

제진장치를 적용한 초고층 주거형 건축물의 횡변위 제어 성능 평가

Performance Evaluation of the Drift Control in Residential Tall Building Using the Dampers

박 지 형† 김 태 호* 김 옥 종** 이 도 범***
Park, Ji-Hyeong Kim, Tae-Ho Kim, Ook-Jong Lee, Do-Bum
(논문접수일 : 2008년 6월 9일 ; 심사종료일 : 2008년 6월 20일)

요 지

최근 급속하게 증가하고 있는 초고층 건축물은 바람이나 지진에 의한 횡변위를 효율적으로 제어하는 기술이 매우 중요하다. 그러나 국내의 초고층 주거형 건축물에 주로 사용되는 횡력 저항 구조시스템인 아웃리거 시스템은 별도의 공간을 요구하여 시공이 어렵고 공사 기간이 오래 걸리는 등의 불리한 점들이 있다. 반면 근래에 사용되고 있는 제진 시스템은 동적 하중에 의한 진동에너지를 부가적인 제진장치에 집중시킴으로써 건물의 횡변위를 저감시키며, 댐퍼의 설치도 비교적 용이하다. 또한, 아웃리거 설치와 같은 횡변위 제어시스템은 강성증가로 인해 풍응답이 증가되어 거주자의 불편과 같은 사용성 문제가 발생하기도 하며 이는 다른 추가적인 제어방식을 요구하게 된다. 따라서 본 연구에서는 초고층 주거형 건축물에 대한 횡변위를 효과적으로 제어하면서 아웃리거시스템을 대체 또는 보완할 수 있는 새로운 방법으로써 다양한 제진장치를 적용하여 각각의 횡변위제어 성능을 검토해보았다.

핵심용어 : 초고층 주거형 건축물, 횡변위제어, 제진장치, 아웃리거 시스템, 내풍, 내진

Abstract

The problem controlling lateral drift by the wind and the earthquake is very important in high rise buildings. But, outrigger system, generally used for residential tall buildings in Korea, has weak points with the occupancy of special space, the difficult construction and the long duration of works. On the other hand, the damper reduces story drifts of building structure by absorbing vibration energy induced by the dynamic loads and the application of damper systems is relatively simple. Also, the lateral drift control system such as outrigger system may raise the wind vibration problem of serviceability like human comfort and this problem may need another vibration control devices. Accordingly, we analyze the effect of the drift control using various dampers to substitute for outrigger system as the efficient system in residential tall buildings.

Keywords : residential tall building, drift control, damper, outrigger system, wind resistant, earthquake resistant

1. 서 론

초고층 주거형 건축물의 구조계획에서 가장 유의해야 할 사항 중 하나는 바람이나 지진과 같은 횡하중에 대한 수평변위를 제어하는 것이다(양재근, 2003). 이를 위하여 건물의 강성을 증가시킬 수 있는 구조시스템을 도입하는 방법과 부가

적인 장치를 설치하여 건물의 동적 특성을 이용하는 방법 등이 적용되어 왔다. 그러나 횡방향 강성을 증가시켜 주는 아웃리거 시스템은 횡변위 제어능력은 매우 뛰어나지만 별도의 건축계획 및 시공상의 여러 가지 어려움으로 인하여 공기지연과 경제적 문제가 발생할 수 있다(CTBUH, 1995). 반면 근래에 널리 적용되고 있는 부가적인 제진장치를 설치하는

† 책임저자, 정회원 · 대림산업(주) 기술연구소 연구원
Tel: 02-2011-8257 ; Fax: 02-2011-8068
E-mail: dori0911@daelim.co.kr

* 대림산업(주) 기술연구소 대리

** 대림산업(주) 기술연구소 차장

*** 대림산업(주) 기술연구소 팀장

• 이 논문에 대한 토론을 2008년 8월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2008년 10월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

방법은 댐퍼가 바람과 지진에 의해 구조물에 유입되는 진동 에너지를 흡수함으로써 횡변위를 제어하며, 제작이 간편하다는 장점을 가지고 있다(김대곤 등, 2001).

국내의 경우, 지진 발생빈도나 규모가 미국이나 일본 등에 비해 훨씬 작은 편이며 국내 설계기준(대한건축학회, 2005)을 바탕으로 볼 때 중·약진지역에 속하는데 반해 풍하중은 태풍 등의 영향으로 적지 않게 산정되는 편이다. 이에 국내의 고층건물은 풍하중에 의해서 횡력 저항 시스템이 주로 설계되어 적용된다. 풍하중은 상시하중으로서 건물이 탄성거동을 하고 이때 구조물의 감쇠율이 낮아 거주자에게 불안감을 유발하는 등 풍진동에 의한 사용성 문제가 나타날 수 있어 최근에는 반드시 검토하고 있는 사항이기도 하다. 그럼에도 불구하고 종종 풍진동에 의한 사용성 문제가 발생되어 추가적인 제어장치를 설치하는 경우가 있는데 이는 국내뿐만 아니라 미국의 시티코프센터와 같은 해외 사례에서도 존재한다. 따라서 초기 설계시 횡력 저항 시스템에 적극적으로 제진장치를 적용하는 등의 시도를 통해 횡변위뿐만 아니라 풍진동 제어에도 효율적인 시스템을 개발할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 초고층 주거형 건축물에 대하여 횡변위를 효과적으로 제어하면서 기존에 가장 널리 사용되어 온 횡력 저항 구조시스템인 아웃리거시스템을 대체 또는 보완할 수 있는 새로운 방법으로써 다양한 제진장치를 적용하여 각 시스템들의 횡변위제어 성능을 검토해보았다.

2. 아웃리거 시스템과 제진시스템

2.1 아웃리거 시스템의 거동

국내 초고층 주거형 건축물의 대표적인 횡력 저항 구조시스템인 코어-아웃리거 시스템은 횡하중이 발생하면 코어뿐만 아니라 아웃리거에 연결된 외부 기둥에 의해서 수평 처짐과 모멘트를 분담하게 된다. 이로 인해 건물의 전체적인 휨강성은 증가하고 기초부에서는 전도모멘트가 감소한다. 그러나 코어-아웃리거 시스템은 휨에는 강하지만 전단력에는 약한

특성을 가지고 있다(Taranath, B.S., 2004).

