

# TMD 분산 설치에 따른 Twisted 비정형 건축물의 지진응답 제어 성능 평가

## Seismic Response Control Performance Evaluation of Twisted Irregular Building by TMD Distributed Application

유 상 호\*  
Yoo, Sang-Ho

박 광 섭\*\*  
Park, Kwang-Seob

김 현 수\*\*\*  
Kim, Hyun-Su

강 주 원\*\*\*\*  
Kang, Joo-Won

### Abstract

High-rise buildings are equipped with TMD (Tuned Mass Damper), a vibration control device that ensure the stability and usability of the building. In this study, the seismic response control performance was evaluated by selecting the design variables of the TMD based on the installation location of the twisted irregular building. To this end, we selected analysis models of 60, 80, and 100 floors with a twist angle of 1 degree per floor, and performed time history analysis by applying historical seismic loads and resonant harmonic loads. The total mass ratio of TMDs was set to 1.0%, and the distributed installation locations of TMDs were selected through mode analysis. The analysis results showed that the top-floor displacement responses of all analysis models increased, but the maximum story drift ratio decreased. In order to secure the seismic response control performance by distributed installation of TMDs in twisted irregular buildings, it is judged that the mass ratio distribution of TMDs will act as a key variable.

*Keywords : Twisted Irregular Building, Tuned Mass Damper, Seismic Response Control Performance*

## 1. 서론

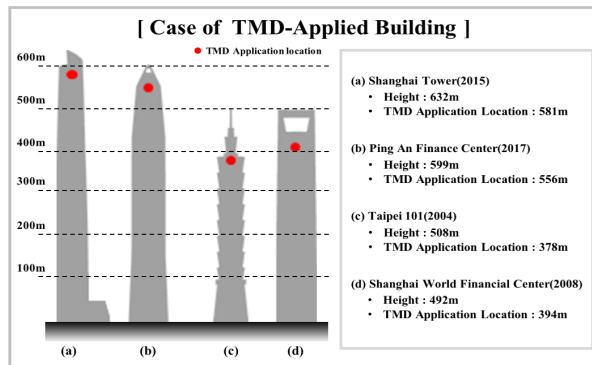
### 1.1 연구배경 및 목적

국내외 건축 기술이 발달함에 따라 입면, 평면 등 여러 방면에서 물리적인 한계가 사라지고 있으며, 재료의 고강도화가 진행됨에 따라 부재의 단면적 감소가 가능해졌다. 고강도화와 단면적 축소로 건축물의 경량화를 도모하였으며, 경량화된 건축물들은 고층화와 대형화가 이루어졌다.<sup>1)</sup> 초기 고층 건축물들의 입면 형상은 박스형과 같은 정형적인 형상을 가지고 있었으나, 기술력이 지속적으로 발전함에 따라 고층 건축

물들의 입면 형상은 자유롭고 비정형적인 형상으로 발전하였다. 비정형 입면 형상의 건축물 중 Twisted 형상의 건축물들은 비틀어진 형상으로 인해 풍하중 저감에 효과적인 입면 형상을 가지고 있으나 비틀어진 형상으로 인해 기울어진 기둥이 발생하기도 한다. 기울어진 기둥으로 인해 중력 하중의 흐름이 변화하며, 지진하중 작용 시 하중이 집중되는 부재가 발생하게 된다.<sup>2)</sup> 이와 같은 비정형 형상의 건축물들은 구조적으로 취약한 거동이 나타나며, 제진장치나 면진장치 적용을 통해 취약성을 보완할 수 있다.<sup>3)</sup>

동조질량감쇠기(Tuned mass damper, 이하 TMD)는 건축물의 고유진동수를 적용하여 건축물에 적용되는 제진장치 중의 하나로 구조물에 지진하중 작용 시 발생하는 진동에너지를 감소시키는 진동제어장치이다.<sup>4)</sup> TMD는 현재 초고층 건축물에서 지진응답 제어 성능 향상을 위해 적용 중이며, <Fig. 1>에 TMD가 적용된 사례 건축물들을 나타내었다. 사례 건축물들에 적용된 TMD의 총 질량비는 각 사례별로 상이하나 TMD를 특정 위치에 집중하여 설치되었다. TMD는 대부분의 경우에서 저층부에 비해 고층부에 적용되었

\* 학생회원, 영남대학교 일반대학원 건축학과, 석사과정  
Dept. of Architecture, Yeungnam University  
\*\* 정회원, (주)보루, 이사  
Boru E&C  
\*\*\* 정회원, 선문대학교 건축학부 교수, 공학박사  
Division. of Architecture, Sunmoon University  
\*\*\*\* 교신저자, 정회원, 영남대학교 공과대학 건축학부 교수, 공학박사  
School of Architecture, Yeungnam University  
Tel: 053-810-2429 Fax: 053-810-4625  
E-mail: kangj@ynu.ac.kr



〈Fig. 1〉 Case of TMD-applied building

으며, 이는 저차모드가 지배적인 고층건축물의 특성이 적용되었다고 판단된다. 일반적인 정형적 형상의 건축물들은 저차모드가 지배적이며, 고차모드에 대한 영향성이 매우 미미하다.<sup>5)</sup> 비정형적 형상의 건축물에서도 저차모드의 영향이 크게 작용할 수 있으나 정형적 형상의 건축물들에 비해 고차모드에 대한 영향으로 고유치 분석을 통한 TMD를 분산시켜 설치 후 동적 응답에 관한 해석적 연구를 수행할 필요가 있다.

