

바닥 격막을 고려한 초고층 아웃리저 구조시스템의 수평거동

김형기^{1*}

Lateral Behavior in Outrigger System of Tall Building Considering Floor Diaphragm

Hyong-Kee Kim^{1*}

Abstract: The paper aimed to find out the lateral behavior of outrigger system in high-rise building considering floor diaphragm. To achieve this goal, a structural schematic design of 80 stories building was conducted by utilizing MIDAS-Gen. In this research, the key parameters of the structure analysis were the outrigger location in plan, the slab stiffness, the outrigger stiffness and the kind of diaphragm. For the purpose of this study, we analyzed and studied the lateral displacement in top floor, the story drift and the stress in slab.

The research results indicated that the outrigger location in plan, the slab stiffness, the outrigger stiffness and the kind of diaphragm had an effect on lateral behavior in outrigger system of tall building. And the results of this analysis research can provided the assistance in getting the basic data of structure design for looking for the lateral behavior of outrigger system in the high-rise building.

Keywords: Outrigger system, Floor diaphragm, Slab stiffness, Outrigger stiffness, Tall building

1. 서 론

초고층건물의 수평하중 저항구조시스템으로 채택되는 사례가 증가하고 있는 아웃리저 구조시스템의 수평 강성에 영향을 미치는 요인을 적절하게 파악하는 것이 초고층 아웃리저 건물에 대한 구조설계 핵심의 하나라고 할 수 있다. 그리고 초고층건물의 아웃리저 구조시스템에 대한 배치에서 건물의 외곽 기둥과 코어 위치에 있는 전단벽을 직접적으로 연결하는 코어 아웃리저 구조시스템(Core outrigger system)이 일반적으로 적용되지만, 아웃리저 구조시스템을 일정한 거리만큼 이동시켜서 코어에 있는 전단벽과 직접 접속시키지 않고 배치하여 설계되는 오프셋 아웃리저 구조시스템(Offset outrigger system)도 있다.

일반 구조물에서는 바닥 슬래브를 면외 강성은 무시하고 면내 강성은 무한대로 가정한 강체 격막(Rigid diaphragm)으로 가정하여 구조해석을 한다. 슬래브를 강체 격막으로 모델링하는 가정을 수평하중의 전이가 급격한 아웃리저 구조시스템에 적용하는 것은 초고층 아웃리저 구조시스템의 수평거동을 적절하게 평가하는 데 문제가 될 수 있다. 따라서 초고층 아웃리

저 구조시스템의 수평강성을 평가하는데 있어서 바닥 슬래브를 적절하게 모델링하는 것이 무엇보다 중요하다고 사료된다. 그러나 그동안 초고층 아웃리저 구조시스템의 수평강성과 바닥 슬래브의 관련성에 대한 연구는 거의 없는 것으로 나타났다. 아웃리저 구조시스템을 전단벽, 아웃리저, 외곽 기둥만으로 모델링한 아웃리저 구조시스템의 대표적인 선행연구(Smith and Salim, 1981; Taranath, 1997; Jung, 1999)에서 슬래브가 아웃리저 구조시스템의 수평거동에 미치는 영향에 대한 고려는 전혀 없는 것으로 나타났다. 한편, 최근에 저자는 최적 아웃리저 위치를 찾기 위하여 전단벽, 아웃리저, 아웃리저에 연결된 외곽 기둥, 아웃리저에 연결되지 않은 프레임은 물론 슬래브 부분도 포함하여 모델링한 후에 구조해석을 실시하고 해석결과를 분석하였다(Kim, 2013; Kim, 2015). 그러나 여기서 슬래브 바닥판을 실제건물 조건과 부합하게 유연 격막(Flexible diaphragm)으로 모델링을 하여 면내력과 면외력을 받을 수 있도록 하였으나 슬래브가 아웃리저 구조의 수평거동에 미치는 영향에 대한 검토는 없었다. 본 연구에서는 바닥 격막을 고려한 초고층 아웃리저 구조시스템의 수평거동을 파악하기 위하여 코어 아웃리저와 오프셋 아웃리저 구조시스템이 설치된 초고층건물을 대상으로 슬래브를 모델링한 격막 종류, 슬래브 강성과 같은 해석변수를 채택한 구조해석을 실시한 후에 그 해석결과를 분석하였다. 본 논문에서 구조해석은 MIDAS-Gen 2018 Ver.865(Midas IT, 2018)를 사용하였다.

¹정회원, 강원대학교 공학대학 건설융합학부 교수

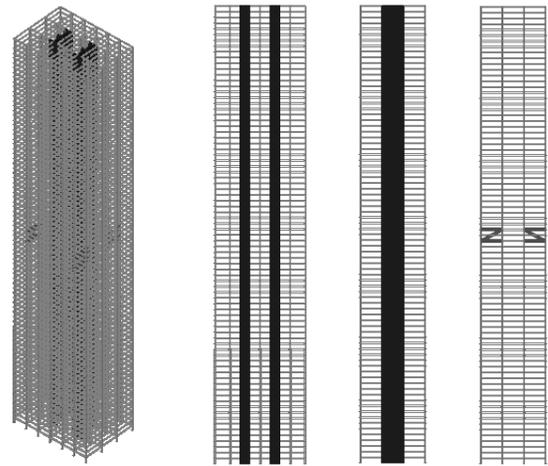
*Corresponding author: hyongkee@kangwon.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2018년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 구조해석에 대한 모델과 방법

