

2축 동조 질량 감쇠기를 이용한 구조물의 진동 제어 연구

A Study of the Structural Vibration Control Using a Biaxial Tuned Mass Damper

정태영*
Chung, Tae-Young

문석준*
Moon, Seok-Jun

임채욱**
Lim, Chae-Wook

ABSTRACT

Civil structures are becoming more flexible and lightly damped. When subjected to dynamic loads such as wind, earthquake and wave, vibration may be easily induced and lasted for long duration. To suppress the wind-induced and earthquake-induced vibration of high-rise buildings, study on the development of a tuned mass damper has been carried out. Based on optimal design on passive tuned mass damper which is considered for a building subject to random excitations, a biaxial tuned mass damper was designed and developed. It is confirmed that the vibration levels of the test structure are reduced using the developed tuned mass damper.

1. 서론

최근의 건축 구조물은 사회적인 요구 및 설계·건설기술의 발달로 인하여 대형화 및 고층화되고 있으며, 고강도의 콘크리트 재료나 합성 강관동 철골재의 사용 및 합성구조 시공기술의 향상으로 점차 경량화 및 세장화되는 추세에 있다. 이러한 고층 건축 구조물은 유연성이 크고, 에너지 소산 능력인 감쇠비가 매우 작기 때문에 바람 및 지진 등에 의해 과도한 진동현상이 발생할 수 있다. 이로 인하여 거주자에게 불쾌감을 유발시키며, 심한 경우 구조부재의 파괴현상이 일어날 수도 있다. 따라서 고층 건축 구조물이 많이 건설되고 있는 미국 및 일본 등의 선진 외국에서는 과도한 진동 발생을 억제하기 위해 다각적인 기술개발 노력에 경주하고 있다[1,2].

건축 구조물이 고층화되면 바람에 의한 영향이 매우 커지게 되므로 풍 하중에 의한 건축 구조물의 동적 해석이 필수적이다. 그러나 풍 하중은 불확정성, 지역에 따른 상이성 및 수시로 발생하는 비주기성 등으로 인하여 이에 대한 특성파악 및 건축 구조물의 거동응답 예측이 쉽지 않다. 한편, 지진하중에 대한 건축 구조물의 동적 해석연구는 상당히 이루어져 있으며, 지진특성에 따른 건축 구조물의 동적 응답을 구조적인 안전성의 면에서 볼 때 비교적 정확히 예측할 수가 있

* 한국기계연구원 구조시스템 연구부, 정회원

** 한국 과학 기술원 기계공학과 박사과정

다. 또한 내진 설계를 위한 기준에도 상세히 반영이 되어 내진 설계에 큰 어려움이 없는 상황이다. 그러나 지진의 큰 파괴력은 건물의 안전성에 치명적인 위협을 가하기 때문에 지진에 대비한 제어장치의 연구가 필수적이다.

본 연구에서는 TMD(Tuned Mass Damper)를 이용하여 초고층 건축 구조물의 바람 및 지진하중에 의한 진동을 제어하는 기술에 대한 연구를 수행하였고, 2축을 동시에 제어하는 TMD를 설계 및 개발하였다. 또한 2축 제어용 TMD의 제어성능을 검증하기 위하여 건축 구조물과 유사한 진동특성을 갖는 5층 후판 구조물 시험모델을 제작하고, 이의 최상층에 개발한 2축 제어용 TMD를 설치한 후 2축을 동시에 랜덤 가진하여 각층의 가속도 응답을 측정하였다. 이 결과로부터 개발된 2축 제어용 TMD는 시험 구조물의 수평 2축 방향의 1차 모드의 응답을 동시에 제어함에 효과적임을 확인하였다.