이에 따라 본 연구에서는 비정형 형상의 건축물에 TMD 분산 설치에 따른 지진응답 제어 성능에 관한 기초 자료 제시를 위해 Twisted 비정형 해석모델을 생성 후 TMD를 분산하여 설치하였다. TMD 설치 시 총 질량비가 상승함에 따라 지진응답 제어성능이 우수하다는 선행연구<sup>5)</sup>의 결과를 참고하여 총 질량비를 1.0%로 고정한 후 고유치 분석을 통한 TMD의 분산 설치에 대한 지진응답 제어 성능을 분석하고자 한다.

## 1.2 선행연구 사례 고찰

현재 국내외적으로 빌딩 구조물의 TMD 적용에 관한 다양한 연구가 이루어졌으며, 특히 TMD의 중요 설계변수를 달리한 연구들이 다수 진행되었다.

TMD의 총 질량비를 변수로 설정한 Khan&Baig (2020)는 TMD의 변위 응답 제어 성능 평가를 위해 15층 규모의 정형 고층 해석모델을 생성 후 TMD를 적용하여 변위 응답 분석을 실시하였다. 설치되는 TMD의 총 질량비를 상승시켜 연구를 진행하였으며, TMD의 총 질량비가 상승할수록 변위 응답 제어 성능이 우수하다는 결론을 도출하였다.<sup>6)</sup>

TMD의 설치 개수를 주요 설계변수로 설정하여 연

구를 진행한 Marji(2019)는 해석모델에 TMD를 적용하여 전단벽 구조시스템을 적용한 해석모델과 변위 응답을 비교 분석하였다. TMD의 설치 위치와 개수를 변수로 설정하였으며, 해석모델의 0.05%로 고정한 후 TMD의 개수를 1개에서 최대 320개까지 증가하여 변위 응답 분석을 실시하였다. 전단벽 구조시스템을 적용한 해석모델에 비해 TMD를 적용함에 따라 변위 응답을 저감시킬 수 있으며, TMD를 분산하여 적용 시에는 전 층에 질량비를 분배하여 설치하는 것이 변위 응답 저감 효과가 우수하다는 결과를 도출하였다.<sup>7)</sup>

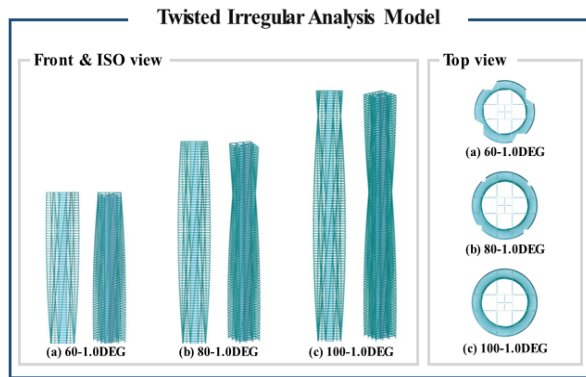
한편, 비정형 구조물에 TMD의 총 질량비를 주요설계변수로 설정한 Yoo et al.(2024)는 Twisted 비정형 해석모델의 최상층에 TMD를 설치하고 TMD의 총 질량비를 1.0%부터 0.00625%까지 감소시켜 설치하였으며, TMD 설치 후 변위 응답 분석을 실시하였다. TMD의 질량비가 상승할수록 변위 응답 제어 성능을 확보할 수 있다는 결론을 도출하였으며, 해당 결과는 정형적 형상의 건축물에 TMD를 적용하였을 때와 동일한 결과가 나타났다.<sup>5)</sup>

이처럼 중고층 건축물에 TMD 적용에 관한 선행연구들은 다수 존재하나 정형적 해석모델에 TMD를 집중 및 분산하여 적용한 선행연구가 대다수이며, 비정형 형상의 해석모델에 TMD를 단일 설치한 선행연구 사례는 존재하나 비정형 해석모델에 TMD를 분산하여 설치한 선행연구는 미미한 실정이다. 따라서, 비정형 건축물에 TMD의 분산 설치에 따른 지진응답 제어 성능을 평가하여 TMD의 분산 설치에 관한 기초자료를 제시하고자 한다. 본 논문에서는 선행연구를 참고하여 Twisted 비정형 해석모델 생성 후 TMD의 총 질량비를 1.0%로 고정하여 TMD를 2개 층에 분산하여 설치하였으며, 최상층에 총 질량비 1.0%의 TMD를 설치하였을 때를 기준으로 하여 최대 층간변형률과 층 변위 분석을 통해 지진응답 제어 성능 평가를 실시하였다.

