

# 초고층 오프셋 아웃리거 구조시스템의 최적 아웃리거 위치에 대한 탐색

김형기<sup>1\*</sup>

## Investigation of Optimal Outrigger Location of High-rise Offset Outrigger System

Hyong-Kee Kim<sup>1\*</sup>

**Abstract:** The purpose of this paper is to search the optimal location of offset outrigger system in high-rise building after a structural schematic design of 80 stories building was conducted, making use of MIDAS-Gen. In this research, the key factors of analysis study were column stiffness, outrigger position in plan and outrigger location in height. For the aim of finding out the optimum position of offset outrigger system in tall building, we studied the lateral displacement in top floor which is the very essential variables in the structural design of high-rise building. The results of study showed that the column stiffness, the outrigger location in plan and outrigger location in height had an effect on the optimal position of outrigger system. Also, it is indicated that the research results can be useful in acquiring the structural design materials for seeking the optimum position of offset outrigger system in tall building.

**Keywords:** Offset outrigger system, Optimal location, High-rise building, Column stiffness

### 1. 서론

중국 등의 아시아 지역을 비롯한 세계 각국의 대도시에서는 대도시의 극대화, 관광의 명소, 복합기능 등으로 인하여 많은 초고층건물이 지어지고 있으며, 21세기에 접어들면서 마천루 경쟁이 잇따르면서 초고층건물의 건설 붐이 일어나고 있고, 우리나라에서도 초고층건물의 건설이 지속적으로 증가하는 추세이다. 이와 같은 초고층건물의 구조설계에서는 건물에 필요한 강도(Strength), 강성(Stiffness), 안정성(Stability)의 확보는 당연한 것이며, 경제적으로나 구조적으로 효율적인 수평하중 저항구조시스템을 선택하는 것이 가장 핵심적인 사항이라고 할 수 있다. 그동안의 초고층건물의 구조설계에는 여러 가지의 수평하중 저항구조시스템들이 채택되고 있는데 주요한 구조시스템으로는 가새(Bracing) 구조, 튜브(Tube) 구조, 아웃리거(Outrigger) 구조, 다이어그리드(Diagrid) 구조, 메가프레임(Mega frame) 구조 등을 들 수 있다. 앞에서 언급한 여러 가지 수평하중 저항구조시스템 가운데에서 최근에 지어지고 있는 초고층건물에 대하여 아웃리거 구조시스템이 채택되는 경우가 점점 증가하고 있는 추세에 있다. 이것은 초

고층건물의 구조설계에서 가장 중요한 수평강성(Lateral stiffness)을 가지는데 아웃리거 구조시스템이 매우 유효하기 때문이다. 따라서 초고층건물에 필요한 수평강성을 효과적으로 확보할 수 있는 적절한 아웃리거의 설치위치를 찾는 것이 초고층 아웃리거 구조시스템 건물의 구조설계에서 가장 주의할 기우려야 할 과제라고 판단된다.

저자는 2013년에 건물의 코어에 있는 전단벽과 건물의 외곽에 위치한 기둥을 직접 잇는 코어 아웃리거(Core outrigger) 구조시스템을 둔 초고층건물에서 아웃리거 구조의 최적위치를 탐색하는 것을 목적으로 아웃리거의 위치와 대표적인 구조부재의 강성 등을 주요 변수로 한 구조해석을 실시한 후에 그 해석결과를 검토하였다(Kim, 2013). 기존의 대표적인 연구결과(Smith and Salim, 1981; Taranath, 1997)에서는 초고층 아웃리거 구조시스템을 코어 전단벽, 코어 전단벽과 외곽기둥을 연결하는 아웃리거, 외곽기둥으로만 구조부재를 모델링하여 아웃리거 구조의 최적위치를 제시하였다. 또한 Moudarres(Moudarres, 1984)는 상기의 Smith 연구와 동일한 구조해석에 대한 가정으로부터 주요 구조부재의 상대 강성을 반영한 아웃리거의 최적위치를 제안하였다. 한편 초고층 아웃리거 구조에서 아웃리거를 둔 층에서 효과적인 공간의 배치를 위하여 아웃리거 구조를 전단벽과 직접 접촉되지 않게 배치되는 오프셋 아웃리거(Offset outrigger) 구조시스템이 활용되기도 한다. 본 논문에서는 실제 초고층건물의 설계조건과 동일한 오프셋 아웃리거 구조에서 아웃리거의 정량적인

<sup>1</sup>정회원, 강원대학교 공학대학 건축시스템공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: hyongkee@kangwon.ac.kr

Department of Building System Engineering, Kangwon National University

•본 논문에 대한 토의를 2017년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

최적위치를 조사하기 위하여, 대상이 되는 초고층건물의 설계조건을 만족하도록 계획설계(Schematic design) 수준의 구조설계를 한 후에 아웃리저에 연결된 기둥의 강성, 아웃리저의 평면상 위치, 아웃리저의 설치 높이 등을 해석변수로 선택하여 구조해석을 진행하고, 그 구조해석의 결과를 분석하였다. 본 논문은 80층 규모의 초고층건물을 대상으로 수행하였고, 구조해석과 구조설계는 MIDAS-Gen 2017(2017)을 이용하였다.

