

아웃리저 시스템 적용에 따른 Twisted 초고층 건물의 변위응답분석

Displacement Response Analysis According to the Outrigger System Arrangement of the Twisted High-Rise Building

황 일 근*
Hwang, Il-Geun

김 현 수**
Kim, Hyun-Su

강 주 원***
Kang, Joo-Won

Abstract

Since atypical high-rise buildings are vulnerable to gravity loads and seismic loads, various structural systems must be applied to ensure the stability of the structure. In this study, the authors selected a 60-story twisted-shaped structure among atypical high-rise structures as an analytical model to investigate its structural behavior concerning the outrigger system. The structural analyses were performed varying the number of installed layers and the arrangement of the outrigger system, as well as the placement of the mega column, as design variables. The analysis revealed that the most effective position for the outrigger was 0.455H from the top layer, consistent with previous studies. Additionally, connecting outriggers and mega columns significantly reduced the displacement response of the model. From an economic standpoint, it is deemed efficient to connect and install outriggers and mega columns at the structure's ends.

Keywords : Twisted shaped building, High-rise building, Outrigger system, Mega column, Displacement response

1. 서론

기존 비정형 형상 구조물은 전통적인 구조시스템의 한계에 의해 직사각형을 단위모듈로 하여 구성된 비교적 단순한 평면 및 입면 비정형 형태를 갖는 건물들에 대한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 최근에는 다이어그리드 시스템과 같은 새로운 구조시스템의 개발로 기존의 정형적 구조에서 벗어나 비정형적이고 독특한 형상을 가진 초고층 건축물이 건설되고 있다. 국내의 경우에도 '포스코타워-송도', '롯데월드타워'와 같은 비정형 초고층 건축물이 건설되어 현대 건축의 역동성과 창의성을 대변하며 건축 기술과 디자인의 진보를 상징하는 중요한 존재로 자리 잡고 있다¹⁾.

국내외적으로 건설되는 비정형 건축물 중 비틀어진 형상을 가지는 Twisted 건축물은 중력하중과 지진하중에 대한 구조적 거동을 예측하기 어려운 특징을 가지고 있다. 사각형의 프레임의 정형 구조물과는 달리 상부층으로부터 전달되는 중력하중이 일정한 각도로 회전되는 평면과 이에 연결된 경사진 기둥 시스템에 추가적인 수평력을 발생시킨다. 또한, Twisted 형상 비정형 구조시스템의 평면 회전각도가 증가할수록 횡강성이 저하되므로, 이를 보강하기 위한 횡력 저항 구조시스템의 도입이 필수적이다²⁾.

현대 초고층 건축물에 아웃리저 시스템을 적용한 연구가 국내외적으로 다수 진행되고 있는 가운데, 본 논문에서는 비정형 초고층 구조물의 횡력저항 구조시스템에 대한 횡변위 저감 효과를 분석하기 위해 횡력저항 구조시스템의 구성요소로는 초고층 건축물에서 다수 적용되고 있는 아웃리저 시스템과 메가컬럼 시스템을 Twisted 비정형 구조물에 도입하여 그 효율성을 검토하였다. 또한, 아웃리저와 메가컬럼의 설치위치를 변수로 두어 지진하중과 중력하중에 대한 정역학적 해

* 학생회원, 영남대학교 일반대학원 건축학과, 석사과정
Dept. of Architecture, Yeungnam University

** 종신회원, 선문대학교 건축학부 교수, 공학박사
Division of Architecture, Sunmoon University

*** 교신저자, 종신회원, 영남대학교 공과대학 건축학부 교수, 공학박사

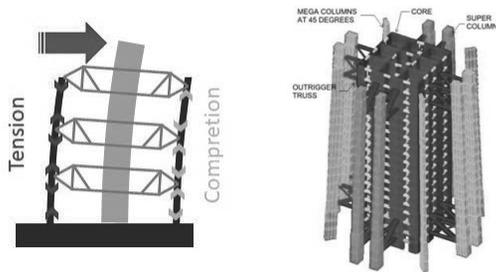
School of Architecture, Yeungnam University
Tel: 053-810-2429 Fax: 053-810-4625
E-mail: kangj@ynu.ac.kr

석을 수행하였다. 이를 통해 Twisted 형상 초고층 건축물에 아웃리저와 메가컬럼 시스템의 설계 프로세스 선정을 위한 기초자료로 제시하는데 목적을 둔다.

