

인접건축물의 지진응답 제어를 위한 MR 감쇠기의 복합제어 모델

Hybrid Control Model of MR Damper for Seismic Response Control of Adjacent Buildings

김기철*
Kim, Gee-Cheol

강주원**
Kang, Joo-Won

채승훈***
Chae, Seung-Hun

요약

현재 건축 및 토목 구조물의 진동제어에 있어서 준능동제어에 대한 연구가 많이 수행되고 있으며 준능동제어 시스템은 수동제어와 능동제어의 장점을 가지고 있다. 최근 적은 전기 에너지로 제어가 가능한 MR 감쇠기가 개발되어 준능동제어 분야에 적용되고 있으며 이러한 MR 감쇠기를 스마트 감쇠기라 불리고 있다. 본 논문에서는 실시간으로 제어가 가능한 MR 감쇠기를 인접한 두 건축물 사이에 설치하여 제어성능을 알아보고자 한다. 또한, groundhook과 skyhook 제어 알고리즘을 결합한 복합제어 모델을 인접한 건축물의 진동제어에 적용하여 복합제어 모델의 제어성능을 알아보고자 한다. 복합제어 모델을 적용하여 인접한 두 건축물의 진동제어 성능을 분석한 결과, 복합제어 모델이 인접한 두 건축물의 진동제어에 매우 효과적인 것을 알 수 있었다.

Abstract

Many researchers have attempted to apply semi-active control systems in the civil engineering structures. Recently, magneto-rheological(MR) fluid dampers have been developed. This MR damper is one of semi-active dampers as a new class of smart dampers. This paper discusses the application of MR damper for seismic response control of adjacent buildings subjected to earthquake. Here, a controllable damping force of MR damper that is installed between adjacent buildings is applied to seismic response control. A hybrid model combines skyhook and groundhook control algorithm so that the benefits of each can be combined together. In this paper, hybrid control model are applied to the multi degree of freedom system representative of buildings in order to reduce seismic response of adjacent buildings. And the performance of hybrid control model is compared with that of others. It was demonstrated that hybrid control model of adjacent buildings with MR damper was effective for seismic response control of two adjacent buildings reciprocally.

키워드: MR 감쇠기, 준능동 감쇠기, 인접 건축물, 복합제어모델

Keywords: MR damper, Semi-active damper, Adjacent buildings, Groundhook, Hybrid control model

1. 서론

구조물의 설계기술과 건설기술의 발전 그리고 성능이 뛰어난 건설자재의 개발로 인하여 구조물의 초고층화가 가능해졌다. 또한 사회적 요구와 제한된 토지의 이용율을 극대화하기 위하여 초고층 건축물

의 건설이 증가하고 있는 추세이다. 이러한 초고층 건축물은 강성이 유연하고 감쇠가 작아서 지진과 바람에 의하여 진동응답이 크게 발생하기도 한다. 과다한 진동응답은 거주자에게 불안감을 조성하여 건축물의 사용성 문제를 유발시킬 수 있다. 또한 과도한 변위응답은 인접한 초고층 건축물의 상호 충돌을 일으킬 수도 있다.

최근에 많이 건설되고 있는 주상복합 건물의 경우에 저층부는 공통으로 사용하여 있으며 주거용 고층부는 서로 분리되어 있는 경우가 많다. 또한 같은 부

* 서일대학 건축과 부교수, 공학박사

** 교신저자, 영남대학교 건축학부 부교수, 공학박사
Tel: 053-810-2429 Fax: 053-810-4625
E-mail : kangj@ynu.ac.kr

*** 영남대학교 건축학과 박사과정

지 내의 건축물들이 매우 가깝게 건설되는 경우가 있다. 이러한 경우에 각각의 건축물들이 서로 다른 동적특성을 가지고 있어 지진하중이나 풍하중에 의하여 서로 충돌이 일어날 가능성이 있다. 실제 지진에 의하여 인접한 구조물의 충돌 사례가 다수 있다. 따라서 이러한 피해를 미연에 방지하기 위하여 건축물간의 최소 이격거리를 제안하고 있으며 부가적인 진동제어 장치를 도입하기도 한다. 두 건축물을 진동제어 장치로 연결하는 경우에 이는 두 건축물의 서로 다른 동적특성을 이용하는 것으로 상호간의 진동응답을 상쇄시켜서 전체적인 진동응답을 저감하도록 한다. 특히, 인접 건축물 사이에 연결교를 설치할 경우에 추가적인 진동제어 장치를 설치하지 않고 연결교를 감쇠장치로 활용하기도 한다.

인접건물의 진동제어에 대한 연구는 몇몇 연구자들에 의하여 연구되었다. 김현수(2008)는 두 건축물의 고유진동수 차이와 같은 서로 다른 동적특성의 차이를 이용하여 각각 건축물의 상호간 동적응답을 상쇄시켜서 건축물의 전체적인 진동응답이 저감하도록 하였다.¹⁾ Zhang과 Xu(1999)는 점탄성감쇠기로 연결된 인접 건축물의 동적특성 및 지진응답을 분석하였으며 점탄성감쇠기가 적절하게 설계된다면 연결된 두 건축물의 지진응답이 줄일 수 있음을 입증하였다.²⁾ Shinya 등 (2004)는 나란히 있는 8층 축소 모형 두 건축물의 지진응답 저감을 위한 MR감쇠기의 적용성을 수치해석 및 실험적으로 연구하였으며 GA알고리즘의 효과를 입증하였다.³⁾ Xu와 Yang(2003)은 유체감쇠기로 연결된 철골 건축물의 탄소성 지진응답에 대하여 감쇠기 유무에 따른 비교분석을 통하여 유체감쇠기의 제어성능을 입증하였다.⁴⁾ Ni 등 (2002)은 비선형 이력감쇠기로 연결된 인접 건축물의 불규칙 지진응답을 분석하여 효율적인 해석방법을 제시하였다.⁵⁾ 옥승용(2007) 등은 인접한 두 건물의 진동제어를 위한 선형점성감쇠기의 최적 용량 및 분포를 결정하는 최적설계기법을 유전자알고리즘을 이용하였다.⁶⁾ 이처럼 많은 연구자에 의하여 인접 건