## 2. 구조해석에 대한 모델과 방법

### 2.1 해석모델

본 연구는 오프셋 아웃리저 구조시스템에서 아웃리저의 최적 설치위치를 찾기 위하여 구조해석 모델을 설정하였다. Fig. 1에 나타난 것과 같이 구조평면은 50m×36m로 정하였다. 구조모델링에서 기둥 부재는 원형 강관, 보와 아웃리저 부재는 철골 H형강으로 하였고, 대상건물의 코어 부분에는 철근콘크리트 전단벽을 배치하였다. 대상건물의 층수는 80개층, 1개층의 높이는 각각 4m로 계획함에 따라서 건물의 높이는 320m가 되었다. Fig. 2는 전단벽과 직접 연결되는 3라인과 4라인에

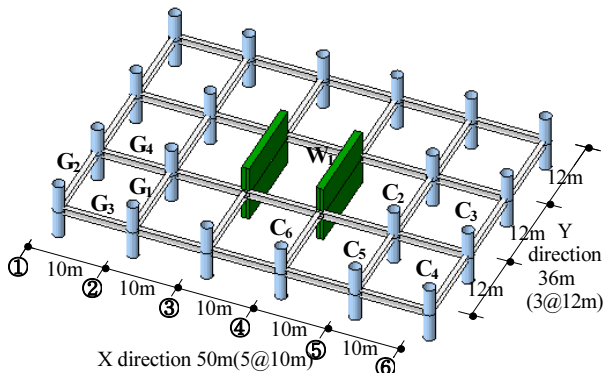


Fig. 1 Structural members in the analysis model

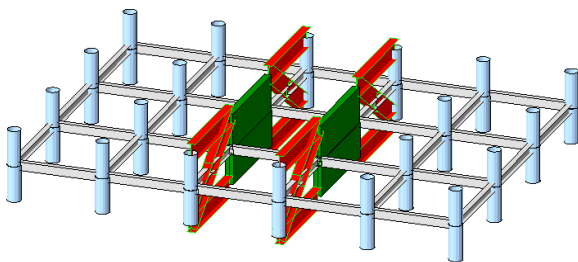


Fig. 2 Layout of core outrigger system(Outrigger is installed in line 3 and 4)

Table 1 Design load of structure analysis models

Kinds of load	Load conditions	
Dead load	4.0 kN/m <sup>2</sup>	
Live load	2.5 kN/m <sup>2</sup>	
Wind load	Basic wind speed(V <sub>0</sub> )	30 m/sec
	Exposure category	B
	Importance factor(I <sub>w</sub> )	1.1
Seismic load	Gust effect factor(G <sub>F</sub> )	1.516(Y direction)
	Seismic Zone factor(S)	0.22
	Type of soil	S <sub>B</sub>
	Importance factor(I <sub>E</sub> )	1.2
Response modification factor(R)		5.0

Table 2 Structure material of analysis models

Structural members types	Structural material
Column	STKN490B(Steel)
Girder, Outrigger	SM570(Steel)
Shear wall	f <sub>ck</sub> =75 MPa(Concrete)

Table 3 Structural analysis models

	Outrigger location in plan	Column stiffness	Outrigger location in height <sup>*1</sup> :	Remark
1		EA		Basic model
2	Line 3, 4 (Core outrigger)	10 EA		-
3		5 EA		-
4		2 EA		-
5		0.5 EA		-
6		0.2 EA		-
7		0.1 EA		-
8			EA	
9		10 EA		-
10	Line 2, 5 (Offset outrigger)	5 EA	0.0~1.0H	-
11		2 EA		-
12		0.5 EA		-
13		0.2 EA		-
14		0.1 EA		-
15				EA
16		10 EA		-
17	Line 1, 6 (Offset outrigger)	5 EA		-
18		2 EA		-
19		0.5 EA		-
20		0.2 EA		-
21		0.1 EA		-

(Note) <sup>\*1</sup>: H is height of building.

설치된 코어 아웃리저 구조시스템을 나타내었다. 대상건물은 서울에 있는 업무시설로 하였고, 해석모델에 사용한 설계하중의 개요는 Table 1에서 보여주고 있다. 또한 Table 2는 구조재료를 표시하였다. 본 연구에서는 오프셋 아웃리저 구조시스템에서 아웃리저의 최적위치에 대한 정량적인 파악을 위하여, 해석 변수로 아웃리저의 평면상 위치, 아웃리저에 연결된 기둥의 축강성(EA, 여기서 E는 기둥 재료의 탄성계수이고 A는 기둥의 단면적), 아웃리저의 배치높이를 Table 3과 같이 정

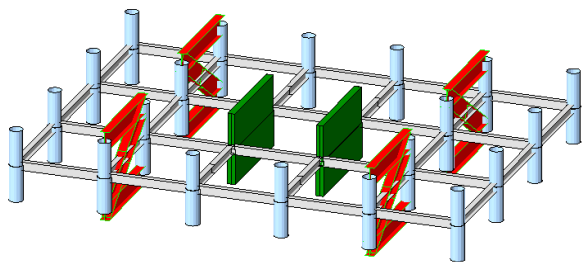


Fig. 3 Layout type 1 of offset outrigger system(Outrigger is installed in line 2 and 5)

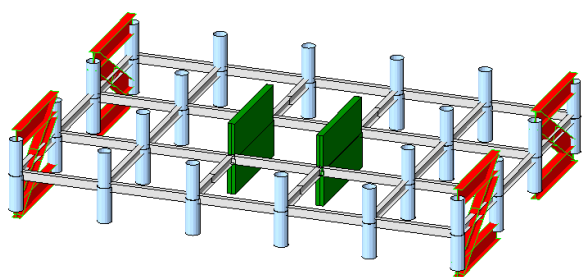


Fig. 4 Layout type 2 of offset outrigger system(Outrigger is installed in line 1 and 6)

