

# 벽면 요철형 동조액체댐퍼의 진동제어성능에 관한 실험적 평가

## Experimental Evaluation on the Vibration Control Effect of Tuned Liquid Damper with Embossment

주 영 규<sup>1)</sup> · 김 대 영<sup>2)</sup>  
*Ju, Young Kyu · Kim Dae Young*

요 약 : 초고층 건물의 가속도 레벨을 줄이기 위해서 TMD, TLD, VED와 같은 다양한 진동제어장치들이 많은 국내외 연구자에 의해 연구되고 있다. TLD는 다른 제진장치에 비해 설치의 간편함 및 유지비용이 저렴한 장점이 있다. 그러나 물의 요동을 평가함에 있어서 어려움이 있으므로 동조액체댐퍼의 동적특성에 대한 실험 및 해석적 검증이 필요하다. 본 연구에서는 TLD를 100층 규모의 초고층건물에 설치할 경우를 상정하여 자유진동실험과 백색잡음을 이용한 강제진동실험을 통하여 TLD의 제진성능을 확인하고자 하였다. TLD의 질량비, 감쇠네트수, TLD 형상비 등을 주요실험변수로 설정하였으며, 물탱크를 설치한 건물의 반응값들이 건물 단독인 경우보다 적게 나타남을 알 수 있었다. 또한 질량비, 감쇠네트, 형상비가 커질수록 감쇠성능이 개선됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT : Many researchers have studied several vibration control devices such as TMD, TLD, and VED to reduce the acceleration level for tall buildings. Advantages of TLD (tuned liquid damper) include easy installation, low cost, and less maintenance. However, the dynamic characteristics of TLD must be verified by experiment and analysis due to the difficulties in evaluating the characteristics of water sloshing. In this study, free vibration and dynamic excitation experiments of structure with TLD were conducted to verify vibration control force of the proposed TLD for high-rise building. The parameters were mass ratio of water to structure, number of damping nets, and aspect ratio. From the test results, the responses of structure with water tank were observed to be smaller than those of structure alone. Furthermore, better damping effect could be achieved with larger mass ratio, more damping nets, and larger aspect ratio. However, in the case of water tank with no damping net, little damping effect was obtained.

핵심용어 : 구조물-동조액체댐퍼 연립모델, 동조액체댐퍼, 진동제어, 자유진동실험, 물탱크, 백색잡음

KEYWORDS : Coupled Model of Structure-TLD, TLD, Vibration Control, Free Vibration Test, Water Tank, White Noise

### 1. 서론

건물의 고층화에 따라 바람과 같은 횡하중에 의해 발생하는 진동의 제어는 고층건물 설계에 있어서 중요한 문제가 되고 있다. 국내에서도 1990년대 후반 들어 건설되고 있는 다수의 고층건물들이 사용성을 만족시키기 위해서 다양한 방법들을 사용하고 있다.

이러한 구조물의 진동을 제어하기 위한 대표적인 제진장치로는 구조물에 질량체, 스프링 및 댐퍼로 구성된 진동체를 설치하는 동조질량댐퍼(TMD)방식, 점탄성체를 사용한 점탄성

댐퍼(VED)방식 등이 있으며 이미 미국, 일본 등에서 많이 사용되고 있다.<sup>1)</sup> 한편 최근에는 질량체 대신에 물을 사용하여 물의 요동에 의해 제어력을 얻는 동조액체댐퍼(TLD)가 설치와 유지보수가 간편하다는 장점 때문에 주목되어 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>2-5)</sup> 동조액체댐퍼를 설치한 건물은 표 1에서와 같이 일본에서 가장 많이 적용되고 있으며 주로 타워와 같이 세장하며 경량 구조물의 진동제어용으로 쓰인다.

물을 이용한 제진장치는 구조물의 상부에 물을 담을 수 있는 수조를 설치하고 물의 요동주기를 건물의 주기와 동조시켜 구조물이 흔들릴 경우 수조측벽에 작용하는 유체력을 건

1) 정희원, 대우건설기술연구소, 선임연구원, 공학박사

2) 정희원, 대우건설기술연구소, 책임연구원

본 논문에 대한 토의를 2003년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

력을 증가시키거나 수조중앙에 감쇠네트라고 하는 철망을 설치하여 압력손실에 의한 감쇠력을 증가시키는 방법을 이용한다. 국내의 경우 고층건물에 사용되는 고가수조들은 대부분 벽면이 요철되어 있으므로 벽면 요철에 의한 감쇠력 증진을 쉽게 얻을 수 있다.