2.1 해석모델

본 연구에서 해석모델의 주요한 구조부재의 배치는 Fig. 1 과 같다. 본 해석모델의 구조부재로 기둥은 원형 강관, 전단벽은 철근콘크리트구조, 보와 아웃리거는 H형강으로 하였다. 본 연구의 대상건물은 건물 층고는 4m이고 층수는 80층으로 건물 높이는 320m로 설계하였다. Fig. 1에 건물의 코어에 위치한 전단벽과 직접 연결되도록 아웃리거 구조를 대상건물의 3과 5라인에 배치하게 한 경우(이하, 코어 아웃리거 구조)와 아웃리거 구조를 전단벽으로부터 10.5m 떨어진 위치에 있는 2와 6라인에 배치한 경우(이하, 오프셋 아웃리거 구조)를 나타내었다. 본 해석모델에서 구조재료로 기둥은 STKN490B, 보와 아웃리거는 SM570을 사용하였고, 전단벽은 콘크리트 설계압축강도 70MPa를 사용하였다. 그리고 Fig. 2에서는 전단벽에서 10.5m 거리에 있는 2와 6라인에 아웃리거를 설치한 경우에 대한 해석모델의 3차원 입체도와 주요 단면도를 표시하였다. 본 연구의 설계하중은 Table 1과 같다. 본 논문의 변수로 Table 2에 표시한 것처럼 아웃리거의 평면상 위치(코어 아웃리거 구조, 오프셋 아웃리거 구조), 바닥 격막의 종류(강체 격막, 유연 격막), 슬래브의 강성, 아웃리거의 강성을 채택하였다. 여기서의 강체 격막은 모든 층의 바닥 슬래브를 대상으로 면내 강성에 대해서는 무한대로 가정하고 면외 강성에 대해서는 모델링한 슬래브를 고려한 것이다. 반면에 유연 격막은 모든 층의 슬래브에 대하여 면내 강성과 면외 강성을 고려한 것이다. 그리고 논문의 해석변수로 채택된 바닥 슬래브의 강성은 아웃리거가 설치되는 층만을 대상으로 하였다.



(a) 3D modelling (b) Sections

Fig. 2 3D modelling and sections in this analysis

Table 1 Design load of structure analysis models

Load types	Amounts and conditions of load	
Dead load	4.0kN/m ²	
Live load	2.5kN/m ²	
Wind load	Basic wind speed	26m/sec
	Gust factor(Y direction)	1.52
	Exposure category	B
	Importance factor	1.1
Earthquake load	Zone factor	0.22
	Type of soil	S _B
	Response modification factor	5.0
	Importance factor	1.2

2.2 해석방법

본 연구에서는 앞에서 설명한 해석모델의 중간높이인 40층에 아웃리거를 전단벽과 직접적으로 연결한 경우(이하, 기본모델)에 대하여 KBC 구조설계기준(Architectural Institute of Korea, 2016)에 따라서 구조설계를 실시하였다. Fig. 3에 표시한 것과 같이 풍하중에 의한 최상층의 수평변위가 풍하중 수평변위의 제한치가 되는 건물높이의 1/500 이내에 들어오도록 기본모델의 구조부재를 정하였다. 기본모델의 기둥, 보, 아웃리거의 단면은 Table 3, 전단벽의 두께는 Table 4에 각각 나타내었다. 이상의 구조해석에서 기본모델의 슬래브는 두께 150mm, 콘크리트 설계 압축강도(f_{ck})는 24MPa로 설정하여 바닥판을 실제건물 조건과 부합하게 설정하였다. 또한 기본모델의 모든 바닥판을 유연 격막으로 모델링을 하여 면내력과 면외력을 받을 수 있도록 하였다. 그리고 Fig. 3에는 기본모델에서 아웃리거 구조를 설치하는 않은 경우도 나타내었다. 또한 아웃리거가 설치된 층인 39~41층의 슬래브에서는 슬래브