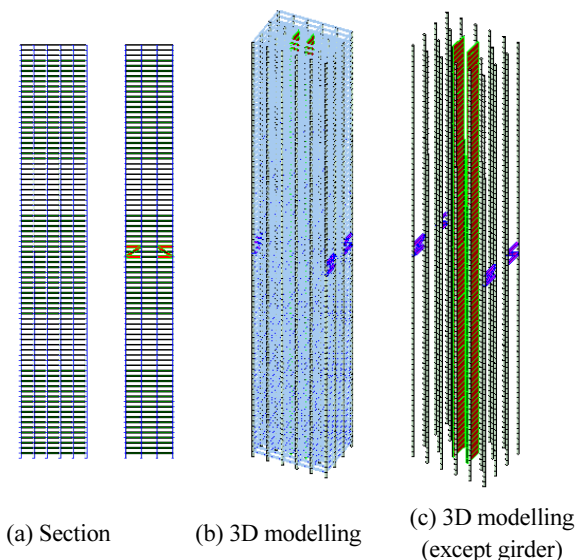


Fig. 5 Section and 3D modelling in this analysis study

하였다. 본 논문에서 해석변수로 아웃리저에 연결된 기둥의 축강성을 채택한 것은 기존 연구(Smith and Salim, 1981)를 참고로 하였다. 여기서 대상모델인 건물의 평면에서 전단벽에 직접 이어지는 3라인과 4라인에 아웃리저 구조를 설치한 경우, 전단벽으로부터 10 m 거리에 위치한 2라인과 5라인 옆에 아웃리저 구조를 설치한 경우(Fig. 3), 전단벽으로부터 20 m 거리에 위치한 1라인과 6라인 옆에 아웃리저 구조를 설치한 경우(Fig. 4)에 대하여 각각 모델을 정하였다. 그리고 Fig. 5에서는 본 연구의 대표적인 해석모델에 대한 단면도와 입체도를 각각 보여주고 있다.

## 2.2 해석방법

본 연구에서는 구조해석 대상건물의 20층, 40층, 60층에서 직접 전단벽과 이어지는 코어 아웃리저 구조시스템을 배치한 경우(이하, 기본모델)에 대하여 KBC 설계기준(Architectural Institute of Korea, 2009)에 맞추어 구조설계를 수행하였다. 대상건물의 최상층에 생기는 수평변위는 풍하중에 대해서 수평변위의 제한값이 되는  $H/400$ (H는 건물의 높이)에 1% 이내 한도에 있도록 구조요소를 조정하였다. 또한 지진하중에 대한 안전성을 확인하기 위하여 등가정적해석과 응답스펙트럼해석도 수행하였다. Fig. 6에서는 Y방향 풍하중에 대하여 기본모델에서 생기는 Y방향 수평변위에 대한 분포를 보여주고 있다. 여기서 아웃리저 구조가 20층에 위치하는 경우에서 최상층의 수평변위는 0.8062 m( $H/397$ )로 수평변위의 제한값인  $H/400$ 을 0.77% 초과하는 결과로 나타났다. Fig. 6에 아웃리저 구조를 두지 않은 경우에 대한 수평변위 분포도 같이 표시하였다. 기본모델에 대한 기둥, 보, 아웃리저에 대한 단면 리스

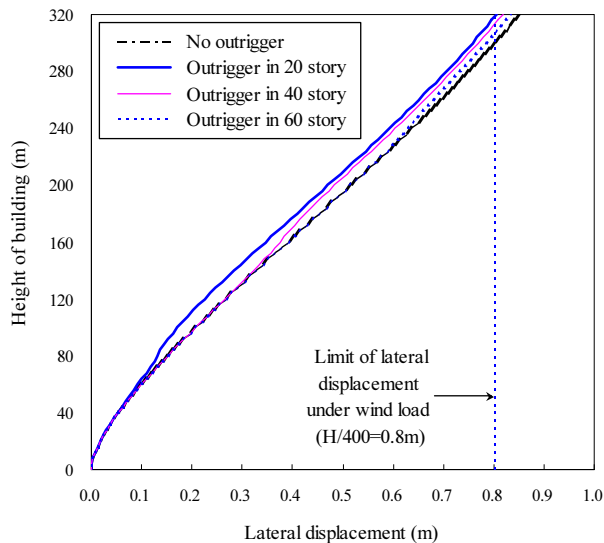


Fig. 6 Lateral displacement distribution under wind load in basic model

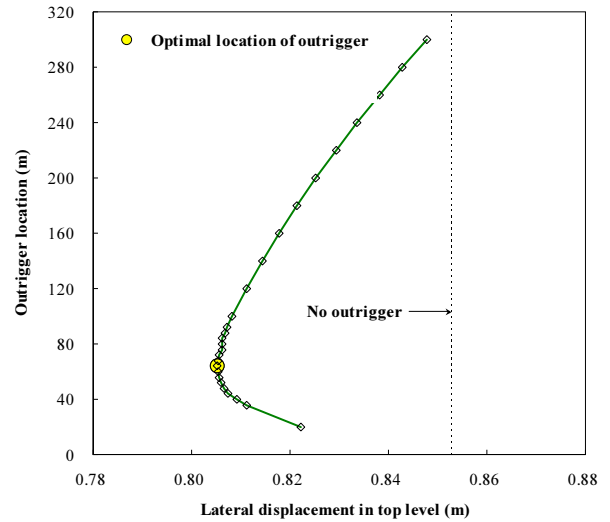
**Table 4** Section of column, girder, outrigger in basic model

