

# 아웃리거 댐퍼 시스템의 고층건물 풍응답 진동제어 성능 평가

## Evaluation of Vibration Control Performance of Outrigger Damper System for Tall Buildings Subjected to Wind Loads

윤성욱\*      이령경\*      김광일\*\*      김현수\*\*\*      강주원\*\*\*\*  
Yoon, Sung-Wook    Lee, Lyeong-Kyeong    Kim, Kwang-Il    Kim, Hyun-Su    Kang, Joo-Won

### Abstract

Recently, the concept of damped outrigger system has been proposed for tall buildings. But, structural characteristics and design method of this system were not sufficiently investigated to date. In this study, the dynamic response control performance of outrigger damper has been analyzed. To this end, a simplified analysis model with outrigger damper system has been developed. An artificial wind of 1000 seconds with 0.1 second time steps was generated by using a Kaimal spectrum. Analysis results show that outrigger damper system is more effective up to 20-23% in the control of dynamic response compared to conventional outrigger system. The increase of outrigger damper capacity usually results in the improved control performance. However, it is necessary to select that proper stiffness and damping values of the outrigger damper system because, the outrigger damper having large capacity is result in heavy financial burden.

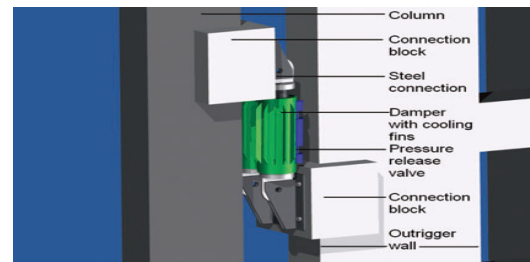
*Keywords : Outrigger damper system, Wind load, Dynamic response control, Optimal design, Time history analysis*

### 1. 서론

초고층의 설계 및 시공에서 가장 중요한 요소로 결정되는 것은 초고층의 구조 시스템이다. 초고층 건물을 위해서 매우 다양한 구조시스템이 적용되고 있지만 이 중 아웃리거 구조시스템은 상당히 효과적인 횡력저항 시스템으로 널리 활용되고 있다.<sup>1)</sup> 아웃리거 시스템이 적용된 대표적인 해외 건물로는 ICC (International Commerce Center, 490m, 118층), JinMao Tower(420.5m, 93층) 등이 있으며, 국내의 대표적인 초고층 건물인 목동 하이페리온(254m, 69

층), 동북아 무역센터(305m, 68층)에도 아웃리거 시스템이 적용되었다.<sup>2)</sup> 아웃리거 시스템에 대한 기존의 연구는 주로 최적의 설치위치 등에 대한 내용이 주를 이루고 있다.<sup>3)</sup>

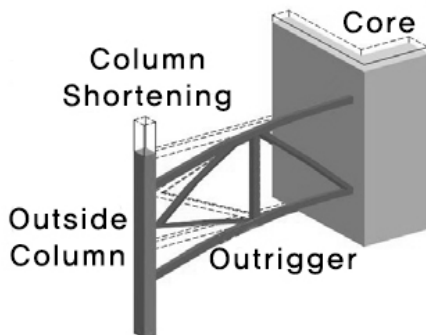
<Fig. 1>과 같이 최근에는 전통적인 아웃리거 시스템에서 외곽 기둥과 아웃리거 사이에 댐퍼를 설치하는 아웃리거 댐퍼 시스템이 제안되어 고층건물의 풍응답 제어에 사용된 바가 있다.<sup>4)</sup> 이 경우에 풍진동을 제어하는데 매우 효과적이고 물량감소로 인해 경제성도 우수하다고 평가되었고 이러한 연구는 세계적으로 선도적인 연구성과로 인정받고 있다.



(Fig. 1) Conceptual detail at outrigger level<sup>4)</sup>

\* 정회원, 영남대학교 대학원 건축학과, 석사과정  
Dept. of Architecture, Grad. School, Yeungnam University  
\*\* 정회원, 영남대학교 대학원 건축학과, 박사수료  
Dept. of Architecture, Grad. School, Yeungnam University  
\*\*\* 정회원, 선문대학교 건축사회환경학부 부교수, 공학박사  
Div. of Architecture, Architectural & Civil Engrg.,  
Sunmoon Univ.  
\*\*\*\* 교신저자, 종신회원, 영남대학교 건축학과 교수, 공학박사  
School of Architecture, Yeungnam University  
Tel: 053-810-2429 Fax: 031-810-4625  
E-mail: kangj@ynu.ac.kr

국내에서도 송도에 건설된 동북아무역센터 (NEATT)에 아웃리저 댐퍼를 설치하여 사용한 바가 있다. 동북아무역센터는 지상 68층에 높이 305m로서 횡하중에 대한 저항성능을 향상시키기 위하여 아웃리저 시스템을 사용하였는데 고층건물에 적용된 아웃리저 시스템에서는 <Fig. 2>에 나타난 바와 같이 코어 전단벽과 외곽기둥의 부등축소로 인해 아웃리저와 외곽기둥 접합부의 응력이 증가할 수 있다. 동북아무역센터에서는 이러한 응력의 흡수를 주목적으로 아웃리저 댐퍼를 설치하였다.