## 2. 해석모델 일반사항

### 2.1 해석모델 개요

본 연구에서는 TMD의 분산 적용에 따른 지진응답 제어 성능을 평가하기 위해 층당 평면 비틀림 각도를



〈Fig. 2〉 Analysis model

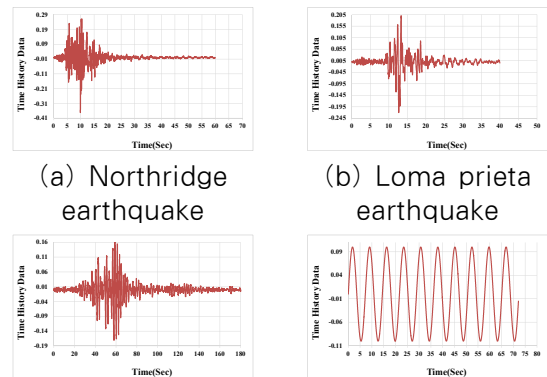
〈Table 1〉 Specification of analysis model

Material	Column	
	Girder	SS275
	Beam	
	Shear Wall	C24
Section	Column	H-700×700×45/70
	Girder	
	Beam	H-700×300×13/24
	Shear Wall	600mm
Height	60-1.0DEG	60F×3.9m=234m
	80-1.0DEG	80F×3.9m=312m
	100-1.0DEG	100F×3.9m=390m

1도로 고정한 후 층수를 변수로 설정하여 60F, 80F, 100F으로 높이가 다른 해석모델 세 가지를 Midas Gen Ver.950을 사용하여 생성하였다. 해석모델 예시는 〈Fig. 2〉에 나타내었으며, 해석모델에 대한 일반사항은 선행연구<sup>5)</sup>를 참고하여 〈Table 1〉과 같이 모델링 하였다. 또한 각 해석모델은 층수와 층당 비틀림 각도를 고려하여 각각 “60-1.0DEG”, “80-1.0DEG”, “100-1.0DEG”으로 명명하였다.

## 2.2 해석방법

본 연구에서는 TMD의 총 질량비가 상승할수록 지진응답 제어 성능이 우수하다는 선행연구<sup>5)</sup>의 결과를 참고하여 연구를 진행하였다. 선행연구에서 지진응답 제어 성능이 우수하다고 도출된 TMD의 총 질량비를 본 연구에 선정하여 적용하였으며, 고유치 해석을 통한 설치 위치 분석 후 선정된 TMD의 총 질량비를 분산하여 TMD를 설치하였다. 총 질량비를 고정한 TMD 분산 설치 후 Loma prieta(1989), Northridge(1994),



(a) Northridge earthquake

(b) Loma prieta earthquake

(c) Mexico city earthquake

(d) Sine earthquake (60-1.0DEG model)

〈Fig. 3〉 Acceleration time history graph of earthquake load

Mexico city(1985) 지진하중과 각 해석모델별 고유치 해석을 통한 1차 고유진동수를 이용하여 생성한 공진 조화하중을 X,Y방향으로 양방향 가진하였으며, 네 가지의 지진하중을 〈Fig. 3〉에 나타내었다. 또한 시간이력해석을 통해 해석모델별 층간변형률과 층 변위를 도출하여 TMD의 분산 설치에 따른 비교 분석을 실시하였다.

## 3. 고유치 해석 및 TMD 분산 설치 위치

### 3.1 고유치 해석

지진하중에 대한 해석모델별 동적응답을 분석하기 전 고유치 해석을 실시하였다. 고유치 해석은 가진된 하중과 관계없이 구조물의 고유 동적 특성을 분석하는데 사용되며, 고유치 해석을 15차 모드까지 실시하여 질량참여율이 90% 이상이 되는 모드차수를 확인

〈Table 2〉 Period by analysis model

Mode	60-1.0DEG	80-1.0DEG	100-1.0DEG
1st	7.2318	11.7312	17.2759
	(3.2956)	(8.885)	(13.7345)
2nd	7.2013	11.6892	17.2201
	(64.8748)	(64.679)	(64.3624)
3rd	1.9527	2.58	3.6188
	(64.8748)	(64.679)	(64.3681)
		∴	
10th	0.3709	0.602	0.88
	(88.5837)	(91.4618)	(91.2196)
11th	0.3704	0.5268	0.6578
	(91.9652)	(91.461)	(91.2196)

Unit : sec(x-dir. modal participation mass sum : %)