본 연구에서는 100층 규모의 초고층건물을 대상으로 벽면 요철형 동조액체감쇠장치를 적용하였을 경우를 상정하고, 이를 적절히 축소시킨 축소모형실험을 통해 TLD의 제진성능을 파악하고자 하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험계획 및 실험변수

실험의 목적은 자유진동실험과 외력으로서 풍하중을 의미하는 백색잡음(White noise)을 입력할 경우 TLD에 의한 제진성능을 파악하고, 구조물-TLD의 거동을 파악할 수 있는 모델링 방법을 제시하고 이것에 의한 해석결과와 실험결과를 비교하여 해석방법의 타당성을 입증하는데 있다.

실험체는 그림 1 및 그림 2와 같이 간이진동대 위에 구조물모형을 설치하고 그 위에 수조를 설치한 형태로서, 구조물모형은 상부의 질량이 2.0t인 1층 1스팬의 골조로서 기둥에는 고장력강봉(D32) 4개를 이용하였다. 고장력강봉은 항복강도  $9,500\text{kg}/\text{cm}^2$ , 인장강도  $11,000\text{kg}/\text{cm}^2$ , 탄성계수  $E = 2.0 \sim 2.2 \times 10^6\text{kg}/\text{cm}^2$  로서, 구조물 모형의 허용변위는 6.83cm로 계산되어 미리 해석을 통해 외력에 의한 변위가 이를 넘지 않도록 외력의 크기를 조절하였다.

실험시 외력은 간이진동대에 연결된 10t 동적 액츄에이터(Dynamic Actuator)에 의해 가진하였으며, 구조물 상부와 수조 사이에는 전단로드셀을 설치하여 물에 의한 유체력을 측정하였다. 또한 수조내 물의 높이는 용량식 파고계에 의해

그림 1. 실험체 설치도

측정하였으며, 레이저 변위계와 가속도계에 의해 구조물 상부와 하부의 변위와 가속도를 측정하였다.

실험변수로는 표 2와 같이 수조의 질량비( $m_w/m_s$ ), 형상비( $L/H$ ), 감쇠네트의 수( $N_D$ ) 등으로 하였으며, 이에 따라 표 2와 같은 4개의 수조를 제작하여 실험에 사용하였다. 여기서,  $L$ 은 가력방향 수조의 길이,  $H$ 는 수심,  $m_w$ 는 물의 질량,  $m_s$ 는 구조물의 질량이다. 또한  $\mu$ 는 수조내의 물과 구조물모형의 질량비이다. 감쇠네트로는 직경이 0.8mm, 개구율(Aperture ratio)이 53.1%인 철망을 사용하였다.

표 2. 실험변수

형상비 (L/H)	질량비	감쇠네트의 수 (Nd)
4.0, 6.0	0.01, 0.02	0, 1, 3

여기서, 형상비(L/H)는 수심(H)에 대한 구조물 운동방향, 즉 파도가 발생하는 방향 길이(L)의 비이다. 그리고 감쇠네트의 설치위치는 수조의 중앙부(L/2)와 3L/8, 5L/8이다.

표 1. 동조액체댐퍼 설치건물 및 개요

건물명	높이 (m)	도시	국가	댐퍼 수	유형	설치시기	고유진동수 (Hz)	유효감쇠질량 (ton)
요코하마 마린 타워	105	요코하마	일본	39대	원형	1987	0.55	1.6
골드 타워	136	우다즈	일본	16대	1방향 직사각형	1988	0.42	9.6
신요코하마 프린스 타워	149	요코하마	일본	30대	원형	1991	0.31	83.5
Mount Wellington 방송탑	104	Hobart	호주	80대	원형	1992	0.7	0.6
TYG 빌딩	159	아즈기	일본	720대	이중 도넛형	1992	0.53	18.2
나리타 공항 타워	87	나리타	일본	1대	원형 + 부유물	1993	1.3	16.5
하네다 공항 타워	178	도쿄	일본	1대	원형	1993	0.77	21.0

