

# 아웃리저 댐퍼시스템의 감쇠와 강성에 따른 고층 건물 풍응답 제어 성능 평가

## Performance Evaluation of Wind Response Control of High-Rise Buildings by Damping and Stiffness of Outrigger Damper System

박 광 섭\*  
Park, Kwang-Seob

김 윤 태\*\*  
Kim, Yun-Tae

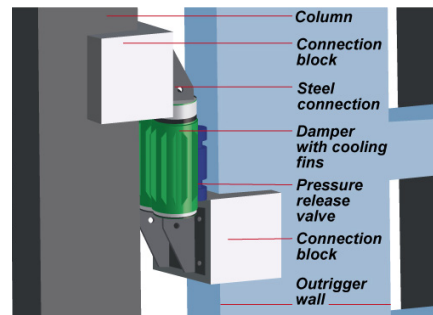
### Abstract

Recently, the concept of an outrigger damper system with a damper added to the existing outrigger system has been developed and applied for dynamic response control of high-rise buildings. However, the study on the structural characteristics and design method of Outrigger damper system is in the early stages. In this study, a 50 story high - rise building was designed and an outrigger damper system with viscoelastic damper was applied for wind response control. The time history analysis was performed by using the kaimal spectrum to create an artificial wind load for a total of 1,000 seconds at 0.1 second intervals. Analysis of the top horizontal maximum displacement response and acceleration response shows that outrigger damper systems are up to 28.33% and 49.26% more effective than conventional outrigger systems, respectively. Also, it is confirmed that the increase of damping ratio of dampers is effective for dynamic response control. However, since increasing the damping capacity increases the economic burden, it is necessary to select the appropriate stiffness and damping value of the outrigger damper system.

**Keywords :** Outrigger damper system, Tall building, Artificial wind loads, Dynamic response control, Visco elastic damper

## 1. 서론

건물이 고층화 또는 세장화 될수록 연직 방향의 하중보다 수평 방향 하중의 영향을 많이 받게 되며, 지진 하중보다는 낮은 주파수로 장시간 작용하는 풍하중에 더 취약하므로 고층 건물의 동적 응답을 제어하기 위해 높은 횡방향 강성이 요구된다<sup>1)</sup>. 최근 아웃리저 시스템의 외곽 기둥과 아웃리저 사이에 감쇠 성능을 가진 댐퍼를 설치한 아웃리저 댐퍼 시스템이 개발되어 고층 건물의 풍응답 제어 목적으로 적용된 바 있다<sup>2)</sup>. 아웃리저 댐퍼 개념도를 <Fig. 1>에 나타내었다. 아웃리저 댐퍼시스템은 부등 축소량 저감 이외에도 물량 감소를 통한 경제성



<Fig. 1> Outrigger damper<sup>4)</sup>

까지 갖춘 효과적인 횡력 저항 시스템으로 평가 받고 있다<sup>3)</sup>.

설계 단계에서부터 아웃리저 댐퍼시스템이 고려된 필리핀의 The St Francis Shangri-La Place는 가속도 응답 저감을 통한 구조적 안정성 확보와 거주성 개선으로 아웃리저 댐퍼를 통한 동적 응답 제어의 대표적인 사례로 인정받고 있다. 그러나 실제 적용 사례의 증가에도 불구하고 아웃리저 댐퍼시스템에 대한 주된 연구는 최적 위치 탐색 등 기초 단계

\* 교신저자, 정회원, (주)보루 이사  
Boru E&C  
Tel: 053-742-6411 Fax: 053-742-6413  
E-mail: parkks@borueng.co.kr

\*\* 정회원, (주)보루 대표이사  
Boru E&C

에 머물러 있다<sup>5)</sup>. 아웃리저 댐퍼시스템의 적용성과 활용도를 높이기 위하여 본 논문에서는 아웃리저 댐퍼의 감쇠( $C_d$ )값과 강성( $K_d$ )값에 따른 고층 건물의 풍하중에 대한 동적 응답 특성을 분석하고자 한다.

