

점탄성 감쇠기가 설치된 실물크기 5층 철골건물의 진동실험

Dynamic Experiment of a Full-Scale Five-story Steel Building with Viscoelastic Dampers

민경원* 이영철** 이상현*** 박민규** 김두훈**** 박진일**** 정정교****
Min, Kyung Won Lee, Young Cheol Lee Sang Hyun Park, Min Kyu Kim, Doo Hoon Park, Jin Il Jeoung, Jeoung Kyo

ABSTRACT

Viscoelastic dampers are known effective devices for response reduction under earthquakes and winds. This study addresses how to design the optimum viscoelastic dampers installed at the full scale five-story steel building and novel approach to carry out the experimental work to verify the damper performance. First, an exciter of hybrid mass-type actuator is designed, which can move the building and its mathematical model is derived. The integrated system of building-actuator is experimentally analyzed for mathematical model. Second, convex model is applied for the prediction of required additional damping ratios to reduce responses below a specified target level. Chevron-type viscoelastic dampers are manufactured and installed at the first and second inter-stories, which are optimum places for response reduction. Sine-sweep and white noise excitations, which are generated by the hybrid mass-type actuator, are applied to the full scale building without and with dampers for performance verification. The transfer function of the building with four dampers, two of them installed at each first and second inter-story, are found to be lower than that of the building with two dampers installed at the first inter-story

1. 서론

지진이나 바람과 같은 동적 하중에 대하여 건물을 설계하거나 기존 건물을 보강하고자 할 때 에너지 소산장치로서 점탄성감쇠기(Viscoelastic Damper), 점성 감쇠기(Viscous Damper), 마찰 감쇠기(Friction Damper), 항복 장치(Yield Device)등 다양한 감쇠기가 있다.¹⁾ 건물의 고유한 동적 특성인 고유진동수와 감쇠비를 변화시켜 건물의 응답을 줄이는 점탄성 감쇠기는 많은 실험과 연구를 통하여 수학적인 모델링작업이 충분히 이루어지고 물성도 거의 파악되어 있어 현재 제어 장치로서 건물에 다양하게 적용되고 있다.²⁾³⁾ 그러나 실물크기의 건물에 대하여 응답의 요구성능에 부합하는 점탄성 감쇠기를 설계 및 제작하고 동적실험을 수행하여 문제점을 파악하는 연구는 제한적으로 이루어졌다.⁴⁾ 본 논문에서는 컨벡스 모델을 사용하여 현재 응답수준에서 목표로 하는 응답 감소율을 얻기 위해 요구되는 감쇠비의 양을 예측하여 점탄성 감쇠기를 설계·제작하고 설치하기 용이하고 감쇠효과가 우수한 웨브론 가새형식을 적용하였다. 실제 실물의 5층건물에 적용했을 때 측정된 진동 입력/출력 자료를 이용하여 건물의 고유진동수와 감쇠비의 변화, 전달함수를 분석하였다.

2. 통합시스템

* 단국대 건축공학과 부교수
** 단국대 건축공학과 석사과정
*** 서울대 건축학과 박사수료
**** 유니슨산업(주) 기술연구소

구조물을 가진 할 가진기로는 리니어 왕복 액츄에이터를 이용한 HMD(복합형 질량감쇠기)를 사용하였다.⁵⁾ HMD는 일반적으로 구조물의 제어에 사용되는 장치로 특정한 질량, 감쇠, 강성을 가지는 TMD(동조질량감쇠기)에 외력을 가하여 원하는 거동을 구현할 수 있는 장치이다. 본 연구에서는 점탄성감쇠기의 성능을 평가하기 위한 가진 장치로 사용하였으며, 5층 바닥에 설치하였다. HMD는 가진기로 이용이 되며 입력신호는 전압신호이다. 따라서 전압신호에 의한 HMD가진기의 가진력에 대한 건물의 응답에 관한 수학적 관계를 알고 있어야 원하는 가진력을 줄 수 있다. 또한 실험결과를 검증하기 위하여 수학적 모델이 필요하다. 식(1)은 제어 컴퓨터 입력신호에 대한 구조물의 상태방정식이고 그림1은 리니어 왕복 액츄에이터를 이용한 HMD가진기를 보여준다.

