

횡하중에 대한 점성 및 점탄성감쇠기의 진동제어성능의 비교

Comparison of Motion Control Capacity of Viscous and Viscoelastic Dampers for Lateral Loads

김진구*
Kim, Jin-Koo

김유경**
Kim, Yu-Kyung

Abstract

In this study a structure with viscoelastic and viscous dampers with identical damping coefficient subjected to stationary seismic and wind load were analyzed in time and frequency-domain to compare motion control capability of viscous and viscoelastic dampers. The dampers were placed based on story drift and acceleration obtained from RMS responses. According to the analysis results, the motion control capability of viscous dampers turned out to be superior to that of the viscoelastic dampers for the case of seismic load. On the contrary, in case of wind load, the viscoelastic dampers were more effective in the mitigation of dynamic responses. However, it was also found that the differences were in a narrow margin.

keywords : Viscoelastic Damper, Viscous Damper, Wind Load, Seismic Load, Damper Location, Dynamic Responses

1. 서론

ATC-40 보고서¹⁾는 기존 건물의 내진성능을 향상시키는 방법으로 건물의 강도와 강성을 증가시키는 방법, 건물의 변형능력을 향상시키는 방법, 면진장치나 에너지 소산장치를 설치하는 방법 등을 제시하고 있다. 에너지 소산장치중에서 재료의 점성 특성을 이용

하여 지진 및 바람에 의한 진동에너지를 열 에너지로 소산시키는 점성감쇠기와 점탄성감쇠기는 구조물에 감쇠비를 증가시킴으로써 구조물에 발생하는 동적 응답을 효과적으로 저감하며, 비교적 장치의 설치가 간편하고 상대적 소요비용이 적어 신축 건물 뿐 아니라 기존 건물의 내진성능 향상을 위해서 많이 적용되고 있다.

* 경희원, 성균관대학교 건축공학과 조교수, 공박

** 성균관대학교 건축공학과 석사과정

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2001년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

점탄성감쇠기는 바람에 의한 건물의 진동을 제어할 목적으로 미국 World Trade Center, Columbia Sea First Building 등에 사용되었고, 내진 보강을 위해 미국 San Jose의 Santa Clara County Building, 일본 Osaka의 Keihan Hotel 등에 사용된 예가 있다. 점성감쇠기는 미국 Los Angeles의 Los Angeles City Hall, Houston의 Ballpark at Union Station 등 강진지역을 중심으로 많이 적용되고 있다.

두 감쇠기 모두 지진 및 바람하중에 효과적으로 작용하는 것으로 알려져 있으나 하중별로 어떠한 거동특성의 차이가 있는지에 대하여서는 구체적으로 연구된 바 없다. 따라서 본 논문에서는 동일한 감쇠력을 나타내는 점성감쇠기와 점탄성감쇠기를 설치한 구조물을 대상으로 상이한 진동수성분을 갖는 바람 및 지진하중에 대한 구조물의 동적 응답 및 적정 설치위치의 차이를 분석하였다.

이를 위하여 먼저 감쇠기가 설치된 단자유도 구조물에 지진 및 바람하중을 가하고 구조물의 주기 및 감쇠기의 감쇠값의 변화에 따른 구조물 응답의 변화를 고찰하였다. 그리고 같은 감쇠값을 갖는 점탄성감쇠기와 점성감쇠기가 각각 설치된 3차원 건물을 대상으로, 건물의 비비례 감쇠특성을 고려하여 지진과 바람의 하중스펙트럼에 의한 RMS(Root Mean Square) 응답을 구하고 이를 이용하여 감쇠기별 적정 설치 위치 및 최대변위, 최대가속도, 층간변위 등을 비교하였다.

2. 감쇠기의 모델링 및 하중 스펙트럼

해석에 사용된 점탄성감쇠기의 거동은 일반적으로 Fig. 1과 같이 스프링과 dashpot이 병렬로 연결된



(a) 점탄성감쇠기 (b) 점성감쇠기

Fig. 1 감쇠기의 모델링

Kelvin-Voigt 모델을 이용하여 표현되고, 점성감쇠기는 선형 dashpot만으로 표현된다.