<Fig. 2> Differential column shortening in outrigger system<sup>5)</sup>

아웃리저 댐퍼 시스템에 관한 연구는 전 세계적으로 아직 초기 단계에 있기 때문에 아웃리저 댐퍼 시스템의 제어성능 분석이나 해석 및 설계와 관련된 연구는 많지 않다. 김병전 등<sup>6)</sup>은 건축물의 풍진동 제어를 위한 아웃리저 댐퍼 시스템의 설계에 대한 연구를 위하여 강성과 감쇠가 복합적으로 거동하면서 발생하는 아웃리저 댐퍼 시스템의 응답특성을 검토하였고 아웃리저 댐퍼의 최적위치와 적정용량을 찾기 위한 연구를 수행하였다. Chen 등<sup>7)</sup>은 아웃리저 댐퍼 시스템이 설치된 고층건물의 해석기법을 제안하였고 이를 바탕으로 아웃리저 댐퍼의 최적설치 위치 및 적정용량을 설계할 수 있는 디자인 커브를 제안하였다. 이 연구는 해석적 방법으로 접근하여 일반 엔지니어가 연구결과에 쉽게 접근할 수 있는 장점이 있지만 다양한 형태의 아웃리저 시스템에 적용하기에는 제한점이 존재한다.

기존의 전통적인 아웃리저 시스템은 동적응답이 구조물의 강성분포에만 의존한다. 또한 고층건물의 동적응답을 저감시키기 위하여 추가적인 감쇠를 사

용한 기존의 댐퍼에 대한 연구는 감쇠만을 고려하면 되므로 비교적 명료하게 연구가 수행될 수 있었다. 그러나 아웃리저 댐퍼 시스템은 강성과 감쇠가 복합적으로 거동하므로 쉽게 최적설계가 이루어지기 어렵다. 이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 상용 프로그램을 이용하여 풍하중을 받는 고층건물을 대상으로 아웃리저 시스템과 아웃리저 댐퍼 시스템의 동적응답 제어성능을 검토하고 그 성능을 분석하고자 한다.

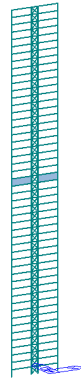
## 2. 해석 모델

### 2.1 해석모델 개요

본 해석에서는 풍하중을 받는 고층건물에 대한 아웃리저 댐퍼 시스템의 동적응답 제어성능을 검토하기 위하여 <Fig. 3>에 나타난 바와 같이 아웃리저 댐퍼 해석 모델을 사용하였다. 해석모델의 일반사항은 다음과 같다.

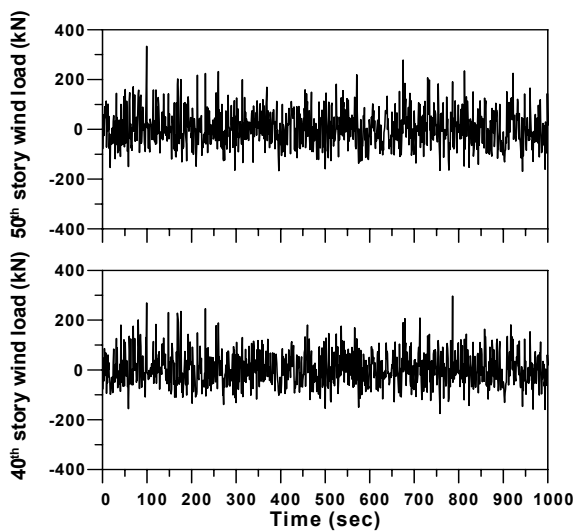
- 높이(h) : 5m × 50층 = 250m
- 주평면 : XZ평면
- 전단코어 : 10m, 트러스
- 구조물 재료 : Steel SS400
- 아웃리저 : 평판
- 아웃리저 두께 : 0.5m
- 아웃리저 위치 : 0.525h = 135m (27층)
- 기둥 단면 : H 700 × 300 × 13 / 24
- 보 단면 : H 800 × 300 × 14 / 26
- 주요 모드 주기
  - 1차모드 주기 : 4.518초
  - 2차모드 주기 : 1.232초
  - 3차모드 주기 : 0.605초
- 인공풍하중 입력
  - End Time : 1,000초
  - Time Increment : 0.1초
  - 풍하중 재하 위치 : 높이 5m 간격으로 보 중심 50개 절점에 입력(Dynamic Nodal Load)
- 댐퍼 속성 입력 : 아웃리저 평판 하단부 및 상단부에 생성(General Link)

- 댐퍼 용량 : 점탄성감쇠(Viscoelastic Damper) 사용, Damping( $C_d$ )  $200kN \cdot sec/m$  단위,  $200 \sim 3,000kN \cdot sec/m$
- 모델 세장비 : 1:7