## 2. 해석 모델과 분석 방법

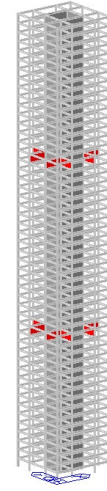
### 2.1 해석 모델 개요

해석 모델은 35×34m의 동일한 구조 평면을 가지며, <Fig. 2>와 같이 전체 층수 50층, 총 높이는 250m로 1:7의 세장비를 갖도록 모델링하였다. 아웃리저가 설치되지 않은 기본 해석 모델에서 최상층 최대 수평 변위 응답은 X방향 0.624m, Y방향 0.784m로 나타났다. 해석 모델의 일반 사항은 <Table 1>에 나타내었다.

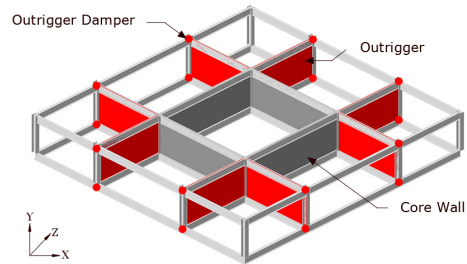
<Table 1> Specification of analytical model

Variable	Specification	
Height(m)	250(5m × 50 Stories)	
Principal place	XYZ plane	
Core	Height(m)	5
	Thickness(m)	0.55
	Structure	Concrete(35MPa)
Outrigger	Location	16F, 35F
	Thickness(m)	0.2
	Material	SM570TMC
Material	Column	SM570TMC
	Beam	SM570TMC
Section	Column	H - 620×600×60/70
	Beam	H - 700×300×13/24
Wind load	End time(s)	1,000
	Time increment(s)	0.1

건물의 높이를 고려하여 아웃리저는 2개층으로 계획하였으며, 위치는 McNabb & Muvdi(1975)가 제안한 아웃리저 2개층 최적 위치인 0.312h와 0.685h 즉, 16층과 35층에 구성하였다<sup>6)</sup>. 평판의 형태를 가진 16개의 아웃리저가 중앙부 코어와 외곽 기둥을 연결하도록 모델링하였다. 점탄성 댐퍼는 아웃리저의 상단 및 하단부 절점에 설치하여 총 2개층 32개로 구성하였으며 <Fig. 3>에 나타내었다.



<Fig. 2> Analytical model



<Fig. 3> Outrigger damper locations

### 2.2 모델링 및 분석 방법

본 연구에서는 상용 프로그램인 Midas Gen Ver. 860을 사용하여 초고층 건물의 풍응답을 해석하였다. 풍하중을 받는 해석 모델의 형상과 크기를 고려하여 난류 강도를 산정하였으며, Kaimal spectrum을 통해 각 층마다 작용하는 인공 풍하중을 작성 및 입력하여 시간 이력 해석을 수행하였다. <Table 2>는 10층별 각 지점에 입력한 인공 풍하중의 평균값을 나타낸 것이다.

<Table 2> Wind load (Unit : kN)

Floor	10th	20th	30th	40th	50th
Wind load	56.49	63.31	67.56	70.66	73.46

아웃리저 접합부 절점에 생성된 댐퍼는 점성 물질로 채워진 내부 충진재가 에너지를 흡수하여 풍 에너지를 소산시키는 점탄성 댐퍼(Visco elastic damper)로, 선형 스프링과 점성 감쇠가 병렬로 연결된 Kelvin model을 사용하였다. 아웃리저 댐퍼시

시스템의 감쇠( $C_d$ )값과 강성( $K_d$ )값에 따른 동적 응답 제어 성능을 검토하기 위하여 아웃리저가 설치되지 않은 NOR모델과 아웃리저만 설치된 OR모델을 기준 모델로 설정하였다.

<Table 3> Analysis model with changes in damping value

Model	Outtrigger presence	Outtrigger damper presence	Damper stiffness value (kN/m)	Changes in damping value (kN*sec/m)
NOR	-	-	-	-
OR	-	-	-	-
ORD-AX			20,000	
ORD-AY	○	○		10,000
ORD-BX		○	40,000	~46,000
ORD-BY				

<Table 4> Analysis model with changes in stiffness value

Model	Outtrigger presence	Outtrigger damper presence	Damping value (kN*sec/m)	Changes in damper stiffness value (kN/m)
NOR	-	-	-	-
OR	-	-	-	-
ORD-CX			20,000	
ORD-CY	○	○		10,000
ORD-DX		○	40,000	~46,000
ORD-DY				