지반 가속도의 파워 스펙트럼 밀도 함수로서 식(1)과 같은 Kanai-Tajimi 스펙트럼을 사용하였다.²⁾

$$S_{a_g, a_g}(\bar{\omega}) = \frac{1 + 4 \zeta_g^2 \left(\frac{\bar{\omega}}{\omega_g}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\bar{\omega}}{\omega_g}\right)^2\right]^2 + 4 \zeta_g^2 \left(\frac{\bar{\omega}}{\omega_g}\right)^2} S_0 \quad (1)$$

위의 식에서 $S_{a_g, a_g}(\bar{\omega})$ 는 지반 가속도의 파워 스펙트럼 밀도 함수이고, ζ_g , ω_g 및 S_0 는 각각 지반의 감쇠 계수(predominant damping coefficient), 지반의 고유 진동수(characteristic ground frequency), 강도 상수(intensity measure)를 나타낸다. 실제의 지반 가속도는 비정상(non-stationary) 무작위 진동이라 할 수 있고, 위의 스펙트럼은 지반 가속도의 강진 부분을 표현하는 식이므로 본 논문에서 구한 응답은 실제 응답의 상한(upper-bound)을 나타낸다고 할 수 있다.

식(1)은 가속도를 나타내는 것으로 여기에 각 자유도가 가지는 가진 방향의 질량을 곱하여 하중의 형태로 변환할 수 있다. 지진하중의 교차 스펙트럼 밀도 함수 $S_{P_n P_n}(\bar{\omega})$ 는 식(2)와 같이 정의된다.

$$S_{P_n P_n}(\bar{\omega}) = 2 \sum_i \sum_j S_{a_g, a_g}(\bar{\omega}) m_{i_x} m_{j_x} \phi_{im} \phi_{jm} \quad (2)$$

여기서 m_{i_x} 는 i 절점의 x 방향 질량을 나타낸다.

바람 하중에 의하여 구조물에는 항력(drag force)에 의한 바람 방향의 응답(along-wind response)과 양력(lift force)에 의한 그 직각 방향의 응답(across-wind response)이 발생하게 된다.

본 논문에서는 다음과 같은 모드별 하중의 교차 스펙트럼 밀도 함수 $S_{P_n P_n}(\bar{\omega})$ 를 이용하여 진동수영역 해석을 수행하였다.³⁾

항력에 의한 하중의 스펙트럼 :

$$S_{P_x P_x}(\bar{\omega}) = \sum_{jx} \sum_{kx} \phi_{jx m} S_{P_{jx}}(\bar{\omega}) \phi_{kx n}$$

$$S_{P_{jx}}(\bar{\omega}) = \rho^2 A_{jx} A_{kx} \times V_{m_x} V_{m_u} S_{u_x u_x}(\bar{\omega}) C_D^2$$
(3)

양력에 의한 하중의 스펙트럼 :

$$S_{P_x P_x}(\bar{\omega}) = \sum_{jy} \sum_{ky} \phi_{jy m} S_{P_{jy}}(\bar{\omega}) \phi_{ky n}$$

$$S_{P_{jy}}(\bar{\omega}) = \rho^2 A_{jy} A_{ky} \times V_{m_y} V_{m_v} S_{v_y v_y}(\bar{\omega}) C_L^2$$
(4)

위의 식에서 jx 와 kx 는 along-wind 와 만나는 구조물 표면에서의 임의의 두 점이고 jy 와 ky 는 across-wind 와 만나는 구조물 표면에서의 임의의 두 점이다. 또, ρ 는 공기 밀도이고, V_m 은 임의의 절점에서의 평균 풍속을 의미하며, C_D 와 C_L 은 각각 항력 계수(drag coefficient)와 양력 계수(lift coefficient)를 나타낸다. 그리고, A 는 바람하중을 받는 구조물의 표면적을 의미한다. 또한 $S_{u_x u_x}(\bar{\omega})$ 와 $S_{v_y v_y}(\bar{\omega})$ 는 각각 임의의 두 점에 대한 along-wind 방향과 across-wind 방향 풍속의 교차 스펙트럼이며 식(5)~(6)과 같다.³⁾