2. TMD의 최적 파라미터의 결정

TMD의 최적 파라미터는 주 구조물에 작용하는 외력의 종류(바람, 지진)와 목표로 하는 주 구조물의 응답(상대 변위, 상대 속도, 절대 가속도)에 따라 그 값이 조금씩 달라진다[3~7]. 본 연구에서는 지진 외력이 백색 잡음이라고 가정한 경우에 대하여 주 구조물을 하나의 집중 질량으로 치환하여 1-자유도계로 모델링하고, 주 구조물 상부에 설치된 TMD를 또 다른 1-자유도계로 Fig.1과 같이 모델링하여 주 구조물의 지반에 대한 상대 변위를 줄이는 것을 목표로 한다. 여기서 m_p , k_p 및 c_p 는 각각 주 구조물의 집중질량, 강성 및 감쇠를 나타내며, m_s , k_s 및 c_s 는 각각 TMD의 질량, 강성 및 감쇠를 나타낸다. 상첨자 p 는 주 구조물을 나타내며, 하첨자 s 는 TMD를 표시한다.

TMD가 설치된 주 구조물이 지반 기진력을 받는 경우의 운동방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다. 단, x_0 는 지반에 대한 주 구조물의 상대 변위를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} m_p & 0 \\ m_s & m_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_p \\ \ddot{x}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_p & -c_s \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_p \\ \dot{x}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_p & -k_s \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_p \\ x_s \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_p \\ m_s \end{bmatrix} \ddot{x}_0 \quad (1)$$

여기서 \ddot{x}_0 는 지반 가속도이다. 위 식을 질량에 대해 정규화하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_p \\ \ddot{x}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2\xi_p\omega_p & -2\gamma\xi_s\omega_s \\ 0 & 2\xi_s\omega_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_p \\ \dot{x}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_p^2 & -\gamma\omega_s^2 \\ 0 & \omega_s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_p \\ x_s \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \ddot{x}_0 \quad (2)$$

여기서 $\omega_p = \sqrt{k_p/m_p}$ 와 $\omega_s = \sqrt{k_s/m_s}$ 는 각각 주 구조물 및 TMD의 고유 진동수를, $\xi_p = c_p/2\omega_p m_p$ 와 $\xi_s = c_s/2\omega_s m_s$ 는 감쇠비를 나타낸다. $\gamma = m_s/m_p$ 는 주 구조물에 대한 TMD의 질량비이다.

복소수 주파수 응답함수 $H(\omega)$ 를 도입하여 응답을 표시하면 다음과 같다.

$$\ddot{x}_0 = e^{i\omega t} \quad (3)$$

$$x_p = H_{x_p}(\omega) e^{i\omega t} \quad (4)$$

$$x_s = H_{x_s}(\omega) e^{i\omega t} \quad (5)$$

위 식들을 식 (2)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

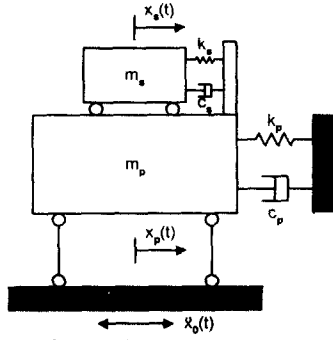


Fig.1 Single Degree-of-Freedom Primary System with a TMD

$$\begin{bmatrix} \omega_p^2 - \omega^2 + i2\xi_p\omega_p\omega & -\gamma\omega_s^2 - i2\gamma\xi_s\omega_s\omega \\ -\omega^2 & \omega_s^2 - \omega^2 + i2\xi_s\omega_s\omega \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} H_{x_s}(\omega) \\ H_{x_p}(\omega) \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)으로부터 복소수 주파수 응답함수를 구하면 다음과 같다.

$$H_{x_s}(\omega) = \frac{\omega^2 - i\omega(1+\gamma)2\xi_s\omega_s - (1+\gamma)\omega_s^2}{\Delta_\Omega} \quad (7)$$

$$H_{x_p}(\omega) = \frac{-i\omega 2\xi_p\omega_p - \omega_p^2}{\Delta_\Omega} \quad (8)$$