감쇠( $C_d$ )값의 변화에 따른 풍응답 제어 성능을 알아보기 위하여 댐퍼의 감쇠( $C_d$ )값이 10,000~46,000kN\*sec/m까지 4,000kN\*sec/m 간격으로 변화할 때 강성( $K_d$ )값이 20,000kN/m인 ORD-AX, ORD-AY모델과, 40,000kN/m인 ORD-BX, ORD-BY 모델을 구성하였다. 강성( $K_d$ )값의 변화에 따른 풍응답 제어 성능을 알아보기 위하여 댐퍼의 강성( $K_d$ )값이 10,000~46,000kN/m까지 4,000kN/m간격으로 변화할 때 감쇠( $C_d$ )값이 20,000kN\*sec/m인 ORD-CX, ORD-CY모델과, 40,000kN\*sec/m인 ORD-DX, ORD-DY모델을 구성하였다. 강성( $K_d$ )값과 감쇠

( $C_d$ )값을 조절하여 최상층 최대 수평 변위 응답과 최상층 최대 수평 가속도 응답을 비교 분석하였다.

### 3. 동적 응답 분석

#### 3.1 기본 해석 모델 동적 응답 검토

아웃리저 댐퍼의 감쇠( $C_d$ )값과 강성( $K_d$ )값의 변화에 따른 풍응답 제어 성능을 알아보기 위하여 아웃리저가 설치되지 않은 NOR모델과, 아웃리저만 설치된 OR모델을 기본 모델로 설정하였다. 인공 풍하중을 층별 각 절점에 입력하여 1,000초 동안 시간 이력 해석을 수행하였다. 기본 모델에 대한 최상층 최대 수평 변위 응답과 최대 수평 가속도 응답을 <Table 5, 6>에 나타내었다.

<Table 5> X & Y Dir. the top floor maximum horizontal displacement response

Model \ Dir.	X		Y	
	Data (m)	Ratio (%)	Data (m)	Ratio (%)
NOR	0.62	100	0.78	100
OR	0.52	83.87	0.59	75.64

<Table 6> X & Y Dir. the top floor maximum horizontal acceleration response

Model \ Dir.	X		Y	
	Data (m/sec <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Data (m/sec <sup>2</sup> )	Ratio (%)
NOR	2.4	100	2.82	100
OR	2.29	95.42	2.7	95.74

2가지 기본 모델의 응답을 분석한 결과, 아웃리저만 설치된 OR모델에서의 최상층 최대 수평 변위 응답은 아웃리저가 설치되지 않은 NOR모델에서의 응답 대비 X방향과 Y방향에서 각각 16.13%, 24.36%의 저감이 나타났으며, 최상층 최대 수평 가속도 응답의 경우 각각 4.58%, 4.26%의 저감을 확인하였다.

#### 3.2 감쇠값에 따른 최상층 최대 수평 변위 응답

아웃리저 댐퍼의 강성( $K_d$ )값이 각각 20,000kN/m와 40,000kN/m으로 일정할 때 감쇠( $C_d$ )값의 변화

에 따른 X방향과 Y방향의 최상층 최대 수평 변위 응답을 <Table 7, 8>에 나타내었다.

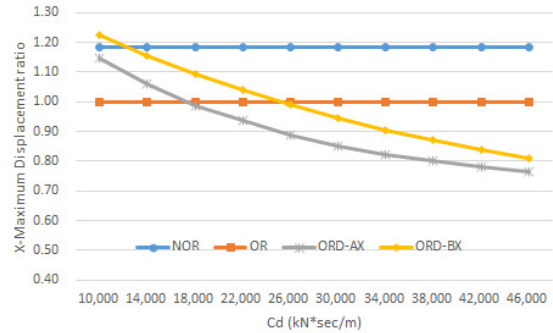
<Table 7> X Dir. maximum displacement based on the damping value (Unit : m)

Model C(kN·sec/m)	Model			
	NOR	OR	ORD-AX	ORD-BX
10,000			0.61	0.65
14,000			0.56	0.61
18,000			0.52	0.58
22,000			0.49	0.55
26,000	0.62	0.53	0.47	0.52
30,000			0.45	0.50
34,000			0.43	0.48
38,000			0.42	0.46
42,000			0.41	0.44
46,000			0.40	0.43