축물의 진동제어에 대한 연구가 수행되었으나 대부분의 연구가 수동형 제어시스템을 적용하여 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 인접 건축물의 지진동제어를 위한 준능동 제어장치인 MR감쇠기의 적용성을 알아보고자 한다. 그리고 MR감쇠기로 연결된 인접 건축물에 대한 Hybrid 제어 모델의 적용을 통하여 그에 따른 지진응답을 비교분석하여 지진동제어 효과를 알아보고자 한다.

2. 건축물의 준능동 제어

건축물의 지진동에 대한 제어를 위해서 면진장치나 제진장치가 사용되며 이를 이용하여 지진에너지를 감소시키거나 소산시킴으로써 구조물의 지진동을 감소시킨다. 건축물의 진동제어에 적용되는 제진 장치는 수동형, 능동형 및 준능동형으로 구분할 수 있다.

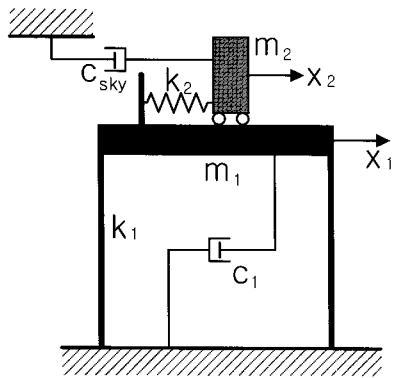
2.1 준능동 제어장치

수동형 제어장치와 능동형 제어장치의 가장 큰 차이점은 외부하중에 의한 건축물의 진동에 대응하여 액추에이터와 같은 장치를 사용하여 인위적으로 제어력을 가하는 것에 따라서 하여 구조물의 진동을 저감시키는 방법이다. 준능동형 제어장치는 수동형과 준능동형의 중간적인 장치로 구조물에 인위적으로 제어력을 가하지는 않으나 구조물의 강성이나 감쇠 등을 동적하중의 특성에 부응하여 순간적으로 변화시켜 구조물을 제어하는 방법이다. 각각의 제어장치에 따라서 제어력, 반응속도, 경제적 비용 등 장단점이 있을 수 있다. 본 논문에서는 수동제어 시스템의 신뢰성과 능동제어 시스템의 적응성에 대한 장점을 가지고 있는 준능동 감쇠장치로 연결된 인접 건축물의 진동제어를 위한 MR 감쇠기의 제어효과를 알아보자 한다.

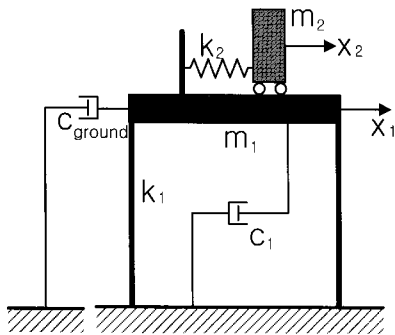
2.2 MR 감쇠기의 복합제어 모델 및 알고리즘

준능동 제어장치가 우수한 제어성능을 발휘하기

위해서는 구조물의 상황에 따라서 최적의 제어 알고리즘을 선택하여 적용하여야 한다. 준능동 MR 감쇠기에 대하여 <그림 1>과 같이 Skyhook 모델과 Groundhook 모델이 개발되어 적용하고 있다. Skyhook 모델과 Groundhook 모델의 차이는 감쇠기를 이상화하여 'Sky'에 연결하는 것과 'Ground'에 연결하는 것으로 볼 수 있다.



(a) Skyhook 모델



(b) Groundhook 모델

<그림 1> MR 감쇠기 제어 모델

Skyhook 모델은 승차감(ride comfort)을 향상시키기 위하여 자동차의 운전대와 같은 부구조물의 진동을 제어하기 위한 것이다. 그리고 Groundhook 모델은 자동차의 안정성(stability)을 확보하기 위한 것으로 자동차의 차체와 같은 주구조물의 진동을 저감하기 위하여 개발한 진동제어 기법이다.

Skyhook 모델에서 감쇠력을 결정하기 위한 변위 기반 제어 알고리즘은 식 (1-1)과 식(1-2)을 적용한다.

$$x_2(v_2 - v_1) > 0 \rightarrow c_{sky} = c_{max} \quad (1-1)$$

$$x_2(v_2 - v_1) \leq 0 \rightarrow c_{sky} = c_{min} \quad (1-2)$$

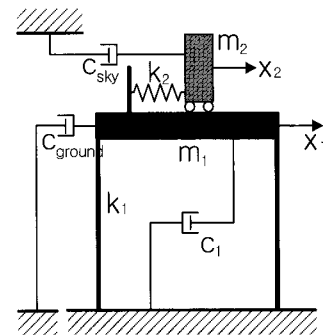
그리고 Groundhook 모델의 감쇠력을 결정하기 위한 제어 알고리즘은 식 (2-1) 및 식(2-1)와 같다.

$$x_1(v_2 - v_1) \leq 0 \rightarrow c_{ground} = c_{max} \quad (2-1)$$

$$x_1(v_2 - v_1) > 0 \rightarrow c_{ground} = c_{min} \quad (2-2)$$

주구조물과 부구조물을 동시에 제어해야 하는 경우도 생길 수 있을 것이다. 이러한 경우에 <그림 4>와 같이 Skyhook 제어기법과 Groundhook 제어기법을 조합한 제어기법을 적용하여 부구조물과 주구조물을 동시에 효과적으로 제어할 수 있을 것이다.