여기서 Δ_Ω 는 식 (6)의 좌편 행렬의 행렬식을 나타내며, 이를 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta_\Omega &= \omega^4 - i\omega^3(2\xi_s\omega_s + 2\xi_p\omega_p + 2\gamma\xi_s\omega_s) \\ &\quad - \omega^2(\omega_s^2 + 4\xi_p\xi_s\omega_p\omega_s + \omega_p^2 + \gamma\omega_s^2) + i\omega(2\xi_p\omega_p\omega_s^2 + 2\xi_s\omega_p^2\omega_s) + \omega_p^2\omega_s^2 \end{aligned} \quad (9)$$

지반 기진력이 일정한 스펙트럼 밀도 S_0 를 가진다고 가정하면, 주 구조물의 mean square 응답은 다음과 같다.

$$E[x_p^2] = S_0 \int_{-\infty}^{\infty} |H_{x_p}(\omega)|^2 d\omega \quad (10)$$

여기서 TMD의 성능을 살피기 위해 “유효 감쇠”를 도입하였다. 2-자유도 계의 응답을 마치 1-자유도 계의 응답처럼 치환하기 위해 TMD가 주 구조물에 미치는 모든 효과를 유효 감쇠 ξ_e 로 대표한다. 만약 2-자유도 계에서 주 구조물의 mean square 응답이 감쇠 조정에 의해 1-자유도 계의 mean square 응답과 같게 될 수 있다면 이때의 감쇠를 유효감쇠로 정의한다. 식 (10)을 이용하여 유효 감쇠를 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \xi_e &= \frac{S_0\pi}{2\omega_p^3 E[x_p^2]} \\ &= \frac{p_1\xi_s^3 + p_2\xi_s^2 + p_3\xi_s + p_4}{q_1\xi_s^3 + q_2\xi_s^2 + q_3\xi_s + q_4} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 $p_1 = 4(1+\gamma)\xi_p f^2$, $p_2 = [\gamma + 4\{1 + (1+\gamma)f^2\}\xi_p^2]f$, $p_3 = [(1+\gamma)f^4 + 1 - 2(1-2\xi_p^2)f^2]\xi_p$, $p_4 = \gamma\xi_p^2 f^3$, $q_1 = 4(1+\gamma)^3 f^2$, $q_2 = 4(1+\gamma)^2[1 + (1+\gamma)f^2]\xi_p f$, $f = \omega_s/\omega_p$

$$q_3 = 1 + (1 + \gamma)^2(\gamma - 2 + 4\xi_s^2)f^2 + (1 + \gamma)^4f^4, \quad q_4 = [\gamma^2 + \gamma(1 + \gamma)^2f^2]\xi_s f \quad \text{이다.}$$

특정 질량비 γ 에 대해 유효 감쇠 ξ_e 는 튜닝 주파수 f 및 TMD 감쇠 ξ_s 의 함수임을 알 수 있으며, 유효 감쇠가 최대값을 갖는 f 와 ξ_s 를 구하면 이 계수들을 최적의 설계 파라미터라고 말할 수 있다. 최적의 설계 파라미터를 갖는 조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \xi_e}{\partial f} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial \xi_e}{\partial \xi_s} = 0 \quad (12)$$

식 (11)을 식 (12)에 대입하면, 주어진 질량비에 대한 최적의 TMD의 파라미터를 구할 수 있다. 주 구조물의 감쇠를 무시하고($\xi_p = 0$) 지반 기진력이 일정한 스펙트럼 밀도 S_0 를 갖는 백색 잡음이라고 가정하면, 유효 감쇠는 다음과 같이 간략히 표현할 수 있다.

$$\xi_e = \xi_s \gamma f / (1 + [4\xi_s^2(1 + \gamma)^3 + (\gamma - 2)(\gamma + 1)^2]f^2 + (1 + \gamma)^4f^4) \quad (13)$$