2.2 제진장치별 특징

본 연구에서는 앞에서 살펴본 아웃리거의 대체시스템으로서 제진장치의 적용가능성을 알아보려고 여기서는 그림 1과 같은 점탄성 댐퍼(Viscoelastic Damper, 이하 VE댐퍼), 탄소성 이력댐퍼, 동조질량감쇠기(Tuned Mass Damper, 이하 TMD), 상부층 면진 4가지 제진장치를 다루었다. 이 장치를 선정한 이유는 VE댐퍼의 경우 가격이 비교적 비싼 문제점이 있지만 풍과 지진하중에 대하여 모두 진동저감 능력이 우수한 것으로 평가되고, 탄소성 이력댐퍼의 경우 국내에서 제작이 쉽고 비교적 가격경쟁력이 뛰어나며 지진에 대한 에너지 소산능력이 우수한 것으로 연구문헌(금동성 등, 2002; 오상훈 등, 2005)에서 보고되고 있기 때문이다. 또한, TMD의 경우 건물의 1차 진동모드를 제어하는 데 탁월하며, TMD의 특성상 풍하중과 같이 1차 진동모드에 큰 관련이 있는 경우에 효과가 크지만 다양한 진동수 특성을 가지는 지진에는 그 효과가 떨어지는 것으로 알려져 있기 때문이다. 마지막으로 상부층 면진장치(김태호 등, 2008)는 TMD와 같이 거동하지만 건물에 추가적인 질량을 유발하지 않는 장점을 가져 가격 경쟁력을 가질 수 있기 때문이다.

VE댐퍼에 사용되는 재료는 전단변형을 받는 경우에 에너지가 소산되는 공중합물이나 합성고무이며, 일반적인 VE댐퍼는 철판에 여러 층의 점탄성 재료를 적층시켜 만들어진다. 이 점탄성 재료는 작동 진동수와 온도에 영향을 많이 받는데 작동 진동수는 충분한 검토를 통하여 적용할 곳에서 만족할 만한 거동을 얻기 위해 근사화시켜야 하고, 이 재료가 전단 변형을 열로 변환하므로 외기온도를 포함한 점탄성 재료에 생기는 열에 의한 온도가 설계범위에 들어가도록 해야 한다(Hanson 등, 2001).

탄소성 이력댐퍼는 댐퍼 자체의 상대변위에 의하여 에너지를 소산시키는 이력형 감쇠기로서 상대적으로 다른 감쇠기에 비해 상대속도에는 크게 민감하지 않다. 가장 많이 사용

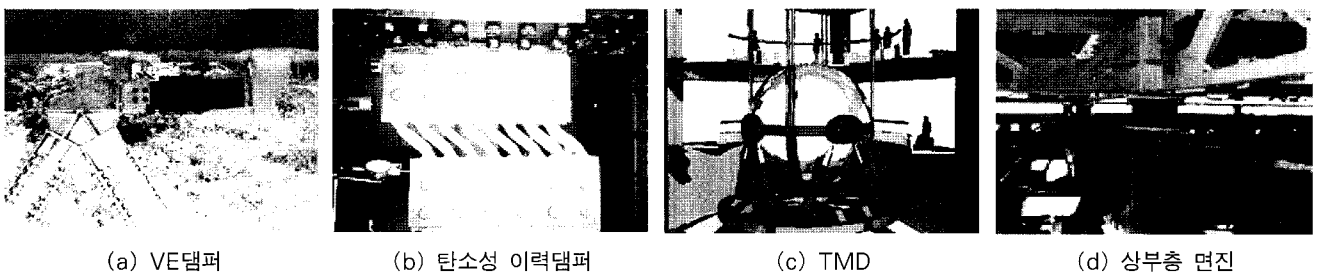


그림 1 건물에 적용한 제진장치

되는 이력모델은 탄소성 모델, 이중선형 모델 및 3차 다항식 모델(Jennings, 1964)이 있다(Hanson 등, 2001).

진동을 줄이기 위해 건물에 작용하는 동하중을 제거하는 것이 가장 효과적이거나 이는 현실적이지 못하다. 그래서 진동을 줄이는 일반적인 방법은 건물 시스템 자체의 강성과 질량을 변화시키는 것이다. 이 경우 가장 많이 사용되는 것이 TMD이다. TMD는 주 시스템에 비해 상대적으로 질량이나 강성이 작은 진동시스템으로 구성되어 있으며, TMD의 고유진동수를 외부하중의 진동수에 일치시켜 주구조물의 진동을 줄인다(강경수, 1997).

3. 제진장치 설치에 따른 구조물의 성능 평가

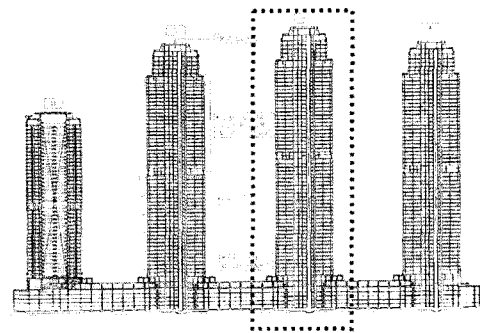
3.1 해석모델

제진장치 설치에 따른 구조물의 횡변위제어 성능 평가를 위해 국내 초고층 주거형 건축물 중 66층 규모의 S사 T건물을 선정하였다. 해석 건물의 높이는 232.3m이고, 세장비는 6.6이며, 건물의 입면 및 평면은 그림 2와 같다. 구조시스템은 중앙부 코어 벽체와 외주부 SRC기둥 및 철골보로 이루어졌고, 부가적인 횡력 저항 시스템으로 34층과 61층에 아웃리거와 벨트트러스를 적용하였다. 이 때, 코어의 면적비는 타워 면적의 약 22% 정도 해당된다.