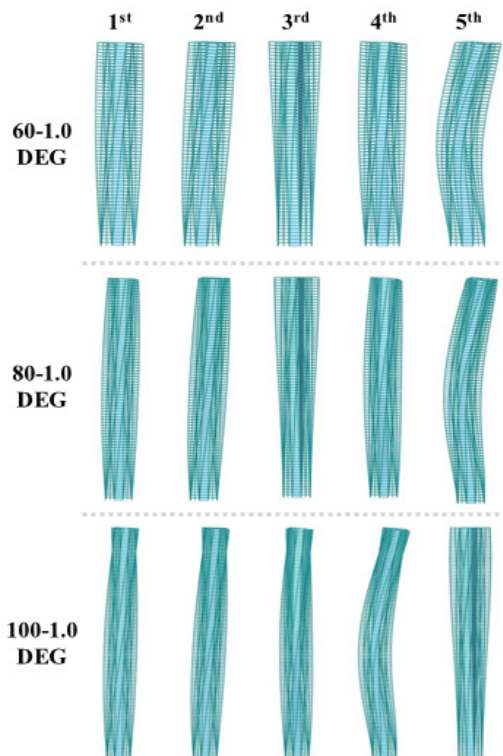
하였다. 60-1.0DEG 해석모델은 11차, 80-1.0DEG 해석모델과 100-1.0DEG 해석모델은 10차 모드에서 질량참여율이 90%를 초과하였으며, 해석모델의 고유주기와 질량참여율을 <Table 2>에 나타내었다.

건축물 내진설계기준<sup>10)</sup>에 명시된 지진력저항시스템에 따른 약산 고유주기는 식(1)로 산정되었다. 해석모델들은 철골 중간모멘트 골조시스템으로  $C_t$  값과  $x$ 값은 각각 0.0724과 0.8이며,  $h_n$ 은 해석모델의 총 높이이다.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (1)$$

해석모델별 약산 고유주기는 60F, 80F, 100F 해석모델 순서로 각각 5.69초 7.16초 8.56초로 나타났다. 해석모델의 고유주기를 비교하였을 때 고유주기가 과대하게 나타났으며, 이는 비틀림 형상으로 인해 횡강성이 저하되어 정형적 형상의 건축물들에 비해 고유주기가 증가하는 것으로 판단된다.

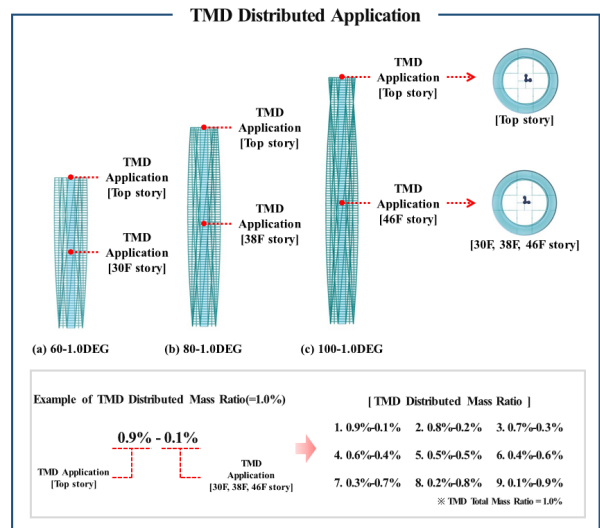
고유치 해석을 통한 해석모델별 1차 고유진동수를 이용하여 공진조화중을 생성하였으며, TMD의 분산 설치 위치 선정에 의해 <Fig. 4>에 나타난 모드형상 분석을 통한 TMD의 분산 설치 위치를 선정하였다.



<Fig. 4> Mode shape of analysis model

### 3.2 TMD 분산 설치 위치

선행연구<sup>5)</sup>에서는 사례 분석을 통한 TMD의 설치 위치를 참고하였으며, 고유치 해석을 통한 질량참여율이 가장 높은 1, 2차 모드 형상을 확인하여 총 질량비를 변수로 설정한 TMD를 최상층에 단일 설치하였다. TMD 단일 설치 후 변위 응답 제어성능을 평가하여 최적 질량비를 도출하였다. 본 연구에서는 TMD의 분산 설치에 따른 지진응답 제어 성능 평가를 위해 최상층에 총 질량비가 동일한 TMD를 단일 설치한 해석모델과 비교 분석을 실시하였다. TMD의 분산 설치 위치 선정에 의해 고유치 해석을 실시하였으며, 질량참여율이 가장 높은 1, 2차 모드 형상과 다음으로 질량참여율이 높은 4, 5차 모드 형상을 확인하여 TMD의 분산 설치 위치를 선정하였다. 선행연구<sup>5)</sup>를 참고하여 설치되는 TMD의 총 질량비는 1.0%로 고정하였으며, TMD의 분산 설치를 위해 1.0%의 질량비를 분배하여 설치하였다. TMD의 질량비 분배는 최상층에서는 0.9%부터 0.1%까지 0.1%씩 감소시켜 설치하였으며, 하부층에는 0.1%부터 0.9%까지 증가시켜 총 9가지의 질량비 변수를 선정하여 TMD를 분산 설치하였다.