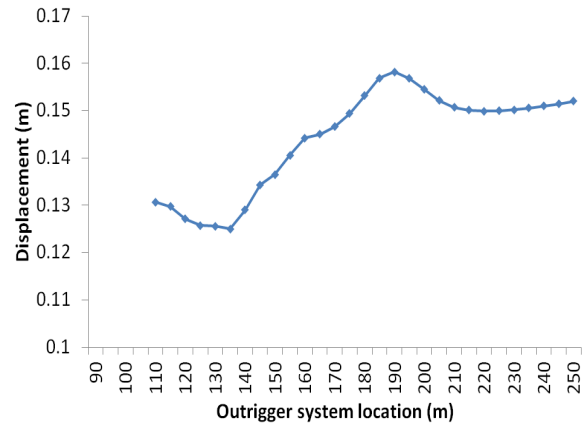
<Fig. 3> Analytical model

본 연구에서는 Kaimal Spectrum을 이용하여 인공풍하중을 작성하였으며 아웃리거 댐퍼시스템의 진동제어성능을 풍방향 성분만을 고려하여 평가하였다. 인공풍하중의 작성 시 기본 풍속은 30m/s, 노풍도는 C로 하였고 0.1초 간격으로 1000초 동안의 풍하중을 작성하였다. 풍하중을 받는 예제구조물의 폭은 <Fig. 3>에 나타난 바와 같이 35m이고 층고는 5m이므로 각 층에 집중하중의 형태로 인공풍하중 데이터를 생성하였다. 본 연구에서 사용한 40층과 50층의 풍하중 시간이력 그래프를 <Fig. 4>에 나타내었다.



<Fig. 4> Wind load time histories

<Fig. 5>는 아웃리거의 위치를 바꿔가면서 입력된 풍하중에 대한 최상층 변위의 RMS값을 구한 그래프이다. 135m에서 최소 변위를 보여주며 이는 기존 연구<sup>8)</sup>에서 나온 아웃리거 시스템의 최적 위치인 0.525h와 근사하며, 강성값과 감쇠값에 따른 해석 모델은 135m에 아웃리거를 고정하여 모델링하였다.



<Fig. 5> Optimal location of Outrigger system

## 2.2 모델링 및 분석방법

본 연구에서는 대상 건물의 27층에 아웃리거 댐퍼 시스템을 둔 기본모델에 대하여 댐퍼의 속성은 S/W상의 General Link Properties에서 점탄성감쇠(Viscoelastic Damper)로 사용하였다. 댐퍼의 감쇠( $C_d$ )를 입력하고 강성( $K_d$ )은 점탄성감쇠 속성의 강성값으로 입력하였다.

아웃리거가 설치되지 않은 NOR50 모델과 아웃리거만 설치된 OR50-0 모델 두 모델을 기본모델로 두고, 댐퍼의 감쇠값에 따른 동적응답 저감성능을 검토하기 위하여 감쇠범위  $200 \sim 3,000kN \cdot sec/m$ 로 하여 강성값( $K_d$ ) 500, 1,000, 1,500,  $2,000kN/m$ 에 대한 네 가지 해석모델을 사용하여 분석하였다. 또한 댐퍼의 강성값의 변화에 따른 동적응답 저감성능을 검토하기 위하여 강성범위  $200 \sim 3,000kN/m$ 로 하여 감쇠값( $C_d$ ) 1,000, 1,500, 2,000,  $2,500kN \cdot sec/m$ 에 대한 네 가지 모델을 사용하여 해석을 수행하였다. 감쇠값과 강성값에 따른 해석모델에 관한 자세한 사항은 <Table 1> 및 <Table 2>에 나타내었다. 댐퍼의 감쇠( $C_d$ )값 및 강성( $K_d$ )값의 변화에 따라 최

상층의 최대 및 RMS 변위, 최대 및 RMS 가속도를 구하여 비교 분석하였다.

<Table 1> Analysis model with changes in damping value

Model	Outrigger presence	Outrigger damper presence	Damper stiffness value <i>kN/m</i>	Changes in damping value <i>kN · sec/m</i>
NOR50	-	-	-	-
OR50-0	O	O	10,000	200~3,000
ORD50-A			15,000	
ORD50-B			20,000	
ORD50-C			25,000	
ORD50-D				

<Table 2> Analysis model with changes in stiffness value

Model	Outrigger presence	Outrigger damper presence	Damper damping value <i>kN · sec/m</i>	Changes in stiffness value <i>kN/m</i>
NOR50	-	-	-	-
OR50-0	O	O	500	200~3,000
ORD50-E			1,000	
ORD50-F			1,500	
ORD50-G			2,000	
ORD50-H				

### 3. 해석 결과 및 분석

#### 3.1 기본모델 동적응답

풍하중을 받는 아웃리저가 설치되지 않은 NOR50 모델과 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델의 최상층 동적응답은 <Table 3>과 같다.

기본모델에 대한 해석 결과, 아웃리저가 설치되지 않은 NOR50 모델 대비 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델이 최대 수평변위에 대하여 21.8%, 수평변위 RMS에 대하여 4.7%, 최대 수평가속도에 대하여 1.2%, 수평가속도 RMS에 대하여 1.2%의 응답 저감 효과를 나타내었다.