Hybrid 제어기법은 Skyhook 제어기법에 의한 감쇠력과 Groundhook 제어기법에 의한 감쇠력을 적절하게 조절하여 제어하는 것으로 감쇠기의 감쇠력을 실시간으로 조절이 가능하다. 본 연구에서는 바닥 구조물의 진동에 대한 Hybrid 제어기법의 제어 성능을 알아보고자한다.



<그림 2> MR 감쇠기 Hybrid 모델

Skyhook 제어기법과 Groundhook 제어기법을 조합한 Hybrid 제어기법의 감쇠력을 조절하는 조건식은 다음 식 (3)과 같다.

$$c_{hybrid} = \alpha c_{sky} + (1 - \alpha) c_{ground} \quad (3)$$

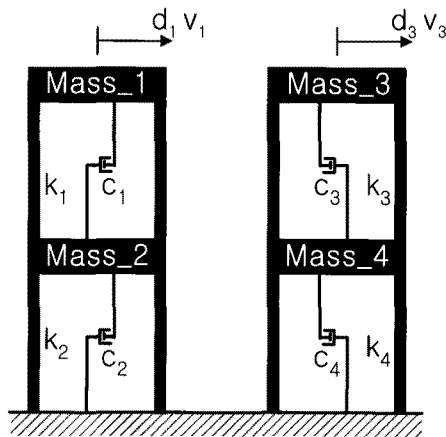
식 (3)에서 c_{sky} 와 c_{ground} 는 Skyhook 모델과 Groundhook 모델에서의 감쇠 값을 나타낸 것이다.

여기서, α 가 1이면 MR 감쇠기의 제어력이 순수하게 Skyhook 제어기법으로 제어되며 α 가 0이면 MR 감쇠기의 제어력이 Groundhook 제어기법으로 제어가 되는 것이다.

3. MR 감쇠기로 연결된 인접 건축물

3.1 예제 인접 건축물

초고층 건축물이 인접하여 있는 경우에 지진하중 또는 풍하중과 같은 동적하중에 의한 충돌이 일어날 가능성이 매우 크다. 그러나 본 논문에서는 인접한 건축물의 지진동 제어를 위한 MR 감쇠기 적용성을 알아보기 위한 것으로 예제 인접 건축물 2층 구조물로 가정하였다. <그림 3>과 같이 인접 건축물의 2층에 MR 감쇠기를 설치하였다. MR 감쇠기의 특성을 반영한 다양한 모델들이 제안되고 있으며 본 논문에서는 Bouc-Wen 모델을 사용하였다.



<그림 3> 예제 인접 건축물

인접 건축물의 질량과 강성은 실제 구조물을 고려하여 <표 1>과 같게 하였다. 오른쪽 건축물(building 2)의 질량은 왼쪽 건축물(building 1)의 질량보다 작게 하였으며 강성은 수치해석 경우에 따라서 다르게 하였다. 감쇠는 모드별 감쇠를 고려하였으며 모드별 감쇠비를 2%로 가정하였다. 예제 인접 건축물의 질량과 강성은 두 가지로 하여 수치해석을 수행하였다. 모델 A는 인접한 두 건축물의 질량과 강성 차이

를 거의 없게 하여 동적거동이 유사하게 나타나도록 하였다. 그리고 모델 B는 인접 건축물의 질량과 강성을 다르게 하여 두 건축물의 동적특성이 상이하게 나타나도록 유도하였다.

<표 1> 예제 인접 건축물의 질량과 강성

	모델 A		모델 B	
	building 1	building 2	building 1	building 2
Mass (kg)	Mass_1=36	Mass_3=34	Mass_1=36	Mass_3=28
	Mass_2=43	Mass_4=40	Mass_2=43	Mass_4=34
Stiffness ($\times 10^5$ N/m)	$k_1=1.2$	$k_3=1.1$	$k_1=1.4$	$k_3=0.7$
	$k_2=1.5$	$k_4=1.3$	$k_2=1.6$	$k_4=0.9$

고유치해석에 의한 예제 인접 건축물의 고유진동수는 다음 <표 2>와 같다. 모델 A의 경우에 왼쪽 건축물의 고유진동수가 오른쪽 건축물의 고유진동수보다 약간 크게 나타나고 있으나 인접한 두 건축물의 질량과 강성이 비슷하므로 고유진동수가 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 모델 B는 인접한 두 건축물의 질량과 강성 차이로 인하여 두 인접 건축물의 고유진동수 차가 비교적 큰 것을 볼 수 있다.

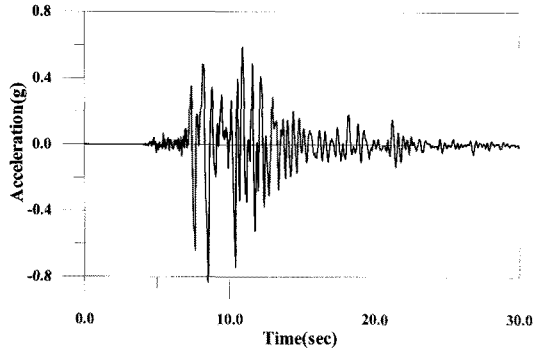
<표 2> 예제 인접 건축물의 고유진동수

해석모델	모드 차수	building 1	building 2	비교
모델 A	1차모드(Hz)	5.99	5.80	96.8%
	2차모드(Hz)	14.41	14.15	98.2%
모델 B	1차모드(Hz)	6.27	5.23	83.4%
	2차모드(Hz)	15.36	12.46	81.1%

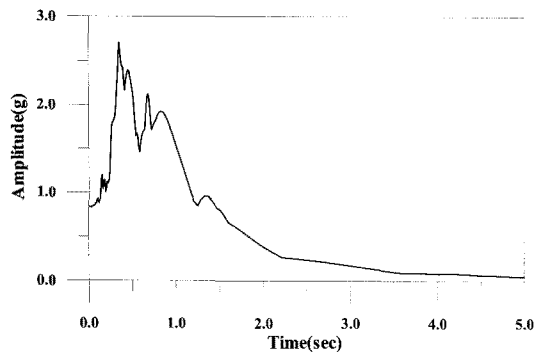
3.2 예제 인접 건축물의 가진 지진하중

예제 인접 건축물의 지진응답 분석을 위하여 Kobe_NS 지진하중과 ElCentro_NS 지진하중을 예제 건축물에 가진하여 시간이력해석을 수행하였다.