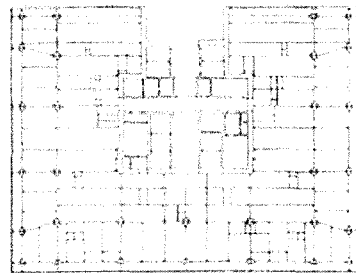
지진하중은 지반가속도 조정방법(김태호 등, 2007)을 이용하여 조정하였고 설계스펙트럼은 지진구역 1, 지반종별 Sc, 중요도 계수 1.5를 사용하였다. 건물에 설치한 제진장치가 주로 진동에너지를 흡수하는 것으로 보고 건물이 탄성거동하는 것으로 가정하였으며, 이에 반응수정계수를 1로 두었다. 건물의 x방향으로는 Taft N69E(1952)지진, y방향으로는 San Fernando N69E(1971)지진을 가하였다(그림 5, 6). 적용 풍하중은 서울지역, 노풍도를 B로 가정하였으며 인공풍하중 작성에 사용된 풍스펙트럼으로 풍방향은 Kaimal spectrum, 풍직각방향은 Ohkuma와 Kanaya spectrum을 사용하였다. 변동풍속의 RMS관계(Armitt, 1976)는 이러한 풍방향 풍속과의 관계를 이용하였다(Tsukagoshi, 등, 1993).

3.2 아웃리거 설치 유무에 따른 구조물의 응답

제진장치와 아웃리거의 성능을 비교하기 위해서 아웃리거 설치 전 구조물의 응답을 기준으로 정하고, 아웃리거 설치 유무에 따른 구조물의 응답을 살펴보았으며 그림 3에 나타났다. 건물의 동적 해석에 사용된 모드 수는 20개이며, 누적



(a) 입면도



(b) 평면도

그림 2 건물의 입면 및 평면(S사 T건물)

참여율은 각 방향에 대하여 각각 92.7%, 92.6%, 93.3%로 모드해석에 필요한 모드의 수를 충분히 반영하고 있다. x방향의 주기는 아웃리거 설치 전 8.7초, 아웃리거 설치 후 6.8초이며, y방향의 주기는 아웃리거 설치 전 8.1초, 아웃리거 설치 후 6.5초로 나타났다.

그림 3에서 층전단력은 아웃리거 설치 유무와 관계없이 거의 동일한 것으로 나타났으며 층간변위의 경우는 아웃리거의 설치가 변위제어에 효과가 있음을 확인하였다. 풍하중에 의한 층전단력은 지진하중에 의한 것에 비해 매우 작으므로 제진장치 설계시 특별히 고려하지 않았다. 거주자의 측면에서 상시하중으로 작용하는 풍하중에 의하여 발생하는 가속도 응답은 거주자들이 느끼는 불쾌감과 같이 사용성에 관련된 것이다. 이 예제의 경우에는 아웃리거 설치에 의해 강성이 증대되어 풍방향 및 풍직각방향 모두에서 불리한 것으로 나타났다. 이는 단순히 구조시스템의 개선을 통한 강성증대는 횡변위제어에는 효과적이지만 풍가속도응답을 증대시킬 가능성이 있어 강성을 통한 제어 이외에 다른 제어방식이 추가라 필요하다는 것을 알 수 있다.

3.3 제진장치별 구조물의 성능 평가

아웃리거의 대체 변위제어 장치로서 앞에서 살펴본 제진장치들의 성능 평가를 위해서 건물에 적용가능하도록 제진장치

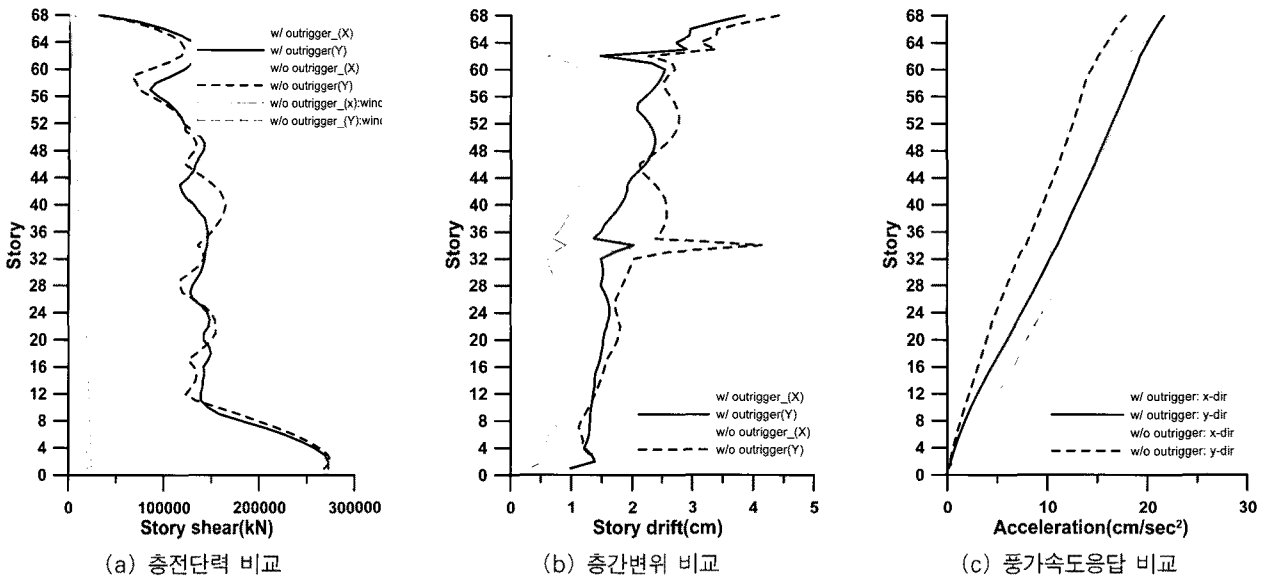


그림 3 아웃리거 유무에 따른 응답 비교

표 1 댐퍼의 설계용 층강성

장치번호	설치위치	댐퍼의 설계용 층강성 (kN/cm/EA)	
		X-dir	Y-dir
1	1F	5550	3800
2	2F~4F	2850	2850
3	5F~18F	2400	2850
4	19F~61F	1125	1329
5	61F~RF	250	240

