하여 나타내었다. 또한 유체마운트의 운동방정식은 종래의 bond graph 모델방법 대신에 Newton의 운동법칙을 이용하여 유도함으로써 기계기술자가 유체마운트의 메커니즘을 보다 이해하기 쉽게 하였다.

참고문헌

(1) Flower, W. C., 1985, "Understanding Hydraulic Mounts for Improved Vehicle Noise Vibration and Ride Qualities," SAE Paper No. 850975.

(2) Taylor, H. J., 1986, "The New Generation of Engine Mount," Proceedings of the SAE Milwaukee Section Lecture Series, Milwaukee, WI, SAE Paper 86052.

(3) Vahdati, V., 1998, "A Detailed Mechanical Model of a Double Pumper Fluid Mount," ASME Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 120, No. 2, pp. 361~370.

(4) Miller, L. R., Ahmadian, M., C. M. Nobles, and Swanson, D. A., 1995, "Modeling and Performance of an Experimental Active Vibration Isolator," ASME Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 117, No. 3A, pp. 272~278.

(5) Panza, M. J., McGuire, D. P. and Jones, P. J., 1997, "Modeling, Actuation, and Control of an Active Fluid Vibration Isolator," ASME Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 119, No. 1, pp. 52~59.

(6) Morishita, S. and Mitsui, J., 1992, "Electronically-Controlled Engine Mount Using Electro-Rheological Fluids," SAE Special Publication 936 (Society for Automotive Engineers), pp. 97~103.

(7) Ushijima, T., Takano, K. and Noguchi, T., 1988, "Rheological Characteristics of ER Fluids and Their Application to Anti-Vibration Devices with Control Mechanism for Automobiles, " SAE Paper No. 881787.

(8) Duclos, T. G., 1987, "An Externally Tunable Hydraulic Mount Which Uses Electro-Rheological Fluid," SAE Paper 870963.

(9) Kim, J. H., Lee, C. W., and Lee, S. K., 1996, "Modeling of Magneto-Rheological Fluid Based Semi-Active Mount," Third International Conference on Motion and Vibration Control, Japan, pp. 164~169.

(10) 안영공, 양보석, Morishita, S., 2001, "자기점성유체를 이용한 가변감쇠 마운트의 모델화," 한국소음진동공학회지, Vol. 11, No. 1, pp. 141~146.

(11) Rabinow, J., 1948, "The Magnetic Fluid Clutch," AIEE Transactions, Vol. 67, pp.1308~1315.

(12) 안영공, 신동춘, 양보석, 김동조, 2001, "MR유체를 이용한 비틀림진동 감쇠기," 한국소음진동학회 춘계학술논문집, pp. 313~317.

(13) Weiss, K. D., Duclos, T. G., 1994, "Controllable Fluids: The Temperature Dependence of Post-Yield Properties," International Journal of Modern Physics B, Vol. 8, Nos. 20 and 21, pp. 3015~3032.

(14) Dyke, S. J., Spencer, B. F., Sain, M. K. and Carlson, J. D., 1995, "Modeling and Control of Magneto-Rheological Dampers for Seismic Response reduction," Smart Materials and Structures, Vol. 5, pp. 565~575.

(15) Miller, L. R., and Ahmadian, M., 1992, "Active Mounts - A Discussion of Future Technological Trends," Proceedings of the Internoise 92 Conference, Toronto, Canada, pp. 421~426.

(16) 野波健藏, 田宏奇, 1994, "スライディングモード制御", コロナ.

(17) Fujioka, T. and Kido, K., 1989, "Application of Variable Structure System Theory for Control of Variable Shock Absorbers," 自動車技術學會論文集, No. 45, pp.48~53. (Japanese).

(18) Tsuchiya, T. Morishita, S., Ahn, Y. K. and Abe, Y., 1999, "Vibration Control with a Variable-Damping Mount Using MR Fluid," 日本機械學會論文集, Vol. 65, No. 650, pp. 4671~4676