그림 2. 실험상황

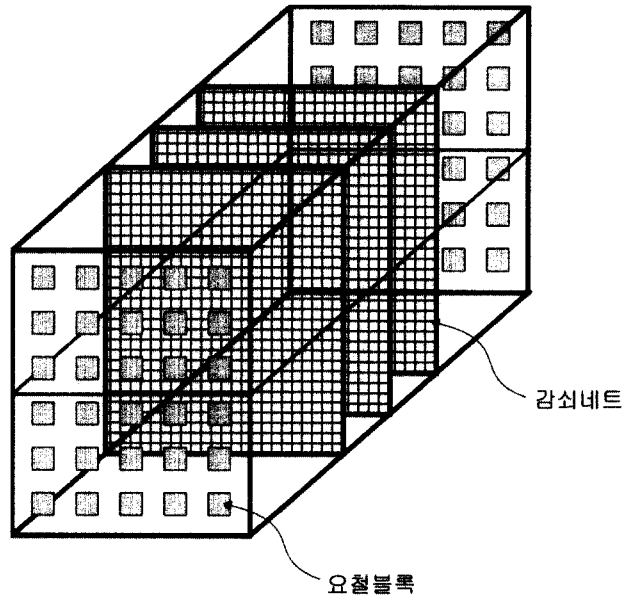


그림 3. 벽면 요철형 동조액체댐퍼 개념도

## 2.2 벽면요철형 동조액체댐퍼

그림 3은 본 연구에서 대상으로 하는 벽면 요철형 동조액체댐퍼(TLD)이다. 동조액체댐퍼는 방향성을 가지도록 하기 위하여 직사각형으로 제작했다.

본 제진장치는 수조내 물의 공진에 의하여 발생하는 요동을 이용하는 것이지만 이 운동에 감쇠성을 추가하기 위하여 수조내에 감쇠네트라고 불리는 철망을 수평속도가 높은 수조 중앙부에 수직으로 배치하고, 수직속도가 큰 벽면에는 요철블록을 배치하였다.

## 2.3 구조물 모델

표 4는 기하학적인 축소율이 1/L일 때 상사성의 법칙에 따른 각 파라미터의 축소율을 나타내고 있다.<sup>5,7)</sup> 구조물 모형의 진동수는 자유진동실험결과 1.16초로 측정되었다. 한편, TLD의 적용대상으로 삼은 원구조물(Prototype)인 DW100-A<sup>8)</sup>는 전체 중량이 178,000t, 주기는 6.59초이므로 상사성을 만족시키도록 축소하였다. 축소모형의 질량은 실험상의 제약으로 약 1/30로 축소하여 2ton으로 하였다.

수조의 Prototype과 축소모형은 표 5와 같다. 질량비는 직사각형 수조에서 물의 유효질량(자유수 질량)을 나타내는 Housner의 식(3)<sup>10)</sup>에 의해 물의 유효질량을 구하여 유효질량과 구조물의 질량비를 1.0%와 2.0%의 두 종류가 되도록 하였다. Tschanz에 의하면<sup>4)</sup> 질량비가 1%이면 구조물에 1%의 감쇠율이 추가된다고 한다. 한편 자유진동실험을 통해

구한 구조물의 고유진동수와 Housner의 식(1)로 구한 물의 진동수의 비가 식(2)에 의한 최적동조진동수비가 되도록 물의 높이를 조절하였다.<sup>6)</sup>

$$\text{물의 진동수} : f = \sqrt{\frac{g}{4\pi L} \tanh \frac{\pi H}{L}} \quad (1)$$

$$\text{최적동조진동수비} : \beta = \frac{1}{1 + 0.7 \frac{m_w}{(m_s + m_w)}} \quad (2)$$

$$\text{유효질량} : m_1 = 0.527 \frac{L}{2H} \tanh\left(1.58 \frac{2h}{L}\right) m_w \quad (3)$$

여기서,  $m_s$  : 구조물 질량     $m_w$  : 물의 질량  
 $L$  : 수조길이     $H$  : 수심  
 $g$  : 중력가속도

표 3. 수조의 치수 및 물의 높이

수조의 종류	치수 (mm) (길이×폭×높이)	물 높이 (mm)
L/H=4.0, $\mu=0.01$	702×513×350	175
L/H=4.12, $\mu=0.02$	702×251×350	171
L/H=5.95, $\mu=0.01$	518×625×350	87
L/H=6.09, $\mu=0.02$	518×1276×600	85

표 4. 상사성에 따른 각 변수의 축소율

변수	길이	시간	질량	변위	가속도	용력도	변형도	힘	면적
축소율	1/L	1/√L	1/L	1/L	1	1	1	1/L	1/L

표 5. 실제수조와 상사성에 의한 모형수조의 치수

실험체 종류		질량비	L/H	치수 (cm)	물높이 (cm)	물의 질량	고유진동수 (Hz)
M1H4	Model	1%	4.00	70.2×25.1	17.5	31.0 kg	0.854
	Proto	1%	4.00	2268×665	567.0	855.0 t	0.150
M2H4	Model	2%	4.12	70.2×51.3	17.1	61.4 kg	0.845
	Proto	2%	4.12	2268×1356	551.0	1694.8 t	0.149
M1H6	Model	1%	5.95	51.8×62.5	8.7	28.2 kg	0.854
	Proto	1%	5.95	1673×1655	281.1	778.3 t	0.150
M2H6	Model	2%	6.09	51.8×127.6	8.5	56.2 kg	0.845
	Proto	2%	6.09	1673×3376	274.6	1550.7 t	0.149

### 3. 자유진동실험

#### 3.1 실험방법

자유진동실험은 구조물모형 상부의 변위가 일정 크기가 될 때까지 액추에이터로 구조물 하부를 가진한 후 멈추도록 하고 구조물 상부의 변위 진동파형을 측정하였다.