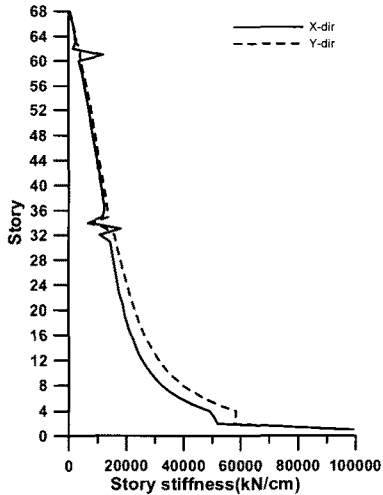


그림 4 해석대상 건물의 층강성

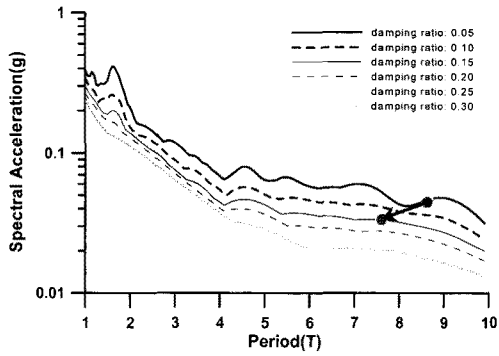
의 크기를 결정하였다. 해석에 필요한 댐퍼의 층강성은 건물의 층강성(그림 4)을 기준으로 표 1과 같이 5가지로 구분하여 설계에 반영하였으며, 이 때 구분된 층에서 가장 큰 강성을 가지는 층을 대표강성으로 설정하였다.

제진장치에 의한 변위제어의 목표치는 KBC2005에서 제시하는 허용 층간변위($0.01 h_{sx}$, h_{sx} : x층 층고)를 만족해야

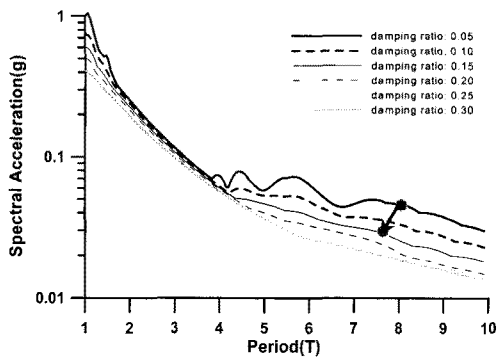
하므로 30%정도로 설정하였다. 제진장치의 감쇠비는 30%의 변위제어 효과를 얻기 위해서 그림 5와 그림 6의 감쇠비에 따른 가속도와 변위 응답스펙트럼을 참고하여 건물의 감쇠비가 15%정도 되도록 제진장치의 추가 감쇠비를 10%정도로 설정하였으며, 이를 그림 5와 6에 도시하였다.

VE댐퍼 설치에 따른 지진과 풍하중에 대한 건물의 응답 효과를 그림 7에 나타냈다. 해석 결과를 살펴보면, x방향의 층전단력 감소는 거의 없고 층간변위는 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 그림 5와 6의 스펙트럼을 통하여 파악할 수 있는데 장주기 대역에서 감쇠기의 적용이 변위 응답에 더 효율적임을 알 수 있다. 건물의 큰 동적 응답을 보이는 y방향은 층전단력 및 층간변위 모두 크게 감소하였다. 거의 동일하게 설계된 두 방향의 제진장치가 층전단력에서 전혀 다른 거동을 나타냈는데 이는 아웃리거 설치 전 구조물과 VE댐퍼(x, y방향 주기 : 7.7.초)가 설치된 구조물의 주기차가 x방향은 1초, y방향은 0.4초로 y방향의 주기차가 더 작게 발생하여 그림 5의 가속도 응답스펙트럼에서 보는 바와 같이 감쇠의 영향이 크게 작용한 것으로 보인다. 즉, 아웃리거 설치 전 구조물과 댐퍼가 설치된 구조물간의 주기차가 작은 저층의 구조물일수록 댐핑효과가 더 크게 발생하여 구조물의 층전단력을 크게 절감시켜준다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 거주성 평가 검토를 위한 풍가속도응답의 경우 x방향은 상부에서 크지는 않지만 응답이 증대되는 현상이 발생하여 댐퍼가 제대로 작동하지 않는 반면 풍직각하중이 작용한 y방향은 풍응답이 줄어들어 상대변위 발생을 통한 강성 및 감쇠효과가 있음을 알 수 있었다.

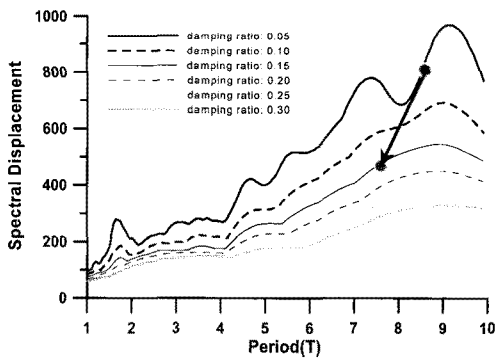
다만, 그림 8에서 보는 바와 같이 구조물에 실제 발생한



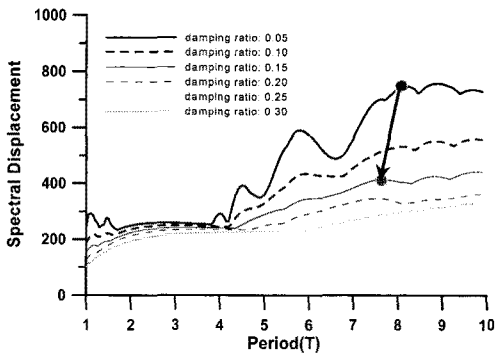
(a) x방향-Taft N69E(1952)