Member type	Member name	Story	Section(mm)
Column	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> C <sub>3</sub> C <sub>4</sub> C <sub>5</sub> C <sub>6</sub>	1~10	φ1700×100
		11~20	φ1700×90
		21~30	φ1600×90
		31~40	φ1600×80
		41~50	φ1500×80
		51~60	φ1500×70
		61~70	φ1400×70
		71~80	φ1400×60
Girder	G <sub>1</sub> G <sub>2</sub> G <sub>3</sub> G <sub>4</sub>	1~10	H950×800×45×70
		11~20	H950×750×45×70
		21~30	H950×700×45×70
		31~40	H950×650×45×70
		41~50	H950×600×45×70
		51~60	H950×550×45×70
		61~70	H950×500×45×70
		71~80	H950×450×45×70
Outrigger	OT <sub>1</sub> , OB <sub>1</sub> OBR <sub>1</sub>	19~21 (39~41, 59~61)	H2000×1000×200×200

**Table 5** Member section of shear wall in basic model

Wall name	Story	Thickness(mm)
W <sub>1</sub>	1~10	1200
	11~20	1100
	21~30	1000
	31~40	900
	41~50	800
	51~60	700
	61~70	600
	71~80	500

트는 Table 4, 전단벽 단면 리스트는 Table 5에 각각 정리하여 나타내었다. 여기서 기둥, 보, 전단벽에 대한 단면은 10층 간격으로 나누어서 설계하였다. 그리고 기본모델에서 아웃리거 구조에 대한 최적위치를 탐색하기 위하여 아웃리거 구조만을 최상층에서 시작하여 최하층으로 5층 간격으로 움직이면서 구조해석을 수행하였다. 위에서 설명한 것과 같이 5층 간격으로 실시한 결과 중에서 최상층 수평변위가 최소가 되는 아웃리거를 설치한 위치 근처에 대해서는 보다 정확한 결과를 찾기 위하여 1층 간격으로 구조해석을 진행하였다. Fig. 7은 기본모델에서 아웃리거 구조의 설치위치에 따라 최상층에 발생하는 수평변위 분포를 보여주고 있다. 앞에서 언급한 해석에



**Fig. 7** Lateral displacement distribution in top level of basic model according to outrigger position

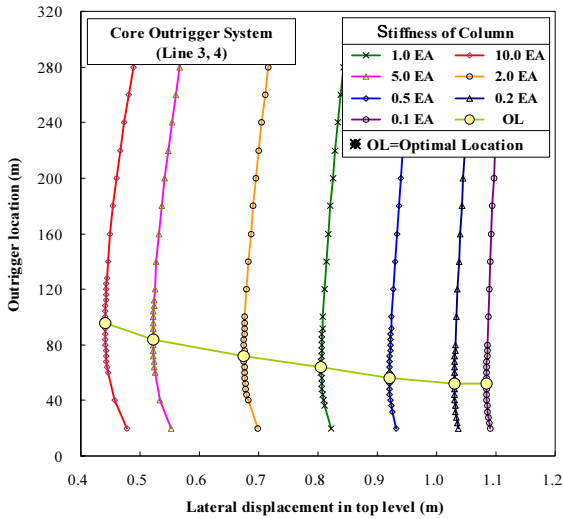
서는 대상건물의 바닥을 실제건물 조건에 부합되도록 슬래브가 콘크리트의 설계 압축강도( $f_{ck}$ ) 24 MPa, 두께 210 mm로 면내력과 면외력을 지지할 수 있도록 바닥판을 유연 격막(Flexible diaphragm)으로 모델링을 하였다.

### 3. 구조해석에 대한 결과와 분석

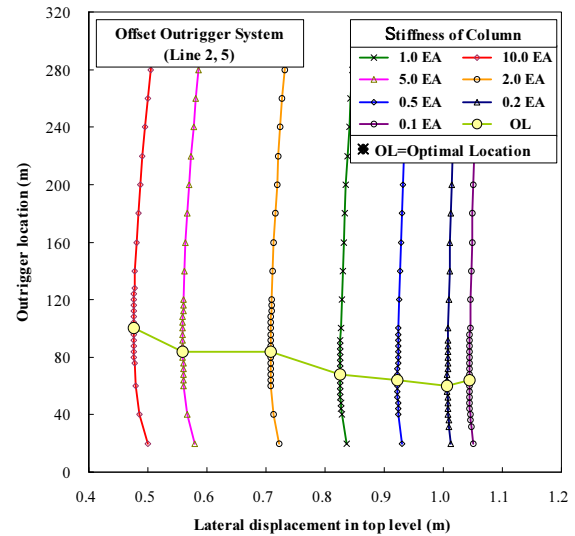
오프셋 아웃리거 구조시스템이 배치된 초고층건물에서 아웃리거의 최적 설치위치를 알기 위하여 아웃리거의 평면상 위치, 아웃리거의 설치높이, 아웃리거에 연결된 기둥의 강성 등을 변수로 설정한 구조해석을 수행하였다. 여기서는 본 논문에 대한 구조해석의 결과를 정리하고 분석하였다.

#### 3.1 코어 아웃리거 구조인 경우

Fig. 8은 앞에서 언급한 전단벽과 직접 이어지는 3라인과 4라인에 배치한 코어 아웃리거 구조의 기본모델에서 아웃리거의 설치 위치를 변수로 채택하여 구조해석을 진행하는 경우(이하, 표준모델)를 비롯하여 표준모델의 아웃리거에 연결되는 외곽기둥의 축강성(EA)을 바꾼 7가지 모든 경우에 대하여 아웃리거 설치위치에 따른 최상층의 수평변위에 대한 분포를 보여주고 있다. Fig. 8은 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 표준모델의 10배, 5배, 2배, 0.5배, 0.2배, 0.1배로 변수를 둔 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포를 각각 보여주고 있다. Fig. 8에서 표준모델에 생기는 최상층의 수평변위는 아웃리거 구조시스템이 64 m(0.2 H, H는 건물의 높이)에 있는 경우에서 0.8053 m(H/397)로 최소가 되었다. 그리고 표준모