윗 식들에 최적화 조건 식 (12)를 적용하면, 다음의 최적 파라미터를 구할 수 있다.

$$f_{opt} = \sqrt{\frac{2 - \gamma}{2(1 + \gamma)^2}} \quad (14)$$

$$\xi_{s, opt} = \sqrt{\frac{\gamma(\gamma - 4)}{8(\gamma + 1)(\gamma - 2)}} \quad (15)$$

그리고 이 때의 유효 감쇠는 다음과 같다.

$$\xi_{e, opt} = \sqrt{\frac{\gamma}{4(\gamma + 1)^3(4 - \gamma)}} \quad (16)$$

식 (14)와 식 (15)를 이용하여 다자유도계의 건축 구조물에 적용한 경우의 진동 제어 효과에 대해서는 참고 문헌 [8]에 잘 나타나 있다.

3. 성능 시험용 시험 구조물

TMD의 제어성능을 검증하기 위하여 건축 구조물에서의 적용이 가능한 5층 후판 구조물 시험모델을 제작하였다. 각각의 후판은 4개의 기둥으로 지지되고 있는데, 중량은 약 2,260kg이며, 가로×세로×높이가 1,200mm×800mm×3,300mm이다. 시험모델의 하판은 한국기계연구원에서 보유하고 있는 대형 6 자유도 진동대에 취부할 수 있도록 제작하였다.

제작한 구조물의 동특성 실험은 6자유도 진동대에 시험모델을 고정시킨 후 진동대를 랜덤 파형을 이용하여 수평 방향으로 가진시키면서 수행하였다. 구조물 시험 모델의 각 층에는 가속도계를 부착하여 기반 가진에 의한 각 층에서의 응답을 계측하였다. 계측된 응답으로부터 각 층에서의 전달 함수를 구하여 고유 진동수, 감쇠비, 모드 형상 등을 추정하였다. 추정된 시험 구조물의 고유 진동수 및 감쇠비는 Table 1에 정리하였다.

시험 구조물을 전단 집중질량 모델로 가정할 경우, 동특성 실험을 통하여 추정된 고유 진동수 (f_n), 감쇠비 (ξ), 진동형 (Φ) 등을 이용하여 다음의 운동 방정식 (17)의 감쇠 행렬 (C), 강성 행렬 (K) 등을 추정하였다.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M1\ddot{x}_0(t) \quad (17)$$

여기서 $x(t) = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]^T$ 로 지반에 대한 각층의 상대 변위를 나타낸다.

Table 1 Natural Frequencies and Damping Ratios of the Test Structure

Mode		1	2	3	4	5
Direction						
Longitudinal	Natural Frequency(Hz)	2.87	7.29	12.15	15.32	20.73
	Damping Ratio(%)	0.41	0.15	0.12	0.11	0.14
Lateral	Natural Frequency(Hz)	2.87	7.29	12.15	15.32	20.73
	Damping Ratio(%)	0.41	0.15	0.12	0.11	0.14
Effective Mass (kg)		1685.9	250.6	34.3	41.1	9.8

4. 2축 제어용 TMD

제작된 TMD는 수평 2축 방향(X, Y 방향)의 제어 실현을 위한 동일 구조의 장치를 이단으로 겹치는 방법을 채택하였는데, 하부의 가동질량은 상부의 가동질량의 무게를 포함하게 설계되므로 상부에 비해 더 큰 힘을 낼 수 있다. 또한 상부의 능동형 TMD의 구동은 AC 서보 모터 1개를 사용하여 능동적으로 제어할 수 있도록 구성하였다. 따라서 하부장치에 대해서는 완전한 수동형 TMD 장치를 구현하고, 상부장치에 대해서는 수동 및 능동형을 혼합한 TMD 장치를 구현하도록 설계하였다. 강성 구현은 일련의 스프링들을 사용하였으며, 감쇠기는 현재 감쇠비 조절이 가능한 제품을 선정하였다.