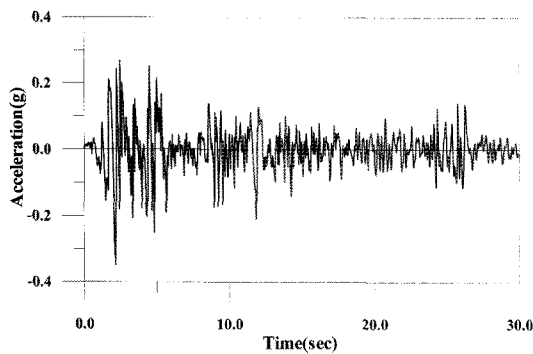
Kobe_NS 지진하중과 ElCentro_NS 지진하중의 시간이력 및 스펙트럼 그래프를 <그림 4>와 <그림 5>에 각각 나타내었다.



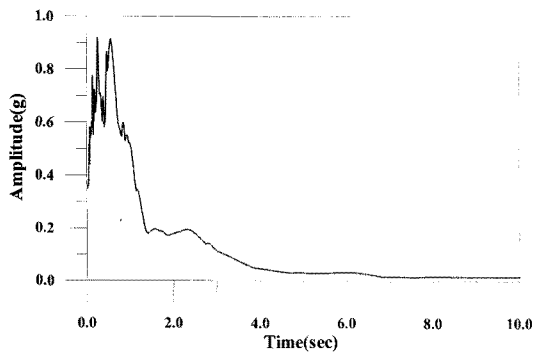
(a) Kobe_NS 지진하중의 시간이력



(b) Kobe_NS 지진하중의 스펙트럼
〈그림 4〉 Kobe_NS 지진하중



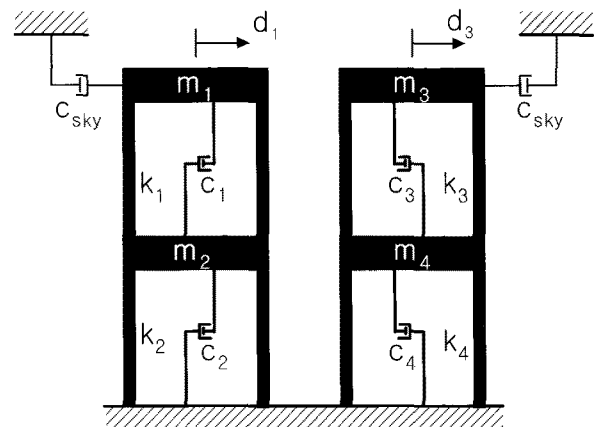
(a) EICentro_NS 지진하중의 시간이력



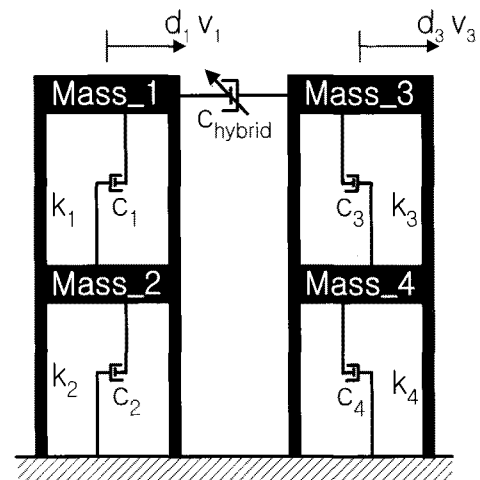
(b) EICentro_NS 지진하중의 스펙트럼
〈그림 5〉 EICentro_NS 지진하중

3.3 MR 감쇠기로 연결된 인접 건축물의 Hybrid 모델

인접한 건축물의 진동은 다양한 방법으로 제어가 이루어 질 수 있다. 본 논문에서는 인접한 두 건축물 사이를 MR감쇠기로 연결하여 건축물의 진동을 제어하고자 한다. MR 감쇠기로 연결된 인접한 건축물에 대한 Skyhook 모델은 〈그림 6〉과 같이 감쇠기를 이상화하여 'Sky'에 연결하는 것으로 볼 수 있다. 〈그림 6〉과 같은 이상적인 모델을 수치해석적으로 접근하기 위하여 인접한 두 건축물 사이의 MR 감쇠기를 제어가 가능한 감쇠기로 모형화할 수 있다. 그리고 MR 감쇠기를 Hybrid 제어기법을 적용하여 인접한 두 건축물의 진동제어가 가능하다.