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{\eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 C_m \\ 0 & A_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ \eta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ B_m \end{bmatrix} e_c \quad (1)$$

여기서 A_1, B_1 는 HMD에 대한 구조물의 시스템행렬이며 z_1 는 상태변수이다. A_m, B_m, C_m 각각 inverter의 시스템행렬이며 η 는 상태변수이다.

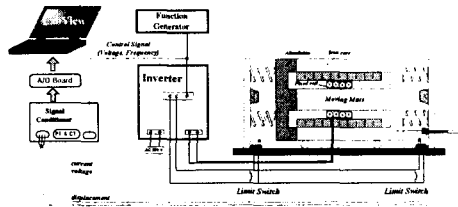


그림 1. 리니어 왕복 액츄에이터를 이용한 HMD가진기

3. 점탄성 감쇠기설계

3.1 요구감쇠율

불확실한 동적 하중에 대한 구조물의 최대 응답을 예측하는 방법으로 통계적 방법, 확률적 방법 등과 더불어 하중의 특성을 특정함수로 제한하고 이 제한 값에 대하여 최대 응답을 예측하는 컨벡스 모델에 의한 방법이 제안되었다.¹⁾ 컨벡스 모델은 일반적으로 제한된 정보의 지진하중에 의한 구조물의 최대응답을 예측하는 데 많이 사용된다. 특히, 최대응답 예측식이 구조물의 주기와 감쇠비로 표현되는 간단한 형태의 수식이기 때문에 주기와 감쇠비를 변화시키는 점탄성 감쇠기의 설계에 직접적으로 사용될 수 있다.

본 연구에서는 실제 감쇠기 실험에 앞서 4층에 설치된 불평형 가진기를 사용하여 조화하중 가진 실험을 통해서 얻어진 0.5Hz 1차고유진동수와 1.98%감쇠비를 얻었다. 그리고 컨벡스 모델을 사용하여 현재 응답수준에서 목표로 하는 응답감소율을 얻기 위해 요구되는 감쇠비의 양을 예측하였다. 감쇠기 설치 전후의 i 번째 모드 응답의 비는 다음 식으로 표현된다.

$$R_i = \frac{S_{y,i}(T_i, \xi_i)}{S_{y,i}(T_{i0}, \xi_{i0})} = \frac{\phi_i^T I_o}{\phi_{i0}^T I_o} \left(\frac{T_i}{T_{i0}} \right)^{3/2} \sqrt{\frac{\xi_{i0}}{\xi_i}} \cong \left(\frac{T_i}{T_{i0}} \right)^{3/2} \sqrt{\frac{\xi_{i0}}{\xi_i}} \quad (2)$$

여기서 $S_{y,i}, T_i, \xi_i, \phi_i$ 는 각각 감쇠기 설치전의 i 차 모드의 최대응답, 주기, 감쇠비, 모드 형상을 나타내고 $S_{y,i}, T_i, \xi_i, \phi_i$ 는 감쇠기 설치 후의 i 번째 최대응답, 주기, 감쇠비, 모드형상을 나타낸다. I_o 는 입력의 영향 행렬이다.

식(2)로부터, 응답을 줄이기 위해서는, 즉, R_i 값이 1보다 작기 위해서는 점탄성 감쇠기가 설치된 후의 구조물의 감쇠비가 설치전의 감쇠비보다 증가하거나 주기가 감소해야 한다. 일반적으로 점탄성 감쇠기는 구조물의 주기를 크게 변화시키지 않으며, 감쇠비를 증가시키는 역할을 한다. 따라서,

본 연구에서는 요구되는 응답감소량을 얻기 위한 변화 파라미터로 우선 감쇠비만을 설정하기로 한다. 또한, 1차 모드가 지배적인 구조물이므로 1차모드의 감쇠비만을 설계변수로 설정하여 점탄성 감쇠기를 설계한 후, 점탄성 감쇠기 설치 후의 구조물의 특성 변화를 살펴보기로 한다.