TMD의 주요 파라미터들은 2장의 최적 설계의 방법을 따라 결정하였다.

상부 TMD

- 무게 : 시험 구조물 모델의 1.5% = 2,260kg×1.5% ≃ 35kg
- 질량비 γ = 가동질량 / effective mass(1차 진동형)×100 = 35kg/1,686kg×100 ≃ 2.07%
- effective damping $\xi_{eq} = \sqrt{\frac{\gamma}{4(1+\gamma)^3(4-\gamma)}} \times 100 \approx 3.49\%$
- 최적 파라미터 산정
 - $f_{opt}^2 = \frac{2-\gamma}{2(1+\gamma)^2} \approx 0.95015$, $\xi_{s,opt}^2 = \frac{\gamma(\gamma-4)}{8(\gamma+1)(\gamma-2)} \approx 0.00507\%$
 - 고유 진동수 = 시험구조물의 1차 고유진동수× $f_{opt} = 2.9\text{Hz} \times f_{opt} \approx \underline{2.8\text{Hz}}$
 - 감쇠비 = $\xi_{s,opt} \approx \underline{7.12\%}$

하부 TMD

- 무게 : 상부 가동질량 + 서보 모터 질량 + 전자 클러치 질량 등 ≃ 64kg
- 질량비 γ = 가동질량 / effective mass(1차 진동형)×100 = 64kg/1,686kg×100 ≃ 3.80%
- effective damping $\xi_{eq} = \sqrt{\frac{\gamma}{4(1+\gamma)^3(4-\gamma)}} \times 100 \approx 4.61\%$
- 최적 파라미터 산정
 - $f_{opt}^2 = \frac{2-\gamma}{2(1+\gamma)^2} \approx 0.91117$, $\xi_{s,opt}^2 = \frac{\gamma(\gamma-4)}{8(\gamma+1)(\gamma-2)} \approx 0.00917$

- 고유 진동수 = 시험구조물의 1차 고유진동수 $\times f_{opt} = 2.9\text{Hz} \times f_{opt} \approx \underline{2.8\text{Hz}}$
- 감쇠비 = $\xi_{s,opt} \times 100 \approx \underline{9.58\%}$

제작이 완료된 TMD는 Fig. 2와 같다. 제작 완료된 TMD의 무게는 총 104kg이며, 상부 가동질량은 35kg 하부 가동질량은 64kg이다. 상/하부의 가동질량을 제외한 무게는 시험 구조물에 설치될 경우 집중질량으로 작용하게 된다. 그러므로 상부 가동질량의 운동 방향으로는 69kg이, 하부 가동질량의 운동 방향으로는 40kg이 시험 구조물의 최상층에 집중질량으로 작용할 것이며, 이에 의해 시험 구조물의 동특성이 약간 바뀐다.

제작한 TMD의 동특성을 파악하기 위해 한국기계연구원에서 자체 개발한 2축 진동대의 수평대 위에 TMD를 설치하였다. 2축 진동대의 수평대 위에 TMD를 설치한 후 진동대 및 가동질량에 가속도계를 설치하였다. 진동대는 가진 주파수를 0.5Hz부터 10.0Hz까지 0.1Hz 또는 0.5Hz간격으로 변경시키면서 가진하였으며, 이때의 가진 가속도 레벨 및 가동질량의 가속도 레벨을 계측하였다. TMD에 설치된 댐퍼는 감쇠력을 오리피스 조절을 통해 8단계로 변화시킬 수 있으므로, 댐퍼가 설치되지 않은 경우와 댐퍼가 설치된 경우에 대한 시험을 수행하였다.