〈그림 6〉 예제 인접 건축물의 Skyhook 모델



〈그림 7〉 예제 인접 건축물의 Hybrid 모델

왼쪽 건축물(building 1, Mass_1)을 위주로 인접한 두 건축물을 지진응답을 제어하기 위해서 식 (1)을 변형한 식 (4-1)과 식 (4-2)을 제어식으로 적용할 수 있다. 그리고 오른쪽 건축물(building 2, Mass_3)의 지진응답을 위주로 인접한 두 건축물의 지진응답을 제어하기 위하여 식 (4-3)과 식 (4-4)와 같은 제어 알고리즘을 적용하여 MR 감쇠기의 제어력을 결정한다.

$$d_1(v_3 - v_1) > 0 \rightarrow c_{building1} = c_{max} \quad (4-1)$$

$$d_1(v_3 - v_1) \leq 0 \rightarrow c_{building1} = c_{min} \quad (4-2)$$

$$d_3(v_3 - v_1) \leq 0 \rightarrow c_{building2} = c_{max} \quad (4-3)$$

$$d_3(v_3 - v_1) > 0 \rightarrow c_{building2} = c_{min} \quad (4-4)$$

그리고 경우에 따라서 인접한 두 건축물의 변위응답과 같은 동적거동이 한계가 있을 수 있으므로 각각의 건축물에 작용하는 제어력을 조절할 필요가 있을 것이다. 이러한 경우에 식 (5)와 같이 Hybrid 모델을 수정한 제어알고리즘을 적용하여 두 건물을 동시에 그리고 효과적으로 제어할 수 있을 것이다.

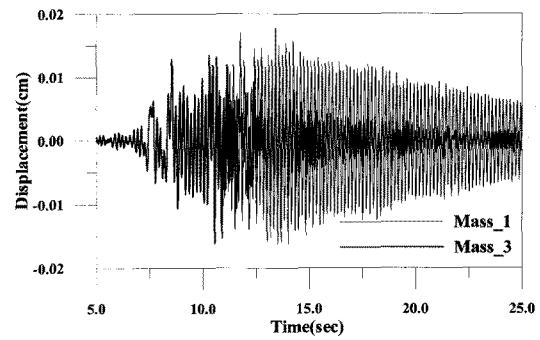
$$c_{hybrid} = \alpha c_{building1} + (1 - \alpha) c_{building2} \quad (5)$$

식 (5)에서 α 가 1이면 MR 감쇠기의 제어력이 왼쪽 건축물(building 1, Mass_1)의 제어를 위주로 결정되며, α 가 0인 경우에 오른쪽 건축물(building 2, Mass_3)의 제어를 위주로 MR 감쇠기의 제어력이 결정된다.

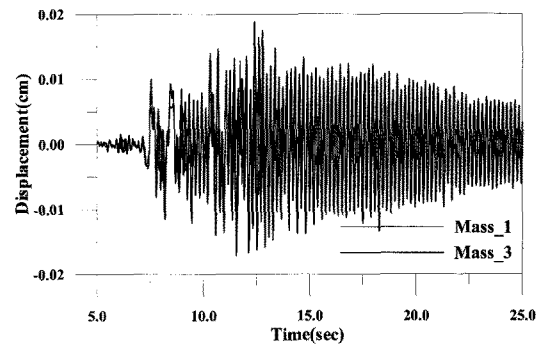
4. 인접 건축물의 지진동제어

4.1 인접한 예제 건축물의 지진응답

지진하중에 의한 구조물의 지진응답은 구조물의 동적특성에 의하여 다양하게 나타난다. <그림 8>은 서로 연결되어 있지 않고 독립되어 있는 두 건축물에 Kobe 지진하중을 가진 하였을 때 Mass_1과 Mass_3 변위응답이다.



(a) 모델 A 변위응답 (w/o MR damper)



(b) 모델 B 변위응답(w/o MR damper)

<그림 8> 예제 건축물의 지진응답-Kobe 지진

모델 A에서 Mass_3보다 Mass_1의 변위응답이 크게 나타나고 있으며 모델 B에서는 Mass_1의 변위응답보다 Mass_3의 변위응답이 크게 나타나고 있다. ElCentro 지진하중에 의한 Mass_1과 Mass_3 지진응답도 위와 유사한 것을 볼 수 있었다.

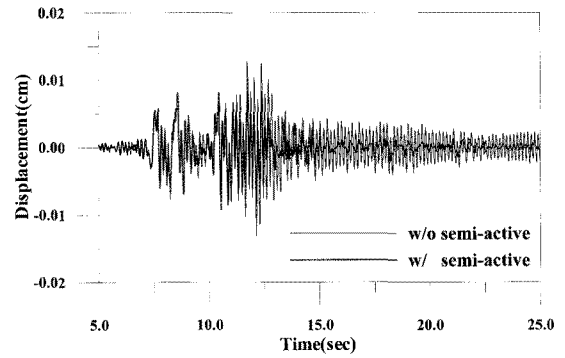
4.2 제어 모델에 따른 지진동 제어성능 분석

인접한 두 건축물 사이에 MR 감쇠기를 설치하여 건축물의 지진응답을 줄이고자 한다. 본 논문에서는 MR 감쇠기가 설치된 인접 건축물의 Hybrid 모델 제어성능을 분석하기 위한 것으로 MR 감쇠기의 용량 및 MR 감쇠기의 설치 위치가 결정된 상태로 하였다.

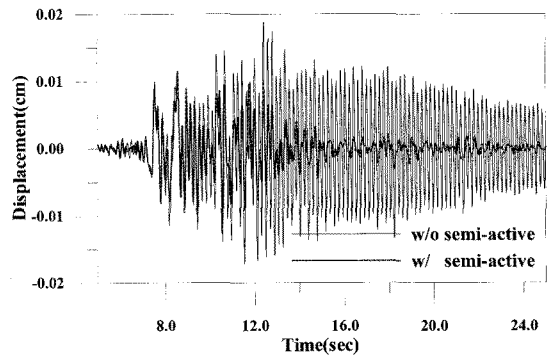
<그림 9>는 모델 A와 모델 B의 건축물 변위응답을 나타낸 것으로 식 (5)의 hybrid 모델의 제어 알고리즘에 있어서 α 가 1인 경우(Mass_1 제어)이다. <그림 9>에서 알 수 있듯이 모델 A와 모델 B에 있어서 Mass_1을 위주로 제어를 하더라도 Mass_1과 Mass_3

