

# 점탄성 감쇠기를 이용한 주거용 건물의 진동제어

## Vibration control for residential building structure using viscoelastic damper

안 상 경\* 오 정 근\*\* 이 성 원\*\*\* 박 현 일\*\*\*\* 김 원 식\*\*\*\*\* 김 영 석\*\*\*\*\*

Ahn, Sang Kyung Oh, Jung Keun Lee, Seong Won Park, Hyun Il Kim, Weon Sig Kim, Young Suk

### ABSTRACT

Through advance in construction techniques, engineering progress, availability of new materials, and economic considerations, buildings are becoming taller, lighter, and more flexible. In addition, today's buildings are largely of regular geometric shape with smooth glass metal exteriors, which increase the likelihood of vortex shedding. The wind induced oscillation of the building, if not properly damped, could cause occupant discomfort and other problem. This paper will deal with residual building structure equipped with viscoelastic dampers. And the dampers are installed on the 42th story according to the maximum relative deformation.

### 1. 서론

재료 및 구조설계 기술의 발전에 의하여 초고층 구조물이 점차적으로 세장해지고 단위중량이 낮아지고 있어 사용성에 영향을 미치는 진동문제에 대한 많은 관심이 대두되고 있다. 또한 오피스구조물과는 달리 주거용 초고층구조물은 실내에서 365일 생활이 이루어지기 때문에 강풍 또는 태풍에 의하여 구조물이 진동할 경우에는 거주자의 불쾌감이나 불안감 등은 가중될 수 밖에 없다.

일본이나 미국과 같은 외국의 경우에는 고층구조물의 진동제어를 위하여 다양한 장치를 개발하여 사용 중에 있다. 그러나 국내의 경우에는 아직 이론적인 연구단계에 있으며, 진동제어 장치를 실제적으로 적용한 예는 거의 전무한 실정이다. 또한 이론적인 연구에서도 실제조건을 반영하지 않아 실제로 구조물에 적용하기에는 설치공간확보 등과 같은 여러 가지 어려운 면이 있었다. 따라서 본 논문에서는 주거용 건물에 점탄성 감쇠기(Viscoelastic damper)를 설치할 때의 발생할 수 있는 실제적인 문제에 대하여 접근하였으며 그 적용성에 대하여 연구하였다. 점탄성 감쇠기를 이용한 진동제어 방식은 건물의 점성을 증가시켜 진동에너지를 소산시킴으로써 진동을 효과적으로 제어할 수 있는 기술로 현재 많

\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원

\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 갤러리아 팰리스 현장 구조담당 차장

\*\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 갤러리아 팰리스 현장 소장

\*\*\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 갤러리아 팰리스 현장 총괄소장, 상무

\*\*\*\*\* 정회원, (주)유니슨산업 기술연구소 선임연구원

은 연구결과에 의하여 그 효과가 입증되고 있다. 특히 이 방법은 진동제어 효과가 뛰어나고 저렴한 비용으로 비교적 다양한 형태로 만들어 손쉽게 시공할 수 있는 장점을 지니고 있다.

## 2. 점탄성 감쇠기의 설치

현재 대상 구조물의 개요는 그림 2와 같이 서울시 송파구에 시공되고 있는 지하5층, 지상 46층, 최고 높이 149.5m의 초고층 RC구조인 G현장의 B동을 대상으로 감쇠기를 적용하고자 한다. 그림 1에 나타낸것은 각각 G현장의 b동에 대한 단면도와 평면도를 나타낸 것이다. 본 구조물의 구조형식은 중앙부에 core를 가지고 있으며 15층에 outrigger가 연결되어 있다. 또한 42층에도 outrigger가 계획되어 있었지만 횡변위 제어 효과가 비경제적이어서 생략되었다.

