

# 새로운 형태의 동조액체댐퍼에 의한 단자유도 건물의 양방향 응답제어

## Reducing bi-directional response of SDOF building

### by new type Tuned Liquid Damper

이 혜 리\* · 민 경 원\*\*

Lee, Hye-Ri · Min, Kyung-Won

#### 요 약

본 논문에서는 TLD와 TLCD를 사용한 하나의 액체 감쇠기를 이용하여 건물의 양방향 응답 제어를 연구하였다. 초고층 건물이 풍하중을 받을 때는 풍방향과 풍직각방향으로 진동하여 두 개의 댐퍼를 필요로 한다. 이 논문에서 제안된 댐퍼는 건물의 양방향 응답을 하나의 감쇠기로 제어할 수 있다는 장점이 있다. 이 댐퍼의 TLCD는 건물의 주축방향으로 TLD는 주축으로 직각되는 다른 방향으로 거동을 하게 된다. 실험을 통해 양방향 감쇠기를 사용하여 건물의 양방향 응답제어를 증명하였다. 첫 번째로 양방향 감쇠기에 의한 건물의 응답제어를 알기 위한 진동대 실험을 실시하였다. 진동대 가속도를 입력으로 하고 단자유도 건물의 가속도를 출력으로 하는 전달함수를 통해 결과를 나타내었다. 실험 결과 이 연구에서 제안된 감쇠기는 단자유도 건물의 양방향 응답을 제어하였고, 비틀림 응답도 제어 하였다.

**keywords** : 양방향 액체 감쇠기, 단자유도 건물, 응답제어, 진동대 실험, 전달함수

## 1. 서 론

최근 들어 전세계적으로 다수의 초고층 건축물이 건설되고 국내에서도 여러 곳에 초고층 건축물이 건설되고 있으며 계획 중에 있다. 초고층 건축물은 풍진동에 취약하여 진동에 의한 거주자의 업무 수행이나 안락에 문제가 발생하기 쉽다(박지훈, 2008). 풍하중을 받는 고층건물은 풍방향과 풍직각 방향으로 진동한다(E. Simiu, R. H. Scanlan, 1996). 양방향의 풍하중에 대해 각각의 감쇠기로 응답을 제어할 수도 있으나 2개의 감쇠기를 설치할 경우 경제성과 설치시의 공간의 제약 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 양방향 풍하중 제어가 가능한 하나의 감쇠기를 필요로 한다. 본 논문에서는 단자유도 건물에 하나의 양방향액체감쇠기를 설치하여 양방향 응답 제어를 실험으로 검증하였다. 풍방향 및 풍직각 방향에 따라 양방향 거동을 하는 건물을 묘사하기 위하여 일방향 진동대 방향과 건물의 주축방향을 서로 비틀어지게 설치하였다. 가진 진폭을 변화시켜 진동대 실험을 수행하였다. 양방향액체감쇠기의 가속도 응답제어 성능을 검토하여 감쇠율 변화 평가하였다.

## 2. 실험체 설계 및 실험

\* 단국대학교 건축공학과 석사과정 llovehr@hanmail.net

\*\* 정희원 · 단국대학교 건축공학과 교수 kwmin@dankook.ac.kr

본 연구에서는 그림1과 같은 형태의 양방향액체감쇠기를 사용하였다. 이것은 건물의 최상층에 설치되어 풍직각 방향으로 진동할 때에는 TLD또는 TLCD로 거동을 하며 풍방향으로 진동할 때에는 TLCD 또는 TLD로 거동하여 건물을 제어하게 된다. 각각의 고유진동수를 건물의 고유진동수에 동조시켜 건물의 동적 응답을 저감시킨다.