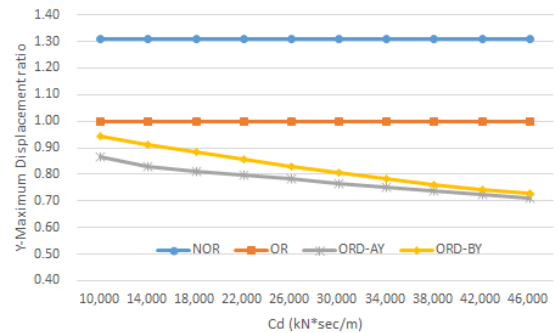
<Table 8> Y Dir. maximum displacement based on the damping value (Unit : m)

Model C(kN·sec/m)	Model			
	NOR	OR	ORD-AY	ORD-BY
10,000			0.52	0.56
14,000			0.50	0.55
18,000			0.49	0.53
22,000			0.48	0.51
26,000	0.78	0.60	0.47	0.50
30,000			0.46	0.48
34,000			0.45	0.47
38,000			0.44	0.46
42,000			0.43	0.44
46,000			0.43	0.44

먼저 X방향 최상층 최대 수평 변위 응답은 ORD-AX모델과 ORD-BX모델 모두 감쇠값이 46,000kN·sec/m일 때 0.40m, 0.43m의 최소 변위 응답이 나타났다. Y방향 최상층 수평 변위 응답 또한 ORD-AY, ORD-BY모델 모두 감쇠값이 46,000kN·sec/m일 때 0.43m, 0.44m의 최소 변위 응답이 나타났다. <Fig. 4, 5>는 OR모델의 변위 응답 대비 감쇠값 변화에 따른 X, Y방향의 최상층 최대 수평 변위 응답을 비로 나타낸 그래프이다.



<Fig. 4> X Dir. maximum displacement ratio based on the damping value



<Fig. 5> Y Dir. maximum displacement ratio based on the damping value

<Fig. 4>의 X방향 수평 변위 응답비 그래프를 보면 ORD-BX모델의 변위 응답은 감쇠값이 10,000kN·sec/m일 때 NOR모델의 수평 변위 응답보다 크게 나타났으며, 감쇠값 26,000kN·sec/m이 후부터 OR모델 대비 응답이 감소하여 최대 18.87%까지 응답 저감하였다. ORD-AX모델은 감쇠값 14,000kN·sec/m까지 OR모델보다 큰 응답이 나타났으나 감쇠값의 증가에 따라 OR모델 대비 최대 24.53%의 수평 변위 응답 저감을 확인하였다. ORD-AX모델과 ORD-BX모델의 강성값 차에 따른 초기 응답차는 7.55%에서 11.32%까지 증가하였으나, 감쇠값 46,000kN·sec/m에서 5.66%까지 응답차가 감소하였다. <Fig. 5>의 Y방향 변위 응답에서는 최대 28.33%의 변위 응답 저감을 확인하였으며, AY모델과 BY모델의 강성값 차에 따른 변위 응답차는 6.67%에서 1.67%로 감소하였다. 감쇠값이 증가함에 따라 X방향과 Y방향 수평 변위 응답 및 강성값 차에 따른 두 모델의 응답차는 모두 감소하였다.

### 3.3 강성값에 따른 최상층 최대 수평 변위 응답

아웃리거 댐퍼의 감쇠( $C_d$ )값이 일정할 때 강성( $K_d$ )값의 변화에 따른 X방향과 Y방향의 최상층 최대 수평 변위 응답을 <Table 9, 10>에 나타내었다.