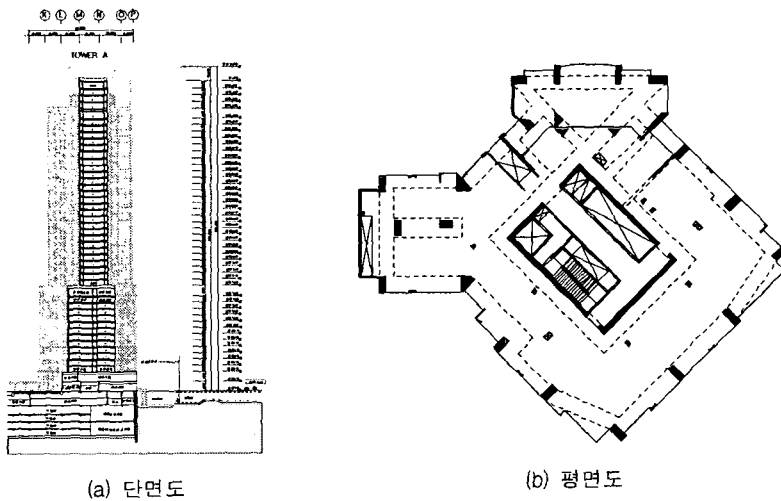


그림 1 G현장의 B동에 대한 단면도 및 평면도

또한 본 논문의 대상이 된 B동의 경우에는 비록 사용성에는 문제가 없지만 상대적으로 세장하여 다른 동에 비하여 풍동실험 결과도 상대적으로 크게 발생하고 있는 실정이다. 따라서 다른 동의 건물과 동일한 진동에 의한 사용성을 부여하기 위하여 진동제어 장치를 설치하기로 결정하였다. 진동제어 장치는 앞에서 언급하였듯이 여러 다양한 장치가 있으나, 본 연구에서는 설치비용에 비하여 상대적으로 효과가 좋은 점탄성 감쇠기를 사용하기로 결정하였다.

점탄성 감쇠기는 점성과 탄성의 성질을 모두 가지고 있어, 탄성으로 인한 변형은 원상으로 회복되나 점성으로 인해 열로써 에너지를 소산시킨다. 온도와 진동수의 영향을 크게 받고, 일정한 온도 및 진동수 범위 내에서도 제조 방법에 따라 다양한 감쇠를 가지게 되고, 진동수 범위와 온도에 따라 점성과 탄성이 달라진다. 점탄성 감쇠기의 설치방법은 그림 2와 같이 다양한 방법이 있으며 주로 구조물의 상대변위를 이용한다. 일반적으로 많이 사용하는 방법은 그림 2의 (b)와 (c)와 같이 브레이스를 이용하는 방법이며, 그림 2(e)에 나타낸 방법은 World Trade Center에 적용하였던 방법이다. 여기서도 알 수 있듯이 감쇠기를 설치하기 위해서는 벽체를 이용하거나 브레이스를 사용하여야 하는데, 특히 주거용 건물의 경우에는 공간상의 제약을 많이 받을 수 있다는 단점이 발생하게 된다. 따라서 계획단계에서 면밀한 검토가 필요하게 된다.

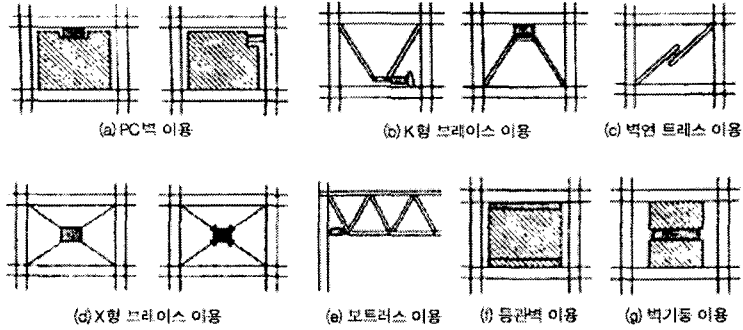


그림 2 감쇠기의 일반적인 설치방법

본 연구에서는 감쇠기를 설치하는데 있어서 첫 번째 조건으로서 평면상에 공간제약과 시공상의 문제점을 최소화하는 방법에 대하여 연구하였다. 먼저 그림 3에 나타낸 것은 감쇠기의 설치 방법에 대한 첫 번째 방법으로서 그림과 같이 점탄성 감쇠기를 curtain wall이 있는 평면상 4곳에 설치하며, 모든 층에 작은 감쇠기를 설치하여 감쇠값을 얻는 방법으로 그림 3(b) 및 (c)와 같이 평면상에 전혀 방해가 되지 않는 방향으로 설계하였다.