**Fig. 8** Lateral displacement distribution in top level according to stiffness of column and position of outrigger(Core outrigger system<Line 3 and Line 4>)



**Fig. 9** Lateral displacement distribution in top level according to stiffness of column and position of outrigger(Offset outrigger system<Line 2 and Line 5>)

델보다 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 10배, 5배, 2배로 각각 변화시킨 경우는 최상층에 발생한 수평변위가 각각 0.4413 m(H/725), 0.5221 m(H/613), 0.6752 m(H/474)로 아웃리거가 각각 96 m(0.3H), 84 m(0.263H), 72 m(0.225H)에 있을 때에 최소가 되었고, 최상층의 수평변위는 표준모델보다 16.2~45.2% 범위에서 감소하는 결과를 보였다. 반면에 표준모델의 경우보다 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 0.5배, 0.2배, 0.1배로 변화시킨 경우는 아웃리거가 각각 56 m(0.175H), 52 m(0.163H), 52 m(0.163H)에 있을 때에 최상층의 수평변위가 0.9205 m(H/348), 1.0296 m(H/311), 1.084 m(H/295)로 각각 최소가 되었고, 이것은 표준모델과 비교하면 최상층 수평변위가 14.3~34.6% 범위에서 증가하는 결과를 보였다.

### 3.2 오프셋 아웃리거 구조(2라인과 5라인에 배치)인 경우

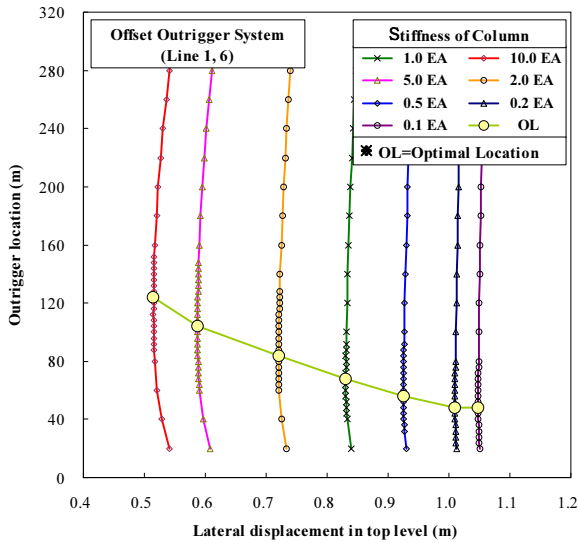
Fig. 9에 전단벽으로부터 10 m 거리를 둔 열인 2라인과 5라인에 아웃리거를 배치하는 것을 제외하고 앞에서 설명한 코어 아웃리거 구조시스템의 표준모델과 동일하게 구조부재를 배치한 오프셋 아웃리거 구조시스템 모델(이하, 10 m 오프셋 아웃리거 표준모델)에서 아웃리거 위치를 변수로 채택하여 구조해석을 진행하여서 아웃리거 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 표시하였다. Fig. 9에서는 10 m 오프셋 아웃리거 표준모델의 10배, 5배, 2배, 0.5배, 0.2배, 0.1배로 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 변수로 채택한 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포도 각각 보여주고 있다. Fig. 9에서 10 m 오프셋 아웃리거 표준모델에 나타나는 최상층의 수평변위는

아웃리거 구조시스템이 68 m(0.213 H)에 배치하는 경우에서 0.8254 m(H/388)로 최소가 되었다. 그리고 10 m 오프셋 아웃리거 표준모델보다 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 10배, 5배, 2배로 각각 변화시킨 경우는 최상층 수평변위가 각각 0.4761 m(H/672), 0.5589 m(H/573), 0.7075 m(H/452)로 아웃리거가 100 m(0.313 H), 84 m(0.263 H), 84 m(0.263 H)에 배치되어 있을 때에 각각 최소로 나타났고, 최상층 수평변위가 10 m 오프셋 아웃리거 표준모델인 경우보다 14.3~42.3% 범위에서 감소하는 결과를 보였다. 반면에 10 m 오프셋 아웃리거 표준모델보다 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 0.5배, 0.2배, 0.1배로 변화시킨 경우는 아웃리거 구조가 각각 64 m(0.2 H), 60 m(0.188 H), 64 m(0.2 H)에 배치되어 있는 경우에 최상층에 발생하는 수평변위가 각각 0.9228 m(H/347), 1.007 m(H/318), 1.0445 m(H/306)로 최소가 되었고, 최상층 수평변위가 10 m 오프셋 아웃리거 표준모델과 비교하면 각각 11.8~26.5% 범위에서 증가하는 결과를 나타내었다.

### 3.3 오프셋 아웃리거 구조(1라인과 6라인에 배치)인 경우

Fig. 10에 전단벽으로부터 20 m 거리를 둔 열인 1라인과 6라인에 아웃리거를 배치하는 것을 제외하고 앞에서 언급한 코어 아웃리거 구조시스템의 표준모델과 동일하게 구조부재를 배치한 오프셋 아웃리거 구조시스템 모델(이하, 20 m 오프셋 아웃리거 표준모델)에서 아웃리거 위치를 변수로 채택하여 구조해석을 진행하여서 아웃리거 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 나타내었다. Fig. 10에서 20 m 오프셋 아웃리거 표준모델의 10배, 5배, 2배, 0.5배, 0.2배, 0.1배로 아웃리



