

# MR댐퍼를 이용한 건축물의 제진 성능 평가

## Performance Evaluation of Seismic Response of a Building Structure using MR-Damper

이규섭† · 안채현\* · 한현희\*\*, 구형욱\*\*, 박임호\*\*\*

Gyu-Seop Lee, Chae-Hun An, Hyun-Hee Han, Hyung-Wook Koo and Rim-Ho Park

### 1. 서 론

근래에 들어서 지진에 대한 건축물의 내진 성능이 중요 시 됨에 따라 건축물의 설계 사양이 강화되고 있다. 또한 지진에 취약한 설계 기준을 바탕으로 건설된 오래된 건축물의 경우 추가적인 장치의 부착으로 지진에 대한 안전성을 높이기 위하여 많은 연구가 수행되고 있다. 이를 위한 방법으로 크게 건축물의 강성을 보강하여 내진 성능을 향상 시키는 방법과 더불어 댐퍼 등 에너지 소산 장치를 부착하여 제진 성능을 향상시키는 방법이 연구되었다. 댐퍼는 마찰형 댐퍼 및 유체의 점성을 이용한 유체 댐퍼 등이 사용되고 있다. 마찰형 댐퍼는 저렴한 가격에 시공할 수 있는 장점이 있지만, 마찰부가 마멸되면 성능을 발휘하기 어렵기 때문에 여진에 대한 대응성이 좋지 못한 단점이 있다. 최근에는 MR댐퍼를 부착하고 반능동(semi-active)제어를 구현함으로써 마찰 및 점성 댐퍼의 특성을 작은 크기로 발휘하게 하는 연구도 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 초등학교 건물을 유한요소해석을 수행하여 내진 성능을 파악한다. 모달해석(modal analysis) 방법을 적용하여 모델을 단순화하고 MR 댐퍼의 용량 및 설치 위치에 따른 제진 성능 평가를 수행하였다.

### 2. 건축물의 제진 성능 평가

† 교신저자; 정회원, 알엠에스 테크놀로지(주)  
E-mail : rmstech@rmstech.co.kr  
Tel : 041)556-7600 , Fax : 041)556-7603

\* 한국생산기술연구원  
\*\* 알엠에스 테크놀로지(주)  
\*\*\* 유화건설

### 2.1 시스템 모델링

#### (1) 건축물의 단순 모델링

건축물은 콘크리트와 철근으로 구성되어 해석상 선형 영역과 비선형 영역을 모두 포함하는 구조이다. 그러나 허용응력 이상의 응력이 걸렸을 경우 비선형 영역으로 천이되므로 허용응력 이하에서 선형 해석을 수행하고 이를 검증하면 무리가 없다. 또한 한 개의 층에서 슬라브의 상대 변위는 큰 차이가 없음이 알려져 있으므로 한 층을 하나의 질량으로 간주하여 5층 건물은 Fig. 1과 같이 x축에 대하여 5자유도로 단순화 시킬 수 있다.

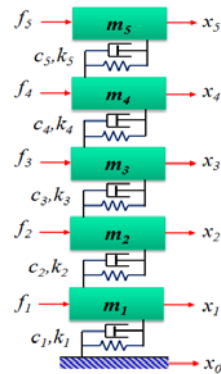


Fig. 1 Simplified model of structure

단순화된 모델의 지배 방정식은 식(1)과 같으며 지반 변위에 대한 가진력은 식(2)와 같이 정의된다.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = [0 \quad \dots \quad f_1]^T \quad (1)$$

$$f_1 = \dot{c}_1 x_0 + k_1 x_0 \quad (2)$$

#### (2) 매개변수 추출

식(1)의 질량과 강성, 감쇠 행렬의 매개변수를 구

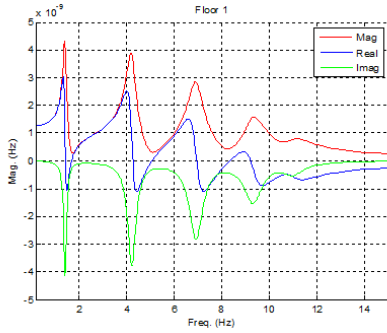


Fig. 2 Frequency Response Function (FEM)

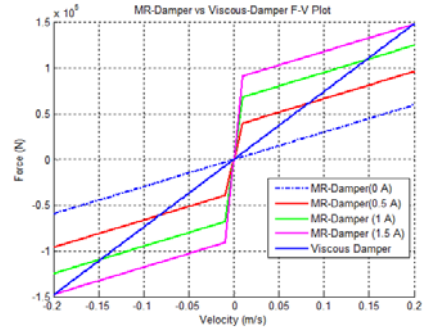


Fig. 4 F-V plot of a MR-damper

하기 위하여 건축물의 유한 요소 해석을 수행한다.