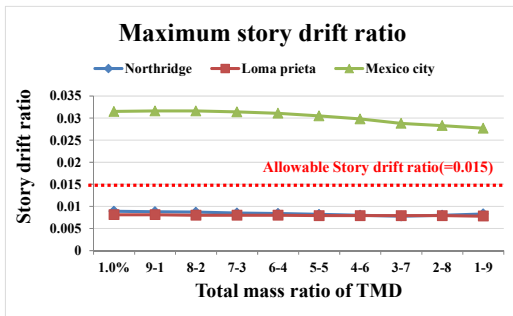
<Fig. 5> TMD Distributed application

해석모델별 TMD의 설치 위치와 TMD의 분산 질량비는 <Fig. 5>에 나타내었으며, 설치되는 TMD의 총 질량비 1.0%의 질량비 분배에 따라 “최상층에 설치되는 TMD의 질량비-중층부에 설치되는 TMD의 질량비”로 나타내었다.

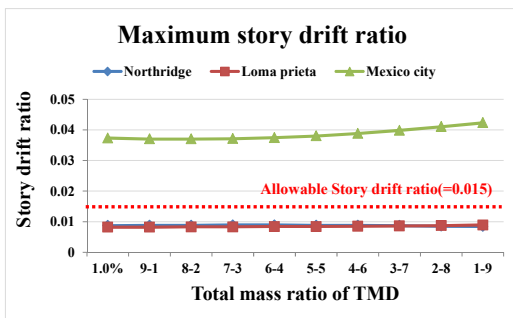
## 4. 해석 결과 분석

### 4.1 최대 층간변형률

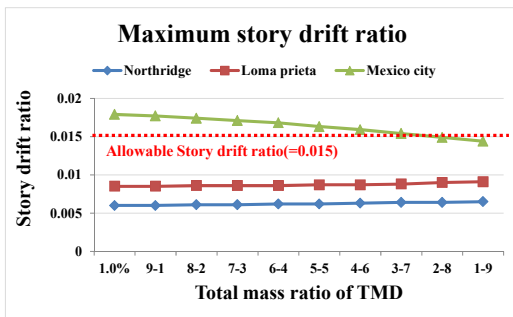
총 질량비를 1.0%로 고정한 TMD의 분산 설치에 따른 해석모델별 지진응답 제어 성능을 평가하기 위해 네 가지 지진하중에 따른 최대 층간변형률 분석을 진행하였다.



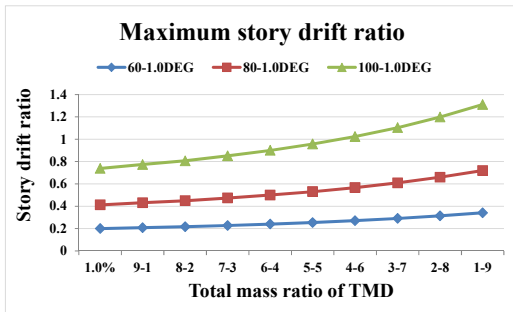
(a) 60-1.0DEG Model



(b) 80-1.0DEG Model



(c) 100-1.0DEG Model



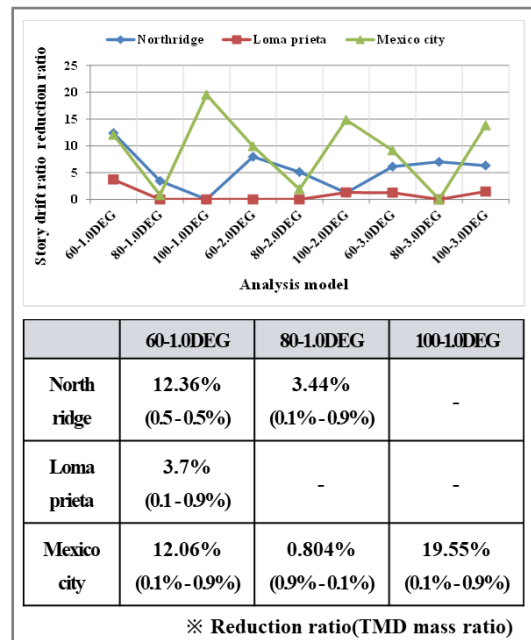
(d) Sine wave

〈Fig. 6〉 Story drift ratio by analysis model

최상층에 총 질량비 1.0%의 TMD를 단일 설치한 해석모델을 기준으로 총 질량비 1.0%의 TMD 분산 설치에 대한 해석모델별 최대 층간변형률을 비교 분석하였다. 해석모델별 최대 층간 변형률은 〈Fig. 6〉에 나타내었으며, 해석모델별 허용 층간변형률은 건축물 내진설계기준<sup>10)</sup>을 참고하여 허용 층간변형률을 0.015로 제한하였으며, 결과는 다음과 같다.