1/2 수준의 응답감소율을 얻기 위해 추가로 요구되는 감쇠비는 식(3)과 표현된다.

$$R = \sqrt{\frac{\xi_{210}}{\xi_1}} = \sqrt{\frac{1.98}{\xi_1}} = \frac{1}{2} \quad (3)$$

위 식으로부터, 점탄성 감쇠기 설치 후의 구조물의 감쇠비 ξ_1 는 7.84%이며, 점탄성 감쇠기에 의해 증가되는 감쇠비의 크기는 5.94%임을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 1차모드 감쇠비가 7.84% 보다 큰 값을 가지도록 목표감쇠비를 설정하고, 이를 달성할 수 있도록 점탄성 감쇠기를 설계하도록 한다.

3.2 점탄성 감쇠기의 설치 위치, 형태 및 개수

점탄성 감쇠기 설치위치, 형태, 개수는 구조물의 형상, 목표응답수준, 설치상 제한조건, 경제성 등의 여러 가지 요인에 따라 결정된다. 감쇠기의 설치 위치는 감쇠기의 물량과 함께 감쇠기 최적설계의 파라미터가 되기도 한다. 이상현은 각 층의 감쇠기의 파라미터에 대한 구조물의 고유값의 기울기 정보로부터, 각 층에 설치되는 감쇠기의 최적 물량을 찾는 방법을 제시하였다.⁶⁾ 이상현의 연구는, 모드 감쇠비를 가장 크게 증가시키는 위치는 최대 층간변위가 발생하는 곳과 동일함을 보여준다.

본 연구에서는 실험의 편이 및 감쇠기 성능의 명확한 규명을 위하여 동일한 크기의 감쇠기를 가진다는 방향에 대해 대칭으로 두 개씩 두 개 층에, 즉, 모두 4개의 감쇠기를 설치하기로 결정하였다. 감쇠기의 설치위치는 감쇠기의 물량이 동일하도록 설정하였으므로 물량에 대한 최적설계방법보다는 층간 변위가 가장 큰 1층과 2층에 순차적으로 감쇠기를 설치하도록 한다. 설치 방법은 감쇠기 설치를 위한 가새를 사용하며, 층간변위의 변형을 최대한 감쇠기에 전달할 수 있도록 그림과 같이 웨브론 형태로 가새와 감쇠기를 연결하였다.

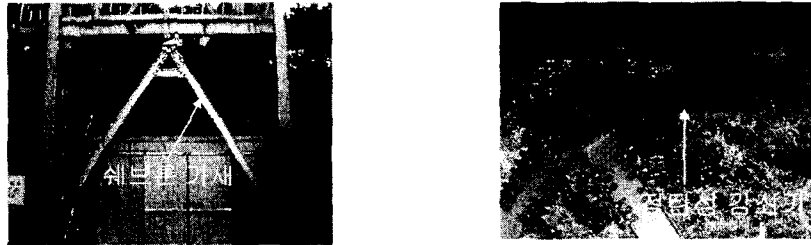


그림 2. 웨브론 형태의 가새와 감쇠기 설치 모습

가새부재의 강성의 효과를 알아보기 위해 다음과 같은 복소수 형태의 강성식을 사용하여 가새와 점탄성 감쇠기의 통합시스템의 저장계수와 손실계수의 식이 필요하다.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_s + \eta k_v} + \frac{1}{k_b} = \frac{k_b + k_v + \eta k_v}{k_s k_b + \eta k_s k_v} = \frac{\alpha + 1 + \eta}{\alpha k_v + \eta \alpha k_s} \quad (4)$$

여기서, α 는 감쇠기 강성에 대한 가새부재의 강성이며, k_s 는 점탄성 감쇠기의 강성, k_b 는 가새의 강성을 나타낸다. α 가 증가함에 따라 가새와 점탄성 감쇠기의 직렬 연결시스템은 점탄성 감쇠기만의 저장계수와 손실계수값에 가까워진다.

그림 3는 $k_v = 1$, $\eta = 0.7$ 일 때 가새와 점탄성 감쇠기의 통합시스템의 저장계수와 손실계수를 보

여준다. 그림으로부터 가새강성의 증가에 따라, 통합시스템의 저장계수는 급격히 점탄성 감쇠기의 강성에 가까워지며, 손실계수는 저장계수보다 완만하지만 역시 점탄성 감쇠기의 손실계수에 가까워짐을 알 수 있다.