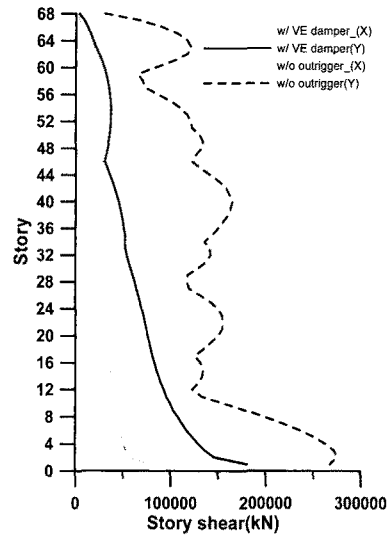
(b) y방향-San Fernando N69E(1971)
그림 5 감쇠율에 따른 가속도 응답스펙트럼



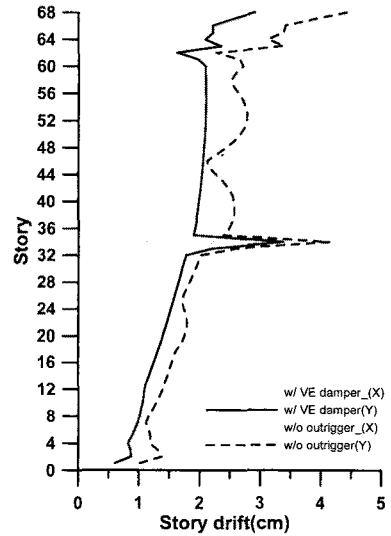
(a) x방향-Taft N69E(1952)



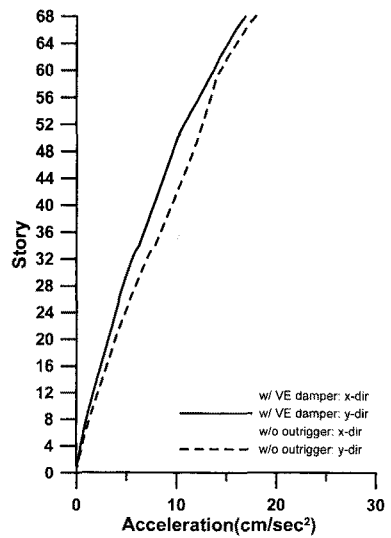
(b) y방향-San Fernando N69E(1971)
그림 6 감쇠율에 따른 변위 응답스펙트럼



(a) 층전단력 비교



(b) 층간변위 비교



(c) 풍가속도응답 비교

그림 7 VE 댐퍼를 설치한 경우의 지진/풍하중에 대한 응답 비교

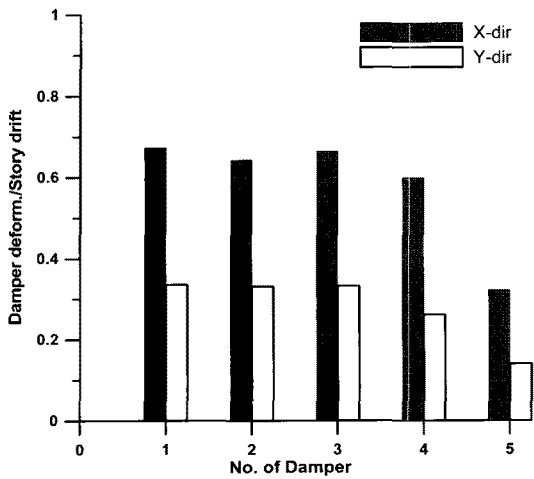
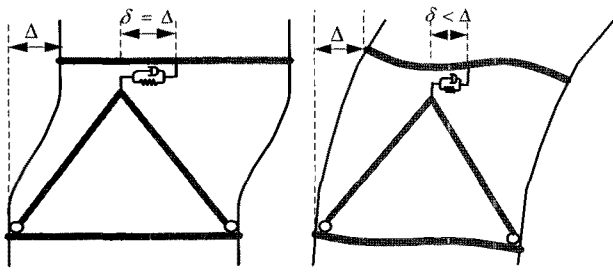


그림 8 층간변위에 대한 VE댐퍼의 변형비



(a) 전단변형모드 (b) 휨변형모드

그림 9 횡변형 모드에 따른 제진장치의 거동

표 2 VE댐퍼와 탄소성 이력댐퍼의 풍가속도응답 비교

최대 풍가속도응답 (cm/sec ²)	VE댐퍼		탄소성 이력댐퍼	
	x방향	y방향	x방향	y방향
	25.21	16.9	25.01	18.55

층간변위와 감쇠기의 발생하는 변위가 큰 차이를 보였다. x 방향의 기여율은 고층에서 약 30%에서부터 저층에서 70% 정도 기여하는 것으로 나타났으나 y방향은 10%에서 30%대로 아주 적은 변형능력만을 나타내었다. 이는 VE댐퍼나 탄소성 이력댐퍼와 같이 가새 등에 부착되어 사용되는 제진장치의 두 절점 사이에 발생하는 상대변위의 전단거동으로 설명되어진다. 건물의 횡방향 거동은 그림 9와 같이 전단변형모드와 휨변형모드의 조합으로 표현이 가능한데 휨변형모드의 영향이 클수록 층간변위가 발생해도 제진장치의 상대변위는 층간변위만큼 생기지 않으며, 수직부재가 층마다 상대변위를 일으켜 발생하는 전단변형모드의 영향이 크면 제진장치의 변형도 커져 큰 에너지 소산효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이에 고층건물에서는 가새 등을 통하여 부착되는 댐퍼의 설계시 변형모드에 따른 영향을 반드시 고려하여야 함을 알 수 있다.