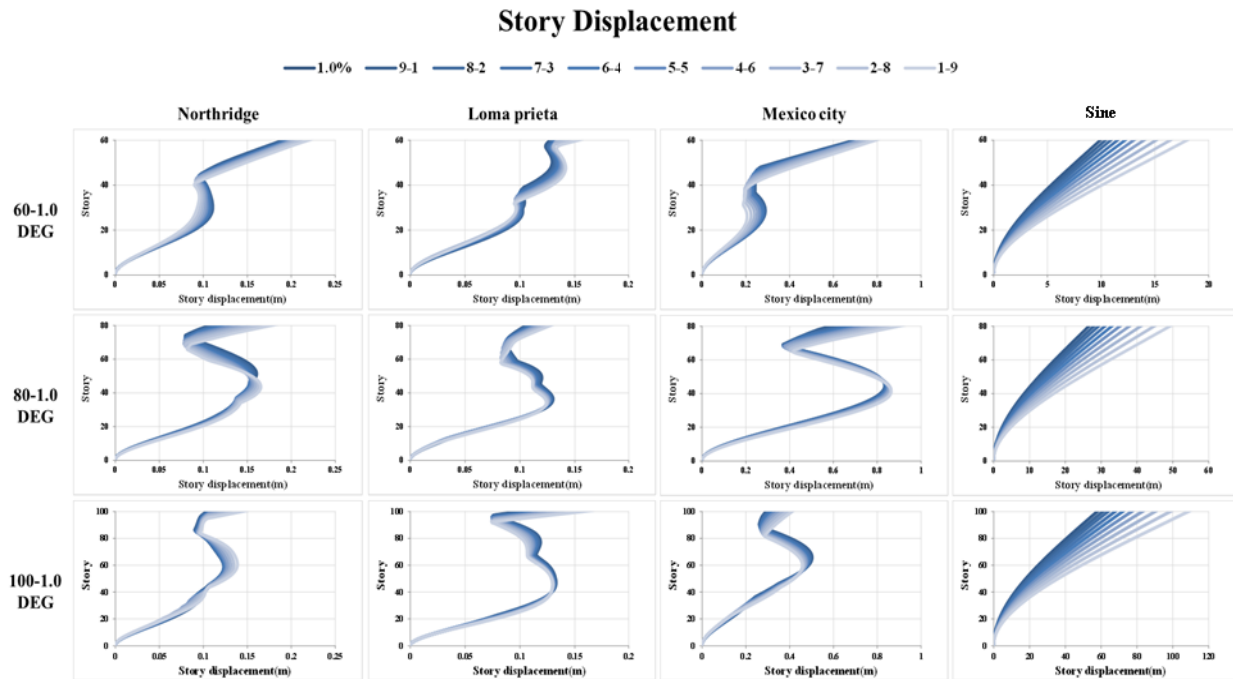
Northridge 지진하중과 Loma prieta 지진하중에 대한 최대 층간변형률은 세 가지 모든 해석모델에서 허용 층간변형률을 만족하였으나, Mexico city 지진하중에서는 세 가지 해석모델 모두 허용 층간변형률을 초과하였다. 그중 100-1.0DEG 해석모델에서는 TMD의 분산 설치 시 중층부의 질량비가 증가할수록 허용 층간변형률을 만족하는 양상이 나타났다. 이는 장주기 지진하중에 대한 층간변형률 제어 성능을 확보하기 위해서는 TMD를 분산하여 설치하는 것이 적합하다고 판단되며, 중층부에 설치되는 TMD의 질량비를 높게 산정하여 설치하는 것이 제어 성능을 확보할 수 있다고 판단된다.

공진조화하중에 따른 최대 층간변형률은 최상층에 총 질량비 1.0%의 TMD를 집중하여 설치하는 것이 효과적으로 나타났으며, 이는 저차모드가 지배적인 고



〈Fig. 7〉 Reduction ratio of story drift ratio by TMD distributed installation





〈Fig. 8〉 Story displacement by analysis model

층 건축물의 특성으로 인해 설치되는 TMD의 총 질량비가 동일하더라도 저차모드 형상을 고려한 위치에 설치하는 것이 지진응답 제어 성능 확보가 가능하다고 판단된다.

〈Fig. 7〉은 최대 층간변형률 감소율과 가장 높은 감소율이 나타난 TMD의 분산 질량비를 나타낸 것으로 TMD를 분산하여 설치하였을 때보다 최상층에 집중하여 설치하였을 때 지진응답 제어 성능이 우수하다는 것을 의미한다.

해석모델별 각 지진하중에 대한 최대 응답 저감률이 나타난 분산된 TMD의 질량비는 지진하중별 상이하게 나타났으나, 세 가지 역사지진하중에 따른 최대 층간변형률 9가지 경우에서 6가지 경우에 대하여 TMD를 분산하여 설치하였을 때 지진응답 저감성능이 나타났다. 그중 Mexico city 지진하중에 대한 모든 해석모델에서 TMD를 단일 설치하였을 때보다 분산하여 설치하였을 때 우수한 저감성능이 나타났으며, 100-1.0DEG 해석모델에서는 최대 저감률인 19.55%가 나타났다.

해석 결과 TMD의 분산 설치에 대한 최대 층간변형률 제어 성능은 가진되는 지진파의 주기가 증가할수록 높은 제어성능이 나타났으며, 이는 장주기 지진파에 대해서 효과적이라고 판단된다.