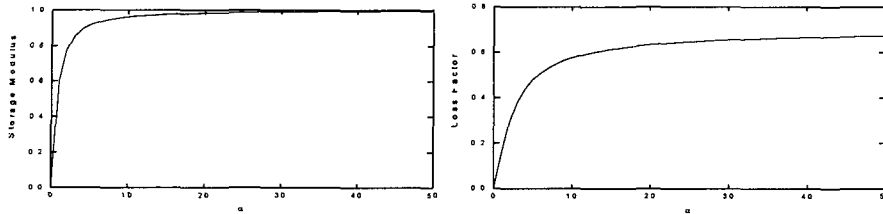


그림 3. α 값의 변화에 따른 손실계수와 저장계수

실험에 사용된 가새는 길이 5.6m의 H형강(200x100x4.5x7)을 사용하였고 웨브론 형태의 가새 강성은 48896kN/m이다.

3.3 점탄성 감쇠기의 설계

점탄성 감쇠기의 설계는 일정한 손실계수를 가지는 점탄성 물질에 대해, 목표감쇠비를 실현할 수 있는 점탄성 감쇠기의 강성을 결정한 후, 이에 따라 점탄성 물질의 크기를 결정하는 과정이다. 점탄성 감쇠기를 1층에만 설치하는 경우와 1층과 2층에 설치하는 경우의 감쇠기의 강성에 따른 각 모드의 감쇠비의 변화를 살펴봄으로써 각 층에 설치될 감쇠비의 강성크기를 결정할 수 있다. 감쇠기 설치에 따른 각 모드의 감쇠비는 모드변형에너지법(modal strain energy method)을 사용하여 계산하였다. 본 연구에서는 가새의 강성이 감쇠기의 강성에 비해 매우 크다는 가정하에 감쇠기의 크기를 선정하고, 추후 가새강성의 크기 효과를 고려하도록 한다.

다음 그림 4는 손실계수 0.7인 점탄성 감쇠기를 1층, 그리고 1층과 2층에 설치하는 경우의 층강성에 대한 감쇠기 강성의 비(Factor)에 따른 모드 감쇠비의 변화를 나타낸다. 응답의 감소에 가장 중요한 1차모드의 감쇠비의 변화를 볼 때, 감쇠기 강성의 증가에 따른 감쇠비의 증가에 상한 값이 존재함을 알 수 있다. 따라서, 감쇠기의 강성을 증가시켜도 더 이상의 감쇠비 증가는 기대할 수 없다. 1층에만 설치할 경우 증가되는 1차모드 감쇠비 상한치는 3.3%이고, 1층과 2층에 설치할 경우 증가되는 1차모드 감쇠비 상한치는 7.58%이다. 따라서, 구조물이 가지고 있는 감쇠비 1.98%를 고려할 때, 1층과 2층에 설치하였을 경우의 1차 모드 감쇠비가 9.53%이며, 이는 1/2 응답감소수준을 달성할 수 있는 7.84%를 초과하므로 원하는 수준의 응답감소를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 비록 강성의 비가 1이상인 경우 거의 1차모드의 감쇠비의 변화가 발생하지 않지만 실험과 해석간의 오차를 고려하여 1.5로 설정하였다.