$$S_{u_x u_x}(\bar{\omega}) = \sqrt{S_{u_x}(\bar{\omega})} \sqrt{S_{u_x}(\bar{\omega})} \times \exp\left(-\frac{\bar{\omega} [C_z^2 (z_{jx} - z_{kx})^2 + C_y^2 (y_{jx} - y_{kx})^2]}{\pi [V_m(z_{jx}) + V_m(z_{kx})]}\right)$$
(5)

$$S_{v_y v_y}(\bar{\omega}) = \sqrt{S_{v_y}(\bar{\omega})} \sqrt{S_{v_y}(\bar{\omega})} \times \exp\left(-\frac{\bar{\omega} [C_z^2 (z_{jy} - z_{ky})^2 + C_x^2 (x_{jy} - x_{ky})^2]}{\pi [V_m(z_{jy}) + V_m(z_{ky})]}\right)$$
(6)

여기서 x , y , z 는 각각 세 축에 대한 절점의 공간상의 좌표를 나타내고, C_x , C_y 및 C_z 는 실험에 의하

여 결정되는 계수이다. 또, $S_u(\bar{\omega})$ 와 $S_v(\bar{\omega})$ 는 각각 임의의 한 점에 대한 along-wind 방향과 across-wind 방향 풍속의 스펙트럼이며 식(7)~(8)로부터 구하였다.⁴⁾

$$\frac{\bar{\omega} S_u(z, \bar{\omega})}{2\pi u_*^2} = \frac{200 f(z, \bar{\omega})}{[1 + 50 f(z, \bar{\omega})]^{5/3}} \quad (7)$$

$$\frac{\bar{\omega} S_v(z, \bar{\omega})}{2\pi u_*^2} = \frac{15 f(z, \bar{\omega})}{[1 + 9.5 f(z, \bar{\omega})]^{5/3}} \quad (8)$$

$$f(z, \bar{\omega}) = \frac{\bar{\omega} z}{2\pi V_m}$$

여기서 u_* 는 마찰 속도, 또는 전단 속도를 나타낸다.

3. 단자유도 구조물의 동적 응답 비교

구조물의 주기 및 감쇠기의 감쇠값의 변화에 따른 응답의 변화를 분석하고 비교하기 위하여 두 종류 감쇠기의 감쇠비가 변할 때 고유주기가 0.1초 및 1초인 단자유도 시스템의 평균응답(RMS response)의 변화 양상을 파악하였다. 점성감쇠기가 설치된 모델의 경우 식(9)와 같은 전달함수를 이용하여 응답의 파워스펙트럼 밀도 함수를 식(10)과 같이 나타낼 수 있다. 식(10)에서 $S_x(\omega)$ 를 각 하중의 스펙트럼으로 치환하여 응답의 평균 제곱을 식(11)과 같이 구할 수 있다.

$$H(\omega) = \frac{1}{-M\omega^2 + i(C + C_d)\omega + K} \quad (9)$$

$$S_y(\omega) = H(-\omega)H(\omega)S_x(\omega) = |H(\omega)|^2 S_x(\omega) \quad (10)$$

$$E[y^2] = \int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega)|^2 S_x(\omega) d\omega$$

$$E[\dot{y}^2] = \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{H}(\omega)|^2 S_x(\omega) d\omega \quad (11)$$

같은 방법으로 점탄성감쇠기가 설치된 경우의 평균 응답을 구할 수 있다. 점탄성감쇠기가 설치된 단자유도계의 변위 및 가속도 전달함수는 식(12)와 같고, 응답의 평균 제곱은 식(11)과 같이 구할 수 있다.

$$H(\omega) = \frac{1}{-M\omega^2 + i(C + C_d)\omega + K + K_d}$$

$$\dot{H}(\omega) = \frac{\omega^2}{-M\omega^2 + i(C + C_d)\omega + K + K_d} \quad (12)$$

Fig. 2와 3은 지진하중에 대한 단자유도 구조물의 주기 및 감쇠값의 변화에 따른 변위 및 가속도의 RMS값을 나타낸다. 단자유도계 구조물에 있어 변위의 제어효과는 점탄성감쇠기가 점성감쇠기보다 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 점탄성감쇠기의 강성의 영향 때문인 것으로 사료된다. 가속도의 경우는 고유 주기가 길어질수록 점성감쇠기가 더 효과적인 것을 알 수 있다.