<Table 3> Dynamic response of the basic model the top floor

Model	Maximum displacement ( <i>m</i> )	Displacement RMS ( <i>m</i> )	Maximum acceleration ( <i>m/sec<sup>2</sup></i> )	Acceleration RMS ( <i>m/sec<sup>2</sup></i> )
NOR50	0.792	0.232	2.199	0.639
OR50-0	0.650	0.222	2.173	0.599

#### 3.2 감쇠값에 따른 최상층 동적응답

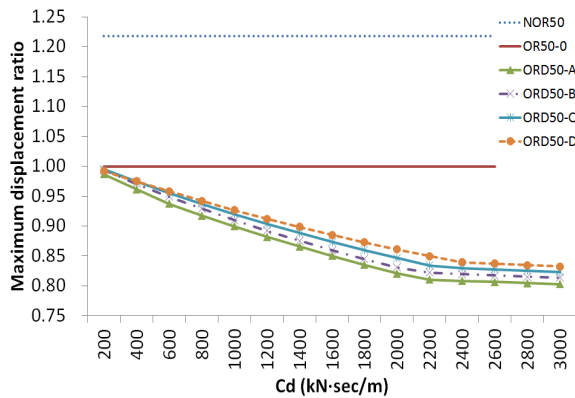
풍하중을 받는 해석모델에서 아웃리저 댐퍼의 감쇠( $C_d$ )에 따른 최상층의 최대 수평변위 변화를 <Table 4>에 나타내었다. 아웃리저 댐퍼가 설치된 모델은 모두 감쇠의 증가에 따라 최상층 변위가 점차 감소하게 되며, 감쇠값  $2,400kN \cdot sec/m$  이상에서 모든 모델의 최대 변위가 약 0.533m로 수렴하는 경향을 나타낸다.

<Table 4> Maximum displacement based on the damping value (unit : m)

$C_d$ \ Model	ORD50 -A	ORD50 -B	ORD50 -C	ORD50 -D
600	0.609	0.617	0.621	0.623
800	0.596	0.604	0.609	0.612
1,000	0.585	0.591	0.598	0.602
1,200	0.573	0.580	0.587	0.593
1,400	0.563	0.569	0.577	0.584
1,600	0.552	0.559	0.568	0.575
1,800	0.543	0.549	0.559	0.567
2,000	0.533	0.540	0.550	0.560
2,200	0.527	0.534	0.542	0.552
2,400	0.525	0.533	0.540	0.546
2,600	0.524	0.531	0.538	0.544
2,800	0.523	0.530	0.537	0.543
3,000	0.522	0.529	0.535	0.541

<Fig. 6>은 OR50-0 모델을 기준으로 최상층 최대 변위에 대한 비를 나타낸 그래프이다. 아웃리저가 설치되지 않은 NOR50 모델 대비 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델은 21%의 변위제어 성능이 향상되었다. 최소값은 ORD50-A 모델의 감쇠( $C_d$ )값이  $3,000kN \cdot sec/m$ 일 때 0.522로 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델보다 19.7% 응답저감 효과를 보인다.

그래프의 양상을 보면 강성값이 작은 모델일수록 더 낮은 최대변위 값을 나타내며, 모든 모델이 감쇠값의 증가에 따라 일정 비율로 최대변위가 감소하다가 감쇠값  $2,200kN \cdot sec/m$ 을 시작으로 일정값에 수렴하는 양상을 나타낸다. <Table 4>와 <Fig. 6>을 보면 아웃리거 댐퍼의 강성이 큰 것이 최상층 최대 변위의 제어에 그다지 큰 효과를 발휘하지 못하는 것을 알 수 있다.



<Fig. 6> Maximum displacement ratio based on the damping value

<Table 5>는 최상층 수평변위 RMS값을 나타낸 표이다. 이를 살펴보면 감쇠( $C_d$ )값이 가장 낮은 200  $kN \cdot sec/m$ 일 때 ORD50-C, ORD50-D 모델이 아웃리거만 설치된 OR50-0 모델보다 미소하게 큰 변위 RMS를 나타내었으나, 감쇠값의 증가에 따라 점차적으로 변위 RMS가 크게 줄어드는 경향을 나타내었다. 아웃리거 댐퍼의 감쇠값이 증가함에 따라 변위 RMS값은 감소하지만 아웃리거 댐퍼의 강성값이 증가함에 따라 RMS 변위값이 증가하는 경향을 볼 수 있다.

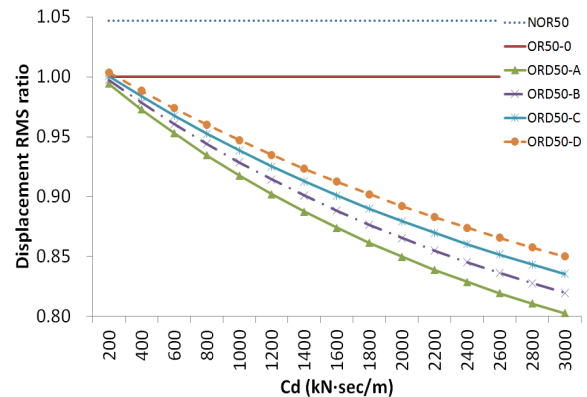
<Fig. 7>은 최상층 수평변위 RMS값을 OR50-0 모델을 기준으로 그에 대한 비로 나타낸 그래프이다. ORD50-C, ORD50-D 모델의 경우 감쇠( $C_d$ ) 200  $kN \cdot sec/m$ 의 값에서 최대변위는 아웃리거만 설치된 OR50-0 모델보다 작게 나타났지만 RMS 그래프에서는 미소하게 더 큰 값을 나타낸다.

<Fig. 6>의 최대 수평변위 비율 그래프에서는 감쇠값  $2,200kN \cdot sec/m$ 부터 수렴하는 양상을 나타내지만 RMS 비율 그래프에서는 수렴하는 양상을

나타내지 않았다.  $3,000kN \cdot sec/m$  이상의 감쇠값에 대해서 최대 수평변위 제어는 한계가 있지만 변위 RMS 제어는 더 높은 감쇠값에 대해서도 효과가 있는 것으로 판단된다.