탄소성 이력댐퍼의 설계에는 건물의 강성이 중요한 변수이다. 탄소성 이력댐퍼의 경우, 해석 건물의 지진하중에 대한 층전단력, 층간변위 및 풍하중에 대한 가속도 응답을 그림 10에 나타냈으며, 층전단력 및 층간변위 모두 VE댐퍼와 유사한 결과를 보였다. 풍가속도 응답은 탄소성 이력댐퍼가 풍하중에 항복하지 않도록 설계하기 때문에 아웃리저와 마찬가지로 강성의 영향으로 x, y 모든 방향에서 풍진동에 오히려 불리한 것으로 나타났다. 표 2에 정리한 바와 같이 VE댐퍼의 최대 풍가속도 응답이 탄소성 이력댐퍼보다는 작게 발생하므로, 탄소성 이력댐퍼가 지진과 풍하중 모두를 제어하는데 VE댐퍼에 비해 다소 불리한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

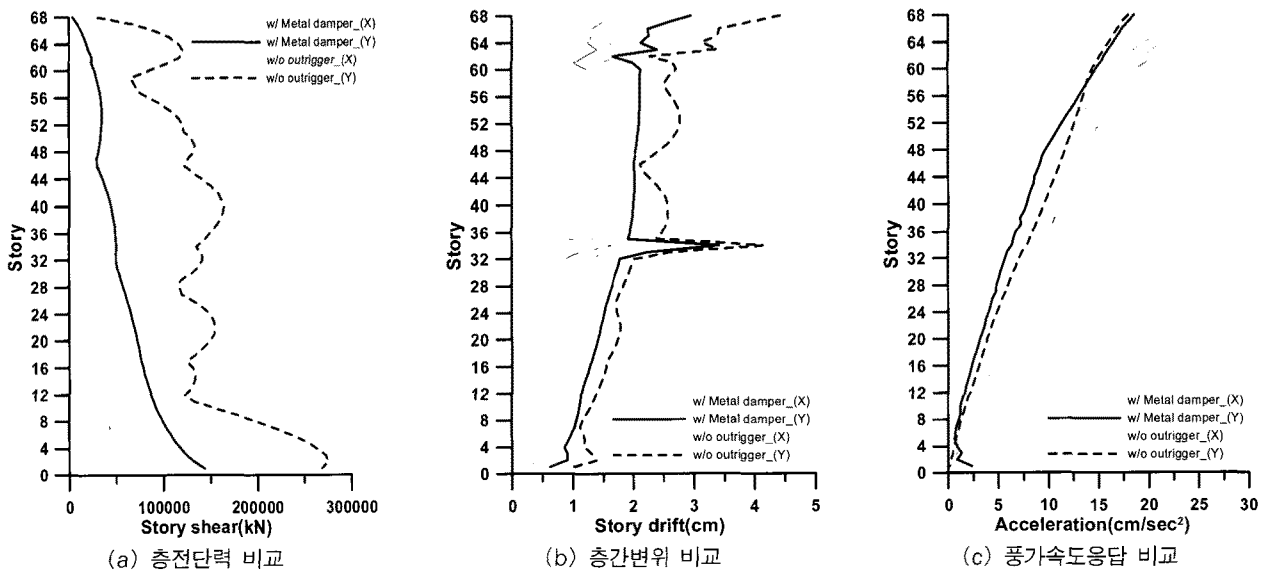


그림 10 탄소성 이력댐퍼를 설치한 경우의 지진/풍하중에 대한 응답 비교

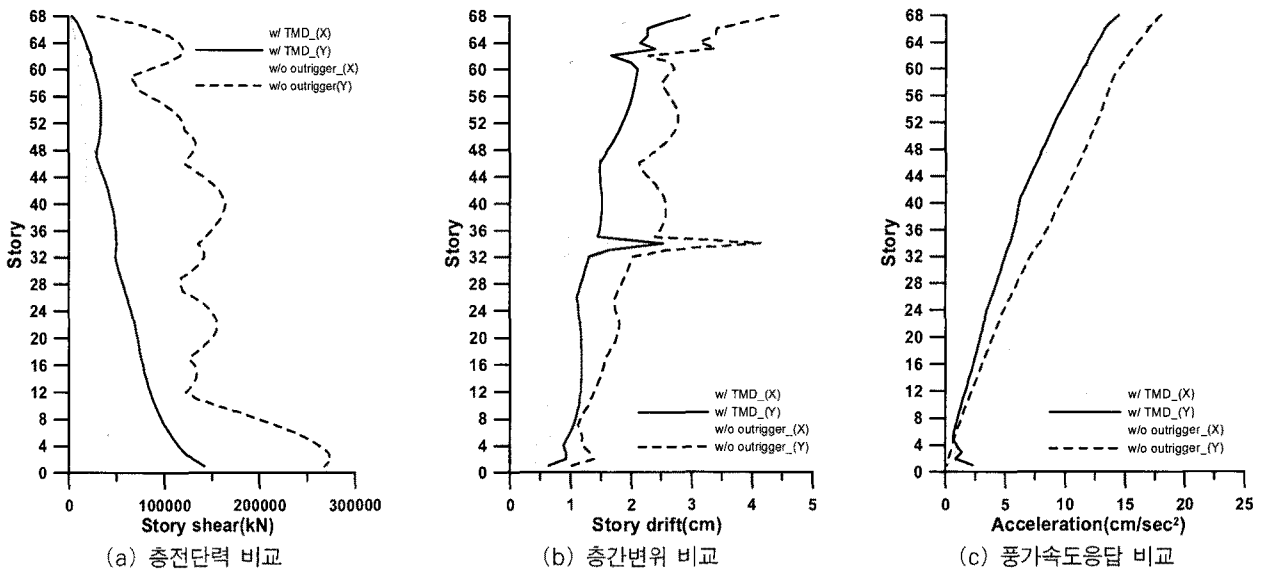


그림 11 TMD를 설치한 경우의 지진/풍하중에 대한 응답 비교

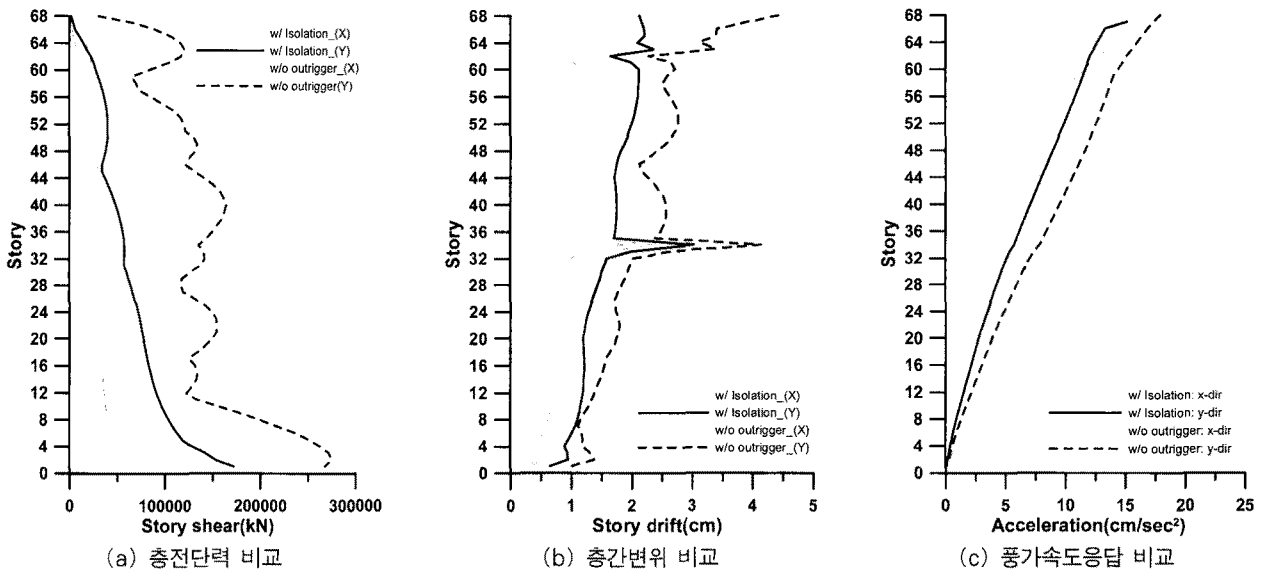


그림 12 상부층 면진장치를 설치한 경우의 지진/풍하중에 대한 응답 비교

TMD의 중요 설계계수는 다수의 연구자들이 제시한 설계 방법 중 Warburton의 설계식(Hanson 등, 2001)을 이용하여 계산되었다. 해석 건물의 1차 모드 질량을 바탕으로 TMD의 질량비는 약 3%정도로 가정하였고, 이를 이용하여 구한 x방향의 강성은 12.4, y방향의 강성은 14.5였으며 진동수비는 약 0.12Hz로 정하였다. TMD에 적용된 최적 감쇠비는 8.5%정도로 계산되었으며 이는 VE댐퍼의 경우보다 다소 낮은 편에 속한다. TMD의 배치는 코어 상부벽체 위에 4개의 스프링-댐퍼 시스템이 질량체를 지지하는 것으로 하였다.

TMD는 질량체의 고유진동수를 하부 주 구조물의 주요 진