2. 이론적 고찰

2.1 아웃리저 시스템과 메가컬럼 시스템

비정형 형상에 주로 채택되는 구조시스템 중 하나인 아웃리저 시스템은 외부 기둥과 코어 사이에 높은 강성을 가지는 캔틸레버형 트러스나 벽체를 연결시켜 횡력저항에 효과적인 구조시스템이다. <Fig. 1(a)>와 같이 아웃리저를 통해 코어 벽체의 전도모멘트를 분산시키고, 구조물의 처짐과 층간변위를 제어해 횡변위를 효율적으로 감소시켜 구조물의 안정성을 확보한다. 또한, 구조물의 형상 변화에도 타 구조시스템에 비해 쉽게 수용 가능하여 다양한 형상의 비정형 초고층 구조시스템에서 자주 채택되고 있다.



(a) Outrigger system (b) Mega column system
 <Fig. 1> Structural system

메가컬럼 시스템은 매우 큰 단면을 가진 기둥으로 초고층 건축물에서 발생하는 축방향력과 더불어 횡력에 효율적으로 저항할 수 있도록 계획된 구조형식이다. 일반적으로 메가컬럼 시스템은 구조물의 최외곽부에 배치되거나, 혹은 <Fig. 1(b)>와 같이 아웃리저 시스템에 연결되어, 구조물의 자중과 수평하중에 대한 코어벽체의 전도모멘트를 아웃리저에 의해 메가컬럼으로 유도하여 구조적 안정성을 증가시킨다.

아웃리저 시스템과 메가컬럼을 함께 적용한 국내 비정형 초고층 건축물 사례인 인천의 ‘포스코타워-송도’는 저층부에서 고층부로 갈수록 단면이 좁아지는 형태인 Tapered 형상으로 축조되었다. 아웃리저와 벨

트 트러스를 36층과 67층에 설치하여 외곽부에 위치한 메가컬럼에 연결함으로써 구조물의 횡강성을 증가시켰다. 555m 규모의 비정형 초고층 건축물인 서울 ‘롯데월드타워’ 또한, 중앙부 코어벽체와 아웃리저 및 벨트트러스, 8개의 메가컬럼으로 횡하중을 저항한다.

2.2 선행연구 고찰

초고층 건축물에서 아웃리저 설계에 주요한 변수로 작용하는 아웃리저의 최적 설치위치를 연구한 Taranath(1974)와 McNabb & Muvdi(1975)는 아웃리저를 1개소 설치 시 구조물의 최상부에서 0.455H인 지점, 2개소 설치 시 0.312H, 0.685H인 지점을 최적 위치로 제안하였다^{3,4)}. 국내에서는 1990년대부터 아웃리저 구조시스템에 대한 연구가 활발히 진행되었다. Jung et al.(1996)은 건물의 높이에 따라 외부기둥의 단면적과 코어의 단면 2차 모멘트, 수평하중이 선형으로 변하는 아웃리저 트러스 구조물의 근사해석방법을 제시하였다⁵⁾. 또한, 아웃리저의 주요 구성요소의 강성을 설계변수로 설정하여 아웃리저 최적 설치위치를 탐색한 Kim(2013), (2015)은 80층 규모의 초고층 구조물을 해석모델로 연구를 진행하였다. 그 결과, 아웃리저의 최적위치는 Taranath의 근사해석법과 유사하나, 아웃리저의 강성 변화가 아웃리저의 설치위치에 일부 영향이 미치는 것을 확인하였다^{6,7)}. Jung & Park(2015)은 아웃리저-전단벽-메가컬럼 시스템의 부재 단면을 설계변수로 80층 규모의 초고층 구조물의 효율적인 횡변위 제어와 물량 최적화를 위한 해석적 연구를 수행하였다⁸⁾. 한편, 비정형 구조시스템으로 아웃리저를 적용한 연구도 수행되었다. 60층 규모의 비틀림 비정형 구조물에 아웃리저를 적용한 Youn et al.(2012)은 평면의 회전각도를 0°, 1.5°, 3°로 설정하여 회전각도에 따른 아웃리저의 내진성능을 검토하였다. 그 결과, 평면의 회전각도가 커질수록 구조물의 강성이 감소하여 변위와 고유주기가 증가한다는 결론을 얻었다⁹⁾. 60층 규모의 비정형 구조물에 아웃리저를 적용한 Moon(2016)은 평면의 회전각도를 0°, 1.5°, 3°로 설정하여 풍하중에 대한 아웃리저의 성능을 검토하였으며, Twisted 구조물의 회전각도가 증가함에 따라 측면 강성이 감소한다는 결론을 얻었다¹⁰⁾.