<Table 5> Displacement RMS based on the damping value (unit : m)

$C_d$ \ Model	ORD50 -A	ORD50 -B	ORD50 -C	ORD50 -D
600	0.211	0.213	0.214	0.216
800	0.207	0.209	0.211	0.213
1,000	0.203	0.206	0.208	0.210
1,200	0.200	0.203	0.205	0.207
1,400	0.197	0.200	0.202	0.205
1,600	0.194	0.197	0.200	0.202
1,800	0.191	0.194	0.197	0.200
2,000	0.188	0.192	0.195	0.198
2,200	0.186	0.189	0.193	0.196
2,400	0.184	0.187	0.191	0.194
2,600	0.182	0.185	0.189	0.192
2,800	0.180	0.183	0.187	0.190
3,000	0.178	0.182	0.185	0.188



<Fig. 7> Displacement RMS ratio based on the damping value

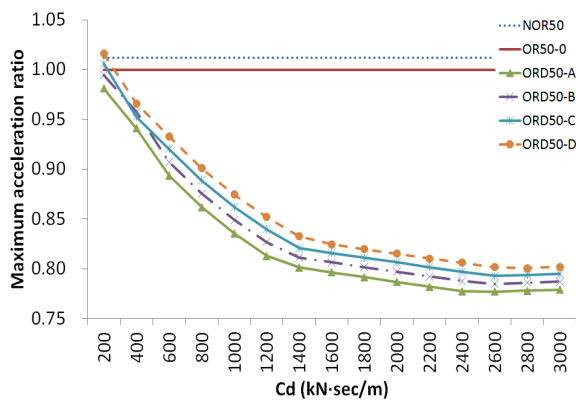
<Fig. 6>과 <Fig. 7>에 나타난 그래프 양상을 보았을 때, 감쇠( $C_d$ )값의 증가에 관계없이 강성( $K_d$ )값의 증가는 수평변위를 증가시키는 영향을 보였다. 또한, 감쇠( $C_d$ )값의 증가는 강성( $K_d$ )값에 관계없이 수평변위 제어에 효과가 있는 것으로 판단된다. 아웃리거 댐퍼의 설치는 감쇠( $C_d$ )값에 따라 아웃리거만 설치된 모델 대비 최대 21%까지 변위응답제어의 효과를 볼 수 있는 것으로 판단된다.

해석모델의 최상층 최대 수평가속도 응답을 <Table 6>에 나타내었다. 감쇠( $C_d$ )값  $200kN \cdot sec/m$ 에서는 가속도응답이 NOR50 모델 및 OR50-0 모델보다 ORD50-C, ORD50-D 모델이 더 크게 나타나지만 감쇠값의 증가에 따라 최상층 가속도 제어효과가 커지며 기본모델보다 더 낮은 가속도 응답을 보인다.

<Table 6> Maximum acceleration based on the damping value

(unit :  $m/sec^2$ )

Model $C_d$	ORD50 -A	ORD50 -B	ORD50 -C	ORD50 -D
600	1.942	1.972	2.000	2.027
800	1.873	1.903	1.931	1.958
1,000	1.815	1.845	1.874	1.901
1,200	1.767	1.797	1.825	1.851
1,400	1.742	1.763	1.783	1.809
1,600	1.731	1.753	1.773	1.792
1,800	1.720	1.742	1.762	1.781
2,000	1.710	1.732	1.752	1.771
2,200	1.699	1.722	1.742	1.761
2,400	1.689	1.712	1.733	1.752
2,600	1.688	1.706	1.723	1.742
2,800	1.691	1.709	1.725	1.740
3,000	1.693	1.711	1.727	1.743



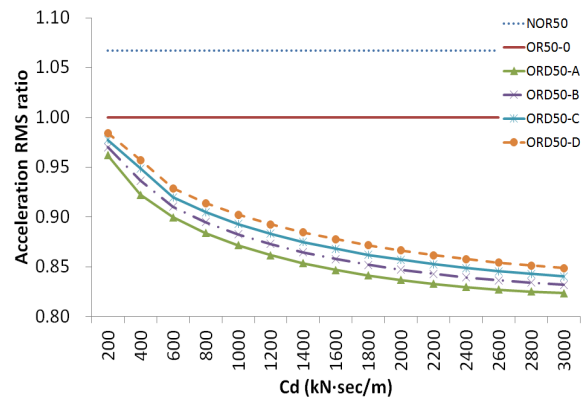
<Fig. 8> Maximum acceleration ratio based on the damping value

<Fig. 8>은 최상층 최대 수평가속도를 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델을 기준으로 그에 대한 비율로 나타낸 그래프이다. 최대값은 ORD50-D 모델의 감쇠값  $200kN \cdot sec/m$ 에서 1.016으로 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델보다 약 1.6% 큰 가속도응답을 보인다. 최소값은 ORD50-A 모델의 감쇠값  $2,600$

$kN \cdot sec/m$ 에서 0.777로 OR50-0 모델 대비 22.3% 가속도응답 저감효과를 나타낸다. 아웃리저 댐퍼가 설치된 4개의 모델은 모두 감쇠( $C_d$ )값의 증가에 따라 최대 수평가속도 응답이 저감되는 것을 볼 수 있다. 감쇠값  $2,300kN \cdot sec/m$  이상에서의 최대 수평가속도 값은 ORD50-A, ORD50-B, ORD50-C, ORD50-D 4개의 모델에서 모두 일정 값으로 수렴하는 양상을 나타낸다.