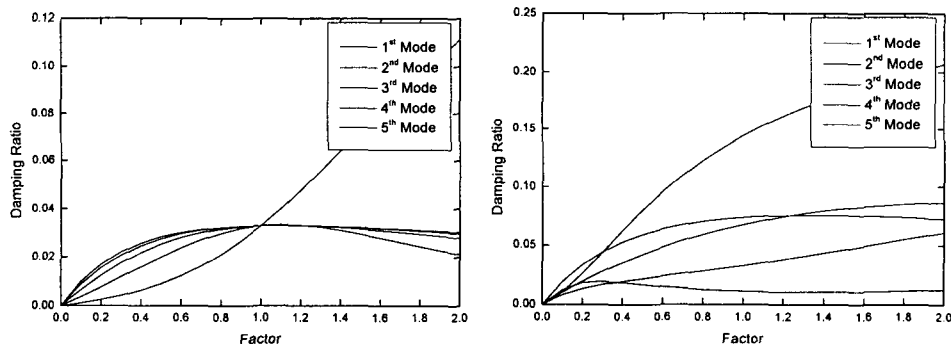


그림 4. 강성의 비에 따른 감쇠비의 변화

전단 저장계수와 강성이 주어질 때, 감쇠기의 단면적을 결정하기 위해서는 두께 t 를 결정하여야 한다. 두께 t 는 최대 허용 변형도를 고려하여 결정되어야 한다. 1층 최대 허용 층간 변위는 약 1.2cm이며, 점탄성 물질의 최대 허용변형율이 60%라고 할 때 요구되는 두께는 $1.2/0.6=2\text{cm}$ 이다. 따라서, 점탄성 감쇠기 설치 후의 층간변위가 1.2cm보다 줄어들 것을 고려할 때, 점탄성 물질의 두께는 2cm로 설정할 경우 허용변형율 이내에서 거동할 것으로 판단된다. 강성이 $k=1830\text{kN/m}$, 두께 $t=2\text{cm}$, 그리고 전단계수 $G=72\text{N/cm}^2$ 이므로 감쇠기의 단면적은 다음과 같다.

$$A = \frac{kt}{2G} = \frac{1830 \times 10^3 / 10^2 \times 2}{2 \times 72} = 254\text{cm}^2 \quad (5)$$

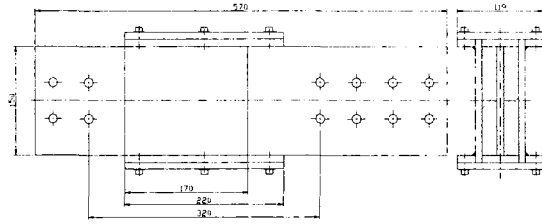
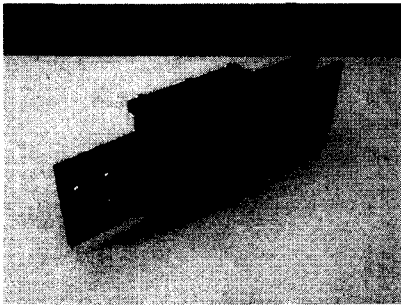


그림 5. 실험에 사용된 점탄성 감쇠기

감쇠기 강성에 대한 가새부재의 강성비 α 는 약 27배이며, 이때의 점탄성감쇠기와 가새가 결합된 시스템의 저장계수는 0.9878이고 손실계수는 0.6505이다. 저장계수가 0.9878이므로 점탄성감쇠기의 강성이 점탄성감쇠기-가새 결합시스템의 강성을 구성한다고 할 수 있으며, 손실계수는 감쇠기의 손실계수 0.7보다 조금 감소된 0.6505을 가진다. 상기 저장계수와 손실계수를 가지는 점탄성감쇠기-가새 결합시스템이 설치된 구조물의 1차모드 감쇠비는 다음과 같으며, 목표로 설정된 응답감소를 이룰 수 있다.

- 1층에만 설치한 경우 $\xi_1 = 4.98\%$
- 1층과 2층에 설치한 경우 $\xi_1 = 8.97\%$

4. 점탄성 감쇠기의 실구조물 적용실험

점탄성 감쇠기를 그림 6과 같은 실물크기의 5층 철골건물에 적용하여 실험하였을 때 가속도계를 각 층의 가속도 응답을 측정하기 위하여 구조물의 약축 방향으로 1개씩 설치하였고, 시스템의 주파수 전달함수를 얻기 위해 HMD 이동질량에도 가속도계를 설치하였다. 가속도 신호들을 PC와 측정장비 및 소프트웨어를 사용하여 데이터 신호들을 실시간으로 얻었다. 감쇠기 1층 설치(case 1) 및 1-2층 설치(case 2)시 주변 온도는 30°C 이었고, 추후 온도 변화에 따른 결과를 얻기 위해 24°C , 1-2층 설치(case 2-1)일 때 조화하중 실험을 수행하였다.