이와 같이 초고층 건축물의 아웃리거 최적위치에 대한 연구는 다수 수행되었으나, 비정형 초고층 건축물의 아웃리거 시스템 최적 설계 프로세스에 관한 연구는 확립되지 않는 상황이다. 이에 본 연구에서는 비정형 초고층 건축물 중 Twisted 형상 구조물에 아웃리거 시스템과 메가컬럼을 적용하여 변위응답분석을 수행하였다. 또한, 횡력저항 구조요소의 설치위치와 배치방법을 변수로 두어 지진하중에 대한 응답저감 성능을 분석하고자 하였다.

3. 해석모델의 선정

3.1 설계변수의 설정

3.1.1 아웃리거 설치위치 선정

초고층 건축물에서 최상층으로부터 0.455H의 높이에 아웃리거를 설치하는 것이 적절하다는 기존 연구의 결과³⁾와 같이 비정형 건축물에서 아웃리거 시스템의 최적위치를 파악하는 것은 비정형 구조물의 아웃리거 시스템 설계에 있어 주요한 변수로 작용한다. 따라서, 본 연구에서는 기준층 평면과 동일한 평면을 가지는 층과 연결된 축방향 부재에서 휨 강성이 상대적으로 저하된다는 연구결과¹¹⁾와 기준층 평면과 동일한 평면을 가지는 층에 아웃리거를 설치한 선행연구¹⁰⁾를 참고하여 아웃리거 시스템의 설치위치를 설계변수로 두어 변위응답분석을 진행하였다.

3.1.2 아웃리거 배치형식 선정

Twisted 형상 초고층 건축물은 비틀어진 형상으로 인해 층마다 평면배치가 달라지므로 본 연구에서 선행연구^{3),11)}를 참고하여 선정된 아웃리거 설치층인 33층과 45층에 아웃리거 배치형식을 두 번째 변수로 두어 해석모델을 모델링하였다. 아웃리거의 배치형식은 코어 벽체와 근접한 외부 기둥에 연결한 형식과 최외곽부 기둥에 연결한 형식 두 가지로 분류하였다.

3.1.3 메가컬럼 위치 선정

정형 구조물의 경우 메가컬럼이 최외곽부에 배치되는 것이 적절하나, 아웃리거와 함께 적용 시 일반적으

로 아웃리거와 메가컬럼이 연결되는 경우가 효과적이라는 연구결과에 따라 본 연구에서는 메가컬럼의 위치를 최외곽부와 아웃리거에 연결시킨 모델로 구분하여 연구를 진행하였다.

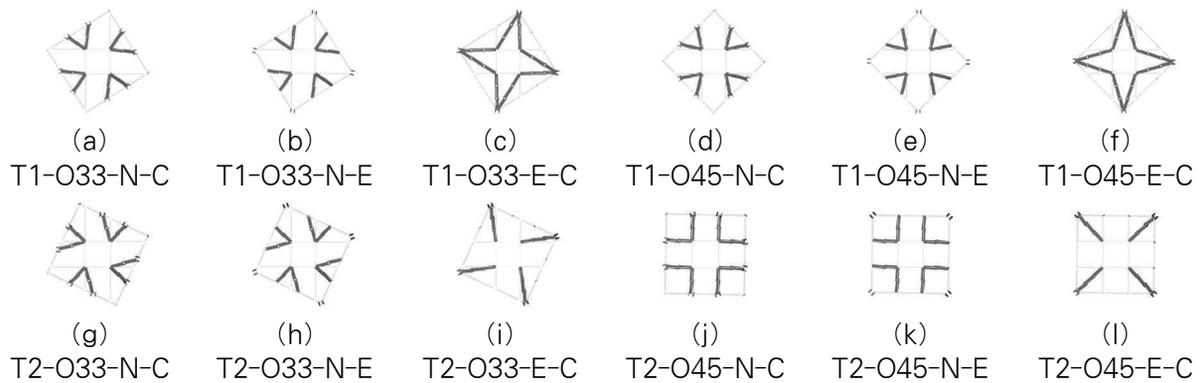
3.2 해석모델의 개요

본 연구에서는 아웃리거 시스템의 설치위치 및 배치형식, 메가컬럼의 위치에 따른 Twisted 형상 비정형 초고층 구조물의 변위응답 분석을 위해 Midas Gen ver. 940을 사용하여 해석모델을 모델링하였다. 층당 평면 회전각도를 1° 및 2°를 가지는 예제구조물로 선정하였으며, 선행연구¹¹⁾를 참고하여 경간 12m, 스팬 36m의 코어 면적률 11.11%의 평면을 가진 60층 규모에 높이 243m 구조물을 모델링하였다.