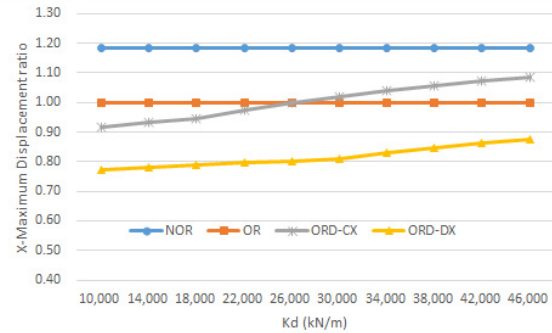
<Table 9> X Dir. maximum displacement based on the stiffness value (Unit : m)

Model K(kN/m)	NOR	OR	ORD-CX	ORD-DX
10,000			0.49	0.41
14,000			0.49	0.41
18,000			0.50	0.42
22,000			0.51	0.42
26,000			0.53	0.42
30,000	0.62	0.53	0.54	0.43
34,000			0.55	0.44
38,000			0.56	0.45
42,000			0.57	0.46
46,000			0.57	0.46

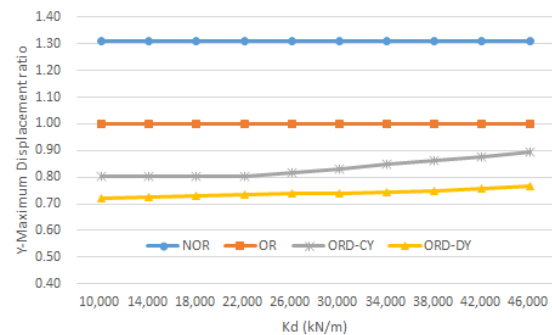
<Table 10> Y Dir. maximum displacement based on the stiffness value (Unit : m)

Model K(kN/m)	NOR	OR	ORD-CY	ORD-DY
10,000			0.48	0.43
14,000			0.48	0.43
18,000			0.48	0.44
22,000			0.48	0.44
26,000			0.49	0.44
30,000	0.78	0.60	0.50	0.44
34,000			0.51	0.45
38,000			0.52	0.45
42,000			0.53	0.45
46,000			0.54	0.46

X방향에서 최소 변위 응답은 ORD-CX모델과 ORD-DX모델 모두 강성값이 10,000kN/m일 때 각각 0.49m, 0.41m의 최소 변위 응답이 나타났다. Y방향에서 최소 변위 응답 또한 ORD-CY모델과 ORD-DY모델에서 강성( $K_d$ )값이 10,000kN/m일 때 각각 0.48m, 0.43m의 최소 변위 응답이 나타났다. <Fig. 6, 7>은 OR모델 대비 각각 다른 감쇠값을 갖는 댐퍼 모델의 강성값 변화에 따른 최상층 최대 수평 변위 응답을 비로 나타낸 것이다.



<Fig. 6> X Dir. maximum displacement ratio based on the stiffness value



<Fig. 7> Y Dir. maximum displacement ratio based on the stiffness value

<Fig. 6>에 나타난 X방향의 수평 변위 응답비 그래프를 보면 강성값 10,000kN/m에서 최대 22.64%의 응답 저감이 나타나고, ORD-CX모델에서 강성값 26,000kN/m 이후 OR모델의 수평 변위 응답보다 증가하는 것을 확인하였다. CX모델과 DX모델의 응답차는 15.09%에서 증가하여 강성값 26,000kN/m 이후 20.75%로 일정하게 유지되었다. <Fig. 7>의 Y방향 수평 변위 응답비 그래프 역시 강성값 10,000kN/m에서 최대 28.33%의 응답 저감을 확인하였다. 강성값이 증가함에 따라 두 모델의 응답차는 강성값 18,000~22,000kN/m에서 8.33%에서 6.67%로 감소하였으나 그 이후 다시 증가하여 13.33%의 응답차를 확인하였다. X방향과 Y방향 변위 응답 모두 강성값이 증가함에 따라 최상층 최대 수평 변위 응답이 증가하였으며, 감쇠값 차에 따른 응답차 또한 증가하는 양상을 띠었다.

### 3.4 감쇠값에 따른 최상층 최대 가속도 응답

아웃리거 댐퍼의 강성( $K_d$ )값이 일정할 때 감쇠( $C_d$ )값에 따른 X방향과 Y방향의 최상층 최대 수평 가속도 응답을 <Table 11, 12>에 나타내었다.