<Table 7> Acceleration RMS based on the damping value (unit :  $m/sec^2$ )

Model $C_d$	ORD50 -A	ORD50 -B	ORD50 -C	ORD50 -D
600	0.539	0.545	0.551	0.556
800	0.530	0.536	0.542	0.548
1,000	0.522	0.529	0.535	0.541
1,200	0.516	0.523	0.529	0.535
1,400	0.511	0.518	0.524	0.530
1,600	0.507	0.514	0.520	0.526
1,800	0.504	0.511	0.517	0.522
2,000	0.501	0.508	0.514	0.519
2,200	0.499	0.505	0.511	0.516
2,400	0.497	0.503	0.509	0.514
2,600	0.496	0.501	0.507	0.512
2,800	0.494	0.500	0.505	0.510
3,000	0.493	0.499	0.504	0.509



<Fig. 9> Acceleration RMS ratio based on the damping value

<Table 7>은 최상층 수평가속도 응답의 RMS 데이터이다. 최대 수평 가속도응답과는 다르게 감쇠값이 낮은 초기에 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델보다 작은 가속도 RMS값을 나타낸다. 최대 가속도와



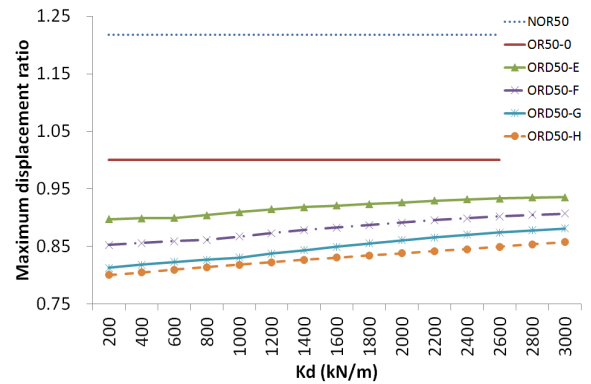
마찬가지로 감쇠값의 증가에 따라 가속도 응답이 줄어드는 경향을 보인다. <Fig. 9>는 최상층 수평가속도 RMS값을 아웃리거만 설치된 OR50-0 모델을 기준으로 그에 대한 비를 나타낸 그래프이다. 최소값은 모델 ORD50-A의 감쇠값  $3,000kN \cdot sec/m$ 에서 0.824로 OR50-0 모델 대비 17.6% 가속도응답 저감 효과를 나타낸다. <Fig. 8>과 <Fig. 9>를 살펴보면, 모든 모델이 강성에 관계없이 감쇠값의 증가에 따라 가속도응답 제어효과가 증대된다. 그러나 일정 감쇠값 이상에서는 가속도응답 제어 효과의 증가가 미소하게 증가되므로 적절한 감쇠값을 사용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

### 3.3 강성값에 따른 최상층 동적응답

<Table 8>은 강성값에 따른 최상층 최대 변위를 나타낸 표이고, <Fig. 10>은 OR50-0 모델을 기준으로 최대 수평변위 비를 나타낸 그래프이다. 그래프 양상을 살펴보면 아웃리거 댐퍼가 설치된 4개의 모델 모두 강성값의 증가에 따라 최대 변위가 일정 비율로 증가하는 양상을 나타내고 있으며, 아웃리거 댐퍼가 설치된 모델 중 감쇠값이 가장 낮은 ORD50-E 모델이 가장 큰 최대변위를 나타내고 감쇠값의 증가에 따라 낮은 최대변위 응답을 나타내고 있다. 최소값은 강성값  $200kN/m$ 에서 ORD50-H 모델이 0.800으로 아웃리거만 설치된 OR50-0 모델 대비 20%의 최대변위 응답저감 효과를 보인다.

<Table 8> Maximum displacement based on the stiffness value (unit : m)

Model $K_d$	ORD50 -E	ORD50 -F	ORD50 -G	ORD50 -H
1,200	0.594	0.568	0.544	0.535
1,400	0.597	0.571	0.548	0.537
1,600	0.599	0.574	0.552	0.540
1,800	0.600	0.577	0.556	0.542
2,000	0.602	0.580	0.560	0.545
2,200	0.604	0.582	0.563	0.547
2,400	0.606	0.585	0.566	0.549
2,600	0.607	0.587	0.568	0.552
2,800	0.608	0.588	0.571	0.555
3,000	0.608	0.590	0.573	0.557

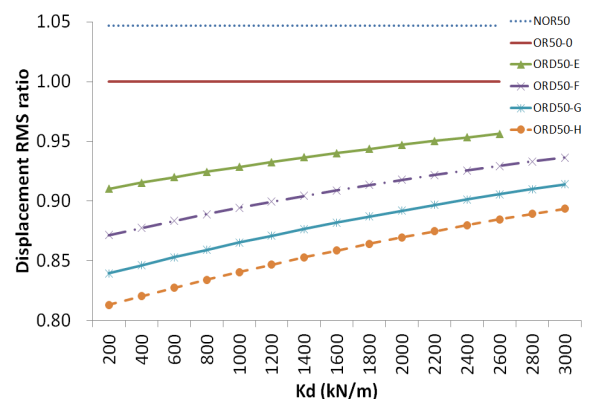


<Fig. 10> Maximum displacement ratio based on the stiffness value

<Table 9>는 수평변위 RMS값을 나타낸 표이다. 강성값의 증가에 따라 수평변위 RMS값이 증가하는 경향을 보이며, 감쇠값이 높은 모델일수록 더 낮은 응답을 나타내고 있다.