해석모델의 일반사항은 <Table. 1>과 같으며, 해석모델의 회전각도, 구조시스템의 적용 여부 및 설치위치, 아웃리거 배치타입, 메가컬럼 배치타입 순으로 'T1/2-NOR/O33/O45-N/E-C/E'와 같이 명명하였다. 회전각도에 따라 'T1', 'T2', 아웃리거가 적용되지 않은 경우 'NOR', 아웃리거 설치 층수에 따라 'O33', 'O45', 아웃리거 배치는 인접한 기둥에 연결한 경우 'N', 최외곽부 기둥에 연결한 경우는 'E'로 명명하였고, 메가컬럼의 경우 아웃리거와 연결한 타입은 'C', 최외곽부 타입은 'E'로 명명하였다. 또한, 아웃리거가 최외곽부에 기둥과 연결되는 'E' 타입의 경우 'E-C' 타입과 'E-E' 타입이 동일하므로 'E-C' 타입 하나로

<Table. 1> Specification of analytical model

Variable		Specification
Height		3.9m × 60 story = 234m
Main plane		36m × 36m
material	Beam	SM460TMC
	Column	
	Wall	
Section	Beam	H - 700×300×13/24
	Outrigger	B - 1500×1500×150
	Column	H - 700×700×70/80
	Mega column	H - 2000×2000×200/200
	Wall	800mm
Slenderness ratio		1 : 6.5



〈Fig. 2〉 Analytical model plane with changes in outrigger, mega column type and location

〈Table. 2〉 Naming of analytical model according to design variables

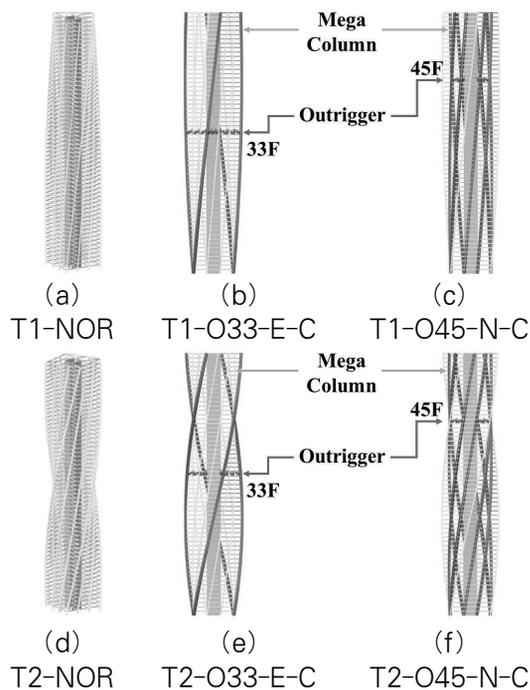
Model	Outrigger Presence	Outrigger Location	Outrigger Type	Mega Column Type
NOR		-		
O33-N-C	O	33F	N	C
O33-N-E			E	E
O33-E-C			E	C
O45-N-C		45F	N	C
O45-N-E			E	E
O45-E-C			E	C

통일하였다. 〈Table. 2 참고〉 설계변수에 따른 해석모델의 평면과 입면을 〈Fig. 2〉와 〈Fig. 3〉에 나타내었다.

3.3 해석 방법

본 연구에서는 Twisted 형상 해석모델의 평면 회전각도, 아웃리거 설치위치 및 배치, 메가컬럼의 위치에 따른 총 14가지 해석모델의 변위응답 분석을 위해, 고유치해석과 정적해석을 실시하였다. 1차 진동모드의 고유주기와 X방향과 Y방향 질량 참여율을 분석하였으며, 등가정적 지진하중을 가력하여 층간변형률 및 최상층 변위를 분석하였다.

고정하중 4.5kN, 활하중 2.5kN을 모든 층에 재하하였으며, 현행 건축물 내진설계기준을 적용하여 〈Table. 3〉와 같이 중요도I의 건축물로 지진구역I의 지역계수를 적용하여 지진하중을 산정하였다. 또한, 정적해석을 위한 하중 조합은 건축구조기준(KDS 41 12 00 : 2022)¹²⁾을 참고하여 100:30법을 사용하였다. 〈Table. 4 참고〉



〈Fig. 3〉 Analytical model

〈Table. 3〉 Seismic load factors

Contents	Value
Seismic zone	1
Zone factor (S)	0.11
Site class	S3
Importance factor	1.2
Approximate period (sec)	5.69
Response modification factor (R)	4.5

<Table. 4> Load combination

Load case	Description
1.2DL + 1.0LL + 1.0(1.0EX+0.3EY)	120% Dead load + 100% Live load + 100%(100% EX + 30% EY)