Fig. 4와 5는 바람하중 스펙트럼에 대한 단자유도 구조물의 주기 및 감쇠값의 변화에 따른 변위 및 가속도의 RMS값을 나타낸다. 변위 제어 효과는 점탄성감

쇠기가 점성감쇠기보다 더 우수한 것으로 나타났으며 지진하중과 비교할 때 그 효과가 더 큰 것을 알 수 있다. 가속도 제어 효과는 두 감쇠기의 효과가 비슷한 것으로 나타났다.

4. 감쇠기가 설치된 다자유도 구조물의 진동수영역 해석

구조물에 점탄성감쇠기나 점성감쇠기 등과 같은 에너지소산형 감쇠장치가 설치되면 추가되는 감쇠력에 의하여 구조물의 진동 모드가 달라지게 된다. 따라서, 이러한 구조물의 정확한 모드 해석을 위해서는 고유치 해석시에 감쇠의 영향을 반영하여야 한다.

하중과 응답이 정상 과정(stationary process)이라고 가정하면 고유치 및 고유 벡터를 이용하여 식(13)으로부터 응답의 파워 스펙트럼 밀도 함수를 얻을 수 있다.

$$S_y(\bar{\omega}) = \sum_m \sum_n \phi_{qm} \phi_{qn} \times H_m(-i\bar{\omega}) H_n(i\bar{\omega}) S_{P_m P_n}(\bar{\omega}) \quad (13)$$

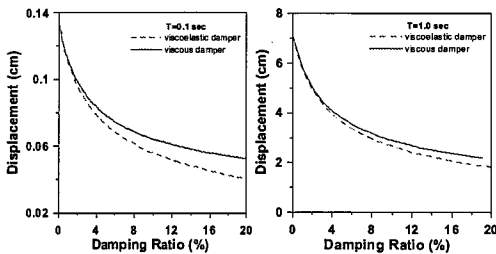


Fig. 2 지진하중에 대한 변위 응답

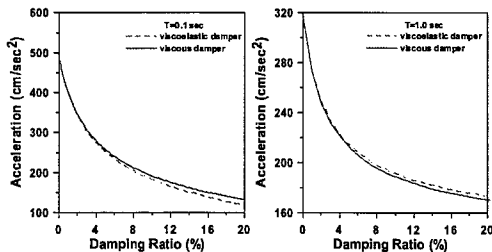


Fig. 3 지진하중에 대한 가속도 응답

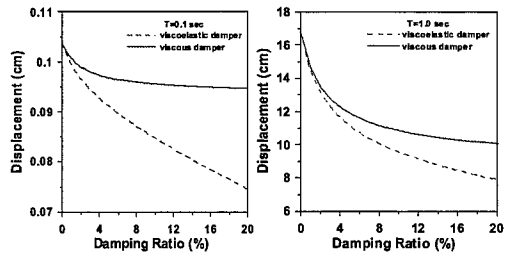


Fig. 4 바람하중에 대한 변위 응답

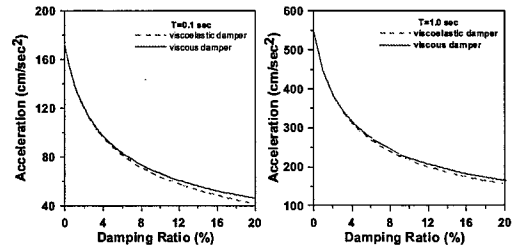


Fig. 5 바람하중에 대한 가속도 응답

여기서 $S_q(\bar{\omega})$ 는 q 자유도 변위의 파워 스펙트럼 밀도 함수이고, ϕ_{qm} 은 m 차 모드 q 자유도의 모드 형상 계수이다. 또, $H_m(-i\bar{\omega})$ 은 m 차 모드의 진동수 영역에서의 복소 응답 함수(complex frequency response function)이고 $H_n(i\bar{\omega})$ 은 n 차 모드에 대한 그 켈레 함수이며, $S_{P_m P_n}(\bar{\omega})$ 는 모드별 하중인 P_m 과 P_n 의 교차 스펙트럼 밀도 함수(cross spectral density function)이다.