동특성 실험 결과 댐퍼가 설치된 경우에는 전달 함수의 크기가 매우 낮으며, 고유 진동수가 매우 많이 증가된 것을 알 수 있다. 이는 댐퍼가 자체 감쇠력 뿐만 아니라 매우 높은 강성을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 설계 및 제작시에는 댐퍼의 강성을 고려하지 않았으며, 댐퍼가 설치된 댐퍼의 동특성은 본 연구에서 사용하기 어려웠다. 따라서 시험 구조물을 이용한 성능검증시험에서는 댐퍼가 없는 경우에 대해서만 수행하였다.

상부 수동형 TMD의 동특성 실험 결과로부터 댐퍼가 설치되지 않은 경우에 TMD의 고유진동수 및 감쇠비는 각각 2.68Hz 및 4.3%임을 알 수 있었으며(Fig. 3), 이를 수학적으로 모델링하면 다음의 식과 같이 표현할 수 있다.

$$H(s) = \frac{9924.2}{35s^2 + 50.69s + 9924.2} \quad (18)$$

또한 하부 수동형 TMD의 동특성 실험 결과로부터 댐퍼가 설치되지 않은 경우에 TMD의 고유진동수 및 감쇠비는 각각 2.60Hz 및 2.9%임을 알 수 있었으며(Fig. 4), 이를 수학적으로 모델링하면 다음의 식과 같이 표현할 수 있다.

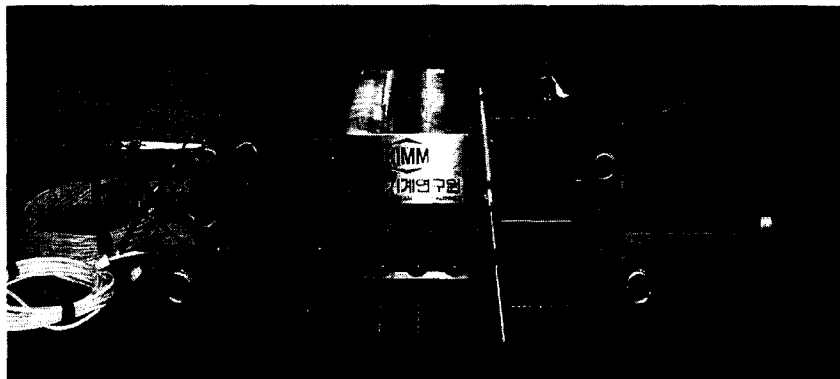


Fig. 2 The Developed Biaxial TMD

$$H(s) = \frac{17080}{64s^2 + 60.64s + 17080} \quad (19)$$

5. 시험 구조물을 이용한 성능 검증 시험

제작한 시험 구조물을 한국기계연구원이 보유하고 있는 대형 6자유도 진동대 위에 고정한 후 최상부 층에 제작한 2축 제어용 TMD를 설치하였다(Fig.5). 진동대에 최대크기가 0.15g, 0.20g 및 0.25g인 랜덤파를 수평 2축 방향(longitudinal(X) : 하부 TMD 가동방향, lateral(Y) : 상부 TMD 가동방향)으로 동시 입력함으로써 가진하였다. 시험은 TMD 설치 전·후의 응답 변화를 관찰하기 위해 설치 전의 응답을 계측하고, 이어서 설치 후의 응답을 계측하여 이의 분석을 통해 응답의 변화를 고찰하였다. 자료 취득주파수는 200Hz이며, 각각 80초동안 시험을 수행하였다. 실험 입력 파형의 크기에 따른 효과의 차이는 미소하였는데, Fig.6~Fig.9는 최대크기가 0.25g일때의 수평 2방향의 TMD 설치 전·후의 1층과 5층에서의 전달 함수를 보여 주고 있는데, TMD의 설치로 인해 시험 구조물의 주파수가 약간 낮아짐을 확인할 수 있다. 또한 제작된 2축 제어용 TMD는 시험 구조물의 수평 2축 방향의 1차 모드의 진동을 동시에 제어함에 효과적임을 확인할 수 있다. Fig.10