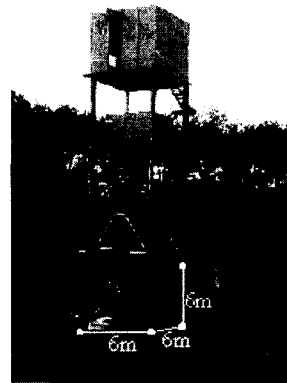


그림 6. 실물크기 5층 철골건물

4.1 조화하중 실험

건물의 1차 고유진동수 및 감쇠비를 구하기 위해 0.4Hz~0.8Hz 범위를 0.05Hz 간격으로 조화 하중 실험을 수행하였고, 공진 주파수 근처에서 좀더 세밀한 주파수 간격으로 실험하였다. 구조물의 가진은 5층에 설치된 HMD를 사용하였으며, 온도 변화에 따른 특성을 알아보기 위하여 주변온도 24℃와 30℃일 때 수행하였다. 컴퓨터의 입력신호 e_i 는 다음과 같다.

$$e_i = 1.5 \sin(2\pi \times 0.5t) \quad (6)$$

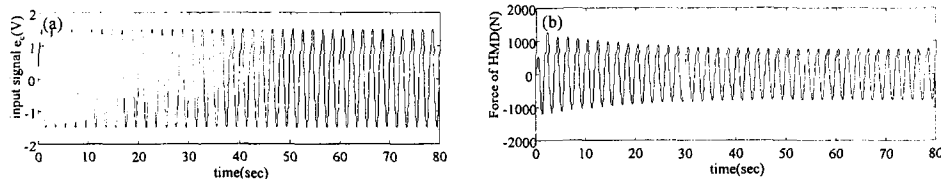


그림 7. 0.5Hz 조화하중과 HMD에 발생하는 힘

그림 7(a)와(b)는 각각 식(6)에 의한 입력신호 e_i 와 그에 따라 발생하는 HMD의 가진력 $m_h \ddot{x}_h$ 의 시간이력을 보여준다. 1.5v 입력신호시 최대 1286N의 힘이 발생하며, 정상상태에서는 최대 800N, 진동수 0.5hz의 조화하중이 발생함을 알 수 있다.

표 1에서 실험 결과 주변 측정 온도가 증가 할수록 점탄성 감쇠기가 설치된 구조물의 감쇠비가 감소함을 알 수 있으며, 구조물의 1차 고유진동수가 0.5Hz에서 0.52Hz와 0.55~0.58Hz로 약 4~16% 증가함을 확인 할 수 있었다. 그림 8은 1차 공진 주파수 영역에서 각 경우의 5층 가속도에 대한 전달함수를 나타낸 것으로 고유진동수의 증가되는 변화와 응답의 최대값이 줄어듦을 보여주고 있다.

표 1. 구조물의 감쇠비 및 고유진동수

Mode	Frequency(Hz)				Damping Ratio(%)			
	No Damper	Case 1	Case 2	Case 2-1	No Damper	Case 1	Case 2	Case 2-1
1	0.50	0.52	0.55	0.58	2.5	3.1	4.2	6.2

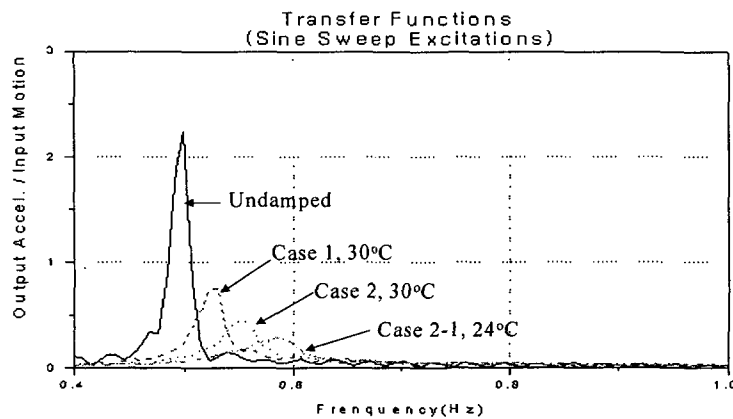


그림 8. 5층 가속도에 대한 전달함수

4.2 백색잡음 실험

조화하중 실험을 통해 구조물의 전달함수를 구하기 위해서는 다른 진동수 성분의 조화하중에 대한 실험을 여러 번 수행해야 하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점은 백색잡음이나 구조물의 진동수 대역성분을 가진할 수 있는 가진 신호로 가진 시 해결될 수 있다. 가진기로 사용하는 HMD는 자체의 전달함수를 가지고 있으며, 백색잡음으로 컴퓨터 입력전압신호를 설정하는 경우, 이 전달함수에 의해 특정한 진동수 대역의 성분이 강한 신호를 발생하게 된다. 백색잡음 입력에 대한 HMD의 가속도가 구조물의 모든 모드 성분을 가진할 수 있는 진동수 대역을 가질 수 있다면 단일의 실험으로도 구조물의 전달함수를 구할 수 있으며, 이로부터 점탄성 감쇠기의 성능평가를 수행할 수 있다.