동수와 동조시켜 하부 구조물에 작용하는 운동에너지를 상부 구조물이 흡수하는 원리이다. 이에 TMD는 앞에서 설명한 층간변위를 제어하는 VE댐퍼나 탄소성 이력댐퍼와는 작동원리가 크게 다르다. VE댐퍼나 탄소성 이력댐퍼는 댐퍼의 감쇠뿐만 아니라 강성이 건물에 작용하지만 TMD는 순수하게 건물의 동적 특성에 좌우되는 시스템이다. TMD의 경우, 지진하중에 의한 층전단력과 층간변위는 그림 11에서 보는 바와 같이 앞서 설명한 제진장치들과 마찬가지로 응답 저감효과를 보여주었으나 층간변위의 저감율은 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 풍하중에 의한 가속도응답은 VE댐퍼나 탄소성 이력댐퍼와는 달리 x, y 모든 방향에서 응답이 크게

표 3 제진장치별 구조물의 제어 효율 비교

		VE댐퍼	탄소성 이력댐퍼	TMD	상부층 면진장치	w/o 아웃리거
최대 층간 변위	x방향	45%	25%	21%	37%	(기준)
	y방향	34%	33%	30%	52%	
최대 풍가 속도	x방향	5%(+)	4%(+)	22%	29%	
	y방향	6%	3%(+)	20%	15%	

줄어드는 양상을 보였다. 이는 TMD가 지진하중뿐만 아니라 풍하중에 대해서도 크게 응답을 줄여 경제적인 설계 또한 가능하게 하고 있음을 알 수 있었다. 여기서, 풍가속도응답에 좀 더 좋은 효과를 기대하기 위해서는 TMD의 질량을 추가하거나 추가적인 변수분석을 통한 설계가 필요할 것으로 생각된다.

상부층 면진장치의 중요 설계계수는 TMD로 가정하여 Warburton의 설계식을 이용하였고 이에 대한 제어여부를 검토하였다. 우선 상부층 질량은 TMD보다 약간 많은 질량으로서 부가질량 없이도 TMD보다 큰 질량체를 얻는 것을 알 수 있다. 이 경우 질량비는 2.99, 2.95%이며, 이를 이용하여 구한 강성값은 x방향 19.1, y방향 22.8이었고, 진동수는 약 0.14Hz였다. 면진장치에 적용된 최적 감쇠비는 8.5% 정도로 계산됐으며, 이는 VE댐퍼의 경우보다 다소 낮은 편에 속한다. 이 경우에 사용된 면진장치의 수는 30개이며 하부에 기둥 또는 벽체의 모서리 위치에 설치되었으며 모두 고 감쇠 적층고무받침으로 가정하였다.