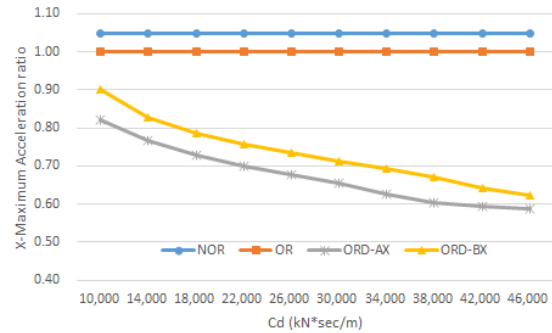
<Table 11> X Dir. maximum acceleration based on the damping value (Unit : m/sec<sup>2</sup>)

C <sub>d</sub> (kN·sec/m)	Model			
	NOR	OR	ORD-AX	ORD-BX
10,000			1.88	2.07
14,000			1.76	1.90
18,000			1.67	1.80
22,000			1.60	1.74
26,000	2.4	2.29	1.55	1.68
30,000			1.50	1.63
34,000			1.44	1.59
38,000			1.38	1.54
42,000			1.36	1.47
46,000		1.35	1.43	

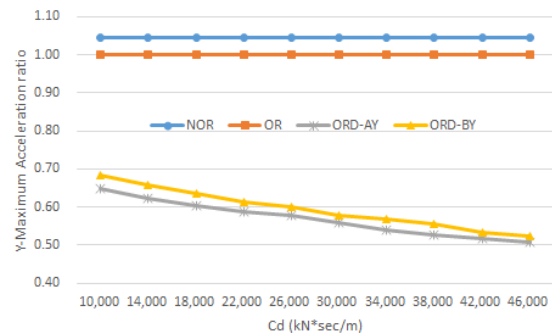
<Table 12> Y Dir. maximum acceleration based on the damping value (Unit : m/sec<sup>2</sup>)

C <sub>d</sub> (kN·sec/m)	Model			
	NOR	OR	ORD-AY	ORD-BY
10,000			1.75	1.84
14,000			1.68	1.78
18,000			1.63	1.71
22,000			1.58	1.66
26,000	2.82	2.70	1.56	1.62
30,000			1.51	1.56
34,000			1.46	1.53
38,000			1.42	1.50
42,000			1.40	1.44
46,000		1.37	1.42	

X방향에서 ORD-AX모델과 ORD-BX모델 모두 감쇠값이 46,000kN\*sec/m일 때 1.35m/sec<sup>2</sup>, 1.43m/sec<sup>2</sup>의 최소 가속도 응답이 나타났다. Y방향 역시 ORD-AY모델과 ORD-BY모델 모두 감쇠값이 46,000kN\*sec/m일 때 1.37m/sec<sup>2</sup>, 1.42m/sec<sup>2</sup>의 최소 가속도 응답이 나타났다. 감쇠값 변화에 따른 최상층 최대 수평 가속도 응답을 OR모델을 기준으로 하여 비로 나타낸 값을 <Fig. 8, 9>에 나타내었다.



<Fig. 8> X Dir. maximum acceleration ratio based on the damping value



<Fig. 9> Y Dir. maximum acceleration ratio based on the damping value

<Fig. 8>의 X방향 최상층 가속도 응답비 그래프를 살펴보면 OR모델 대비 각각 최대 41.05%와 37.55%의 가속도 응답 저감을 하였다. <Fig. 9>의 Y방향 최상층 가속도 응답비 그래프를 보면 OR모델 대비 각각 최대 49.26%, 47.41%의 가속도 응답 저감을 하였다. 감쇠값 초기 구간에서 강성값의 차에 따른 X방향, Y방향 가속도 응답의 차는 최대 8.3%, 3.7%였으며, 감쇠값이 증가함에 따라 응답차가 3.49%, 1.48%까지 감소하는 것으로 보아 최상층 최대 수평 가속도 응답의 경우 강성값보다 감쇠값 조절에 의한 응답 저감이 효과적인 것으로 판단된다.

### 3.5 강성값에 따른 최상층 최대 가속도 응답

아웃리거 댐퍼의 감쇠( $C_d$ )값이 각각 20,000kN\*sec/m와 40,000kN\*sec/m으로 일정할 때 강성( $K_d$ )값에 따른 X방향과 Y방향의 최상층 최대 수평 가속도 응답을 <Table 13, 14>에 나타내었다.