일반적으로 진동수 영역의 복소 응답 함수는 시간 영역의 단위 충격 응답 함수(unit impulse response function)를 푸리에 변환(Fourier transform)하여 얻을 수 있다. 따라서, 비비례 감쇠계의 복소 응답 함수는 단위 충격 응답 함수를 결정한 후 푸리에 변환하여 구할 수 있으며 이를 식(13)에 대입하면 허수부는 소거되고, 실수부만을 가지는 응답의 파워 스펙트럼 밀도 함수를 얻을 수 있다.⁵⁾ 식(13)으로부터 얻은 변위 응답의 파워 스펙트럼 밀도 함수를 진동수의 전 대역에 대해서 적분하여 제곱근을 취하면 식(14), 식(15)와 같이 RMS 변위 응답과 가속도 응답을 구할 수 있다.

$$\sigma_q = \sqrt{\int_0^{\infty} S_q(\bar{\omega}) d\bar{\omega}} \quad (14)$$

$$\ddot{\sigma}_q = \sqrt{\int_0^{\infty} \bar{\omega}^4 S_q(\bar{\omega}) d\bar{\omega}} \quad (15)$$

5. 예제 구조물의 해석

예제 구조물로는 Fig. 6에서 나타낸 것과 같은 3차원 1경간 10층의 철골조 건물을 사용하였다. 구조물의 슬래브는 강막으로 가정하였고, 구조물 자체의 1차와 2차 모드 감쇠비는 1%로 가정하였으며, 질량은 각 절점에 집중하였다. Table 1에는 설계된 부재의 목록을 나타내었다. 감쇠기는 각각의 방법에 따라 각 층에 가새의 형태로 양면에 한 개씩 설치하였으며, 감쇠기에 따른 제어효과를 비교하기 위하여 점탄성감

쇠기와 점성감쇠기는 같은 감쇠값을 갖도록 하였다. 사용된 점탄성감쇠기의 전단저장계수, 전단손실계수 및 두께는 각각 250.3 ton/m², 421.4 ton/m², 2.0 cm로 하였으며⁶⁾, 감쇠기의 전단면적은 각각의 최적화 방법에 따른 변수로 정하였다. Fig. 6의 점선은 감쇠기의 설치 위치를 나타낸다.

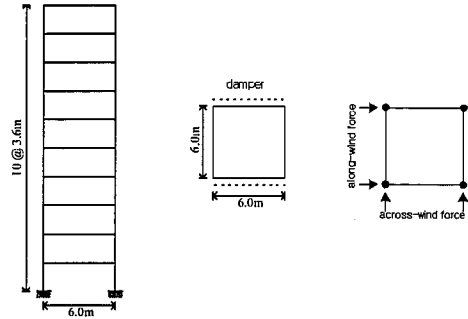


Fig. 6 예제 구조물

Table 1 예제 구조물의 부재 설계

층	보		기둥	
	단면적 (cm ²)	단면2차 모멘트(cm ⁴)	단면적 (cm ²)	단면2차 모멘트(cm ⁴)
10	143	47800	163	34500
9	143	47800	163	34500
8	143	47800	210	58500
7	143	47800	210	58500
6	143	47800	291	91500
5	218	126100	291	91500
4	218	126100	356	117900
3	218	126100	356	117900
2	218	126100	405	118300
1	218	126100	405	118300

본 논문에서는 먼저 각 감쇠기의 최적 설치위치를 구하여 감쇠기를 설치하고 그 때의 응답을 비교하여 제어효과를 판단하는 방법을 이용하였다. 점탄성감쇠기와 점성감쇠기의 적정 위치를 결정하기 위하여, 지진하중인 경우에는 RMS 층간변위가 가장 큰 지점에 순차적으로 감쇠기를 설치하는 방법을 이용하였다. 바람하중인 경우에는 가속도가 건물의 사용성이나 거주성 판단의 근거가 됨을 고려하여 RMS 층간 가속도를 위치 선정 지표로 이용하였다. 감쇠기는 모두 5개 층

에 설치되는 것으로 하였다.