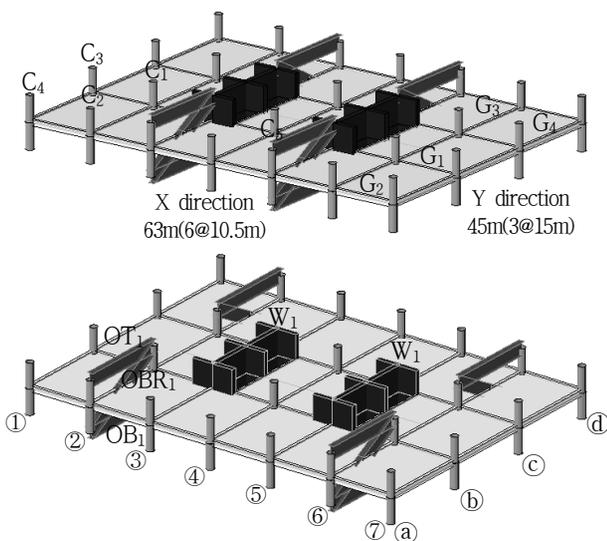


Fig. 1 Layout of structural elements in the analysis model

Table 2 Analysis model of the study

No.	Outrigger location in plan	Kind of diaphragm	Slab stiffness	Outrigger stiffness	No.	Outrigger location in plan	Kind of diaphragm	Slab stiffness	Outrigger stiffness				
1	Line 3, 5 (Core outrigger)	Rigid diaphragm	1.0EI	1.0EI	26	Line 2, 6 (Offset outrigger)	Flexible diaphragm	2.0EI	1.0EI				
2				5.0EI	27				5.0EI				
3				2.0EI	28				2.0EI				
4				0.5EI	29				0.5EI				
5				0.2EI	30				0.2EI				
6	Line 2, 6 (Offset outrigger)			Flexible diaphragm	1.0EI	1.0EI			31	Line 3, 5 (Core outrigger)	Flexible diaphragm	5.0EI	1.0EI
7						5.0EI			32				5.0EI
8						2.0EI			33				2.0EI
9						0.5EI			34				0.5EI
10						0.2EI			35				0.2EI
11 ^{*1}	Line 3, 5 (Core outrigger)	Flexible diaphragm	1.0EI			1.0EI	36	Line 2, 6 (Offset outrigger)	Flexible diaphragm	5.0EI			1.0EI
12						5.0EI	37						5.0EI
13						2.0EI	38						2.0EI
14						0.5EI	39						0.5EI
15						0.2EI	40						0.2EI
16	Line 2, 6 (Offset outrigger)			Flexible diaphragm	1.0EI	1.0EI	41	Line 3, 5 (Core outrigger)			Flexible diaphragm	10.0EI	1.0EI
17						5.0EI	42						5.0EI
18						2.0EI	43						2.0EI
19						0.5EI	44						0.5EI
20						0.2EI	45						0.2EI
21	Line 3, 5 (Core outrigger)	Flexible diaphragm	2.0EI			1.0EI	46	Line 2, 6 (Offset outrigger)	Flexible diaphragm	10.0EI			1.0EI
22						5.0EI	47						5.0EI
23						2.0EI	48						2.0EI
24						0.5EI	49						0.5EI
25						0.2EI	50						0.2EI

(Note) ^{*1}: basic model

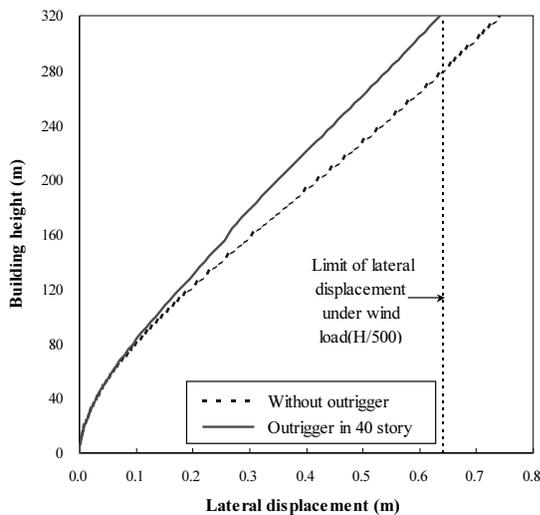


Fig. 3 Distribution of lateral displacement under wind load in basic model

Table 3 Section list of column, girder, outrigger in basic model

Member type	Member name	Story	Section(mm)
Column	C ₁ C ₂ C ₃ C ₄ C ₅	1 ~ 10	φ1400×70
		11 ~ 20	φ1400×60
		21 ~ 30	φ1300×60
		31 ~ 40	φ1300×50
		41 ~ 50	φ1200×50
		51 ~ 60	φ1200×40
		61 ~ 70	φ1100×40
		71 ~ 80	φ1100×30
Girder	G ₁ G ₂ G ₃ G ₄	1 ~ 10	H900×650×20×30
		11 ~ 20	H900×600×20×30
		21 ~ 30	H900×550×20×30
		31 ~ 40	H900×500×20×30
		41 ~ 50	H900×450×20×30
		51 ~ 60	H900×400×20×30
		61 ~ 70	H900×350×20×30
		71 ~ 80	H900×300×20×30
Outrigger	OT ₁ , OB ₁ , OBR ₁	39 ~ 41	H2000×1000×200×200

에 작용하는 응력의 분포를 보다 정확하게 파악하기 위하여 Fig. 4와 같이 슬래브 요소를 분할하여 해석을 수행하였다.

Table 4 Thickness list of shear wall in basic model

wall name	story	thickness(mm)
W1	1~10	1200
	11~20	1100
	21~30	1000
	31~40	900
	41~50	800
	51~60	700
	61~70	600
	71~80	500

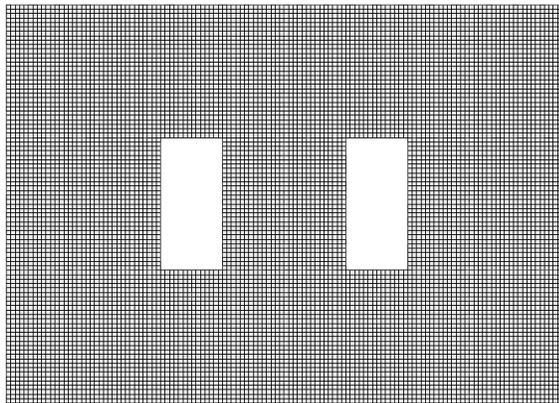


Fig. 4 Element division of slab

3. 구조해석에 대한 결과와 분석

본 장에서는 아웃리저의 평면상 위치(코어 아웃리저 또는 오프셋 아웃리저), 슬래브를 모델링한 격막 종류, 슬래브의 강성, 아웃리저의 강성 등을 변수로 채택한 구조해석에 대한 결과를 설명하고 분석하였다. 여기서는 본 연구의 해석모델에서 지배적인 수평하중이 되는 풍하중을 대상으로 아웃리저 구조가 설치된 Y방향에 대하여 고려하였다.

3.1 최상층 수평변위

Fig. 5에서 아웃리저의 평면상 위치, 슬래브를 모델링한 격막 종류, 슬래브의 강성, 아웃리저의 강성에 따른 최상층의 수평변위 분포를 비교하여 나타내었다.