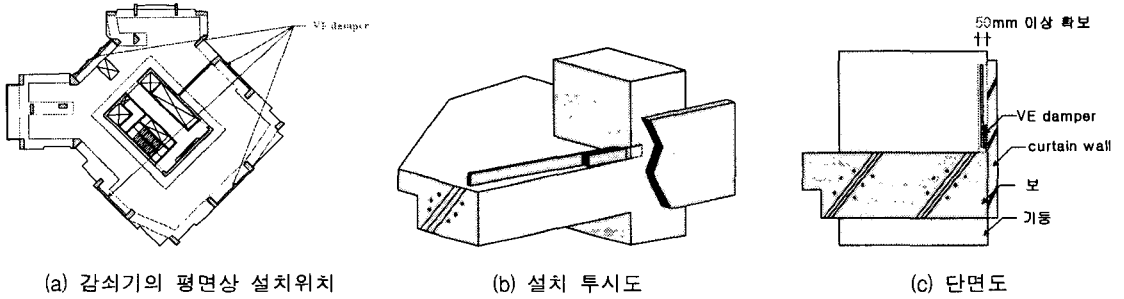


그림 3 감쇠기를 curtain wall에 설치하는 방법

그리고 그림 4의 경우에는 두 번째 방법으로 인접한 a동과 상층부를 연결하여 진동을 제어하는 방식을 검토하였다. 이러한 방법을 일본 등지에서 실제적으로 사용되는 방법이기도 하다. 설치공간에 제약을 거의 받지 않으며, 평면계획 이후에도 간단한 구조검토에 의하여 감쇠기를 설치할 수 있는 장점이 있다.

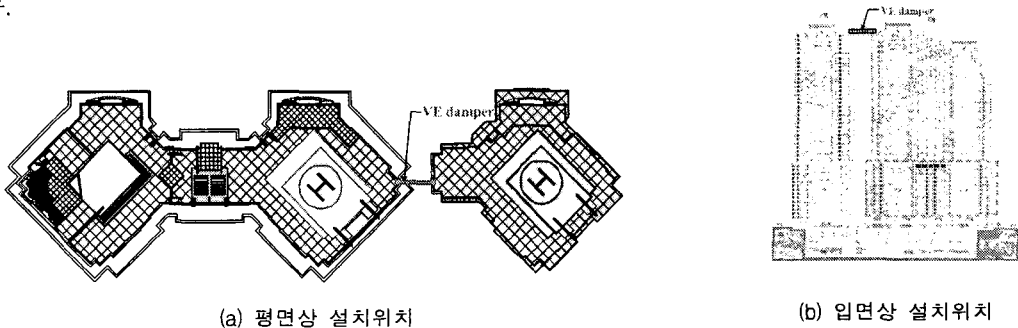


그림 4 감쇠기를 건물 상부에 설치하는 방법

마지막으로 그림 5에 나타낸 방법은 outrigger가 계획되어 있는 15층과 42에 점탄성 감쇠기를 설치하는 방법이다. Outrigger의 경우에는 그 역할에 의하여 많은 힘이 집중되는 곳이라 이곳에 대한 진동제어 효과가 클 것으로 판단하였다.

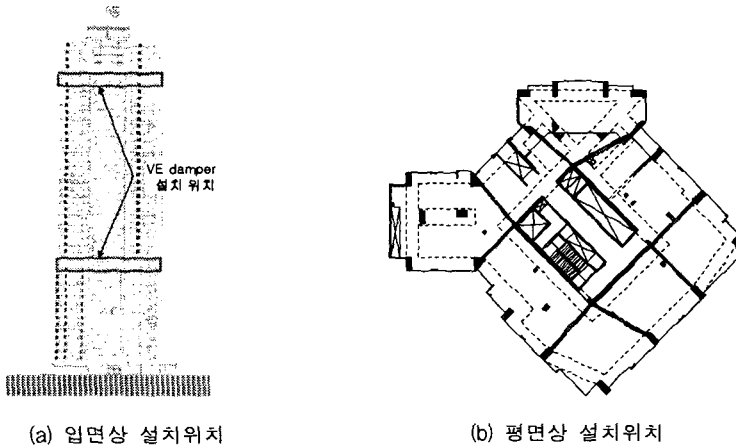


그림 5 감쇠기를 outrigger층에 설치하는 방법

위의 3가지 방법 중에서 첫 번째 방법은 계획상 curtain wall 자체가 기둥에 강접합되어 이곳의 변위가 상대적으로 적게 발생하여 진동제어 효과가 미미하였다. 그리고 두 번째 방법의 경우에는 이론상의 접근은 매우 좋으나 구조물의 미관상과 안전상의 문제로 제의하게 되었다. 따라서 앞에서 언급하였던 첫 번째와 두 번째 방법에서 발생하였던 문제에 영향을 주지 않는 세 번째 방법으로 설치하기로 하였다.