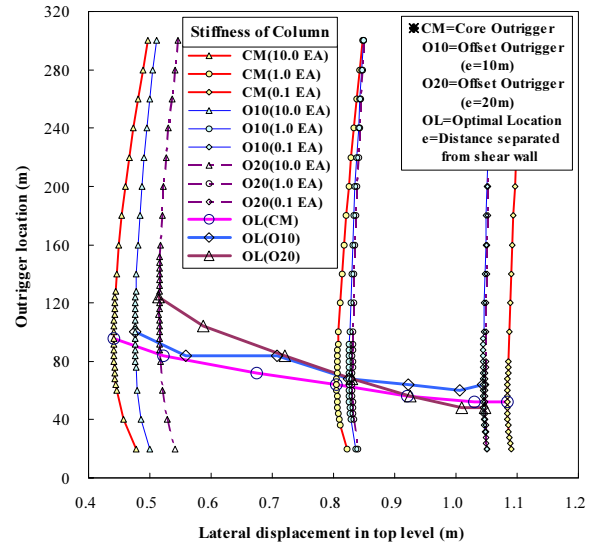


**Fig. 10** Lateral displacement distribution in top level according to stiffness of column and location of outrigger(Offset outrigger system<Line 1 and Line 6>)

거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 변수로 채택한 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포도 각각 보여주고 있다. Fig. 10에서 20 m 오프셋 아웃리거 표준모델에 나타나는 최상층의 수평변위는 아웃리거 구조가 68 m(0.213 H)에 배치하는 경우에서 0.8306 m(H/385)로 최소가 되었다. 그리고 20 m 오프셋 아웃리거 표준모델보다 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 10배, 5배, 2배로 각각 변화시킨 경우는 최상층의 수평변위가 각각 0.5149 m(H/622), 0.5876 m(H/545), 0.7205 m(H/444)로 아웃리거가 124 m(0.388 H), 104 m(0.325 H), 84 m(0.263 H)에 각각 배치되어 있을 때 최소로 나타났고, 이것은 20 m 오프셋 아웃리거 표준모델인 경우보다 최상층 수평변위가 13.3~38.0% 범위에서 감소하는 결과를 보였다. 반면에 20 m 오프셋 아웃리거 표준모델보다 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성을 0.5배, 0.2배, 0.1배로 변화시킨 경우는 아웃리거가 각각 56 m(0.175 H), 48 m(0.15 H), 48 m(0.15 H)에 배치되어 있는 경우에 최상층의 수평변위가 0.925 m(H/346), 1.0095 m(H/317), 1.0478 m(H/305)로 각각 최소가 되었고, 이것은 20 m 오프셋 아웃리거 표준모델과 비교하면 최상층 수평변위가 11.4~26.1% 범위에서 증가하는 결과를 나타내었다.

### 3.4 아웃리거의 평면상 위치에 따른 최적 아웃리거의 입면상 위치에 대한 비교분석

Fig. 11에서는 코어 아웃리거와 두 종류의 오프셋 아웃리거 모델에서 아웃리거의 입면상 위치와 대표적인 아웃리거와 연결된 기둥의 축강성(10 EA, EA, 0.1 EA)에 따른 최상층에 발



**Fig. 11** Lateral displacement distribution in top level and optimal position of outrigger according to outrigger location in plan and column stiffness

생한 수평변위 분포를 나타내었다. 여기서 아웃리거와 연결된 기둥의 축강성에 따른 코어 아웃리거와 두 종류의 오프셋 아웃리거의 최적위치에 대한 분포도 함께 보여주고 있다.

Figs 12와 13은 아웃리거와 연결된 기둥의 강성에 따른 코어 아웃리거와 두 종류의 오프셋 아웃리거의 최적위치와 최상층의 수평변위 관계에 대한 분포를 나타내었다. 특히, Fig. 13은 7종류(10 EA, 5 EA, 2 EA, EA, 0.5 EA, 0.2 EA, 0.1 EA)의 아웃리거에 연결된 기둥의 강성에 따라서 분류하였다.

Figs 12와 13에 나타난 것과 같이 표준모델(아웃리거와 연결된 기둥의 축강성이 EA)과 아웃리거와 연결된 기둥의 축강성이 표준모델의 2배인 경우에서 아웃리거의 최적 위치는 오프셋 아웃리거가 코어 아웃리거보다 건물높이의 1.3~3.8% 건물상부로 이동하였지만, 오프셋 아웃리거의 경우는 평면상 위치에 따른 차이는 나타나지 않았다. Figs 12와 13에 보여주는 것과 같이 아웃리거와 연결된 기둥의 축강성이 표준모델의 5배 이상인 경우에서는 아웃리거 구조가 전단벽으로부터 멀리 떨어져 배치될수록 아웃리거의 최적 위치는 건물높이의 0.0~8.8% 건물상부로 이동하는 결과를 보였다. 또한 Figs 12와 13에 나타난 것과 같이 아웃리거와 연결된 기둥의 축강성이 표준모델 이상인 경우와는 상이하게 아웃리거와 연결된 기둥의 축강성이 표준모델의 0.5배 이하인 경우에는 전단벽으로부터 20 m 거리에 아웃리거를 배치한 오프셋 아웃리거의 최적 위치는 전단벽으로부터 상대적으로 가깝게 아웃리거를 배치한 두 경우보다 건물하부에 있는 것으로 나타났다. Figs 12와 13에서 아웃리거를 최적 위치에 둔 경우에 나타난 대상모델의 최상층 수평변위는 아웃리거와 연결된 기둥의 축