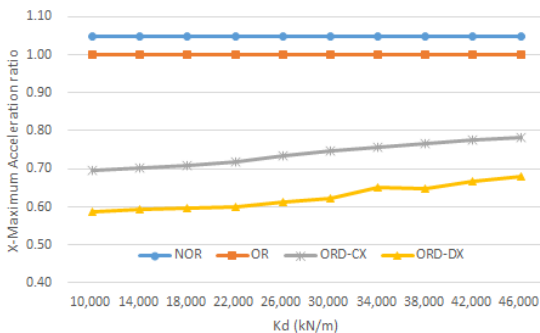
〈Table 13〉 X Dir. maximum acceleration based on the stiffness value (Unit : m/sec<sup>2</sup>)

K(kN/m)	Model			
	NOR	OR	ORD-CX	ORD-DX
10,000			1.60	1.35
14,000			1.61	1.36
18,000			1.62	1.37
22,000			1.65	1.37
26,000	2.3990	2.2900	1.68	1.40
30,000			1.71	1.43
34,000			1.73	1.49
38,000			1.76	1.48
42,000			1.78	1.53
46,000		1.79	1.56	

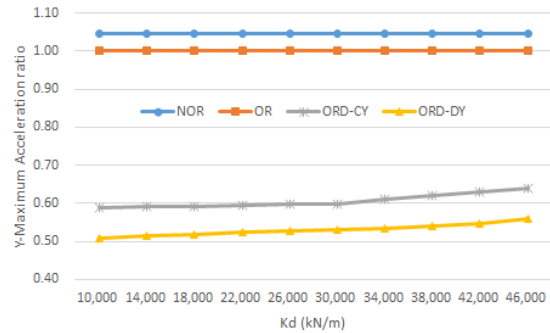
〈Table 14〉 Y Dir. maximum acceleration based on the stiffness value (Unit : m/sec<sup>2</sup>)

K(kN/m)	Model			
	NOR	OR	ORD-CY	ORD-DY
10,000			1.59	1.37
14,000			1.59	1.39
18,000			1.60	1.40
22,000			1.60	1.42
26,000	2.8200	2.7000	1.61	1.42
30,000			1.62	1.43
34,000			1.65	1.44
38,000			1.67	1.46
42,000			1.70	1.47
46,000		1.72	1.51	

X방향에서 가속도 응답은 ORD-CX모델과 ORD-X모델 모두 강성값이 10,000kN/m일 때 1.6m/sec<sup>2</sup>, 1.35m/sec<sup>2</sup>의 최소 가속도 응답이 나타났다. Y방향에서는 ORD-CY모델과 ORD-DY모델 모두 강성값이 10,000kN/m일 때 각각 1.59m/sec<sup>2</sup>, 1.37m/sec<sup>2</sup>의 최소 가속도 응답이 나타났다.



〈Fig. 10〉 X Dir. maximum acceleration ratio based on the stiffness value



〈Fig. 11〉 Y Dir. maximum acceleration ratio based on the stiffness value

〈Fig. 10〉은 OR모델을 기준으로 댐퍼 모델의 강성( $K_d$ )값에 따른 X방향 최상층 최대 수평 가속도 응답을 비로 나타낸 그래프이다. OR모델 대비 각각 최대 30.13%, 41.05%의 수평 가속도 응답 저감을 확인하였다. 〈Fig. 11〉은 Y방향 최상층 최대 수평 가속도 응답비 그래프로 ORD모델 대비 각각 최대 41.11%, 49.26%의 응답 저감을 확인하였다. X방향과 Y방향 모두 강성의 영향이 적은 초기 구간에서 최대 가속도 응답 저감을 보인 후, 강성값이 증가함에 따라 가속도 응답이 증가하는 양상을 보였다. 강성값이 증가함에 따른 감쇠값 차에 따른 X방향 가속도 응답차는 10.92%에서 12.23%로 증가하였으나 최종 응답차는 10.04%로 초기 응답차와 유사하게 나타났다. Y방향 가속도 응답차는 8.15%에서 7.78%으로 저감하여 비교적 일정하게 유지되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 초고층 건물에서 아웃리저 댐퍼시스템의 풍하중에 대한 동적 응답 제어 성능을 검토하고자 상용 프로그램(Midas Gen Ver 860)을 사용하여 50층 규모의 건물을 모델링하였고, 풍응답 제어 성능을 비교하기 위해 댐퍼의 특성인 감쇠값과 강성값을 변수로 하여 구조 해석을 실시하였다. X방향과 Y방향의 최상층 최대 수평 변위 응답과 가속도 응답을 비교 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 아웃리저 댐퍼의 감쇠값 변화에 따른 변위 응답과 가속도 응답을 분석한 결과, 감쇠값 영향이 적