구조물 하부에 연결된 액추에이터 정지 이후 구조물 하부의 최대변위는 0.08mm, 최대하중은 33.4kg 정도의 작은 값으로 측정되었다.

#### 3.2 실험결과

그림 4 ~그림 6에 수조가 없는 경우와 질량비 및 형상비를 다르게 한 각 경우 구조물모형의 자유진동실험결과를 나타내었다. 감쇠네트의 수가 많을수록 감쇠성이 큰 것으로 나타났으며, 형상비에 따른 차이는 크게 나타나지 않으나 형상비가 L/H = 6인 경우가 L/H = 4인 경우보다 감쇠성이 큰 것으로 나타났다. 수조가 없는 구조물 모형에서 주기는 0.862Hz, 감쇠비는 0.9%로 측정되었다.

실험변수에 따른 감쇠비의 영향을 분석하기 위해 그림 7과 같이 최대감쇠비와 최소감쇠비를 계산하여 보았다. 동조액체 댐퍼가 있는 구조물의 경우 2자유도계로서 자유진동파형만으로는 감쇠비의 측정이 쉽지 않으나, TLD에 의한 구조물 감쇠(Damping)의 영향은  $\zeta_{min}$  과  $\zeta_{max}$  사이의 어떤 값으로 나타낼 수 있을 것이다.

표 6은 이러한 방법으로 계산한 결과로서 이 값들을 시스템이나 TLD의 감쇠비로 볼 수는 없지만 실험변수에 따른 전체 감쇠력의 경향을 알 수는 있다. 즉, 감쇠네트의 수가 많을수록 이 값들이 크게 나타났으며, 질량비, 형상비의 영향은 구분하기 어려우나 질량비가 클수록, 또한 형상비가 클수록 감쇠비가 크게 나타나고 있다.

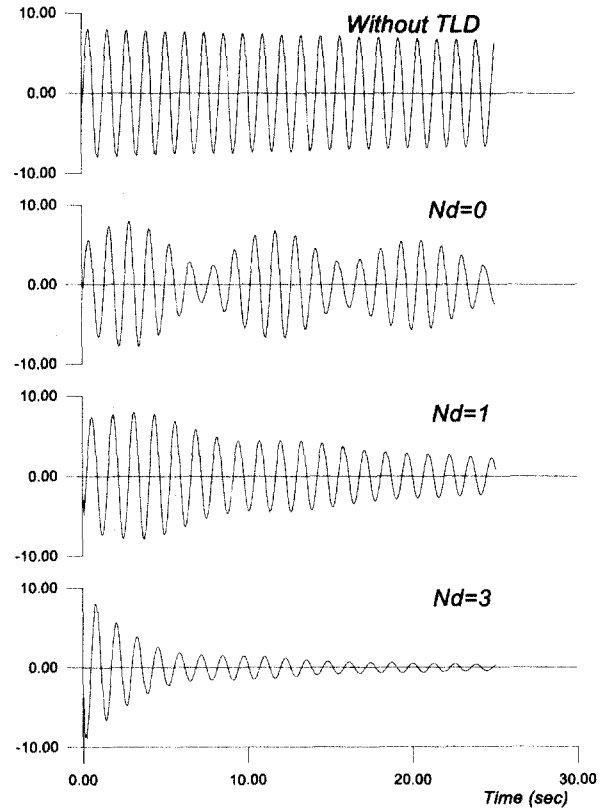


그림 4. 자유진동실험 (Mass Ratio=2% , L/H=6.09)  
(주) Y축 : 변위 (단위 : mm)