### 3. 감쇠기를 이용한 진동제어

점탄성 감쇠기가 설치되어 있는 건물의 해석을 위하여 본 연구에서는 SAP2000을 사용하였다. 점탄성 감쇠기는 Kelvin모형을 사용하여 모형화 하였다. 점탄성 감쇠기는 그림 2에서 언급하였듯이 점탄성 감쇠장치는 그림 6(a)와 같이 축방향력을 받아 점탄성 재료의 전단변형으로 감쇠력을 얻게 되어 있다. 그러나 이러한 부재들의 축방향력을 이용하기 위해서는 브레이스나 벽체를 설치하기 위한 많은 공간을 필요로 하게 된다. 따라서 본 연구에서는 그림 6(b)와 (c)처럼 양절점에 연결된 부재나 절점의 휨거동 및 변위차에 의하여 감쇠력을 얻는 방법을 고안하였다. 이렇게 할 경우에는 감쇠기를 고정시켜주는 역할을 하는 연결부재가 휨으로써 힘을 전달하기 때문에 브레이스를 사용할 때보다 설치공간은 줄어들게 되지만 연결부재가 켜지는 단점이 발생하게 된다.

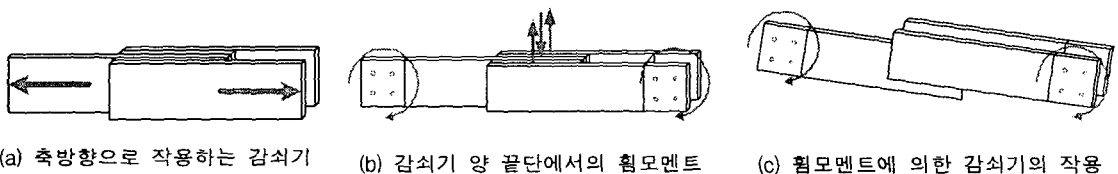


그림 6 감쇠기의 작동방향

그러나 연결부재로 사용되는 철골의 경우에는 일반적으로 점탄성 감쇠기 보다 비용이 적게 들며, 설치 공간 또한 그리 크게 차지하지 않기 때문에 오히려 경제적인 설계가 가능하다.

본 논문에서는 효과적인 진동제어를 위한 점탄성 감쇠기의 설치위치를 찾기 위하여 먼저 그림 7과 같이 모드형상을 검토하였다. 일반적으로 효과적인 진동제어를 위한 감쇠기의 설치위치는 층간 변위가 가장 많이 발생하는 곳으로 알려져 있다. 그러나 구조형식에 따라서는 다음에 나타내듯이 반드시 그렇지 않다는 것을 알 수 있었다.

여기서도 알 수 있듯이 outrigger가 설치되어 있는 15층 부근에서의 층간변위 및 코어와 외부기둥과의 상대 변위를 크게 발생하지 않음을 알 수 있다. 그러나 상부로 갈수록 코어와 외부기둥의 상대변위는 크게 발생함을 알 수 있다. 이것을 확인하기 위하여 그림 8(a)와 같은 동적하중을 B동의 최상층에 가하여 공진시켰다. 이러한 해석 조건에서 각각 15층과 42층에서의 외부기둥과 코어와의 상대 속도를 비교하여 보았다. 그림 8(b)에 나타내었듯이 42층에서의 상대속도가 15층에 비하여 약 2배정도 크게 발생함을 알 수 있으며 감쇠력 또한 2배정도 크게 발생할 것임을 알 수 있다. 따라서 효과적인 진동제어를 위해서는 우선적으로 42층에 점탄성 감쇠기를 설치하여 함을 알 수 있었다.

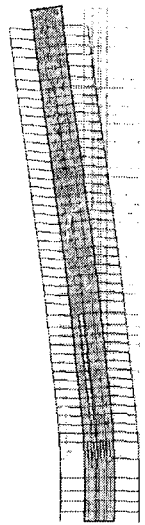
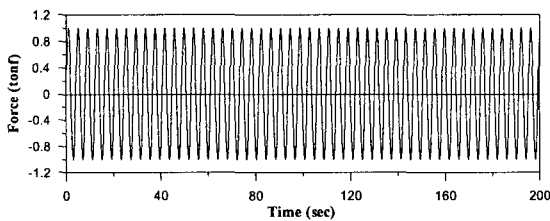
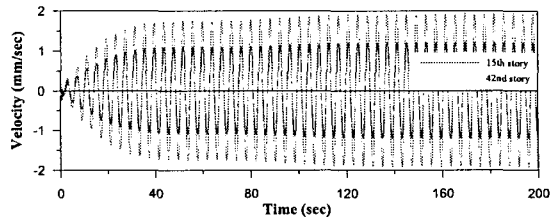