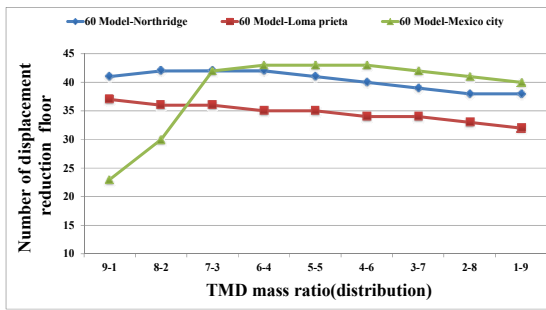
## 4.2 층 변위

층 변위 분석을 통한 TMD의 분산 설치에 대한 지진응답 제어 성능 평가를 진행하기 위해 60F, 80F, 100F 해석모델의 각 지진하중에 대한 전체 층 변위를 분석하고, 총 질량비 1.0%의 TMD를 최상층에 설치한 해석모델을 기준으로 층 변위 저감 추수 양상을 확인하였다.

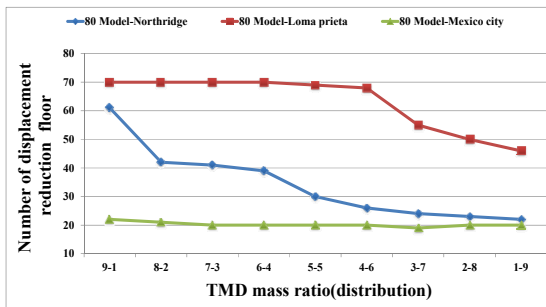
〈Fig. 8〉에 최상층에 총 질량비 1.0%의 TMD를 집중하여 설치하였을 때의 층 변위와 총 질량비 1.0%의 TMD 분산 설치에 따른 층 변위를 나타내었다.

TMD가 설치된 최상층과 중층부의 층 변위 분석 결과, 세 가지 역사지진하중에 대한 최상층 변위는 최상층에 설치되는 TMD의 질량비가 상승할수록 변위 응답이 감소하였다. 그러나 최상층에 설치되는 TMD의 질량비가 상승함에 따라 중층부에 설치되는 TMD의 질량비는 감소하게 되며, 중층부에서 층 변위가 증폭되는 해석모델이 나타났다. 증폭된 층 변위는 최상층 변위를 초과하는 양상이 나타났다.

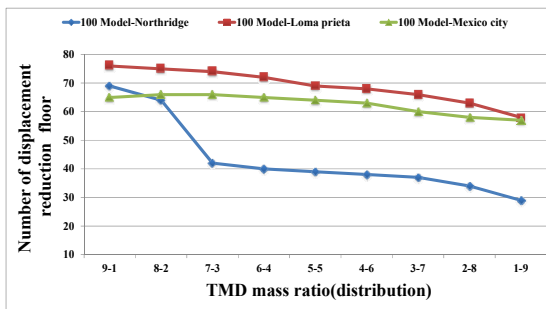
공진조화하중에 대한 층 변위는 모든 해석모델에서 설치되는 TMD의 총 질량비가 동일하더라도 최상층에 집중하여 TMD를 설치하였을 때 지진응답 제어 성능을 확보하였다. 이는 공진조화하중에 대한 최대 층



(a) 60-1.0DEG model



(b) 80-1.0DEG model



(c) 100-1.0DEG model

〈Fig. 9〉 Number of reduction floor by TMD distributed application

간변형률과 동일한 결과가 나타났으며, 공진조화하중 생성 시 해석모델의 저차 모드에 대한 고유 진동수를 적용함에 따라 저차 모드 형상에 대한 영향성이 크게 작용한 결과로 판단된다.

또한 TMD의 분산 설치 후 중층부에서 층 변위 응답이 감소하는 양상이 나타나기도 하였으며, TMD의 분산 설치에 따른 해석모델별 층 변위 감소 층수는 〈Fig. 9〉에 나타내었다. TMD의 분산 설치에 따른 층 변위가 감소된 층수 분석 시 상층부에 설치되는 TMD의 질량비가 상승할수록 층 변위 저감 층수가 증가하는 양상이 나타났으며, 이는 저차모드가 지배적인 고층 건축물의 특성으로 인해 저차모드에 대한 영향성이 크게 작용하여 나타난 결과로 판단된다.

설치되는 TMD의 총 질량비가 동일할 경우 최대

층간변형률과 층 변위의 제어 성능 확보를 위해서는 고유치 해석을 통한 TMD를 분산하여 설치하는 것이 효과적으로 나타났다. 그러나 중층부의 층 변위가 증폭되어 최상층 변위를 초과할 경우에는 TMD를 추가로 설치하여 지진응답 제어를 실시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 제진장치 중 하나인 동조질량감쇠기(TMD)의 분산 적용에 따른 지진응답 제어 성능 평가를 실시하였다. TMD의 총 질량비를 고정한 후 모드형상 분석을 통한 TMD의 질량비 분배를 진행하여 TMD를 분산하여 설치하였으며, 결과는 다음과 같다.