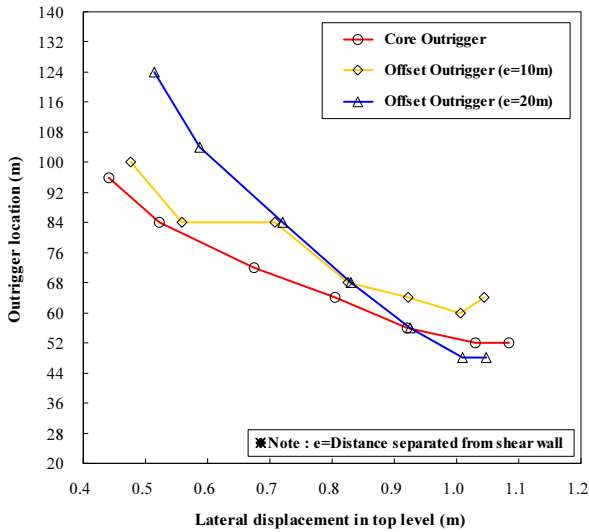


Fig. 12 Optimal outrigger location distribution according to outrigger location in plan and column stiffness

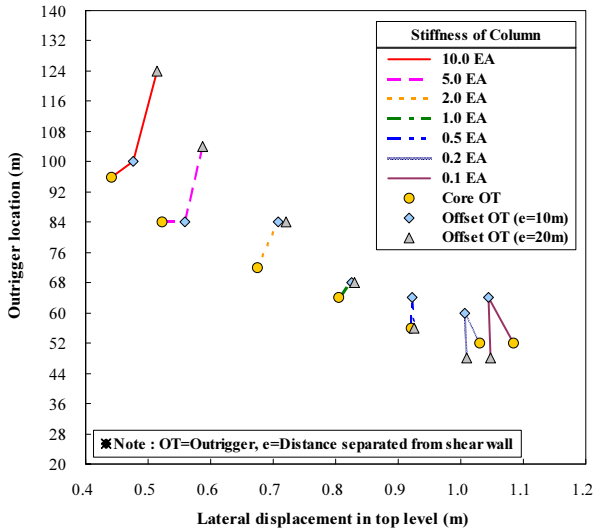


Fig. 13 Optimal outrigger location distribution according to outrigger location in plan and column stiffness

강성이 표준모델의 0.2배 이하인 경우를 제외하고 아웃리거 구조가 전단벽으로부터 멀리 떨어질수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이런 현상은 아웃리거와 연결된 기둥의 축강성이 클수록 심화되는 결과를 보였다.

### 3.5 아웃리거의 최적위치에 대한 본 연구의 해석결과와 기존 제안식의 비교분석

Fig. 14에서 아웃리거의 최적 위치에 대하여 대표적인 기존 연구결과인 Smith의 제안식(Smith and Salim, 1981)과 본 논

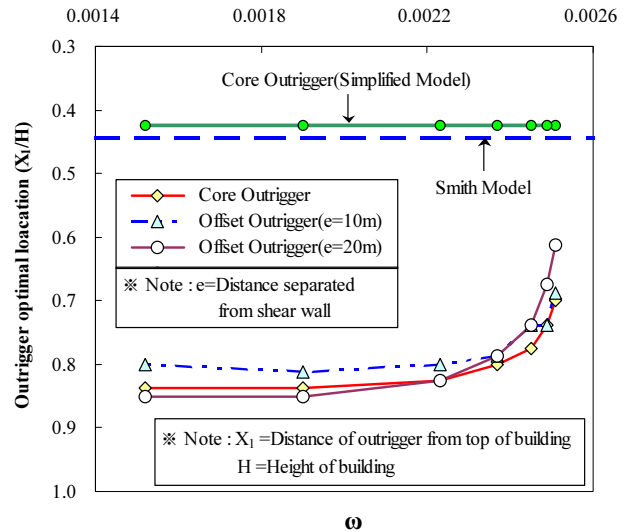


Fig. 14 Comparison of analysis results and Smith's model about optimal location of outrigger system

문의 해석 결과를 비교분석하였다. Smith의 식에서는  $\omega$ (코어에 위치한 전단벽과 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 강성 비 그리고 코어에 위치한 전단벽과 아웃리거의 강성 비로 구성된 계수)값에 따라서 아웃리거의 최적 위치를 제시하였다. 앞에서 설명한  $\omega$ 는 아래의 일련 과정을 통하여 정해진다.

$$(EI)_o = (1 + \frac{a}{b})^3 (EI')_o \quad (1)$$

$$d/2 = a + b \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{2EI}{d^2(EA)_c} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{EI}{(EI)_o} \frac{d}{H} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{\beta}{12(1 + \alpha)} \quad (5)$$