모두 지진응답이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 식 (5)의 hybrid 모델의 제어 알고리즘에 있어서 Mass_3를 위주로 제어를 하더라도 Mass_1과 Mass_3 모두 지진응답이 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 이는 MR 감쇠기에 의한 제어력이 두 건축물에 작용하여 인접한 두 건축물의 지진응답을 동시에 제어하는 것으로 이로 인하여 MR 감쇠기의 제어성을 확인할 수 있다. 그리고 ElCentro 지진하중에 의한 Mass_1과 Mass_3 지진응답도 <그림 9>와 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

Hybrid 모델의 제어 알고리즘에 있어서 α 가 0인 경우(Mass_3 제어)의 모델 A와 모델 B 변위응답을 <그림 10>는 나타내었다. <그림 9>와 마찬가지로 Mass_1을 위주로 지진응답을 제어 하더라도 Mass_1과 Mass_3 변위응답이 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 Mass_3을 위주로 제어력을 결정하더라도 Mass_1과 Mass_3 지진응답이 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

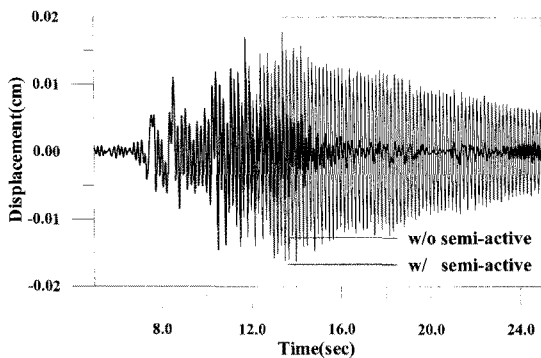


(c) 모델 B_Mass_1 변위응답

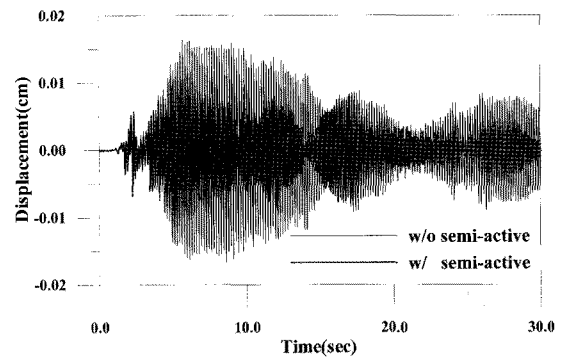


(d) 모델 B_Mass_3 변위응답

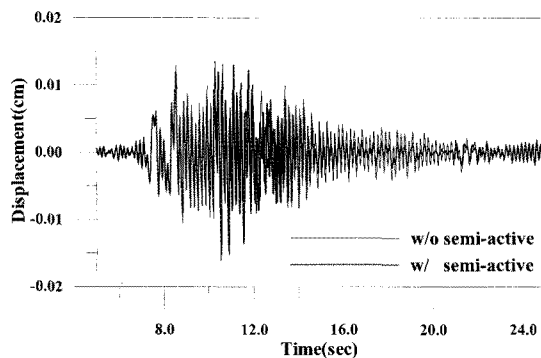
<그림 9> Mass_1 제어시 예제 건축물의 지진응답-Kobe 지진



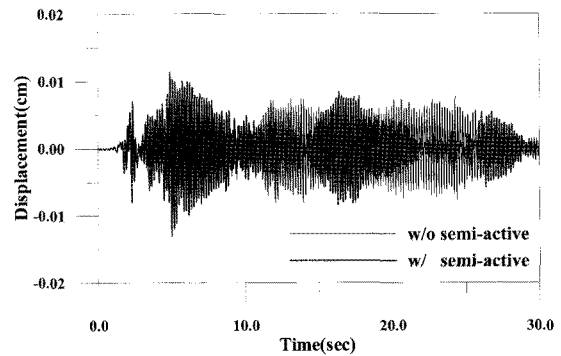
(a) 모델 A_Mass_1 변위응답



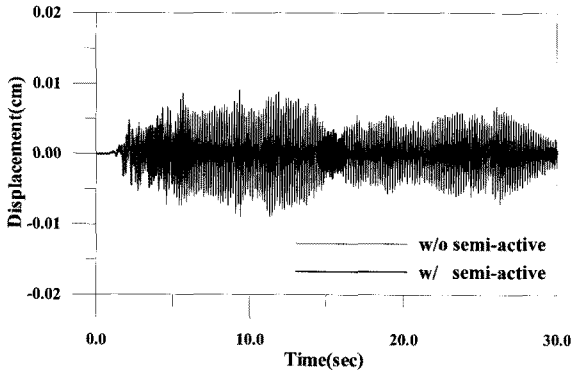
(a) 모델 A_Mass_1 변위응답



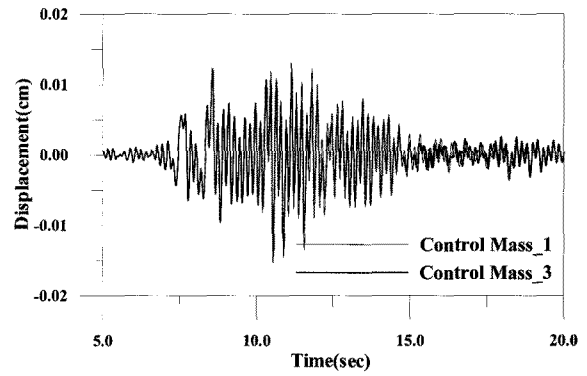
(b) 모델 A_Mass_3 변위응답



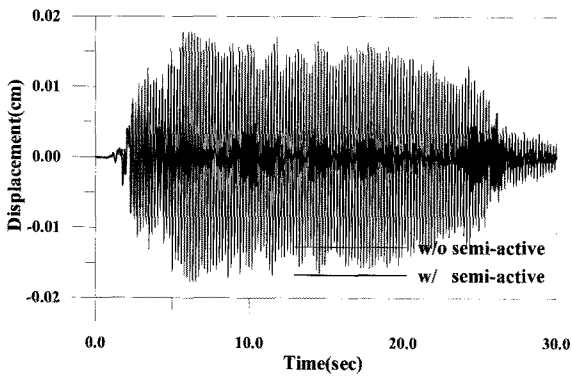
(b) 모델 A_Mass_3 변위응답



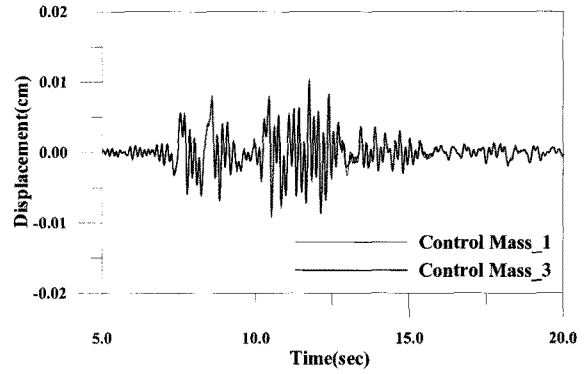