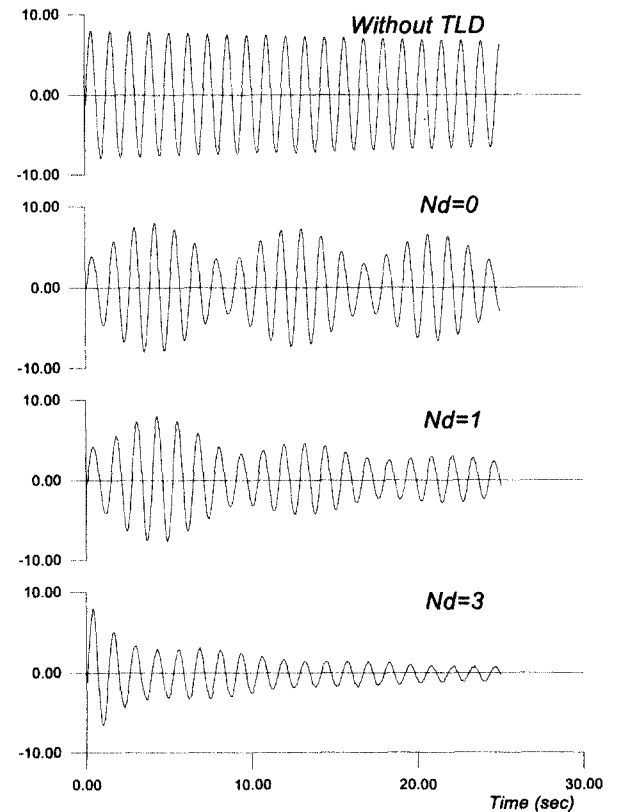


그림 5. 자유진동실험 (Mass Ratio=2% , L/H=4.12)  
(주) Y축 : 변위(단위 :mm)

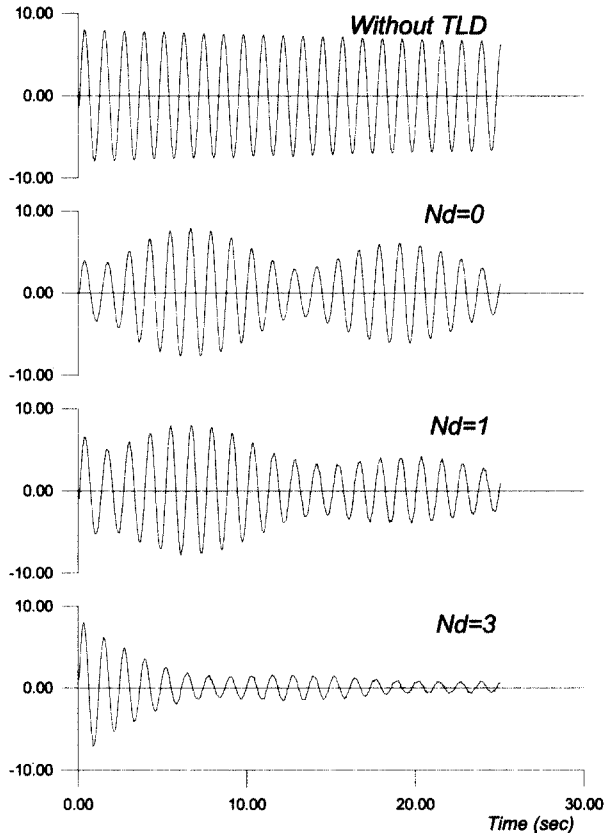


그림 6. 자유진동실험 (Mass Ratio=1% , L/H=4.0)  
(주) Y축 : 변위 (단위 mm)

표 6. 실험변수에 따른 감쇠력 변화(자유진동실험)

실험변수		$\zeta_{max}$	$\zeta_{min}$
Mass Ratio=1% L/H=4.0	$N_D=0$	19.6%	2.6%
	$N_D=1$	13.8%	5.3%
	$N_D=3$	29.3%	12.1%
Mass Ratio=2% L/H=4.12	$N_D=0$	26.7%	1.3%
	$N_D=1$	21.5%	7.9%
	$N_D=3$	45.5%	12.2%
Mass Ratio=1% L/H=5.95	$N_D=0$	5.2%	2.1%
	$N_D=1$	15.0%	9.4%
	$N_D=3$	23.9%	11.6%
Mass Ratio=2% L/H=6.09	$N_D=0$	34.5%	2.3%
	$N_D=1$	12.0%	7.5%
	$N_D=3$	37.2%	17.7%