<Table 9> Displacement RMS based on the stiffness value (unit : m)

Model $K_d$	ORD50 -E	ORD50 -F	ORD50 -G	ORD50 -H
1,200	0.207	0.199	0.193	0.188
1,400	0.208	0.200	0.194	0.189
1,600	0.208	0.201	0.195	0.190
1,800	0.209	0.202	0.197	0.191
2,000	0.210	0.203	0.198	0.193
2,200	0.211	0.204	0.199	0.194
2,400	0.211	0.205	0.200	0.195
2,600	0.212	0.206	0.201	0.196
2,800	0.212	0.207	0.202	0.197
3,000	0.213	0.207	0.202	0.198



<Fig. 11> Displacement RMS ratio based on the stiffness value

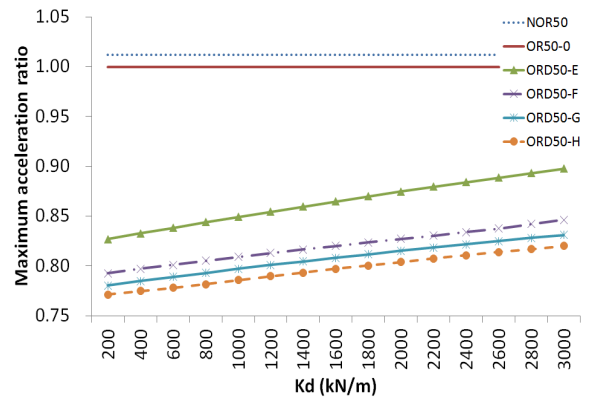
<Fig. 11>은 OR50-0 모델을 기준으로 수평변위 RMS 비율을 나타낸 그래프이다. <Fig. 10> 그래프와 비슷한 양상을 나타내고 있으며, 최소값은 200  $kN/m$ 에서 ORD50-H 모델이 0.813으로 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델 대비 18.7% 응답저감 효과를 나타낸다. 최상층 최대변위를 저감시키는 것이 설계의 목적이라면 가장 낮은 강성값에서 가장 우수한 응답 저감효과를 나타내므로 경제적인 설계안을 찾을 수 있을 것이다.

강성값에 따른 최상층 최대 수평가속도 응답은 <Table 10>과 같다. 아웃리저 댐퍼가 설치된 모델 중 감쇠값이 가장 낮은 ORD50-E 모델이 가장 큰 가속도 응답을 보이며, 감쇠값의 증가에 따라 낮은 가속도 응답을 나타내고 있다. 모든 모델이 강성값의 증가에 따라 가속도 응답이 일정비율로 증가하는 양상을 나타내고 있다.

<Table 10> Maximum acceleration based on the stiffness value  
(unit :  $m/sec^2$ )

Model $K_d$	ORD50 -E	ORD50 -F	ORD50 -G	ORD50 -H
1,200	1.857	1.766	1.740	1.716
1,400	1.868	1.774	1.748	1.724
1,600	1.879	1.782	1.756	1.732
1,800	1.890	1.789	1.764	1.739
2,000	1.901	1.797	1.771	1.747
2,200	1.911	1.805	1.778	1.754
2,400	1.921	1.812	1.786	1.761
2,600	1.931	1.820	1.793	1.768
2,800	1.941	1.830	1.799	1.775
3,000	1.950	1.839	1.806	1.782

<Fig. 12>는 강성값에 따른 최상층 최대 수평가속도를 OR50-0 모델을 기준으로 그에 대한 비율로 나타낸 그래프이다. 강성값이 증가함에 따라 가속도 응답은 증가하는 양상을 나타내고 있다. 감쇠값이 클수록 가속도응답 제어에 더 효과적이며, 최대 22.9%의 가속도응답 제어 효과가 있는 것으로 나타났다. 감쇠값의 증가에 따라 가속도 응답저감 효과는 증가하나 응답저감 효과의 증가치는 점점 감소하므로 적절한 감쇠값의 선택이 경제적인 것으로 판단된다.



<Fig. 12> Maximum acceleration ratio based on the stiffness value

강성값에 따른 최상층 수평가속도 RMS를 <Table 11>에 나타내었다. 강성값에 따른 최상층 수평가속도 RMS 데이터를 보면 최대 수평가속도 데이터와 마찬가지로 강성값의 증가에 따라 응답이 증가하는 양상을 나타낸다.