앞서 살펴본 TMD의 경우보다 제어효율이 좋음을 그림 12의 결과를 통하여 알 수 있다. 이것은 건물 상부에 추가질량이 없고 면진장치 상부의 질량이 앞선 TMD의 질량보다 큰 장점을 가진다. 이것은 질량비가 큰 TMD로 볼 수 있으며 이에 따라 TMD의 경우에 비하여 모든 경우에서 제어 효율이 좋은 것을 그림 12의 결과는 보이고 있다. TMD의 예와는 다르게 x방향에서도 층간변위제어가 되는 것은 상부의 큰 질량을 이용하여 에너지를 어느 정도 소산시켰기 때문으로 보인다. y방향의 경우는 이 장에서 다루는 모든 제어장치를 통틀어 가장 좋은 제어효율을 보였다. 이것은 큰 질량을 가진 TMD의 제어효과가 얼마만큼 진동제어에 효과적인지를 보여주는 것으로 현실적으로 원 구조물 상부에 질량을 추가하는 것 대신에 건물 자체를 면진시키는 것의 효율성을 보여주는 좋은 예이다. 풍하중에 대한 가속도응답도 풍방향 및 풍직각방향 모두에서 10%이상의 제어효과를 보여 지진 및 풍하중 모두에 대하여 장점을 가짐을 보여주고 있다. 그러나 지진과 풍하중에 대하여 면진층 상부층의 응답이 크다는 문제가 있으며 실용화를 위해서는 이에 대한 해결이 필요하다.

표 3과 같이 앞서 살펴본 제진장치들의 제어 성능을 비교해보면, 최대층간변위의 경우 4가지 장치 모두에서 응답저감 효과가 있음을 확인 할 수 있었고, 그 중 특히 VE댐퍼와 상부층 면진장치의 효율이 뛰어남을 알 수 있었다. 최대풍가속도의 경우에는 TMD와 상부층 면진장치의 제어 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 초고층 주거형 건축물의 횡변위를 효과적으로 제어하면서 기존에 가장 널리 사용되어 온 횡력 저항 시스템인 아웃리거시스템을 대체 또는 보완할 수 있는 새로운 방법으로써 네 가지 제진장치를 적용하여 그 성능을 검토해 보았으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) VE댐퍼와 탄소성 이력댐퍼 모두 지진하중에 대해서 큰 저감효과가 나타난 반면 풍하중에 대해서는 다른 결과를 나타냈다. VE댐퍼는 진동성분이 큰 풍직각방향(y)에 대한 응답에는 저감 효과를 보였으나 풍방향응답은 오히려 증폭되었다. 탄소성 이력댐퍼는 두방향 모두의 응답이 증폭되어 이 장치들이 가지는 강성이 풍응답저감에는 바람직하지 않은 것으로 판단되며, 이에 따라 초고층 건축물에 이력댐퍼를 설치할 경우에는 풍하중 제어가 가능한 기구를 병행하여 적용하는 것을 고려해야 할 것으로 생각된다.
- 2) 초고층 건물의 경우에는 횡변형거동이 커 가새 부착형 댐퍼가 설계변위(층간변위)만큼 작동하지 못하는 문제가 발생하였다. 이에 초고층 건물에 적합한 가새형 댐퍼의 설계기법 등이 개발되어야 할 것으로 판단된다.
- 3) TMD와 상부층 면진 경우, 지진과 풍하중 모두에 대하여 저감 효과를 가지는 것으로 나타났다. TMD는 실구조물과의 동조여부에 따른 효율문제가 있으며 최상층에 과도한 질량체를 두기 위한 구조적 고려 및 경제적인 측면에서도 상당히 고가로 평가되고 있다는 점에서 유의하여야 할 것으로 생각된다. 상부층 면진의 경우에는 큰 질량을 비교적 쉽게 사용할 수 있지만 상부층의 사용문제 등에 대하여 충분한 고려가 필요할 것으로 생각된다.
- 4) 본 연구는 사례를 바탕으로 이루어진 것으로 위에서 제시한 문제점과 축소모형 등을 이용한 실험연구 등이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

강경수 (1997) 동적 횡하중을 받는 고층건물의 횡변위제어를 위한 동조질량감쇠기의 최적설계에 관한 연구, 서울대학교

박사학위논문.

- 금동성, 윤명호** (2002) 이력형 강재댐퍼를 사용한 200m급 초고층 건물의 성능설계 사례 소개, 한국강구조학회지, 14(3), pp.134~141.
- 김대곤, 이동근, 정재은, 남궁계홍** (2001) 정형 및 비정형 건물에 대한 비선형 면진장치의 적용, 한국지진공학회 논문집, 5(1), pp.37~44.
- 김태호, 박지형, 김옥중, 이도범** (2007) 초고층 구조물의 지진해석을 위한 설계지진파의 조정방법, 대한건축학회 학술 발표대회 논문집, 27(1), pp.337~340.
- 김태호, 박지형, 김옥중, 이도범** (2008) 고층 건물의 상층부의 동조질량화를 위한 면진시스템의 활용, 한국지진공학회 춘계학술발표대회 논문집, 12(1), pp.405~412.
- 대한건축학회** (2005) 건축구조설계기준 2005.
- 양재근** (2003) 초고층 주상복합 건물의 구조 시스템과 바람직한 방향, 쌍용건설 기술연구소 건설 기술, 28, pp.16~21.

- 오상훈, 문태섭, 유홍식** (2005) 탄소성 이력 댐퍼가 부착된 브레이스의 거동에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 17(5), pp.617~626.
- CTBUH** (1995) Structural Systems For Tall Buildings, McGraw-Hill.
- Hanson, R.D., Soong T.T.** (2001) Seismic Design with Supplemental Energy Dissipation Devices, MNO-8, Earthquake Engineering Research Institute, California, pp.23~34.
- Taranath, B.S.** (2004) Wind and Earthquake Resistant Buildings, Marcel Dekker Inc.
- Tsukagoshi H., Tamura Y., Sasaki A., Kanai H.** (1993) Response analyses on along-wind and across-wind vibrations of tall buildings in time domain, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 45&46, pp.497~506.