#### 4. 강제진동실험

##### 4.1 실험방법 및 백색잡음

강제진동실험에서는 백색잡음(White Noise)을 외력으로

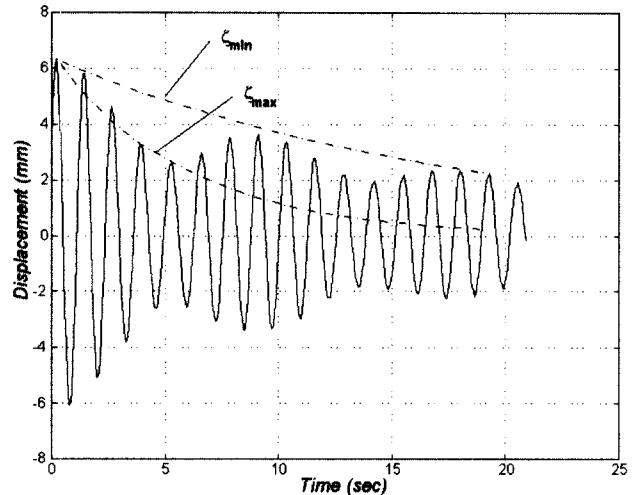


그림 7. 자유진동실험에 의한 최대, 최소감쇠비 추정

가하여 구조물모형의 응답을 측정하고, 응답신호의 주파수분석을 통해 TLD에 의한 응답저감효과를 각 실험변수별로 측정하였다. 백색잡음은 0.1초 간격으로 평균 0.0, 분산  $0.8789\text{mm}^2$ 으로 발생시킨 후, 0.5Hz이하와 2.0Hz이상의 신호를 필터링하여 사용하였다.

필터링 이전의 Spectral density는  $W_0 = 0.1758\text{mm}^2$   
 $S_0 = W_0/4\pi = 0.0140\text{mm}^2/(\text{radian per sec})$ 이다.

또한, 필터링 이후의 백색잡음의 분산(mean square)  
 $E[x^2] = W_0(f_2 - f_1) = 2S_0(\omega_2 - \omega_1) \cdot 0.2637\text{mm}^2$ 이 된다.

그림 8은 백색잡음의 일부를 나타낸 것이며 그림 9는 이를 주파수 분석한 그래프이다. 실제 발생된 백색잡음의 최대치, 최소치, 분산을 구해 보면 다음과 같다.

- $\text{Max}[x] = 2.0302\text{mm}$
- $\text{Min}[x] = -2.1940\text{mm}$
- $E[x^2] = 0.2632\text{mm}^2$

그림 8. 백색잡음(White Noise)

그러나 이 값은 순수하게 구조물만에 의한 값이며, 수조를 구조체 위에 올려 놓았을 경우에는 수조자체의 무게와 물에 의한 제어력을 측정하기 위한 전단력 측정장치의 무게에 의한 영향을 받게 된다. 수조자체와 전단력 측정장치의 무게가 200kg정도이므로 구조물의 고유진동수  $f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{62.449}{2.20}}$  = 0.848 Hz 정도가 된다.

### 4.3 실험결과

그림 11~그림 13은 질량비가 0.01, 0.02, L/H비가 4.0, 6.0, 감쇠네트의 수가 0, 1, 3인 각 경우에서 구조물모형의 변위응답배율을 TLD를 사용하지 않은 경우와 비교한 것이다. 주파수응답특성은 구조물과 수조내 물과의 질량비, 물의 형상비, 감쇠네트의 수에 따라 변화하지만, 모든 경우에서 TLD를 사용하지 않은 경우보다 최대응답배율이 작게 나타나므로 TLD가 진동제어장치로서 유효하게 작동하고 있음을 알 수 있다.

그림 9. 백색잡음의 주파수분석

### 4.2 구조물 특성 분석

그림 10은 TLD가 없는 구조물만을 대상으로 백색잡음을 가한 뒤 주파수분석을 통해 변위응답배율을 구한 그래프이다. 실험결과와 주파수분석 결과로부터 구조물의 특성치를 분석하면 다음과 같다.

그림 11. 구조물모형의 백색잡음진동실험결과  
(Mass Ratio=1%, L/H=4.0)

그림 10. TLD가 없는 구조물모형의 백색잡음진동실험결과

- 입력 변위(백색잡음)의 분산  $E[x^2] = 0.2316 \text{ mm}^2$
- 구조물 변위(절대변위)의 분산  $E[y^2] = 130.98 \text{ mm}^2$
- 입력 가속도의 분산  $E[\ddot{x}^2] = 12.0767 \text{ (cm/s}^2\text{)}^2$
- 구조물 가속도의 분산  $E[\ddot{y}^2] = 1214.69 \text{ (cm/s}^2\text{)}^2$
- 고유진동수  $f_n = 0.8893 \text{ Hz}$
- 구조물 질량  $m = 2.0 \text{ ton}$
- 구조물 강성  $k = (2\pi f_n)^2 m = 62.449 \text{ kN/m}$

그림 12. 구조물모형의 백색잡음진동실험결과  
(Mass Ratio=2%, L/H=4.12)