4. 해석 결과

4.1 고유치해석

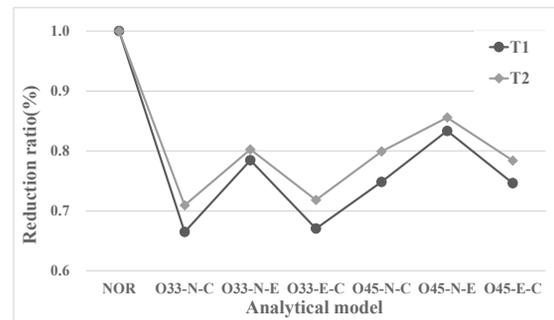
고유치해석은 13차 모드까지 진행하였으며, 해석모델의 X, Y방향 질량참여율은 <Table. 5>와 같이 10차 및 11차 진동모드에서 모두 90%를 초과하였다. <Table. 6>과 <Fig. 4>는 층당 평면 회전각도별 해석모델의 아웃리거 유무에 따른 1차 진동모드의 고유주기 및 감소율을 나타내었다. 고유주기 분석결과, 평면 회전각도가 큰 'T2-NOR' 모델의 응답이 'T1-NOR' 모델에 비해 약 1.04배 높게 나타났다. 층당 회전각도가 증가할수록 비정형성이 증가함에 따라 구조물의 횡강성이 저하되어 T2의 고유주기가 증가한 것으로 판단된다. 아웃리거의 설치 층수를 고려하였을 때, 'T1' 모델에서 아웃리거를 33층에 설치할 경우 29.35%, 45층에 설치할 경우 22.41%의 평균 응답감소율이 나타났으며, 'T2' 모델의 경우 25.68%와 18.71%의 평균 응답감소율이 나타나, 33층에 아웃리

거 설치 시 고유주기가 효과적으로 감소되는 것으로 판단된다.

아웃리거와 메가컬럼의 위치와 배치를 고려하였을 때, 'T1' 해석모델에서 'N-C' 타입의 경우 33층에서 33.52%, 45층에서 25.17%의 응답감소율이 나타났

<Table. 6> 1st mode period and reduction ratio

Model	Period(sec)		Reduction ratio(%)	
	T1	T2	T1	T2
NOR	8.1101	8.4397	-	-
O33-N-C	5.3915	5.9854	33.52	29.08
O33-N-E	6.3614	6.7722	21.56	19.76
O33-E-C	5.4364	6.0598	32.97	28.2
O45-N-C	6.0685	6.7441	25.17	20.09
O45-N-E	6.7577	7.2219	16.68	14.43
O45-E-C	6.0502	6.6147	25.4	21.62



<Fig. 4> 1st mode period reduction ratio for NOR model

<Table. 5> Mode participation masses sum of analytical model(Unit:m)

Mo del	Mode	NOR		O33				O45							
				N-C		N-E		E-C		N-C		N-E		E-C	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
T1	1	0.24	62.91	1.91	66.85	66.01	0.06	68.35	0.07	62.06	8.52	0.37	67.15	0.45	69.86
	2	63.16	63.16	68.76	68.76	66.07	66.07	68.42	68.42	70.58	70.58	67.52	67.52	70.31	70.31
	3	63.16	63.16	68.76	68.76	66.07	66.07	68.42	68.42	70.58	70.58	67.52	67.52	70.31	70.31
	4	69.36	75.51	69.02	81.84	81.73	66.30	81.78	68.86	81.42	72.57	75.18	74.73	70.92	82.67
	5	81.71	81.71	82.10	82.10	81.97	81.97	82.22	82.22	83.41	83.41	82.40	82.40	83.29	83.29
	∴														
	10	88.53	91.77	91.7	89.32	91.85	88.8	91.87	89.31	91.8	88.47	91.93	88.41	88.43	92.07
	11	91.92	91.92	91.79	91.79	91.85	91.85	91.88	91.88	91.94	91.94	91.95	91.95	92.07	92.07
T2	1	1.08	61.96	0.51	65.98	64.94	0.04	64.63	1.27	66.42	1.1	64.93	0.95	66.27	0.86
	2	63.04	63.04	66.49	66.49	64.97	64.97	65.9	65.9	67.52	67.52	65.88	65.88	67.13	67.13
	3	63.04	63.04	66.49	66.49	64.97	64.97	65.9	65.9	67.52	67.52	65.88	65.88	67.13	67.13
	4	81.78	81.78	68.13	68.13	81.74	81.74	78.33	78.33	81.11	81.11	66.73	66.73	83.64	83.64
	5	81.81	81.81	81.53	81.53	81.80	81.80	81.68	81.68	84.46	84.46	82.84	82.84	83.96	83.96
	∴														
	10	88.34	91.87	89.62	91.82	91.88	88.94	91.9	89.35	88.41	91.84	88.41	91.92	91.91	88.43
	11	91.87	91.87	91.86	91.86	91.88	91.88	91.9	91.9	91.85	91.85	91.93	91.93	91.91	91.91