코어 아웃리저 구조에서 상기의 변수에 따른 최상층의 수평변위에 대하여 유연 격막으로 슬래브를 기본모델과 같이 모델링하고 5종류의 아웃리저 강성(5.0EI, 2.0EI, 1.0EI, 0.5EI, 0.2EI)을 가진 각각의 모델(슬래브 강성 1.0EI)을 기준으로 비교하였다. 먼저, 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 경우에서

는 아웃리저 강성에 따라서 슬래브 강성이 2EI인 경우는 0.1~0.2%, 5EI인 경우는 0.1~0.6%, 10EI인 경우는 0.3~0.9% 각각 최상층의 수평변위가 감소하였다. 또한 슬래브를 강제 격막으로 모델링한 코어 아웃리저 구조의 최상층 수평변위는 유연 격막에 비하여 아웃리저의 강성에 따라서 1.0~1.8% 감소하는 결과를 보였다. 한편, 오프셋 아웃리저 구조에서도 상기의 변수에 따른 최상층 수평변위에 대하여 유연 격막으로 슬래브를 기본모델과 같이 모델링하고 5종류의 아웃리저 강성을 가진 각각의 모델(슬래브 강성 1.0EI)을 기준으로 비교하였다. 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 경우에서 아웃리저 강성에 따라서 슬래브 강성이 2EI인 경우는 0.4~0.9%, 5EI인 경우는 1.1~2.4%, 10EI인 경우는 1.7~3.5% 각각 최상층 수평변위가 감소하였다. 그리고 오프셋 아웃리저 구조의 최상층 수평변위에 대하여 강제 격막으로 슬래브를 모델링한 경우는 유연 격막과 비교하면 아웃리저 강성에 따라서 2.6~5.6% 감소한 결과를 보였다. 결과적으로 최상층 수평변위의 감소량은 코어 아웃리저나 오프셋 아웃리저 구조에서 공통적으로 슬래브와 아웃리저 강성이 증가할수록 늘었다. 한편, Fig. 5에서 최상층 수평변위의 감소비율은 슬래브 강성이 증가할수록 오프셋 아웃리저에서는 증가하였지만 코어 아웃리저에서는 반대의 결과가 나타났다. 이상의 결과로부터 최상층 수평변위에 대하여 슬래브 강성의 영향이 코어 아웃리저 구조에 비하여 오프셋 아웃리저 구조에서 크게 나타났다고 말할 수 있다. 이것은 아웃리저가 전단벽과 직접적으로 연결되지 않는 오프셋 아웃리저 구조에서는 전단벽 응력을 전달하는데 있어서 전단벽과 아웃리저 간에 있는 슬래브 역할이 상대적으로 크게 작용했기 때문이라고 판단된다.

Fig. 5에서는 상기의 변수에 따른 코어 아웃리저 구조에서

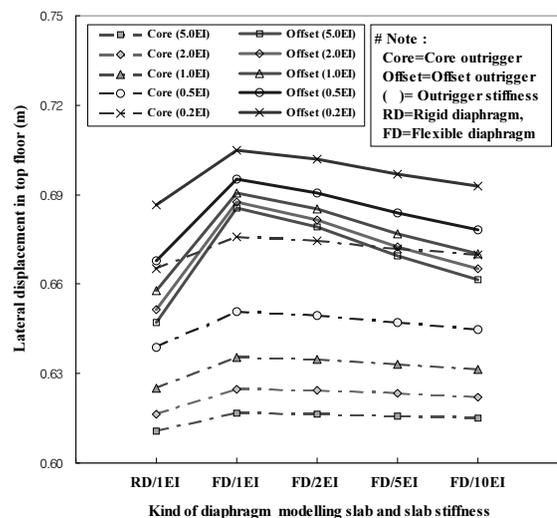


Fig. 5 Comparison of lateral displacement in top floor according to diaphragm kind and slab stiffness

발생하는 최상층의 수평변위에 대하여 아웃리저를 기본모델과 같이 모델링하고 4종류의 슬래브 강성(10EI, 5EI, 2EI, 1EI)을 가진 각각의 모델(아웃리저 강성 1.0EI)을 기준으로 비교하였다. 먼저, 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 경우에는 슬래브 강성에 따라서 아웃리저 강성이 5EI인 경우는 2.6~3.0%, 2EI인 경우는 1.5~1.7% 각각 감소하였고, 0.5EI인 경우는 2.1~2.4%, 0.2EI인 경우는 6.1~6.4% 각각 증가한 결과가 나타났다. 또한 슬래브를 강체 격막으로 모델링한 코어 아웃리저인 경우에는 유연 격막에 비하여 아웃리저의 강성에 따라서 -2.3~6.4% 범위에서 최상층 수평변위가 변화하는 결과를 보였다. 또한 Fig. 5에서는 상기의 변수에 따른 오프셋 아웃리저 구조에서 발생하는 최상층 수평변위에 대하여 아웃리저를 기본모델과 같이 모델링하고 4종류의 슬래브 강성을 가진 각각의 모델(아웃리저 강성 1.0EI)을 기준으로 비교하였다. 먼저, 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 경우에는 최상층 수평변위가 아웃리저 강성이 5EI인 경우는 0.7~1.3%, 2EI인 경우는 0.4~0.8% 각각 감소하였고, 0.5EI인 경우는 0.7~1.2%, 0.2EI인 경우는 2.1~3.4% 각각 증가한 결과가 나타났다. 또한 슬래브를 강체 격막으로 모델링한 코어 아웃리저인 경우에는 유연 격막에 비하여 아웃리저 강성에 따라서 -1.6~4.4% 범위에서 변화하였다. 결과적으로 최상층 수평변위에 대하여 오프셋 아웃리저 구조에서는 코어 아웃리저 구조에 비하여 아웃리저 강성의 영향이 작게 나타났다. 이것은 오프셋 아웃리저 구조는 아웃리저가 전단벽과 직접적으로 연결되지 않기 때문에 아웃리저의 역할이 상대적으로 약하기 때문이라고 판단된다.