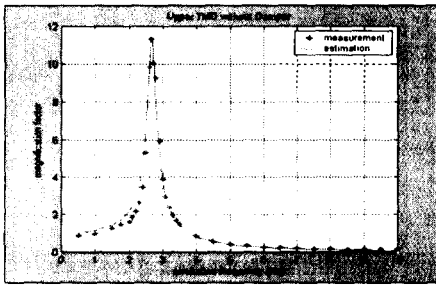


Fig. 3 Transfer Function of Upper TMD without Damper

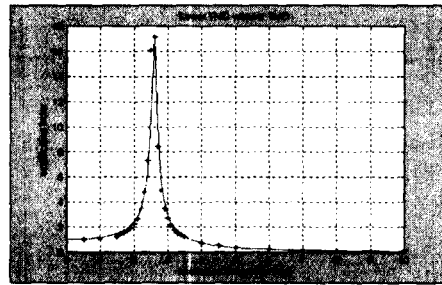


Fig. 4 Transfer Function of Lower TMD without Damper



Fig. 5 Experimental Setup

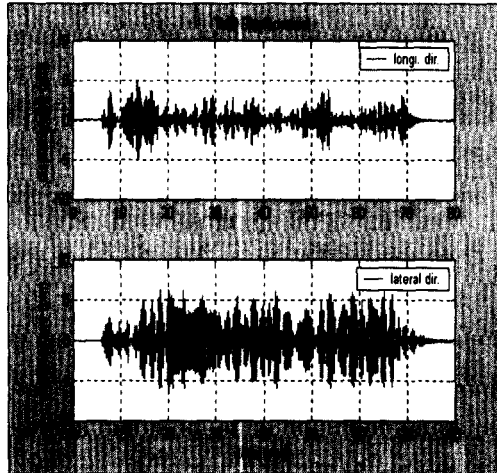


Fig. 10 Displacements of TMD



Fig. 6 Transfer Function at the 5th Story in Longitudinal(X) Direction

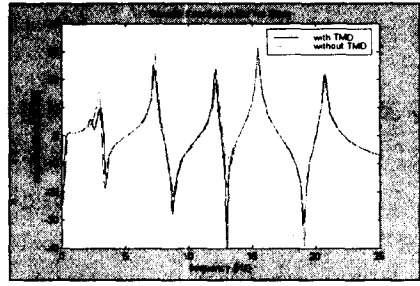


Fig. 7 Transfer Function at the 1st Story in Longitudinal(X) Direction

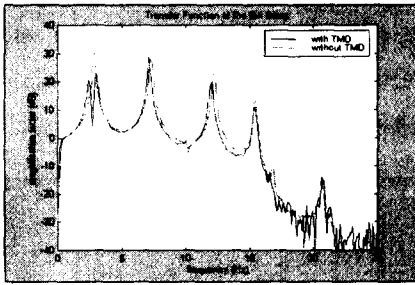


Fig. 8 Transfer Function at the 5th Story in Lateral(Y) Direction

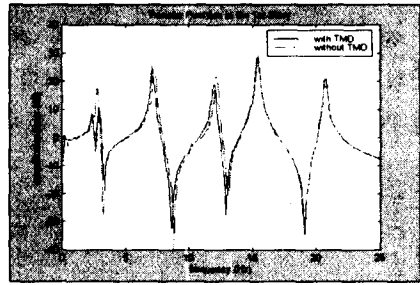


Fig. 9 Transfer Function at the 1st Story in Lateral(Y) Direction

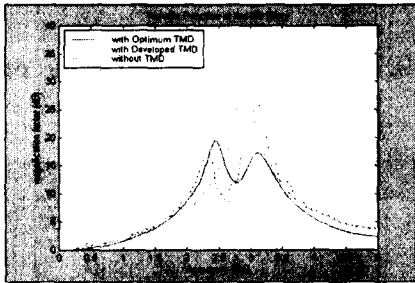


Fig. 11 Comparison of optimum TMD and the developed TMD : Lower TMD

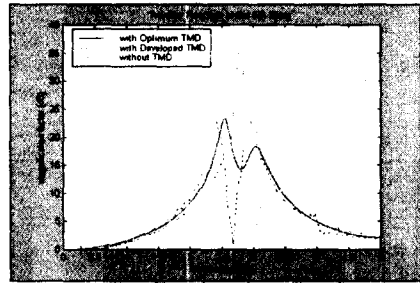


Fig. 12 Comparison of optimum TMD and the developed TMD : Upper TMD

은 TMD의 상부 가동 질량과 하부 가동 질량의 변위를 보여주고 있는데, 상부 가동 질량의 질량비가 더 작으므로 하부 가동 질량보다 변위가 더 큼을 확인할 수 있다. 또한 개발된 TMD와 4절의 최적의 강성과 댐핑을 갖는 TMD를 비교하기 위해 앞의 실험 결과와 수치적으로 얻은 최적의 TMD의 전달함수를 비교해 보았다. Fig. 11과 Fig. 12는 각각 상부 및 하부 질량의 가동 방향에 대하여 시험 구조물의 5층에서의 전달함수를 보여주고 있다. 최적의 댐핑의 구현은 1차 모드의 피크값을 줄이는 역할을 함을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 주 구조물의 감쇠를 무시할 경우 수동형 TMD의 최적 설계를 위한 파라미터를 산정하는 식을 도출하였고, 이를 바탕으로 수평 2축 방향의 진동을 동시에 제어할 수 있는 2축 제어용 TMD를 설계 및 제작하였다. 개발한 TMD의 성능검증 실험을 위해 5층의 시험 구조물을 제작하였고 동특성 파악을 위한 실험을 수행하였다. 이 시험 구조물의 최저차 고유 진동수는 약 2.9Hz이다. 개발한 TMD의 동특성 파악 실험을 수행한 후 5층의 시험 구조물의 최상층에 설치하여 성능검증실험을 수행하였다. 