며, 'N-E' 타입의 경우 33층에서 21.56%, 45층에서 16.68%의 응답감소율이 나타났다. 또한 'E-C' 타입의 경우 33층에서 32.97%, 45층에서 25.4%의 응답감소율이 나타났다. 'T2' 해석모델에서 'N-C' 타입의 경우 33층에서 29.08%, 45층에서 20.09%, 'N-E' 타입의 경우 33층에서 19.76%, 45층에서 14.43%의 응답감소율이 나타났다. 또한 'E-C' 타입의 경우 33층에서 28.2%, 45층에서 21.62%의 응답감소율이 나타났다. 아웃리거가 인접한 기둥 및 메가컬럼에 연결된 'N-C' 타입의 모델에서 고유주기가 효과적으로 감소된 것으로 나타났다.

4.2 층간변형률 분석

4.2.1 층간변형률

〈Fig. 5〉는 평면 회전각도에 따른 해석모델의 층간 변형률을 나타낸 그래프이다. 분석결과, T1, T2 모델 모두 아웃리거를 33층에 설치 시 층간변형률 응답이 전반적으로 낮게 나타났다. 또한, 아웃리거 설치 층수와 관계없이 'N-E' 타입을 제외한 해석모델의 층간 변형률이 전반적으로 낮게 나타난 것을 확인할 수 있다. 메가컬럼이 8개소 배치된 'N-C' 타입과 메가컬럼이 최외곽부 4개소에 배치된 'E-C' 타입의 층간변형률의 차는 미소한 것으로 나타났다.

4.2.2 최대 층간변형률

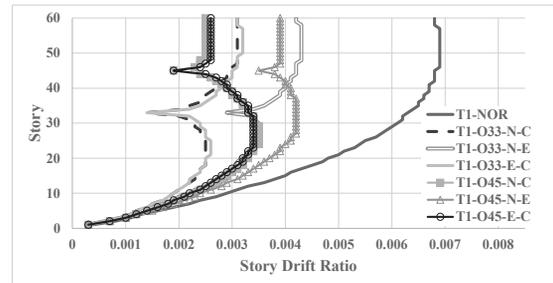
〈Table. 7〉과 〈Fig. 6〉는 층당 평면 회전각도별 해석모델의 아웃리거 유무에 따른 최대 층간변형률 및 감소율을 나타내었다. 최대 층간변형률 분석결과, 고유주기와 층간변형률 응답과 마찬가지로 평면 회전각도가 작은 'T1-NOR' 모델이 'T2-NOR' 모델의 응답이 비해 약 0.88배 낮게 나타났다.

또한, 아웃리거의 설치 층수에 따른 변위응답 분석 결과, 'T1', 'T2' 모델 모두 아웃리거를 45층에 설치한 해석모델은 각각 46.38%, 41.02%의 평균 응답감소율이 나타난 것에 비해 33층에 설치한 해석모델이 48.79%, 42.74%의 평균 응답감소율로 층간변형률 감소에 더 효과적인 것으로 나타났다.

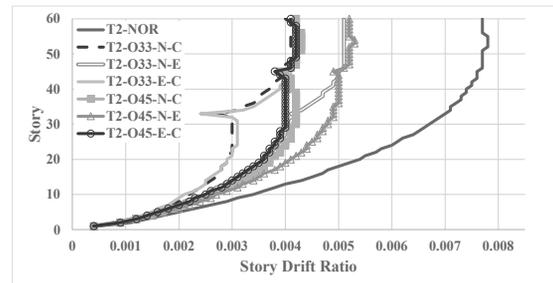
아웃리거와 메가컬럼의 위치와 배치를 고려하였을 때, 'T1' 해석모델에서 'N-C' 타입의 경우 33층에서

55.07%, 45층에서 49.28%, 'N-E' 타입의 경우 33층에서 37.68%, 45층에서 39.13%, 'E-C' 타입의 경우 33층에서 53.62%, 45층에서 50.72%의 응답감소율이 나타났다.