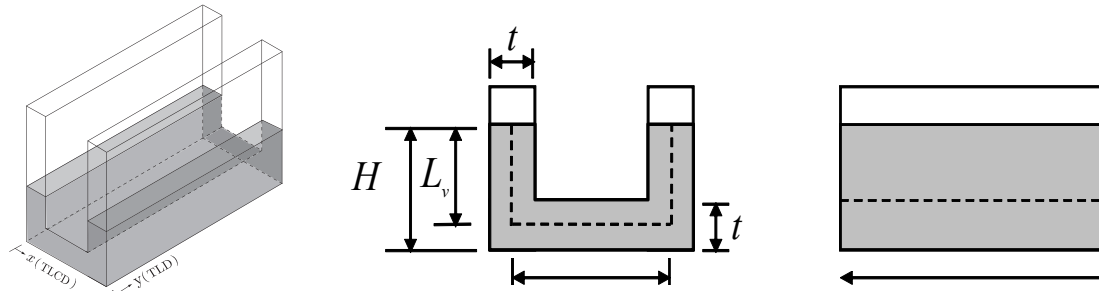


그림 1 양방향 액체 감쇠기 형상

### 2.1. 단자유도 건물 및 양방향 액체 감쇠기 설계

본 연구에서는 건물에 대한 양방향액체감쇠기의 응답제어를 평가하기 위해 양방향 거동을 할 수 있는 단자유도 건물을 제작하였다. 건물의 주축인  $x$ 와  $y$ 축의 고유진동수가 1.3Hz로 설정하고 표1과 같은 건물을 제작하였고 이러한 건물의 2방향 가속도 응답제어를 평가하기 위해 표2와 같은 형태의 양방향액체감쇠기를 설계하여 제작하였다. 표3은 양방향 액체감쇠기의 질량 및 고유진동수를 나타낸다.

표 1 단자유도 건물 치수 (단위:mm)

기둥 길이	기둥 단면	슬래브	질량
1000	9×9	600×600	54.1

표 2 양방향액체감쇠기 치수 (단위:mm)

t	$L_h$	$L_v$	$L_w$	H
45	145	89.5	375	112

표 3 양방향액체감쇠기질량 및 사양(단위:kg)

$f_x$	1.31Hz
$f_y$	1.34Hz
$m_t$	6.6
$m_h$	2.7
$m_a$	4.1
$\beta$	0.26

여기서  $f_x$ 는 TLCD의 고유주파수,  $f_y$ 는 TLD의 고유주파수,  $m_t$ 는 TLCD 방향의 물의 총질량,  $m_h$ 는 수평 기둥의 액체질량,  $m_a$ 는 TLD 방향의 액체질량,  $\beta$ 는 액체의 출렁임에 관련된 1차 모드 유효질량이다. 액체감쇠기의 물높이는 112mm로 하였다. 이때 수치적 TLCD방향의 고유 진동수는 1.198Hz TLD방향의 고유진동수는 1.196Hz이다. 새로운 형태의 액체감쇠기이기에 기존의 TLD, TLCD의 고유진동수와 차이가 있다. 이와 같은 새로운 형태의 양방향 액체감쇠기에 대하여 시스템 식별을 수행한 기존의 연구결과를 통해 TLCD의 실험고유진동수는 1.31Hz이고, TLD의 실험진동수는 1.34Hz임을 알았다(민경원, 2009). 이는 건물의 고유진동수로 동조시키기 위한 값이다.

### 2.2. 진동대 실험

일방향 진동대 위에 제작한 단자유도 건물을 설치하였고 그 위에 제작한 양방향액체감쇠기를 설치하였다. 진동대위에 설치된 가속도계로 진동대가속도를 측정하였다. 그림 2와 같이 일방향 진동대로 양방향 거동을 하는 단자유도 건물을 모사하기 위해 진동대 가진 방향과 경사진 방향으로 건물을 비틀어 설치하였다. 그림

3의 (a)는 단자유도 건물에  $x$ 축 방향을 TLCD로 제어하였음을 보여준다. Accelerometer3,4는 건물의 TLD방향의 가속도를 나타내며 이 두 가속도의 차를 이용해 건물의  $y$ 축의 비틀림 현상을 파악하였다. 그림3의 (b)는  $y$ 축 방향을 TLD로 제어하였음을 보여준다. Accelerometer1,2는 건물의 TLCD방향의 가속도를 나타내며 이 두 가속도의 차를 이용해 건물의  $x$ 축의 비틀림 현상을 파악하였다. 입력 가진은 0 Hz 부터 15Hz까지의 대역을 가지는 백색잡음이다. 가진 하중의 크기는 gain을 0.5, 0.7, 1로 변화시켜서 실험을 수행하였다. 이를 진동대 가속도 분산의 평균값으로 나타내면 gain0.5는  $0.065m/s^2$ , gain0.7, gain1는 각각  $0.092m/s^2$ ,  $0.133m/s^2$ 이다. 단자유도 건물의 비 제어 시의 가속도 값과 제어 시 가속도 값을 측정하였다.