Fig. 6에서는 아웃리저의 설치에 따른 최상층의 수평변위 변화를 비교하였다. 여기서는 아웃리저의 평면상 위치, 슬래

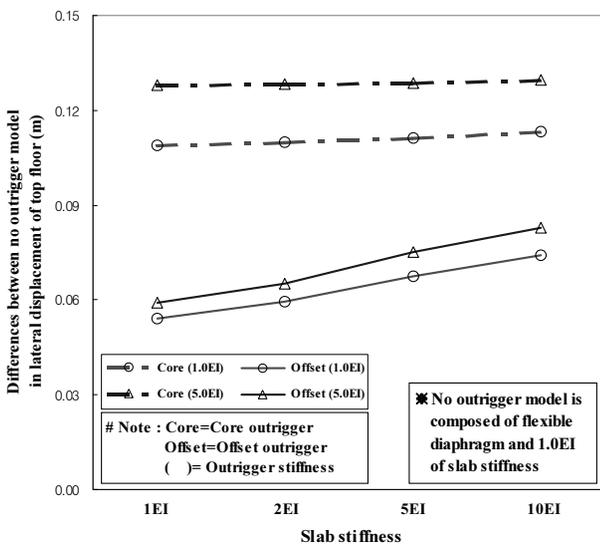


Fig. 6 Differences between no outrigger model in lateral displacement of top floor according to slab stiffness

브 강성, 아웃리저 강성을 변수로 분석하였다. 그리고 여기서의 모델들은 유연 격막으로 모델링하고 아웃리저의 강성은 1.0EI와 5.0EI인 경우이다. Fig. 6에서 세로축에 표시한 최상층의 수평변위 변화는 아웃리저를 설치한 모델과 아웃리저를 배치하지 않은 모델의 최상층 수평변위에 대한 차이를 나타낸 것이다. 여기서 아웃리저를 배치하지 않은 모델에서 슬래브 강성은 1.0EI이다. 여기서 슬래브와 아웃리저의 강성이 클수록, 오프셋 아웃리저 구조보다 코어 아웃리저 구조가 최상층의 수평변위 감소에 효과가 있는 것으로 나타났다. 한편, 최상층 수평변위 감소에 오프셋 아웃리저의 경우가 코어 아웃리저인 경우보다 아웃리저 강성의 영향은 작게 나타났지만, 슬래브 강성의 영향은 크게 나타났다.

3.2 층간 변위

Fig. 7에서 아웃리저의 유무, 아웃리저의 평면상 위치, 슬래브를 모델링한 격막 종류에 따른 층간 수평변위의 분포를 비교하여 나타내었다. Fig. 7에서는 아웃리저의 설치 유무에 따른 차이가 뚜렷하게 나타났다. 아웃리저가 있는 경우가 아웃리저가 설치된 위치에서 층간 변위의 변동이 크게 나타났다. 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 경우가 강체 격막으로 모델링한 경우보다 전체적으로 층간 변위가 크게 나타났고, 아웃리저 근처에서의 변동도 보다 심하게 나타났다. 이러한 경향은 코어 아웃리저보다는 오프셋 아웃리저의 경우에서 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 8에서 아웃리저의 평면상 위치와 아웃리저 강성에 따른 층간 수평변위의 분포를 비교하여 나타내었다. Fig. 8에서는 오프셋 아웃리저의 경우가 코어 아웃리저의 경우보다 전체적으로 층간 변위가 크게 나타났고, 아웃리저가 설치된 근

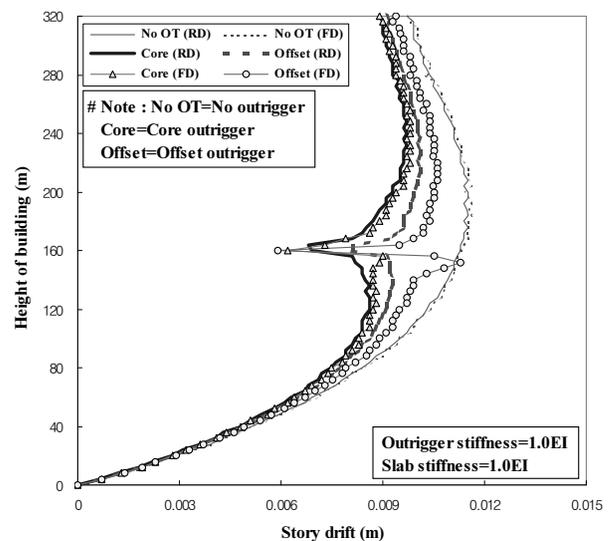


Fig. 7 Comparison of story drift according to outrigger location in plan and kind of diaphragm modelling slab

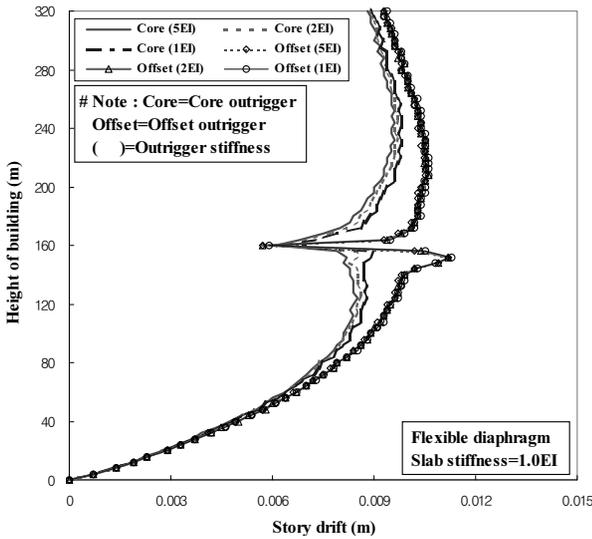


Fig. 8 Comparison of story drift according to outrigger location in plan and outrigger stiffness