'T2' 해석모델에서 'N-C' 타입의 경우 33층에서



(a) T1 Analytical model

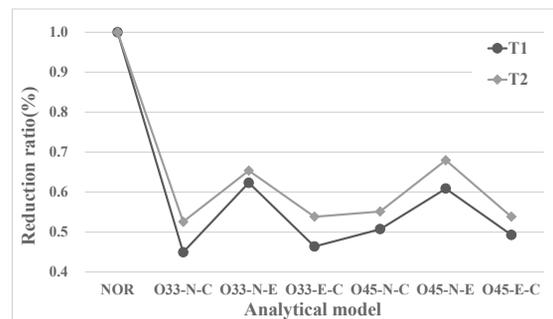


(b) T2 Analytical model

〈Fig. 5〉 Story drift ratio

〈Table. 7〉 Maximum story drift ratio and reduction ratio

Model	Story drift ratio		Reduction ratio(%)	
	T1	T2	T1	T2
NOR	0.0069	0.0078	-	-
O33-N-C	0.0031	0.0041	55.07	47.44
O33-N-E	0.0043	0.0051	37.68	34.62
O33-E-C	0.0032	0.0042	53.62	46.15
O45-N-C	0.0035	0.0043	49.28	44.87
O45-N-E	0.0042	0.0053	39.13	32.05
O45-E-C	0.0034	0.0042	50.72	46.15



〈Fig. 6〉 Maximum story drift reduction ratio for NOR model

47.44%, 45층에서 44.87%, 'N-E' 타입의 경우 33층에서 34.62%, 45층에서 32.05%, 'E-C' 타입의 경우 33층, 45층 모두 46.15%의 응답감소율이 나타났다. 분석결과, 전반적으로 'T1', 'T2' 모델 모두 아웃리거와 메가컬럼을 'N-C' 타입으로 배치 시 최대 층간변형률의 감소에 효과적인 것으로 나타났다.

4.3 최상층 변위

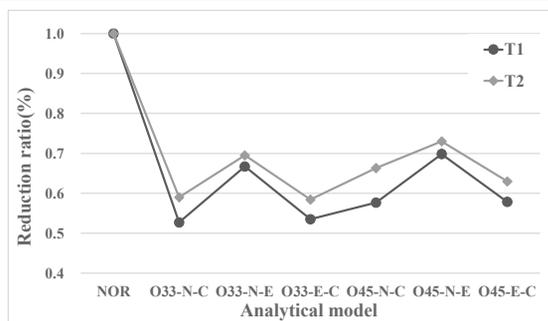
아웃리거 설치 유무에 따른 최상층 수평변위 및 아웃리거 설치 전 해석모델에 대한 변위감소율을 <Table. 8>과 <Fig. 4>에 나타내었다. 분석결과, 평면회전각도가 작은 'T1-NOR' 모델이 'T2-NOR' 모델의 응답이 비해 약 0.83배 작게 나타났다.

아웃리거의 설치 층수에 따른 변위응답 분석결과, 'T1', 'T2' 모델 모두 아웃리거를 45층에 설치한 해석모델은 각각 38.21%, 32.55%의 평균 응답감소율이 나타난 것에 비해 33층에 설치한 해석모델이 42.34%, 37.68%의 평균 응답감소율로 변위응답 감소에 더 효과적인 것으로 나타났다.

변위응답감소에 효과적이었던 아웃리거 설치위치인 33층에서 아웃리거와 메가컬럼의 위치와 배치를 고려

<Table. 8> Horizontal displacement of top floor and reduction ratio

Model	Displacement(m)		Reduction ratio(%)	
	T1	T2	T1	T2
NOR	1.3178	1.5838	-	-
O33-N-C	0.6949	0.9345	47.27	41
O33-N-E	0.8791	1.1009	33.29	30.49
O33-E-C	0.7054	0.9258	46.47	41.55
O45-N-C	0.7600	1.0504	42.33	33.68
O45-N-E	0.9204	1.1565	30.16	26.98
O45-E-C	0.7626	0.9978	42.13	37



<Fig. 7> Top floor horizontal displacement reduction ratio for NOR model

하였을 때, 'T1' 해석모델에서 'N-C' 타입의 경우 47.27%, 'N-E' 타입의 경우 33.29%, 또한 'E-C' 타입의 경우 46.47% 응답감소율이 나타났다.