그림 7 1차 모드형상



(a) 가진 하중



(b) outrigger 층에서의 응답

그림 8 입력하중과 속도 응답

그림 9는 구조물에 감쇠기가 설치되지 않았을 때와 15층에만 설치되었을 때 및 42층에만 설치되었을 때의 최상층에서의 가속도를 비교한 것이다. 앞서서도 언급하였듯이 42층에 감쇠를 설치하였을 때가 가장 효과적임을 알 수 있다. 이것을 표로 정리하면 표1에서 표3과 같다. 여기서 사용한 댐퍼의 크기는 유니슨산업에서 제공한 데이터를 이용하였다.

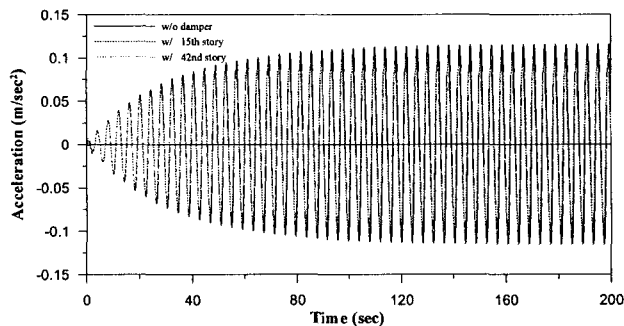


그림 9 감쇠기의 설치효과

표 1 감쇠기를 15층에만 설치할 경우

부재크기(mm)	Damper 크기(mm)	저감율	비고
H-900X300X18X34	400X600X1개	3.18%	
H-1200X400X20X50	400X600X4개	14.93%	단면2차 모멘트 약 3.2배

표 2 감쇠기를 42층에만 설치할 경우

부재크기(mm)	Damper 크기(mm)	저감율	비고
H-600X300X20X40	400X600X1개	8.19%	
H-900X300X18X34	400X600X1개	15.09%	가장 경제적임

표 3 감쇠기를 15층과 42층에 모두 설치할 경우

부재크기(mm)	Damper 크기(mm)	저감율	비고
H-600X300X20X40(42층) H-900X300X18X34(15층)	400X600X1개	11.29%	3.18+8.19=11.37
H-900X300X18X34(42층) H-900X300X18X34(15층)	400X600X1개	17.83%	3.18+15.08=18.26 비경제적임

#### 4. 결론 및 추후 연구과제

본 논문에서는 가능한 복잡한 수식을 이용한 이론적인 접근방법 보다는 실제적으로 점탄성 감쇠기를 적용할 때의 문제점과 해결 방법에 대하여 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 점탄성 감쇠기의 경우에는 점성과 탄성을 모두 가지고 있지만 탄성이 크다고 하여 진동제어에 효과적인 것은 아니다.
- (2) 구조물의 고유주기와 하층의 주기의 차가 커서, 구조물의 응답에 큰 영향을 미치지 않는다면 탄성 보다는 점성이 큰 점탄성 감쇠기를 사용하는 것이 진동제어에 효과적이다.
- (3) 구조물에서 발생하는 힘을 감쇠기에 전달하기 위해서는 브레이스나 전단벽을 이용하는 것이 좋지만, 공간상의 문제가 발생할 경우에는 연결부재를 좀 더 크게 하더라도 부재의 힘에 의하여 응력을 전달하는 방법도 매우 효과적이다.

추후 연구과제로는 점탄성 감쇠기의 내구성을 확보하기 위한 전단변형에 대한 두께비 및 재료에 대한 성능검사가 필요하리라 판단된다.

#### 참고문헌

1. 이동근, 김진구, 홍성일, 이경아, “복소모드 중첩법을 이용한 점탄성 감쇠기가 설치된 고층건물의 효율적인 진동해석”, 대한건축학회 춘계 학술발표대회 논문집 제19호, 1999, pp.21~26.
2. 이동근, 김진구, 이창용, “확률적 지진 응답을 이용한 점탄성 감쇠기의 적정 설치위치 선정에 관한 연구”, 한국지진공학회 추계학술발표회 논문집 제3권 2호, 1999, pp.147~154.