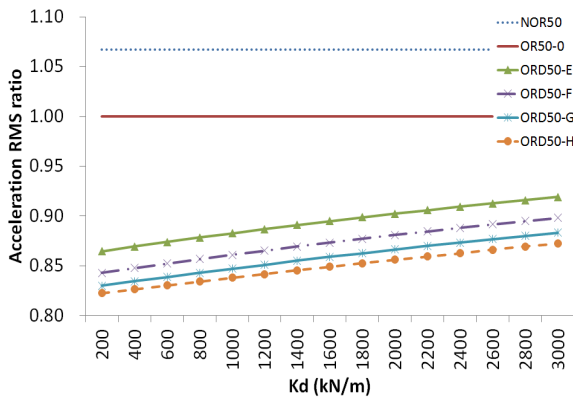
<Table 11> Acceleration RMS based on the stiffness value (unit :  $m/sec^2$ )

Model $K_d$	ORD50 -E	ORD50 -F	ORD50 -G	ORD50 -H
1,200	0.532	0.519	0.510	0.504
1,400	0.534	0.521	0.512	0.507
1,600	0.536	0.523	0.515	0.509
1,800	0.539	0.526	0.517	0.511
2,000	0.541	0.528	0.519	0.513
2,200	0.543	0.530	0.521	0.515
2,400	0.545	0.532	0.523	0.517
2,600	0.547	0.534	0.525	0.519
2,800	0.549	0.536	0.527	0.521
3,000	0.551	0.538	0.529	0.523

<Fig. 13>은 최상층 수평가속도 RMS를 OR50-0 모델을 기준으로 그에 대한 비로 나타낸 그래프이다. <Fig. 12>의 최대 가속도 응답 그래프에서는 감쇠값이  $1,000kN \cdot sec/m$ 인 모델 ORD50-E 모델과 감쇠값이  $1,500kN \cdot sec/m$ 인 ORD50-F 모델 사이의 응답 저감효과가 크게 나타났지만 수평가속도 RMS 그래프에서는 그 차이가 크지 않게 나타났다. 최소값은 감쇠값이  $2,500kN \cdot sec/m$ 인 모델 ORD50-H 모델의 강성값  $200kN/m$ 에서 0.823으로 아웃리저만 설치된 OR50-0 모델 대비 17.7% 응답



저감효과를 나타낸다.



〈Fig. 13〉 Maximum acceleration ratio based on the stiffness value

#### 4. 결론

본 연구에서는 전통적인 아웃리거 시스템에 추가적인 댐퍼를 설치한 아웃리거 댐퍼 시스템을 검토하였고 기존 아웃리거 시스템 대비 동적응답 제어성능을 분석하였다. 이를 위하여 상용프로그램을 이용하여 아웃리거 댐퍼 시스템이 적용된 단순화한 고층건물 모델을 사용하였고 인공풍하중을 입력하여 최상층의 최대 수평변위, RMS 수평변위, 최대 수평가속도, RMS 수평가속도 값을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 아웃리거 댐퍼는 아웃리거만 설치된 경우 보다 최대 21%의 변위제어 효과를 나타낸다. 감쇠값이 커질수록 최대 수평변위 제어 효과의 증가는 미약하며, 수평변위가 일정값에 수렴하는 양상을 나타내므로 적절한 감쇠값의 적용이 필요한 것으로 판단된다.
- (2) 아웃리거 댐퍼의 가속도응답 제어 효과는 아웃리거만 설치된 경우 대비 최대 22.9% 효과를 보였다. 작은 감쇠값에서는 상대적으로 큰 가속도응답을 보였으나 감쇠값의 증가에 따라 가속도응답 제어 효과가 증대되며 큰 감쇠값에서는 제어 효과의 증대는 미약해진다.
- (3) 아웃리거 댐퍼에서 강성값의 증가는 최대 수평변위, 수평변위 RMS, 최대 수평가속도, 수

평가속도 RMS 4가지 응답에 대해 모두 응답을 증가시키는 영향을 보였다. 최상층 응답저감이 설계의 목적이라면 낮은 강성값을 선택하는 것이 경제적인 설계안이 될 것으로 판단된다.

- (4) 아웃리거 댐퍼 시스템의 고층건물에 대한 적용은 기존의 아웃리거 시스템과 비교하여 약 20% 향상된 동적응답제어 성능을 보여준다. 추후에 경제적 설계를 위한 댐퍼의 최적 감쇠 및 강성값에 대한 추가적 연구가 필요한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2014R1A2A2A01005418).

#### References

1. Kim, H. K., Tae, A. R., Kim, J. K., "Investigating the Optimum Outrigger System Location of Tall Building", Proceeding of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol.30, No.1, 2010.
2. Kim, D. H., Chung, K. R., "Evolution of Tall Building Structural System", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.53, No.8, 2009.
3. Raj Kiran Nanduri, P.M.B., Suresh, B. and 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, 2013.
4. Smith, R and Willford, M., "The damped outrigger concept for tall buildings", The Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 16, 2007.

5. Kim, D.Y., "Application of outrigger dampers to songdo NEATT", Spring Conference of The Korea Institute of Building Construction, Vol. 10, No. 1, 2010.
6. Kim, B. J., Lee, S. H., Chung, L., "Design of Outrigger Damper System for Wind-Induced Vibration Control of Building Structures", Jpurnal of The Wind Engineering Institute of Korea, Vol.15, No.4, 2011.
7. Chen, Y., McFarland, D.M., Wang, Z. Spencer Jr., B.F. and Bergman, L.A., "Analysis of tall buildings with damped outriggers", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 136, No. 11, 2010.
8. Kim, H. K., Tae, A. R., Kim, J. K., "Investigating the Optimum Outrigger System Location of Tall Building", Proceeding of Architectural Institute of Korea, Vol.30, No.1, 2010

- Received : June 10, 2015
- Revised : July 31, 2015
- Accepted : August 04, 2015