은 구조물모형의 질량, 주파수이고,  $m_2, f_{n2}$  는 수조내 물의 질량, 주파수이다.

$$\text{여기서, } f_{n1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1}{m_1}}, f_{n2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_2}{m_2}}, \mu = \frac{m_2}{m_1}$$

$$\beta = \frac{f_{n2}}{f_{n1}} \text{ 이다.}$$

진동수비는 모두 1.0을 넘는 값으로서 실험체 설계시 목표로 한 최적동조진동수비를 초과하고 있다. 이는 구조물만의 자유진동실험결과를 토대로 수조를 설계하였으나 실제 실험 시에는 질량이 150kg인 전단력 측정장치가 수조와 구조물

그림 13. 구조물모형의 백색잡음진동실험결과  
(Mass Ratio=2%, L/H=6.09)

전체적으로 감쇠네트의 수가 많을수록 TLD의 감쇠비가 증가하여 최대응답배율이 작아지며, 형상비의 영향은 그다지 크지 않으나 형상비가 큰 경우 즉, L/H = 6.0인 경우 최대 응답배율이 낮아진다. 또한 질량비가 클수록 최대응답배율은 작아지고 두 피크 사이의 거리가 커지므로 넓은 주파수 범위에 대해 유효함을 알 수 있다.

표 7은 각 경우의 피크주파수를 구하여 나타낸 것이다. 표 중의 실험체 번호에서 m은 질량비, h는 형상비(L/H), n은 감쇠네트의 수를 나타낸다. 예를 들어 m2h6n1은 질량비 2.0%, L/H비가 6.0, 감쇠네트는 1개를 사용한 경우를 말한다. 주구조물과 부구조물의 고유진동수가  $\omega_1^*, \omega_2^*$  일 때 피크진동수를 나타낸 식(4)에서와 같이 질량비가 클수록 두 개의 피크주파수가 멀어짐을 알 수 있다.<sup>9)</sup>

$$\omega_{1,2} = \frac{\omega_1^{*2} + (1 + \mu)\omega_2^{*2} \pm \sqrt{\omega_1^{*2} + (1 + \mu)\omega_2^{*2} - 4\omega_1^{*2}\omega_2^{*2}}}{2} \quad (4)$$

표 7. 피크주파수

실험체	$f_{p1}$	$f_{p2}$	실험체	$f_{p1}$	$f_{p2}$
m1h4n0	0.8072	0.8900	m2h4n0	0.7872	0.9036
m1h4n1	0.8068	0.8849	m2h4n1	0.7855	0.8992
m1h4n3	0.8106	0.8761	m2h4n3	0.7863	0.8923
m1h6n0	0.8182	0.9159	m2h6n0	0.7900	0.9067
m1h6n1	0.8162	0.8973	m2h6n1	0.7858	0.8916
m1h6n3	0.8200	0.8826	m2h6n3	0.7862	0.8765

그림 11~그림 13의 각 반응곡선으로부터 질량비, 진동수비를 추정해 보면 표 8과 같다. 이때 구조물의 질량은 2.15ton, 감쇠비는 0.15%로 가정하였다. 여기서,  $m_1, f_{n1}$

표 8. 질량비( $\mu$ ), 진동수비( $\beta$ ) 추정

실험체	구조물 질량 (ton)	TLD 질량 (ton)	질량비 ( $\mu$ ) (%)	$f_{n1}$ (Hz)	$f_{n2}$ (Hz)	진동수비 ( $\beta$ )
m1h4n0	2.15	0.0195	0.908	0.840	0.855	1.0182
m1h4n1	2.15	0.0195	0.906	0.840	0.850	1.0118
m1h4n3	2.15	0.0192	0.893	0.840	0.846	1.0065
m1h6n0	2.15	0.0212	0.985	0.846	0.887	1.0483
m1h6n1	2.15	0.0170	0.789	0.838	0.874	1.0429
m1h6n3	2.15	0.0177	0.822	0.838	0.864	1.0305
m2h4n0	2.15	0.0933	1.828	0.835	0.852	1.0202
m2h4n1	2.15	0.0398	1.852	0.835	0.846	1.0131
m2h4n3	2.15	0.0391	1.821	0.835	0.841	1.0069
m2h6n0	2.15	0.0399	1.856	0.840	0.853	1.0152
m2h6n1	2.15	0.0349	1.622	0.827	0.847	1.0244
m2h6n3	2.15	0.0351	1.634	0.826	0.834	1.0099

표 9. 변위, 가속도 분산과 감소율(실험결과)