1) 높이를 변수로 설정한 세 가지 해석모델의 지진 하중별 최대 층간변형률 분석 결과, 해석모델에 설치되는 TMD의 총 질량비가 동일할 경우에는 TMD를 집중하여 설치하는 것보다 모드형상 분석을 통한 질량비 분배 후 TMD를 분산하여 설치하는 것이 효과적으로 나타났다. 그중 장주기파인 Mexico city 지진하중에 대한 최대 층간변형률은 세 가지 해석모델 모두 저감 성능이 나타났으며, 해당 결과를 통해 TMD 분산 설치 시 장주기 지진하중에 대한 지진응답 제어 성능 확보가 가능하다고 판단된다.

2) TMD가 설치된 설치 층 변위 분석 시 최상층은 TMD의 질량비가 감소할수록 변위 응답 제어 성능이 감소하였으며, 중층부에서는 층 변위가 증폭되는 양상이 나타나기도 하였다. 증폭된 최대 층 변위 제어를 위해서는 중층부에 설치되는 TMD의 질량비를 상승시켜 변위 응답 제어를 실시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3) TMD의 분산 설치로 인한 층 변위 최대 감소 층수는 상이한 분산 질량비에서 나타났으나, 대부분의 경우에서 최상층에 설치되는 TMD의 질량비가 상승할수록 최대 층 변위 응답이 저감된 층수가 증가하였다. 이는 총 질량비가 동일하더라도 저차 모드가 지배적인 고층건축물의 특성으로 인해 저차 모드 형상을 통해 도출된 설치 위치인 최상층에 설치된 TMD의 질량비가 주요 변수로 작용한다고 판단된다.

4) TMD의 분산 설치 시 최상층에 설치되는 TMD의 질량비가 감소할수록 최상층 변위 제어성능과 층 변위

감소 층수는 감소하였으나, 최대 층간변형률 제어성능은 확보되는 것으로 나타났다. 이에 따라, TMD의 분산 설치에 따른 최대 층간변형률과 층 변위에 대한 지진 응답 제어 성능을 모두 확보하기 위해서는 질량비 분배가 주요 변수로 작용할 수 있는 것으로 판단된다.

추후 연구에서는 TMD의 설치 위치를 주요 변수로 설정하여 TMD의 질량비 조절에 따른 지진응답 제어 성능 평가에 대해 연구를 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.  
(NRF-2023R1A2C1002542)

### References

1. Lee, D. H., Kim, H. S. & Kang, J. W., " Seismic Response Analysis of Twisted Buildings with Three Planar Shapes", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.21, No.4, pp.22~30, 2021, DOI:<https://doi.org/10.9712/KASS.2021.21.4.23>
2. Tanaka, H., Tamura, Y., Ohtake, K., Nakai, M., Kim, Y. C. & Bandi, E. K., "Aerodynamic and Flow Characteristics of Tall Buildings with Various Unconventional Configuration", International Journal of Hogh-Rise Buildings, Vol.2 No.3, pp.213~228, 2013, DOI:<https://doi.org/10.21022/IJHRB.2013.2.3.213>
3. Lee, D. H., Kim, H. S. & Kang, J. W., "Analysis of the Static Characteristics of High-Rose Stricture With Twisted Shape", Journal of the Korean Association for Spatial Structure, Vol.20 No.4, pp.93~100, 2020, DOI:<https://doi.org/10.9712/KASS.2020.20.4.93>
4. Lee, Y. R.(2021), "Optimal Design of Tuned

- Mass Damper for Seismic Response Control of Large Spatial Structures(Doctor's thesis)". Yeungnam University, Republic of Korea
5. Yoo, S. H., Kim, H. S. & Kang, J. W., "Displacement Response Analysis of Twisted Irregular Buildings According to TMD" Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.24 No.1, pp.89~98, 2024, DOI:<https://doi.org/10.9712/KASS.2024.24.1.89>
  6. Khan, U. H., Baig, M. A., " Behaviour of Tall Buildings using Tuned Mass Dampers", International Journal of Engineering Research&Technology, Vol.9 No.9, pp.84~94, 2020, DOI:<https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS090069>
  7. Marji, L.(2019), " Multiple Tuned Mass Damper in Tall Buildings(Master's thesis)", San Francisco State University, United States of America
  8. Lee, D. H.(2021), " Analysis of Static and Dynamic Response Characteristics pf High-Rise Structures with Twisted Shapes (Master's thesis)". Yeungnam University, Republic of Korea
  9. Warbuton, G.B, "Optimum absorber parameters for various combination of response and excitation parameters", Earthquake Engineering Structural Dynamics, Vol.10, pp.381~401, 1982, DOI:<https://doi.org/10.1002/eqe.4290100304>
  10. Architectural Institute of Korea, Korean Design Standard(KDS 41 17 00 : 2022),2022

- Received : August 16, 2024
- Revised : August 31, 2024
- Accepted : September 1, 2024