한국기계연구원의 대형 6자유도 진동대를 이용하여 TMD설치 전후의 결과를 비교 및 검토한 결과 시험 구조물의 수평 2축 방향의 1차 진동 모드의 응답을 동시에 제어함에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 앞으로 상부의 수동 및 능동형을 혼합한 TMD 장치를 구성하고 성능검증실험을 수행하여 비교할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 건설 기술 연구 개발 사업으로 수행중인 "초고층 건축물의 풍 및 지진 진동 제어용 동흡진기 개발"과제의 소과제 일부로 수행된 결과 중 일부이며, 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Soong, T.T.(1990), "Active Structural Control: Theory and Practice", Longman Scientific & Technical
2. Soong, T.T and Dargush, G.F.(1997), "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", John Wiley & Sons
3. Luft, R.W.(1979), "Optimal Tuned Mass Dampers for Buildings", Journal of the Structural Division, Vol.105, pp.2766-2772
4. Ayorinde, E.Q. and Warburton, G.B.(1980), "Minimizing Structural Vibrations with Absorbers", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.8, pp.219-236
5. Warburton, G.B.(1982), "Optimal Absorber Parameters for Various Combinations of Response and Excitation Parameters", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.10, pp.381-401
6. Asami, T., Wakasono, T., Kameoka, K., Hasegawa, M., and Sekiguchi, H.(1990), "Optimum Design of Dynamic Absorbers for a System Subjected to Random Excitation", Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C, Vol.56, No.523, pp.93-101
7. Asami, T., Momose, K. and Hosokawa, Y.(1993), "Approximate Expression for Design of Optimal Dynamic Absorbers Attached to Damped Linear Systems(Optimization Process Based on the Minimum Variance Criterion)", Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C, Vol.59, No.566, pp.56-61
8. 문석준, 정태영, 임재광, 한성용, 송영훈(1998), "지반 기진력을 받는 건축구조물의 최적 동흡진기 설계", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp.841-847