은 초기 구간에서 X방향 최상층 최대 수평 변위 응답이 OR모델의 수평 변위 응답을 초과한 구간을 제외한 모든 영역에서 감쇠값이 증가함에 따라 최대 28.33%, 49.26%의 변위 및 가속도 응답이 감소하였다.

2) 아웃리거 댐퍼의 강성값에 따른 변위 응답과 가속도 응답을 분석한 결과, OR모델 대비 최대 28.33%, 49.26%의 변위 및 가속도 응답 저감을 확인하였다. 그러나 강성값이 증가함에 따라 응답이 증가하는 양상이 나타났으며, 강성값 영향이 증대되는 중후반 구간에서 X방향 최상층 최대 수평 변위 응답이 OR모델의 수평 변위 응답을 초과하였다.

3) 강성값 차에 따른 변위 및 가속도 응답차는 최대 11.32%, 8.3%로 나타났으며, 감쇠값이 증가함에 따라 강성값 차에 따른 변위 응답과 가속도 응답의 차가 감소하였다. 감쇠값 차에 따른 변위 및 가속도의 응답차는 최대 20.75%, 12.23%로 강성값 차에 따른 응답차보다 비교적 크게 나타났다.

4) 응답 결과를 분석한 결과, 댐퍼의 강성( $K_d$ ) 값과 감쇠( $C_d$ ) 값이 최소 1:1.5의 비를 가지게 되면 20% 이상의 변위 응답 저감, 1:2의 비를 가지게 되면 30% 이상의 가속도 응답 저감이 가능한 것으로 나타났다.

따라서 아웃리거 댐퍼시스템을 이용한 고층 건물의 풍응답 제어 시 댐퍼의 강성값은 낮추고 감쇠값은 상대적으로 증가시키는 것이 효과적이지만 댐퍼의 감쇠 용량 증가에 따른 비용 증가를 고려하여 강성값에 따른 적절한 비의 감쇠값을 선정하는 것이 경제적인 것으로 판단된다.

본 논문에서는 실제 건물이 아닌 임의의 해석 모델을 사용하여 실험을 진행하였다. 실질적인 결과값을 얻기 위해서는 실제 건물을 모델화하여 해석을 진행하는 것이 필요하다고 판단된다. 또한 2016년 이후 국내에서도 지진 활동이 빈번하게 발생함에 따라 다양한 지진 하중에 대한 동적 응답 특성 분석 및 댐퍼의 최적값 탐색 등 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## References

1. Joung, J. W., Kim, J. Y., & Kim, D. Y. (2010). Semi-active Structural Control using Outrigger Damper System. Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Republic of Korea, Vol.2010, No.10, pp.234~235
2. Smith, R. J., & Willford, M. R., "Damped outriggers for tall building", The Arup Journal, No.3, pp.15~21, 2008
3. Park, G. D., kim, D. Y., Joung, D. K., & Yang, D. H., "Improving Construction Quality and Conveniency by Applying Outrigger Dampers to Outrigger to Perimeter Column Joints", Review of Architecture and Building Science, Vol.53, No.8, pp.30~37, 2009
4. Smith, R. J., & Willford, M. R., "The damped outrigger concept for tall buildings", The Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol.16, No.4, pp.501~517, 2007
5. Nanduri, R. K., Suresh, B., & Hussain, I., "Optimum Position of Outrigger System for High-Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind and Earthquake Loadings", American Journal of Engineering Research, Vol.2 No.8, pp.76~89, 2013
6. McNabb, J. W., & Muvdi, B. B., "Drift reduction factors for belted high-rise structures", Engineering journal, Vol.12, No.3, pp.88~91, 1975

■ Received : June 29, 2018

■ Revised : July 04, 2018

■ Accepted : July 04, 2018