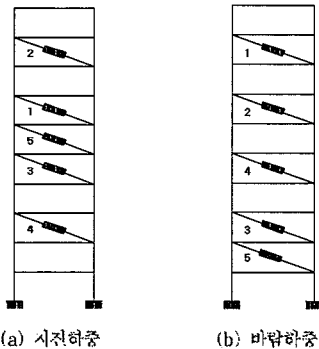
지진 하중에 대하여 식(1)에서의 지반 강도 상수 S_0 는 El Centro(S00E, 1940) 지진 기록의 PGA 에 대응하는 값이다. 지진 기록의 PGA로부터 S_0 를 결정하기 위하여 Shinozuka (1990) 등이 제안한 다음 식을 이용하였다.⁷⁾

$$PGA = p_g \sqrt{\left[\pi \omega_g \left(\frac{1}{2 \zeta_g} + 2 \zeta_g \right) \right] S_0} \quad (16)$$

여기서 p_g 는 지반 가속도의 peak factor 이고 경험적으로 3.0 이 사용된다. 식(1)과 식(16) 에 사용한 ω_g 및 ζ_g 의 값은 각각 28.3 rad/sec 및 0.6 이며, 이 값들은 견고한 지반에서 얻어진 값들이다.⁷⁾ PGA 값으로는 0.34를 사용하였다.

바람 하중은 Fig. 6에 나타낸 것과 같이 구조물에 작용한다고 가정하였다. 바람하중의 스펙트럼을 구성하기 위해서 사용된 계수는 roughness length=0.5m, 10m높이에서의 평균 풍속=15m/sec, 공기 밀도=1.2 kg/m³, 항력계수=1.3, 양력계수=1.0 이며, 높이에 따른 평균 풍속의 변화는 logarithmic law를 이용하여 고려하였다.

Fig. 7에는 지진 및 바람하중을 가했을 때 같은 크기의 점탄성감쇠기와 점성감쇠기의 설치순서 및 층을 나타내었다. 감쇠기 옆의 숫자는 감쇠기의 설치 순서를 나타낸다. 각 하중에 있어서 점탄성감쇠기와 점성



(a) 지진하중 (b) 바람하중

Fig. 7 감쇠기의 설치 순서 및 위치

감쇠기의 설치 위치 및 설치 순서가 같게 나타났으며, 두 하중 모두 감쇠기의 설치 위치 및 순서가 유사함을 알 수 있다.

Fig. 8과 9는 각각 지진하중과 바람하중에 대하여 점탄성감쇠기와 점성감쇠기의 설치 개수에 따른 최상층 변위 및 가속도를 나타낸다. 모든 경우에 있어서 감쇠기를 설치할수록 응답이 작아지나, 지진하중에 대해서는 감쇠기의 수가 증가할수록 그 효과는 감소함을 알 수 있다. 그러나 바람하중에 있어서는 다섯 개의