(c) 모델 B_Mass_1 변위응답



(b) 모델 A_Mass_3 변위응답



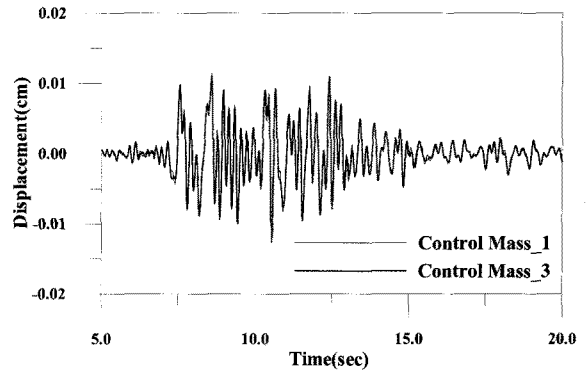
(d) 모델 B_Mass_3 변위응답



(c) 모델 B_Mass_1 변위응답

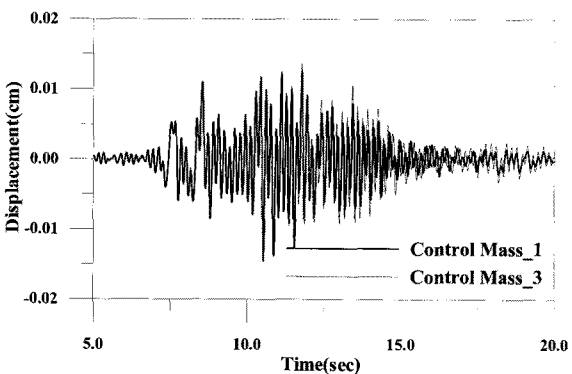
〈그림 10〉 Mass_3 제어시 예제 건축물의 지진응답-EI-Centro 지진

〈그림 11〉는 식 (5)의 hybrid 모델 제어 알고리즘에 있어서 α 가 1인 경우(Mass_1 제어)와 α 가 0인 경우(Mass_3 제어)의 모델 A와 모델 B의 변위응답을 나타낸 것이다.



(c) 모델 B_Mass_3 변위응답

〈그림 11〉 building 1 / building 2 제어시의 지진응답-Kobe 지진



(a) 모델 A_Mass_1 변위응답

〈그림 11〉에서 알 수 있듯이 hybrid 모델 제어 알고리즘에 있어서 Mass_1의 변위응답은 Mass_3 제어시 보다 Mass_1 제어시 보다 효과적인 것을 알 수 있다. 또한 Mass_3을 위주로 제어를 할 경우에는 Mass_3의 변위응답이 Mass_1의 변위응답보다 작은 것을 볼 수 있다. 따라서 제어대상 건축물의 선정에 따라서 두 건축물의 제어성능이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

〈표 3〉은 제어대상 건축물 선정에 따른 Model B 건축물의 최대 및 최소 변위응답을 나타낸 것이다. Hybrid 제어 모델에서 building 1을 위주로 인접 건축물의 지진응답을 제어할 경우에는 Mass_1의 최대 및 최소 지진응답이 building 2 위주로 제어할 때 보다 작은 것을 볼 수 있다. 또한 building 2 위주로 제어력을 결정할 경우에는 Mass_3의 최대 및 최소 변위응답이 building 1 위주로 제어할 때 보다 작은 것을 알 수 있다. 따라서 Mass_1의 지진응답을 제어하기 위해서는 제어 대상 건축물을 building 1으로 선정하는 것을 효과적이다. 또한 제어 대상 건축물이 building 2인 경우에는 Mass_3의 지진응답을 제어하는 데 있어서 보다 효과적인 것을 알 수 있다. 제어대상 건축물 선정에 따른 Model A 건축물의 최대 및 최소 변위응답도 〈표 3〉과 유사한 현상을 보이고 있다.