조화하중의 경우 공진현상을 이용하여 작은 가진력을 가지고도 큰 층간변위응답을 얻을 수 있으나, 백색잡음의 경우 조화하중의 경우와 동일한 크기의 응답을 얻기 위해서는 매우 큰 제어력을 발생시켜야 한다. 그러나, 이는 HMD의 성능에 의해 제한될 수 밖에 없으며, 따라서 조화하중 보다 작은 크기의 응답에 대한 성능평가를 수행할 수밖에 없다. 이는 층간응답에 의해 성능을 발휘하는 점탄성감쇠기의 성능평가에 하나의 제한점으로 작용할 것으로 판단된다.

그림 9(a)와 (b)는 각각 백색잡음 입력신호 e_i 와 그에 따라 발생하는 HMD의 가진력 $m_b \ddot{x}_b$ 의 시간이력을 보여준다.

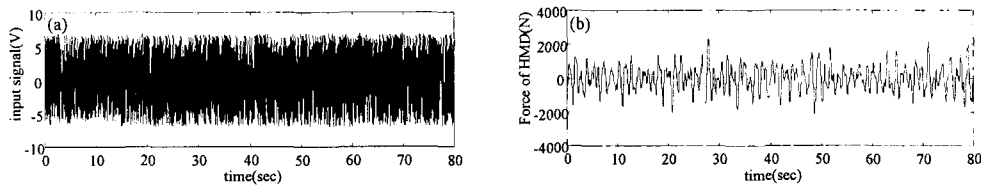


그림 9. 백색잡음 입력과 HMD에 발생하는 힘

조화하중의 실험의 경우, 입력신호의 진동수 성분 이외의 신호는 잡음으로 생각하여 이를 필터링 하는 것이 수월하다. 그러나, 백색잡음에 의해 가진하는 경우, 비록 작은 횡수의 실험으로도 구조물의 전달함수를 구할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 잡음과 실제 구조물의 응답을 구분하기가 어렵다. 따라서, 점탄성감쇠기에 의한 구조물의 특성 변화를 구하기 위해서는 측정된 신호에서 잡음을 제거하고, 구조물의 특성이 반영된 신호만을 가지고 시스템 식별을 수행해야 한다. 본 연구에서는 신호의 평균값의 편중된 경향과 고진동수 성분을 제거하기 위해 그림 9(b)의 가속도에 대역통과필터(band pass filter)를 사용한 결과 원하는 신호를 얻을 수 있었다.

실험 대상 구조물은 5층 HMD가진에 대한 5개의 가속도 응답을 측정된 1입력 5출력 시스템이라 할 수 있다. 본 연구에서는 점탄성 감쇠기에 의한 구체적인 구조물의 진동수와 감쇠비 변화를 알기 위해, 주파수 영역에서의 시스템 식별기법을 적용하여 1입력 5출력 구조물의 시스템 행렬을 알아낸 후, 그 행렬의 고유값으로부터 시스템의 진동수와 감쇠비를 계산하였다. 시스템 식별은 실험으로부터 얻어진 전달함수를 가장 잘 모사할 수 있는 극점(pole)과 제로(zero)를 가지는 전달함수를 구하고, 이 전달함수를 상태방정식으로 전환하여 시스템 행렬을 구하는 방법을 사용하였다. 그림 10을 보면 약 3Hz 안쪽에서 구조물의 2차 고유진동수까지 알아 내었으나 3Hz 밖에서의 고차모드는 잡음이 생겨 정확한 결론을 도출하기 어려웠다. 이는 실험 중 발생한 잡음때문인 것으로 추정된다.