처에서 변동이 심하게 나타났다. 여기서 층간 수평변위의 분포에서 아웃리저 강성에 따른 영향은 코어 아웃리저 구조와 오프셋 아웃리저 구조의 두 경우에서 다른 변수에 비하여 약하게 나타났지만, 코어 아웃리저 구조의 경우가 오프셋 아웃리저 구조의 경우보다는 상대적으로 강하게 나타났다. 이것은 오프셋 아웃리저의 경우가 코어 아웃리저의 경우에 비하여 전단벽과의 응력 전달이 상대적으로 약하기 때문에 아웃리저의 강성의 영향이 줄어든 것으로 판단된다.

Fig. 9에서 아웃리저의 평면상 위치와 슬래브의 강성에 따른 층간 수평변위의 분포를 비교하여 나타내었다. Fig. 9에서는 층간 수평변위에서 슬래브 강성의 영향은 오프셋 아웃리

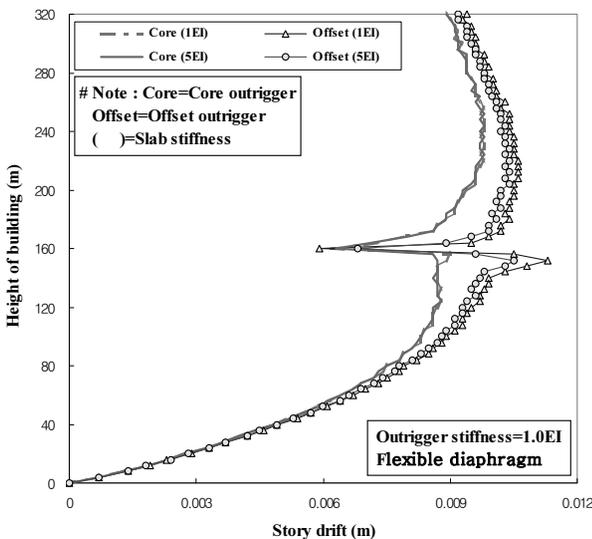


Fig. 9 Comparison of story drift according to outrigger location in plan and slab stiffness

저의 경우가 코어 아웃리저의 경우에 비하여 크게 나타났다. 이것은 오프셋 아웃리저의 경우가 코어 아웃리저의 경우에 비하여 전단벽과 아웃리저 사이의 슬래브가 전단벽으로부터 아웃리저로의 응력 전달을 위한 역할을 상대적으로 강하게 했다는 의미이다.

3.3 슬래브의 응력분포

Y방향 풍하중이 작용하는 경우에 아웃리저가 설치된 높이에 위치한 슬래브에 작용하는 응력의 분포를 알기 위하여 Fig. 10과 Fig. 11에서는 대표적으로 코어 아웃리저 구조와 오프셋 아웃리저 구조에서 아웃리저가 설치된 156m(39층)에 위치한 슬래브에 발생한 유효응력의 분포를 각각 나타내었다. 여기서의 유효응력은 실제 구조물에서 발생할 수 있는 다축방향의 응력장에 대하여 1축의 응력으로 투영시킨 폰 미세스 (von-Mises) 응력을 의미한다. Fig. 10과 Fig. 11에서는 아웃리저와 슬래브의 강성이 1.0EI이고 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 경우이다. 여기서 코어 아웃리저 구조에서는 전단벽과 직접 연결되는 아웃리저가 있는 슬래브 위치에서 응력이 크게 분포하는 것으로 나타났지만, 전단벽과 직접 연결되지

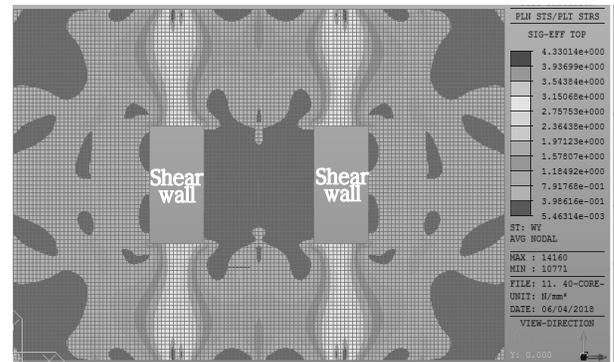


Fig. 10 Effective stress distribution in slab (core outrigger, flexible diaphragm, slab stiffness=1.0EI, outrigger stiffness=1.0EI)

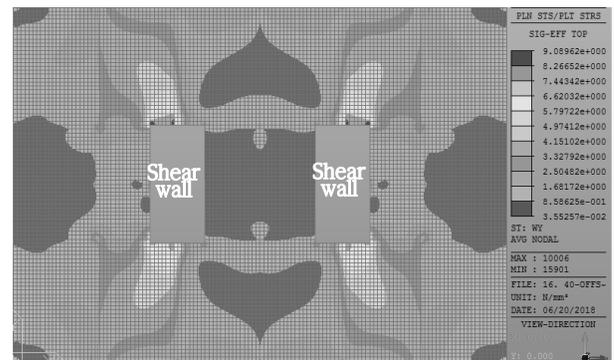


Fig. 11 Effective stress distribution in slab (offset outrigger, flexible diaphragm, slab stiffness=1.0EI, outrigger stiffness=1.0EI)

않는 오프셋 아웃리저 구조에서는 전단벽과 아웃리저 사이에 있는 슬래브에서 응력이 크게 분포하는 것으로 나타났다.