실험체	변위			가속도		
	입력 분산 (mm <sup>2</sup> )	구조물 분산 (mm <sup>2</sup> )	감소율 (%)	입력 분산 (cm/sec <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	구조물 분산 (cm/sec <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	감소율 (%)
NO TLD	0.2316	130.9809	-	12.0369	1214.711	-
m1h4n0	0.0926	8.6211	16.46	5.5275	91.6395	16.43
m1h4n1	0.2148	5.4220	4.46	12.4900	70.3212	5.58
m1h4n3	0.2143	4.6619	3.85	12.4904	64.6997	5.13
m1h6n0	0.2137	19.1815	15.87	12.5860	168.2336	13.25
m1h6n1	0.2123	7.5712	6.31	12.5374	83.7219	6.62
m1h6n3	0.2122	5.8560	4.88	12.4448	73.2490	5.83
m2h4n0	0.2173	20.1914	16.43	12.8205	172.6269	13.34
m2h4n1	0.2112	4.8253	4.04	12.3889	63.9743	5.12
m2h4n3	0.2131	3.3696	2.80	12.3553	54.3134	4.36
m2h6n0	0.2129	13.2260	10.98	12.3502	120.9541	9.70
m2h6n1	0.2130	4.2727	3.55	12.3928	58.1775	4.65
m2h6n3	0.2108	3.2748	2.75	12.3774	52.6132	4.21

사이에 설치되어 그 영향으로 구조물의 진동수가 5% 정도 낮아졌기 때문이다.

표 9는 실험결과로부터 변위와 가속도의 분산을 구하여, TLD를 설치한 경우와 TLD가 없는 경우의 비율을 구하여 나타낸 것이다. 모든 경우 TLD가 없는 것보다 상당히 감소된 값을 나타내고 있으며 감쇠네트에 의해 TLD의 감쇠비가 커질수록 변위와 가속도의 감소비율도 커짐을 알 수 있다. 벽면요철형 동조액체댐퍼만의 진동수 및 감쇠율에 대한 실험적 평가는 참고문헌 (10)에 기 발표하였다.

### 5. 결론

본 연구는 구조물에 TLD를 설치한 실험체에서 자유진동 실험과 백색잡음입력에 대한 구조물의 반응을 분석하여, 구조물-TLD 연성모형의 거동과 TLD에 의한 제진성능을 파악하고자 하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) TLD의 감쇠비는 네트의 수가 많을수록 커지며, 형상비의 영향은 그다지 크지 않으나 형상비가 클수록 커진다. 질량비는 TLD의 감쇠비에 영향을 주지 않으나 질량비가 클수록 반응곡선에서 두 개의 피크사이의 거리가 넓어져 넓은 범위의 주파수에 대해서 유효하게 된다.
- (2) TLD가 있을 경우 구조물 변위와 가속도의 분산은 TLD가 없는 경우에 비하여 16%~3% 정도로 대폭적으로 감소됨을 볼 수 있었다.

### 참고문헌

1. Spencer Jr., B.F., "Recent Trends in Vibration Control in the USA", Vol.2, Proc. of 3rd Int. Conf. on Motion & Vibration Control, September, 1996, pp.K1~K6.
2. 주영규, 최항, 정석창, 유은중, "동조액체감쇠장치를 이용한 초고층 건물의 진동제어", 대한건축학회 논문집, 1998년 12월, pp.43-50.
3. 한봉구 외, "고층빌딩의 지진응답진동제어를 위한 HLCD 감쇠기", 한국강구조학회논문집, 1996년 6월, pp.183-191.
4. Tschanz, T., et al., "Application of Water Tanks for Controlling Wind Motions in a Tall Building", Proc. of 4th IKC, September, 1997, pp.71-78.
5. 野路利幸, "水のスロツシングを利用した構造物の制振に関する研究", 1991年11月, 三井建設技術研究所報告.
6. 川股重也, "液體ダンパー", 特許出願公開番號 特開平9-229121, 日本國特許廳, 1997.
7. Sabnis, G.M, Harris, H.G., White, R.N., and Mirza, M.S., "Structural Modeling and Experimental Techniques", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983.
8. 대우건설기술연구소, "초고층 건물의 해석 및 설계에 관한 연구", DEP-007-96, 1996.
9. Hartdog, J.P.D., "Mechanical Vibrations", Dover Publications, New York, 1985.
10. 주영규, "벽면 요철을 고려한 동조액체댐퍼의 고유진동수 및 감쇠계수의 실험적 평가", 대한건축학회 논문집 구조계, 2002년 2월, pp.35-43.

(접수일자 : 2002년 8월 27일)