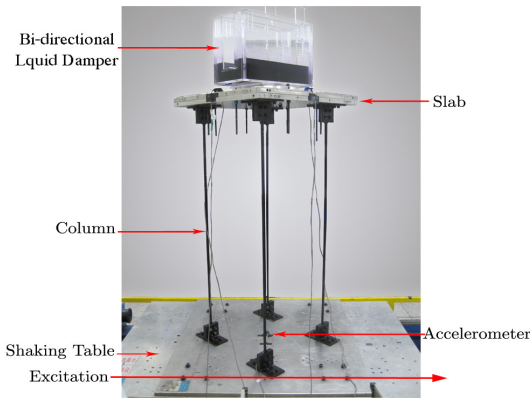
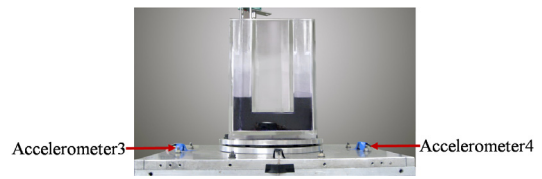
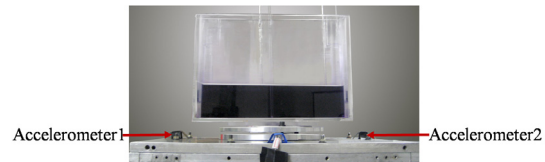


그림 2 실험 시스템



(a)  $x$  방향-TLCD 제어



(b)  $y$  방향-TLCD 제어

그림 3 비틀림 응답 측정을 위한 가속도계

### 3. 양방향 액체 감쇠기의 건물의 가속도 응답제어

#### 3.1. 건물의 각 축 방향별 응답제어

양방향액체감쇠기의 TLCD방향으로 단자유도 건물의 응답제어를 알기 위해 비 제어, 제어 시에 건물의  $x$ 축 방향에서 계측된 가속도를 비교 하였다. 그림4는 진동대 가진 입력이 gain1일 때 비 제어 시와 제어시의 시간에 따른 가속도 응답을 나타낸다. 제어 시 가속도 응답이 비 제어 시의 가속도 응답 보다 감소되고 있음을 알 수 있다.

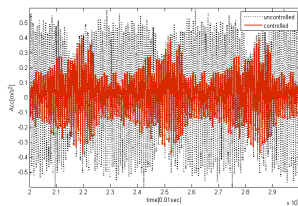


그림 4 건물의  $x$  축의 시간영역 가속도 응답 비교

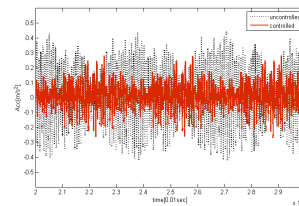


그림 5 건물의  $y$  축의 시간영역 가속도 응답 비교

건물의 공진 시 응답제어를 더욱 효과적으로 알기 위해 진동대가속도를 입력으로 하고 양방향감쇠기가 제어하는 건물의  $x$ 축 방향에서 계측된 가속도를 출력으로 한 전달함수를 사용하였다. 그림6은 건물의  $x$ 축 가속도 응답의 전달함수이다. 진동대 가속도 입력크기가 피크를 기준으로 할 때 70%이상 감소함을 알 수 있었다. 표 4는 비제어시와 제어시의 RMS 가속도 응답 값을 나타낸다. 공진 시 응답 뿐 아니라 전 영역의 RMS 가속도 값 역시 효과적으로 줄어들고 있음을 알 수 있다.