Fig. 12에서 아웃리저의 평면상 위치, 슬래브를 모델링한 격막 종류, 슬래브 강성에 따른 슬래브에 발생한 최대 유효응력 크기를 비교하여 나타내었다. 여기서는 아웃리저의 강성은 1.0EI와 2.0EI인 경우를 대상으로 하였고, 유효응력을 나타낸 슬래브는 아웃리저가 설치된 39~41층에 위치한 것이다. Fig. 12에서 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 코어 아웃리저 구조에서는 슬래브 강성이 증가할수록 슬래브 최대 유효응력의 크기는 증가하는 것으로 나타났고, 슬래브가 위치한 건물 높이에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 그리고 코어 아웃리저 구조에서 아웃리저 강성이 1.0EI와 2.0EI인 경우에 슬래브에 발생하는 최대응력이 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 경우는 강체 격막인 경우보다 각각 1.12~1.69배와 1.06~1.14배 큰 것으로 나타났다. 한편, Fig. 12에서 슬래브를 유연 격막으로 모델링한 오프셋 아웃리저에서도 슬래브의 강성이 증가할수록 슬래브의 최대 유효응력의 크기는 증가하는 것으로 나타났고, 이런 현상은 코어 아웃리저인 경우보다 현저하게 나타났다. 또한 오프셋 아웃리저에서는 코어 아웃리저 구조와는 상이하게 아웃리저의 상현재와 하현재가 설치된 높이에서 슬래브의 최대 유효응력이 보다 크게 나타났다. 이

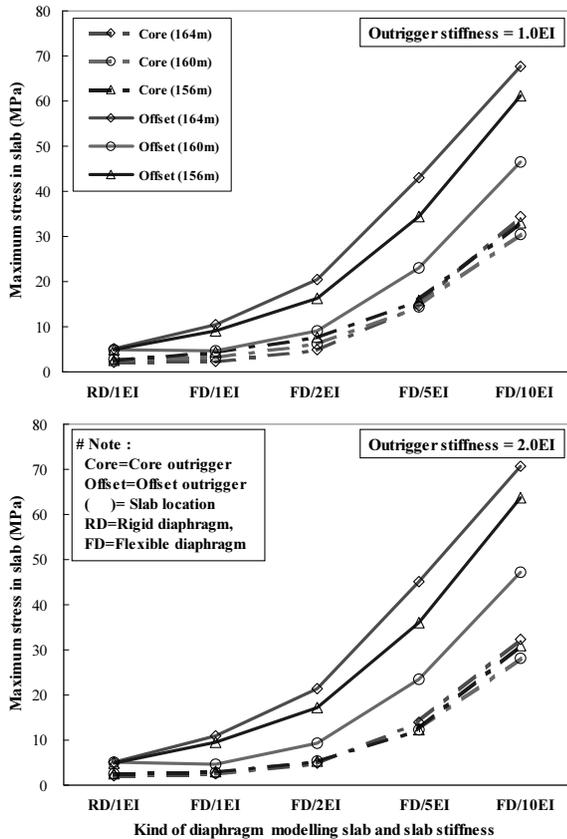


Fig. 12 Comparison of maximum stress in slab according to diaphragm kind and slab stiffness(outrigger stiffness 1.0EI and 2.0EI)

러한 사실은 앞서서도 언급된 것과 같이 오프셋 아웃리저 구조에서 전단벽과 아웃리저가 직접적으로 연결되지 않기 때문에 전단벽과 아웃리저 사이에 있는 슬래브가 전단벽으로부터 아웃리저로의 응력 전달에 코어 아웃리저 구조에서보다 상대적으로 크게 기여하였다는 것을 의미한다. 한편, 아웃리저 강성이 1.0EI와 2.0EI인 오프셋 아웃리저 구조에서 아웃리저의 상현재와 하현재가 설치된 높이에 있는 슬래브의 최대응력이 유연 격막으로 모델링한 경우는 강체 격막인 경우보다 각각 1.86~2.07배와 1.93~2.13배 큰 것으로 나타났다.

Fig. 13에서 아웃리저의 평면상 위치, 아웃리저 강성, 슬래브 강성에 따른 슬래브에 발생한 최대 유효응력 크기를 비교하여 나타내었다. 여기서 슬래브는 유연 격막으로 모델링한 것으로 강성은 1.0EI와 2.0EI인 경우이고, 유효응력을 나타낸 슬래브는 아웃리저가 설치된 39~41층에 위치한 것이다. Fig. 13을 보면 코어 아웃리저 구조에서는 아웃리저의 강성이 증가할수록, 슬래브의 최대 유효응력의 크기는 감소하는 것으로 나타났고 감소폭은 급격하게 줄어들었다. 반면에 오프셋 아웃리저 구조에서는 아웃리저 구조의 상현재와 하현재가 위치하는 건물 높이 164m와 156m에서 아웃리저의 강성이 증가