표 2에서 점탄성 감쇠기의 수가 증가할수록 구조물의 강성이 증가하는 효과를 발휘하여 고유진동수는 조금씩 증가하였으며, 1차모드의 감쇠비는 감쇠기를 1-2층에 설치하였을 경우 비 설치시 보다 약 60% 증가하였고, 2차 모드의 경우 약 4배 가까이 증가함을 알수 있었다.

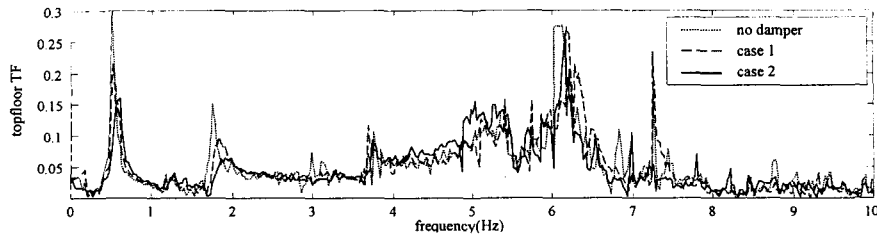


그림 10. 5층의 가속도 전달함수

표 2. 백색잡음 실험을 통한 구조물의 모드파라미터

Mode	Frequency(Hz)			Damping Ratio(%)		
	No Damper	Case 1	Case 2	No Damper	Case 1	Case 2
1	0.51	0.53	0.57	3.61	4.10	5.86
2	1.74	1.82	1.87	1.12	3.73	4.61
3	3.34	3.99	4.94	5.02	41.98	8.90
4	5.32	5.33	5.39	4.43	3.67	4.63
5	6.10	6.18	6.08	1.89	2.58	2.62

6. 결론

실험대상 구조물은 5층의 철골구조물로 H형강 기둥으로 인해 횡방향거동에 대해 약축방향과 강축방향을 가진다. 점탄성 감쇠기의 설치 위치는 약축방향에 대해 설치하였으며 층간 변위가 가장 큰 1층과 2층에 순차적으로 감쇠기를 설치하여 실험하였다. 설치 방법은 감쇠기 설치를 위한 가새를 사용하며, 층간변위의 변형을 최대한 감쇠기에 전달할 수 있도록 웨브론 형태의 가새와 감쇠기를 연결하였다.

조화하중 실험으로 점탄성 감쇠기를 설치하기 전 구조물의 1차고유진동수는 약 0.5Hz이다. 1-2층 및 2-3층 사이에 설치할 경우 각각 0.52Hz와 0.58Hz로 구조물의 1차 고유진동수가 약 4~16% 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 점탄성 감쇠기의 강성기여도로 인한 구조물의 강성변화로 기인한 것이다. 백색잡음 실험으로 점탄성 감쇠기를 설치하기 전과 1-2층설치 및 2-3층 설치시의 전달함수를 구하였다. 실험결과 고유진동수가 점차 증가하면서 감쇠비가 증가하는 것을 확인할 수 있어 점탄성 감쇠기가 구조물의 응답감소 효과에 탁월함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 특정기초연구 과제(과제번호: R01-1999-000298-0)의 일환으로 수행되었으며, 과학재단의 연구비 지원에 대해서 감사드립니다.

참고문헌

1. 손동인, "건축구조물에서 지진하중에 대한 점탄성 감쇠기의 최적설계", 석사학위논문, 서울대학교, 2001
2. 이성경, "건축구조물의 진동제어에 관한 실험적연구", 석사학위논문, 인천대학교, 1998
3. 호경찬, "점탄성 감쇠기가 설치된 건물의 지진거동에 관한 실험 및 해석 연구", 석사학위논문, 인천대학교, 1999
4. TT.Soong, "Seismic Behavior and Design Guidelines for Steel Frame Structures with Added Viscoelastic Dampers", Technical Report NCEER-93-0009, 1993
5. 정상섭, "진동제어시스템을 위한 리니어 왕복 액추에이터의 동특성 해석", 박사학위논문, 충남대학교, 2002.
6. 이상현, 손동인, "건축구조물에서 고유치지정에 의한 점탄성 감쇠기 최적설계", 지진공학회, Vol 5. No.2, 2001