〈표 3〉 제어대상 건축물 선정에 따른 최대/최소 변위응답(mm)

제어대상 건축물	Mass_1 최대변위	Mass_1 최소변위	Mass_3 최대변위	Mass_3 최소변위	지진하중
building 1 제어시	+10.11	-8.82	+11.42	-12.75	Kobe 지진하중
building 2 제어시	+10.47	-9.24	+11.02	-11.86	
building 1 제어시	+6.21	-5.30	+7.59	-8.98	ElCentro 지진하중
building 2 제어시	+6.26	-5.39	+7.51	-8.60	

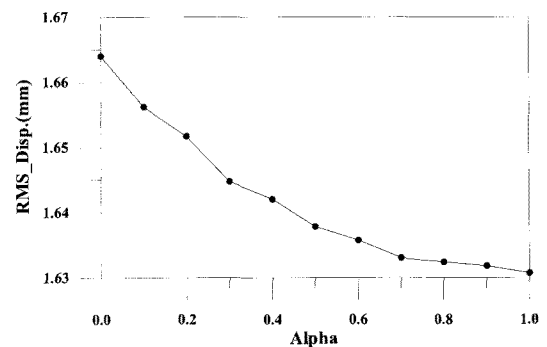
4.3 Hybrid 제어 모델의 제어성능 분석

Hybrid 제어 모델은 α 에 따라서 building 1 제어 모델의 제어력과 building 2 제어 모델의 제어력을 조합한 것이다. 〈그림 12〉는 α 에 따른 모델 B 건축물의 RMS 변위응답을 나타낸 것이다.

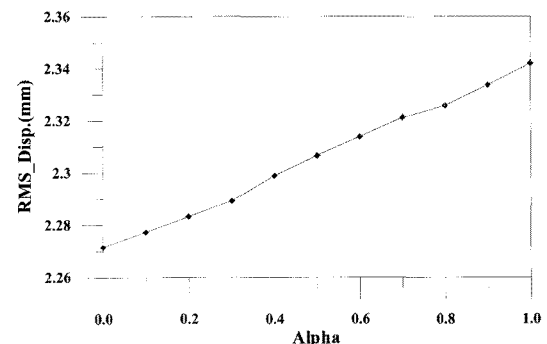
〈그림 12〉에서 알 수 있듯이 α 가 증가함에 따라서 Mass_1의 변위응답이 감소하고 Mass_3의 변위

응답이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 α 가 증가함에 따라서 MR 감쇠기의 제어력이 building 1의 제어에 따라서 조절되기 때문이다. 계수 α 의 변화에 따른 Model A 건축물의 RMS 변위응답도 〈그림 12〉과 유사한 것을 확인할 수 있었다.

따라서 인접한 두 건축물의 진동제어에 있어서 두 건축물의 변위응답이 제한적일 경우에 α 를 적절하게 선정한다면 인접한 두 건축물의 지진응답을 효율적으로 제어할 수 있을 것이다.



(a) 모델 B_Mass_1 변위응답



(a) 모델 B_Mass_3 변위응답

〈그림 12〉 α 에 따른 지진응답-Kobe 지진

5. 결론

본 논문에서는 인접한 두 건축물의 지진응답제어를 위하여 두 건축물 사이에 MR 감쇠기를 설치하였다. MR 감쇠기로 연결된 두 건축물의 skyhook 모델을 기반으로 한 hybrid 모델로 모형화하였다. Hybrid 모델로 모형화한 인접한 두 건축물의 지진해석을 수행하고 진동응답을 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

인접한 두 건축물 사이에 MR 감쇠기를 설치한 능동 제어시스템은 인접한 두 건축물의 지진응답을 동시에 제어할 수 있으므로 인접한 건축물의 지진응답 제어에 있어서 매우 효과적이다. MR 감쇠기로 연결된 두 건축물을 hybrid 모델로 모형화할 경우에 진동제어 대상 건축물의 선정에 따라서 두 건축물의 진동제어 효과가 다르게 나타나고 있다. 인접한 두 건축물의 동적하중에 의한 응답변위가 제한적일 경우에 hybrid 모델 제어알고리즘의 계수 α 를 적절하게 선정한다면 인접한 두 건축물의 변위응답을 효과적으로 제어할 수 있다.

본 연구에서는 MR 감쇠기로 연결된 인접 건축물의 hybrid 모델의 제어성능을 분석하기 위한 것으로 MR 감쇠기의 용량 및 설치위치에 대한 분석은 본 연구에서 수행되지 못하였다. 그러나 지진하중에 의한 인접한 건축물의 지진응답을 최적으로 제어하기 위해서는 MR 감쇠기의 용량 및 설치 위치, 제어알고리즘 등에 대한 추후 연구가 필요하리라 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2010-0012407)

- 참고문헌 -

1. 김현수, 양아람, 이동근, 안상경, 오정근, '스카이 브릿지로 연결된 고층건물의 진동제어 성능 평가', 한국공간구조학회, 제8권 제4호, 2008, pp. 91-100
2. Zhang, W.S. and Xu, Y.L., 'Dynamic characteristics and seismic response of adjacent buildings linked by discrete dampers', Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 28, No. 10, 1999, pp. 1163-1185
3. Shinya Soma, Takashi Tanaka, Toru Watanabe and Kazuto Seto, 'Seismic response control

for parallel building structures using MR damper', Nihon Kikai Gakkai Kanto Shibu Sokai Koen Ronbunshu, Vol. 10, 2004, pp. 225-232

4. Xu, Y.L., Yang, Z. 'Inelastic seismic response of adjacent buildings linked by fluid dampers', Structural Engineering and Mechanics, Vol. 15, No. 5, 2003, pp. 513-533
5. Ni, Y.Q., Ko, J.M. and Ying, Z.G., 'Random seismic response analysis of adjacent buildings coupled with non-linear hysteretic dampers', Journal of sound and vibration, Vol. 246, No. 3, 2001, pp. 403-417
6. 옥승룡, 김동석, 박관순, 고현무, '선형 점성 감쇠기가 장착된 인접구조물의 진동제어를 위한 유전자 알고리즘 기반 최적설계', 한국지진공학회, 제11권 제1호, 2008, pp. 11-19

(접수 일자 : 2011년 2월 8일)

(심사 완료일자 : 2011년 4월 5일)

(게재 확정일자 : 2011년 5월 27일)