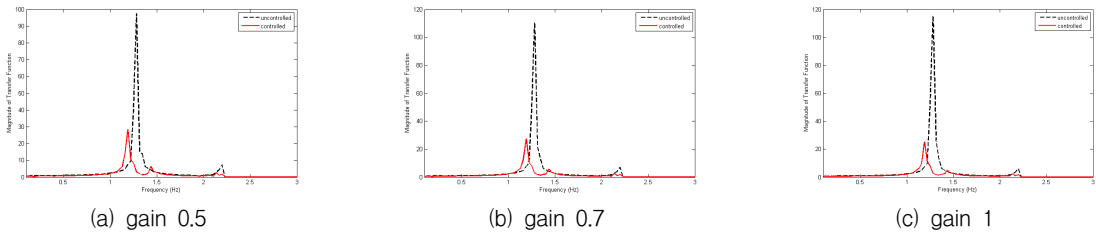


그림 6 단자유도 건물의  $x$  축 가속도 응답의 전달 함수

양방향액체감쇠기의 TLD방향으로 응답제어를 알기 위해 비제어시, 제어시 건물의  $y$  축 방향에서 측정한 가속도를 비교 하였다. 그림5는 진동대 가진 입력이 gain1일 때 건물의 비제어, 제어시 시간에 따른 가속도 응답을 나타낸다. 그림7은 단자유도 건물의  $y$  축 가속도 응답의 전달함수이다. 진동대 가속도 입력크기가 응답의 피크를 기준으로 80%이상 가속도 응답이 감소하였다. 공진시의 응답 뿐 아니라 비제어시와 제어시의 RMS 가속도 응답이 줄어들고 있음을 표4를 통해서 알 수 있다.

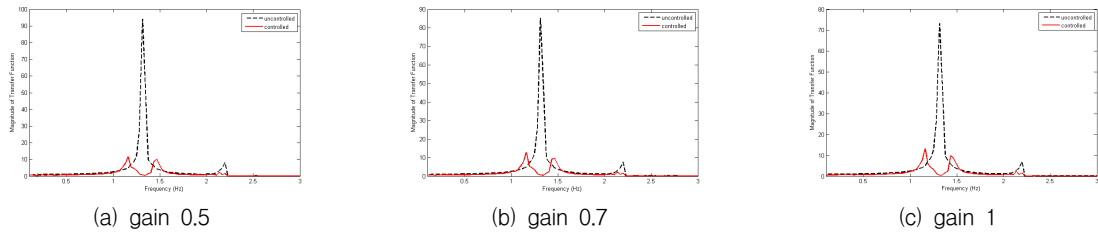


그림 7 단자유도 건물의  $y$  축 가속도 응답의 전달 함수

표 4 가속도의 RMS (단위: $m/s^2$ )

	방향	gain0.5	gain0.7	gain1
비 제어	$x$ 축	0.13	0.2	0.29
	$y$ 축	0.13	0.16	0.21
제어	$x$ 축	0.08	0.11	0.14
	$y$ 축	0.05	0.06	0.9

### 3.2. 건물의 비틀림 가속도 응답제어

단자유도 건물에는 2.2Hz에서 비틀림 현상으로 인한 비틀림 진동수가 나타났다. 양방향액체감쇠기가 건물의 비틀림 응답도 제어효과가 있는지 알아보았다. 그림8은 진동대 가속도를 입력으로 하고 각 축 방향의 가속도 차를 출력으로 하는 전달함수이다.  $x$  축,  $y$  축 비틀림 응답의 피크 기준으로 55%이상 감소함을 알 수 있었다.



그림 8 단자유도 건물의 비틀림 가속도 응답의 전달함수 (gain1)

#### 4. 결론

본 연구에서는 TLCD와 TLD로 구성되어 있는 하나의 양방향액체감쇠기를 사용하였다. 진동대 실험으로 단자유도 건물에 설치된 양방향액체의 가속도응답제어성능을 검증하였다. 일 축 가진에 의한 건물 모델의 양방향 응답을 구현하기 위해 실험체를 가진 방향과 비틀어지게 설치하였다. 양방향액체감쇠기의 수조크기와 수위를 조절하여 건물의 양방향 주기에 동조시켜 실험을 수행한 결과, 건물모델의 양 축의 가속도응답이 모두 효과적으로 제어하였다. 또한, 건물의 비틀림 가속도응답도 효과적으로 제어되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업 (과제번호: 05 건설핵심 D06) 및 우수연구센터인 스마트사회기반시설연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 박지훈 (2008) 고층건물의 풍진동 제어를 위한 제진장치, 한국풍공학회지, 12(1), pp.6~12.
- Simiu, E., Scanlan, R. H. (1996) Wind effects on structure, John Wiley & Sons
- 민경원 (2009) TLCD와 TSD를 이용한 새로운 형태의 양방향 감쇠기 설계변수, 한국소음진동공학회, 19(8), pp.850~856