'T2' 해석모델에서 'N-C' 타입의 경우 41% 'N-E' 타입의 경우 30.49%, 'E-C' 타입의 경우 33층에서 41.55%의 변위응답감소율이 나타나 'T1', 'T2' 해석모델 모두 아웃리거가 인접한 기둥 및 메가컬럼에 연결된 'N-C' 타입의 모델에서 최상층 변위가 가장 효과적으로 감소된 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 Twisted 초고층 구조물에 적용한 아웃리거 시스템의 위치, 배치 및 메가컬럼의 위치에 따른 변위응답 비교·분석을 위해 설계변수에 따른 총 14가지 해석모델을 선정한 후 고유치 및 정적해석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) Twisted 형상 해석모델의 평면 회전각도에 관계없이 아웃리거 설치 시 해석모델 모두 변위응답이 감소되는 것으로 나타났다.

2) 층당 평면 회전각도가 1°인 'T1' 해석모델의 변위응답이 'T2' 해석모델에 비해 더 효과적으로 감소되는 것으로 나타났다. 평면회전 각도가 커질수록 횡강성이 저하되어 아웃리거의 변위응답제어가 감소되며, 회전각도가 작을수록 아웃리거 설치 시 변위응답제어에 효과적인 것으로 판단된다.

3) 아웃리거 설치 위치에 따른 변위응답 분석결과, 아웃리거를 기준층과 유사한 평면을 가진 45층보다 기존연구에서 제시한 아웃리거 최적설치위치인 33층 (0.455H)에 설치한 경우 변위응답 제어에 더 효과적인 것으로 나타났다.

4) 아웃리거 및 메가컬럼의 배치에 따른 해석모델의 변위응답 분석결과, 아웃리거와 메가컬럼이 연결된 'N-C'모델과 'E-C'모델이 변위응답제어에 효과적으로 나타났다. 해석모델의 물량을 고려한다면, 4개의 메가컬럼이 최외곽부 모서리 기둥에 배치된 'E-C' 해석모델이 8개의 메가컬럼이 설치된 'N-C' 모델에 비해 경제적 효율성이 더 높은 것으로 판단된다.

추후 연구에서는 아웃리거와 메가컬럼의 주요 구성요소의 강성을 설계변수로 두어 동적하중에 대한 해

석적 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., "Dynamic Response Analysis of Twisted High-rise Structures by Plane Rotation Angle", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.21, No.1, pp.105~112, 2021, DOI:<https://doi.org/10.9712/KASS.2021.21.1.105>
2. Chung, K. R., "Structural System for Irregular Shaped Tall Buildings", Review of Architecture and Building Science, Vol.52, No.4, pp.59~62, 2008
3. Taranath, B. S., "Steel, Concrete and Composite Design of Tall Building", 2nd ed., McGraw-Hill, pp.445~459, 1997
4. McNabb, J. W. & Muvdi, B. B., "Drift Reduction Factors for Belted High-Rise Structures", Engineering Journal-American Institute of Steel Construction, Vol.12, No.3, pp.88~91, 1975
5. Jung, D. J., Kim, I. Z., Lee, Y. S., & Kim, G. S., "The Approximate Analysis of Outrigger-Braced Structures subjected to Linearly Varying Lateral Loading", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.12, No.7, pp.271~278, 1996
6. Kim, H. K., "Structural Analysis on Investigation of Optimum Location of Outrigger System in High-Rise Building", Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol.15, No.4, pp.85~92, 2013
7. Kim, H. K., "Comparative Analysis on Influence of Structure Elements on Optimal Location of One-Outrigger System", Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.19, No.2, pp.22~32, 2015, DOI:<https://doi.org/10.11112/jksmi.2015.19.2.022>
8. Jung, E. Y., & Park, S. S., "Study on the Optimal Cross Section Design of the High-rise Buildings Composed of Mega Column - Outrigger - Shear Walls", Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea. Vol.17, No.6, pp.135~142, 2015
9. Youn, W. S., Lee, D. H., Cho, C. H., Kim, E. S., Lee, D. C., & Kim, J. H., "Seismic Performance Evaluation of Complex-Shaped Tall Buildings by Lateral Resisting Systems", Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol.25, No.6, pp.513~523, 2012, DOI:<https://doi.org/10.7734/COSEIK.2012.25.6.513>
10. Moon, K. S., "Outrigger Systems for Structural Design of Complex-Shaped Tall Buildings", International Journal of High-Rise Buildings, Vol 5, No 1, pp.13~20. 2016, DOI:<https://doi.org/10.21022/IJHRB.2016.5.1.13>
11. Lee, D. H., Kim, H. S. & Kang, J. W., "Analysis of the Static Characteristics of High-Rise Structure 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>
12. Architectural Institute of Korea, Korean Design Standard (KDS 41 17 00:2022), 2022.

- Received : April 09, 2024
- Revised : May 29, 2024
- Accepted : May 29, 2024