여기서,  $(EI)_o$  : 아웃리거 구조시스템의 등가 휨강성

a : 코어 전단벽 길이의 1/2

b : 아웃리거 구조시스템의 길이

$(EI')_o$  : 아웃리거 구조시스템의 실제 휨강성

EI : 코어 전단벽의 휨강성

$(EA)_c$  : 아웃리거 구조에 연결된 기둥의 축강성

H : 건물의 전체높이

Fig. 14는 본 논문에서 설정한 구조모델에 대하여 본 연구의 해석결과와 Smith 제안식에 의한 결과에 따른 아웃리저의 최적위치를 비교하면 코어 아웃리저 구조인 경우는 건물높이의 25.6~39.4%, 10 m 오프셋 아웃리저 구조인 경우는 건물높이의 24.4~36.9%, 20 m 오프셋 아웃리저 구조인 경우는 건물높이의 16.9~40.6% 범위에서 각각 Smith가 제안한 최적위치보다 건물의 하부에 있는 결과를 보였다. Fig. 14에서 본 해석결과에 의한 아웃리저 구조의 최적위치는 코어 아웃리저와 오프셋 아웃리저의 경우에서 동일하게  $\omega$ 값이 증가할수록, 즉 아웃리저에 연결된 외곽기둥의 강성이 증가할수록 Smith의 제안식에 의한 아웃리저의 최적위치와 차이가 줄어드는 경향을 나타내었다. Fig. 14에 나타난 것과 같이 최적의 아웃리저 위치에 대하여 Smith 제안식과 본 연구의 해석 결과가 큰 차이를 보이는 것은 Smith의 제안식에서는 해석 모델을 구성하는 구조부재를 아웃리저, 코어 전단벽, 아웃리저와 연결되는 기둥만으로 단순화시키고, 대상건물의 구조부재는 전체 층에서 건물 높이에 상관없이 동일하다고 가정하였지만, 본 연구의 구조해석에서는 아웃리저 구조와 직접적으로 연결되지 않은 기둥-보의 강성골조를 모델링한 것과 기둥, 전단벽 등과 같은 구조요소의 단면을 실제의 대상건물에 상응하게 건물의 높이에 따른 모델링을 진행했다는 점 때문이라고 사료된다. 한편, 본 논문의 대상모델에 대하여 아웃리저 구조, 전단벽, 아웃리저와 이어지는 기둥으로만 단순화시킨 모델로부터 산정한 최적의 아웃리저 위치도 Fig. 14에 같이 표시하였다. 상기의 그림에서 Smith가 제안한 아웃리저의 최적위치와 단순화 모델의 구조해석 결과를 비교하면 건물높이의 1.86~1.92% 정도의 차이를 보이면서 잘 일치하는 결과를 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 연구논문에서는 오프셋 아웃리저 구조시스템의 최적 설치위치를 찾는 것을 목표로 오프셋 아웃리저 또는 코어 아웃리저 구조시스템이 설치된 80층 건물을 모델로 하여 아웃리저에 연결된 기둥의 강성, 아웃리저의 평면상 위치, 아웃리저의 설치 높이 등을 변수로 한 구조해석을 수행하고, 그 구조해석의 결과를 분석하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 오프셋 아웃리저를 배치한 초고층 건물에서 최적 아웃리저의 위치는 아웃리저 구조에 연결된 기둥의 강성에 따라서 0.15~0.39 H(H는 건물의 전체 높이)에 위치하는 결과를 보였다. 오프셋 아웃리저의 최적위치는 아웃리저와 연결된 기둥의 축강성이 표준모델의 0.2배 이하인 경우를 제외하면 코어 아웃리저 구조인 경우와 비교하여 최대로 건물 높이의 8.8%까지 건물의 상부로 이동하는 결과를 보였다. 여기서 오프셋 또는 코어 아웃리저가 배치된 대상건물에서 최적 아웃리저의 위치는 아웃리저에 연결된 기둥의 강성이 클수록 건물의 상부로 이동하였다.
- 2) 최적 오프셋 아웃리저 구조의 위치는 아웃리저의 평면상 위치와 아웃리저와 연결된 기둥의 축강성에 따라 차이가 나타났다. 그리고 아웃리저가 최적위치에 배치된 경우에서 최상층 수평 변위량은 아웃리저와 연결된 기둥의 축강성이 표준모델의 0.2배 이하인 경우를 제외하면 아웃리저가 전단벽으로부터 멀리 떨어질수록 증가하였다.
- 3) 오프셋 아웃리저의 최적위치는 Smith가 제안한 아웃리저 구조의 최적위치와 비교하면 아웃리저에 연결된 기둥 강성에 따라서 건물높이의 17~41% 범위에서 Smith가 제안한 위치보다 건물 하부에 위치하는 것으로 나타났다.

#### References

Architectural Institute of Korea (2009), Korean Building Code-Structural (in Korean).  
 Kim, H. (2013), Structural Analysis on Investigation of Optimum Location of Outrigger System in High-rise Building, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 15(4), 85-92(in Korean).  
 Midas, I. T. (2017), MIDAS GEN, Analysis & Design.  
 Moudarres, F. (1984), Outrigger-Braced Coupled Shear Walls, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 110(12), 2876-2890.  
 Smith, B. and Salim, I. (1981), Parameter Study of Outrigger-braced Tall Building Structures, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 107(10), 2001-2014.  
 Taranath, B. (1997), Steel, Concrete & Composite Design of Tall Building, *McGraw-Hill*, 445-459.

Received : 05/11/2017

Revised : 10/23/2017

Accepted : 10/25/2017



---

**요 지** : 본 논문은 오프셋 아웃리저의 최적위치를 알기 위하여 우선 아웃리저 구조시스템이 설치된 80층의 초고층건물을 대상으로 MIDAS-Gen을 이용하여 계획설계 수준의 구조설계를 실시하였다. 그리고 본 연구에서는 기둥의 강성, 아웃리저의 평면상 위치, 아웃리저의 설치 높이 등을 주요한 변수로 선택하여 구조해석을 진행하였다. 또한 초고층건물의 오프셋 아웃리저에 대한 최적위치를 찾는 것을 목적으로 초고층건물의 구조설계에서 가장 필수적인 최상층에서 발생하는 수평변위를 분석하였다.

본 연구의 결과, 기둥의 강성, 아웃리저의 평면상 위치, 아웃리저의 설치 높이는 아웃리저 구조시스템의 최적위치에 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 본 연구의 결과는 초고층건물의 오프셋 아웃리저 구조시스템의 최적위치를 알려주는 구조설계 자료로 유용하다고 사료된다.

**핵심용어** : 오프셋 아웃리저 시스템, 최적위치, 초고층건물, 기둥 강성

---