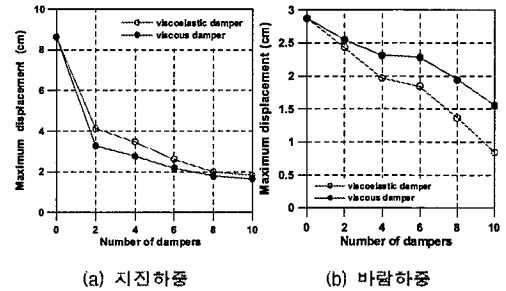


Fig. 8 설치된 감쇠기의 개수에 따른 최대 변위

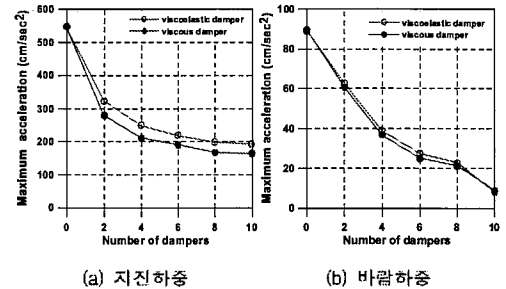


Fig. 9 설치된 감쇠기의 개수에 따른 최대 가속도

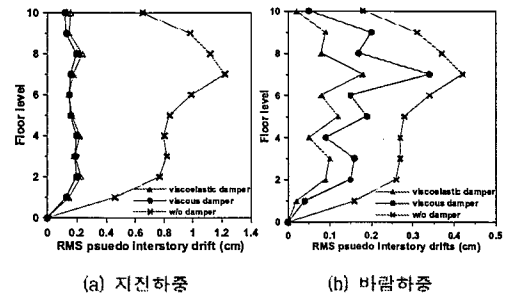


Fig. 10 감쇠기 설치 후 각 구조물의 층간 변위

감쇠기의 제어효과가 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 지진하중에 있어서는 점성감쇠기의 효과가, 바람하중에 있어서는 점탄성감쇠기의 효과가 더 크며, 그 차이는 점탄성감쇠기의 강성의 영향으로 가속도보다는 변위 응답에서 더욱 두드러지는 것을 알 수 있다. Fig. 10에서는 지진 및 바람하중에 대하여 점탄성감쇠기와 점성감쇠기가 최종 설치된 구조물과 감쇠기가 설치되지 않은 구조물의 층간 변위를 비교하였다. 지진하중의 경우에는 두 감쇠기의 차이가 거의 없으나 바람하중의 경우에는 점탄성감쇠기의 효과가 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 11과 12는 각각 구조물의 최상층 변위 및 가속도 응답 파워 스펙트럼 밀도를 나타낸 것으로, 지진하중과 바람하중에 대하여 감쇠기가 설치되지 않은 구조물과 점탄성감쇠기 및 점성감쇠기가 설치된 구조물을 비교한 것이다. 지진하중의 경우 낮은 진동수에서는 점탄성감쇠기를 설치한 구조물의 응답이 작았으나 어느 정도 지나면 점성감쇠기보다 커진다. 바람하중의 경우에는 전 대역에서 점탄성감쇠기를 설치한 구조물의 응답이 작게 나타났다. Fig. 13과 14에서는 지

진과 바람하중에 대하여 감쇠기를 모두 설치한 후 각 층의 최대 변위 및 최대가속도를 비교하였다. 감쇠기를 설치함으로써 설치전과 비교하여 응답의 제어효과가 뛰어난 것을 알 수 있다. 전반적으로 지진하중에 대해서는 점성감쇠기가, 바람하중에 대해서는 점탄성감쇠기가 층별 최대응답을 저감하는데 효과적으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 지진하중의 경우 하층의 주요 에너지가 높은 진동수 영역에 집중되어 있고, 점탄성감쇠기를 설치할 경우 구조물의 고유진동수가 증가하여 지진하중이 증가하기 때문이다. 이러한 결과는 단자유도계에서 얻어진 결과와 상이함을 알 수 있는데 고차모드의 영향에 따른 것으로 판단된다. 바람하중의 경우에는 주요 성분이 낮은 진동수영역에 존재하는데 점탄성감쇠기의 강성의 영향으로 구조물의 고유진동수가 높은 진동수영역으로 이동하기 때문에 응답의 제어효과가 큰 것으로 판단된다. 또한 지진하중에 대한 변위, 바람하중에 대한 가속도응답은 감쇠기 별로 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 일반적으로 지진의 경우 구조물의 손상의 정도를 층간변위를 근거로