질량 행렬은 모델에서 직접 추출할 수 있다. 그러나 강성 행렬은 보통 정적하중에 대한 변위 해석으로 추출이 가능하지만 본 모델은 6자유도 시스템을 단방향으로만 모델링하였기 때문에 유한 요소 모달 해석과 큰 오차를 지니게 된다. 따라서 유한 요소 해석에서 Fig. 2와 같이 주파수 응답 함수를 추출하고 식 (3)과 같은 모달 해석 기법을 적용하여 매개변수를 추출한다.

$$[H(s)] = \sum_{n=1}^m \frac{r(n)}{2j(s - p_n)} - \sum_{n=1}^m \frac{r(n)^*}{2j(s - p_n^*)} \quad (3)$$

## 2.2 MR댐퍼의 배치 및 효과 검증

지반 진동에 대한 해석 결과, 1차 모드에서는 층간 상대 속도는 2>1>3>4>5층 순임을 확인할 수 있으며 두 번째 모드에서는 1층이 2층보다 더 큰 상대 속도를 갖는다. 따라서 1층 및 2층에 집중적인 댐퍼 보강이 필요하다. 해석적인 민감도 분석을 통하여 1층과 2층에 4:6의 비율로 댐퍼를 배치함으로써 Fig. 3과 같은 내진특성이 강화된 결과를 얻을 수 있었다.

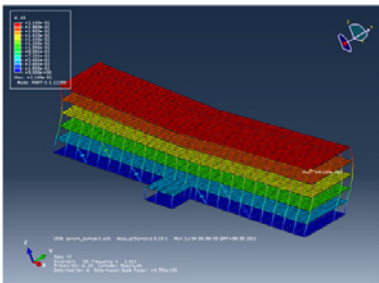


Fig. 3 Response of Structure (1st mode)

제진 성능 보장을 위한 MR댐퍼는 Fig. 3과 같은 특성을 가지는 비선형 요소로 sky-hook 제어 알고리즘을 적용한다. 해석 결과 비슷한 용량의 점성 댐퍼보다 약 4배 이상 향상된 감쇠 특성을 확인하였다. 이를 단순 모델에 적용하고 MATLAB을 이용하여 해석하였으며 Fig. 5와 같은 선형 허용 응력 범위 내의 우수한 제진 특성을 얻을 수 있었다.

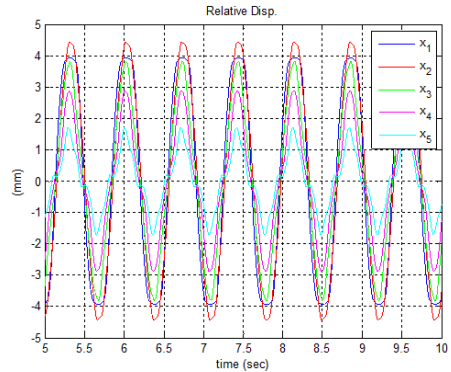


Fig. 5 Response of Structure with MR-damper

## 3. 결 론

MR댐퍼의 제진 성능을 평가하기 위하여 건축물의 유한 요소 모델에서 추출한 모드형상과 고유진동수를 이용하여 단순 모델의 매개변수를 추출하였다. 민감도 분석을 통하여 요구되는 제진 성능을 발휘하기 위한 댐퍼의 크기 및 위치를 선정하였다. MR댐퍼의 특성을 모델링하여 지반 진동에 대한 해석을 수행하였으며, 제어 알고리즘을 적용하여 유체 댐퍼 대비 4배 이상의 우수한 성능을 해석적으로 확인하였다.