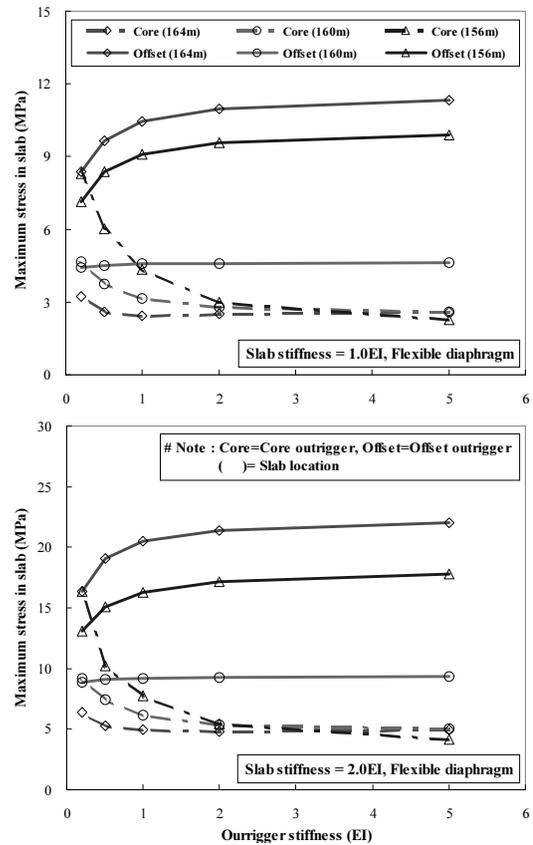


Fig. 13 Comparison of maximum stress in slab according to diaphragm kind and outrigger stiffness(slab stiffness 1.0 EI and 2.0EI)

하면, 슬래브의 최대 유효응력의 크기는 증가하는 것으로 나타났다지만 증가폭은 줄어들었다. 반면에 아웃리저 구조의 상현재와 하현재가 위치하는 건물 높이가 아닌 160m에서는 아웃리저 강성의 변화에 따른 슬래브의 최대 유효응력의 크기는 크게 변동되지 않는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 보면 코어 아웃리저 구조에서는 아웃리저의 강성이 작은 경우에는 아웃리저에 접합되어 있는 슬래브의 역할이 상대적으로 커진다는 것을 의미하는 것으로 판단된다. 반면에 오프셋 아웃리저 구조에서는 아웃리저 강성이 클수록 아웃리저 구조의 상현재와 하현재가 위치한 슬래브에 발생한 최대 유효응력의 크기가 증가하는 이유는 아웃리저 강성이 증가할수록 전단벽과 아웃리저 사이에 존재하는 슬래브의 구조적인 역할이 커지기 때문으로 추정된다.

4. 결 론

본 연구에서는 바닥 격막을 고려한 초고층 아웃리저 구조 시스템의 수평거동을 파악하고자 코어 아웃리저와 오프셋 아웃리저 구조시스템이 설치된 80층의 초고층건물을 대상으로 슬래브를 모델링한 격막 종류, 슬래브의 강성, 아웃리저의 강성 등을 해석변수로 채택한 구조해석을 실시하고, 그 해석결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초고층 아웃리저 구조시스템의 수평거동을 합리적으로 평가하기 위해서는 슬래브는 면내 강성과 면외 강성을 고려한 유연 격막으로 모델링하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- 2) 오프셋 아웃리저 구조는 코어 아웃리저 구조에 비하여 최상층 수평변위, 층간 수평변위, 슬래브의 유효응력에서 슬래브 강성의 영향은 크게 나타나지만 아웃리저의 강성의 영향은 적게 나타났다. 이것은 오프셋 아웃리저 구조는 아웃리저가 전단벽과 직접적으로 연결되지 않기 때문에 전단벽의 응력을 전달하는데 있어서 전단벽과

아웃리저 사이에 있는 슬래브의 역할이 상대적으로 크게 작용하지만 아웃리저의 역할이 상대적으로 약하기 때문이라고 판단된다.

- 3) 코어 아웃리저 구조에서는 전단벽과 직접 연결되는 아웃리저가 있는 슬래브 위치에서 응력이 크게 분포하였고, 전단벽과 직접 연결되지 않는 오프셋 아웃리저 구조에서는 전단벽과 아웃리저 사이에 있는 슬래브에서 응력이 크게 분포하는 하는 것으로 나타났다.

References

Architectural Institute of Korea (2016), Korean Building Code-Structural, (in Korean).

Jung, D. (1999). Optimum Outrigger Location for Outrigger Braced Structures with Stiffness Varying Linearly along the Height, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 15(2), 55-62 (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).

Kim, H. (2015). Comparative Analysis on Influence of Structure Elements on Optimal Location of One-Outrigger System, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance & Inspection of Korea*, 19(2), 22-32 (in Korean).

Midas IT. (2018). MIDAS GEN, Analysis & Design.

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 : 07/03/2018

Revised : 09/15/2018

Accepted : 10/11/2018

요 지 : 본 논문은 바닥 격막을 고려한 초고층 아웃리저 구조시스템의 수평거동을 파악하기 위하여 80층 규모의 초고층 아웃리저 건물을 대상으로 MIDAS-Gen을 이용하여 계획설계 수준의 구조설계를 진행하였다. 그리고 본 해석의 주요한 변수는 아웃리저의 평면상 위치, 슬래브의 강성, 아웃리저의 강성, 다이어프램의 종류이다. 또한 본 연구의 목적을 위하여 최상층에서 발생하는 수평변위, 층간변위, 슬래브에 발생한 응력을 분석하였다. 본 연구의 결과, 아웃리저의 평면상 위치, 슬래브의 강성, 아웃리저의 강성, 다이어프램의 종류는 초고층 아웃리저 구조 시스템의 수평거동에 영향을 주는 것으로 나타났다. 그리고 본 연구의 결과는 초고층 아웃리저 구조시스템의 수평거동을 파악하는데 필요한 구조설계 기본자료를 얻는데 도움이 된다고 사료된다.

핵심용어 : 아웃리저 시스템, 바닥 격막, 슬래브 강성, 아웃리저 강성, 초고층건물