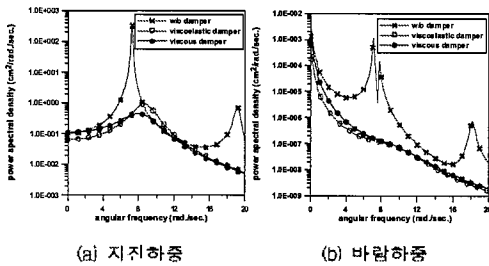


Fig. 11 감쇠기 설치 후 각 구조물 최상층 변위 응답의 파워 스펙트럼 밀도

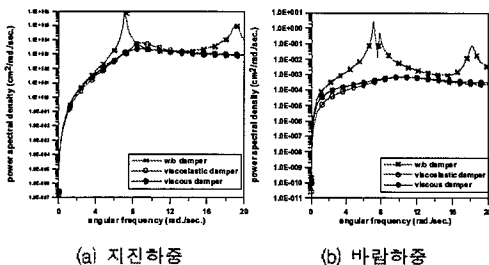


Fig. 12 감쇠기 설치 후 각 구조물 최상층 가속도 응답의 파워 스펙트럼 밀도

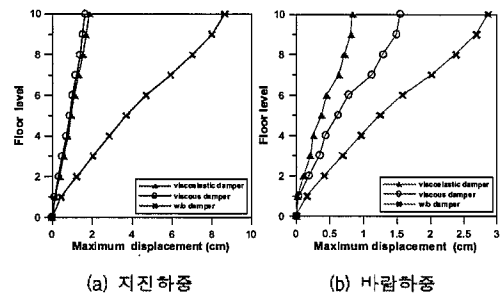


Fig. 13 각층기 설치 후 각 층의 최대 변위

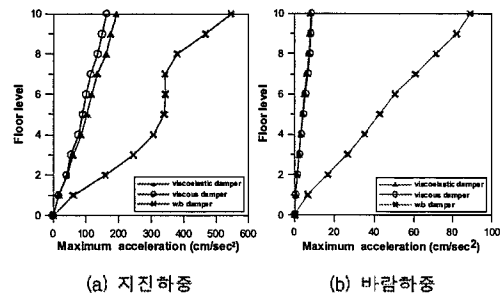


Fig. 14 감쇠기 설치 후 각 층의 최대 가속도

판단하는 경우가 많으며, 바람하중에 대해서는 최대가속도를 이용하여 거주성을 만족하는지 여부를 판단하게 된다. 이러한 관점에서 본다면 지진이나 바람하중에 대하여 설계할 때 점성감쇠기나 점탄성감쇠기의 진동제어성능상의 차이는 크지 않으며 경제성, 시공성, 건축계획상의 제한조건 등을 고려하여 감쇠기를 선택하는 것이 바람직하다고 사료된다.

6. 결 론

본 논문에서는 같은 점성감쇠력을 갖는 점탄성감쇠기와 점성감쇠기가 각각 설치된 구조물에 대하여 지진과 바람하중에 대한 RMS 응답 및 직경 설치 위치를 비교하였다. 각 하중에 대해서 점탄성감쇠기와 점성감쇠기 모두 그 설치 순서와 위치가 같았으며, 응답 제어 효과가 우수하였다. 두 하중에 대한 감쇠기 설치 순서 및 위치도 유사한 것으로 나타났다. 지진하중에 대해서는 모든 응답에 있어서 점성 감쇠기의 제어능력이 점탄성감쇠기보다 약간 큰 것으로 나타났다. 바람하중에 대해서는 변위의 제어에 있어 점탄성감쇠기의 효과가 점성감쇠기보다 매우 높은 것으로 나타났으나 거주성 판단의 근거가 되는 가속도의 경우 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 과제 (과제번호:1999-1-310-001-3)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. ATC, "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
2. Zhang, R. H. and Soong, T. T., "Seismic Design of Viscoelastic Dampers for Structural Applications", J. of Struct. Engrg., Vol. 118, No. 5, 1992, pp. 1375-1392.
3. Yang, J.N., Lin, Y.K., and Samali, B., "Coupled motion of wind-loaded multi-story building", J. of Engrg. Mechanics Div., Vol. 107, 1981, pp. 372-380
4. Kaimal, J.C. et. al., "Spectral Characteristics of Surface-Layer Turbulence," J. of Royal Meteorol. Soc., Vol. 98, 1972, pp. 563-589.
5. 김진구, 이창용, "점탄성감쇠기를 설치한 비례감쇠 구조물의 풍응답 해석", 전산구조공학회, Vo. 12, No. 4, 1999, pp. 649-659
6. Zhang, R. H., Soong, T. T., and Mahmoodi, P., "Seismic Response of Steel Frame Structures with Added Viscoelastic Dampers", Earthquake Eng. Struct. Dyn., Vol. 18, 1989, pp. 389-396.
7. Shinozuka, M., Wen, Y. K., and Casciati, F., "Seismic Damage and Damage-Control Design for RC Frames," J. Intell. Mater. Syst. and Struct., Vol. 1, 1990, pp. 476-495.

(접수일자 : 2000년 12월 14일)