Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection
Vol. 23, No. 6, November 2019, pp.84-91
https://doi.org/10.11112/jksmi.2019.23.6.84

pISSN 2234-6937
eISSN 2287-6979

오프셋 아웃리거 구조시스템의 최적 위치에 대한 제안

김형기[1]*

Proposal for Optimal Position of Offset Outrigger System

Hyong-Kee Kim[1]*

Abstract: For the goal of the proposal for optimum position of offset outrigger system, a structural schematic design of 70 stories building was carried out, using the general structure analysis program of MIDAS-Gen. In this research, the primary factors of this analysis research were the shear wall stiffness, the frame stiffness, the outrigger stiffness , the stiffness of column linked in outrigger system, etc. To achieve the aim of this study, we analyzed and studied the lateral displacement in top level, the force distribution of outrigger, the existing model of optimal outrigger location, and so on. This paper proposed the optimal position of offset outrigger system. Furthermore it is considered that the study results can be useful in getting the structure engineering data for seeking the optimal position of offset outrigger in the tall building.

Keywords: Offset outrigger system, Optimal position, Stiffness of frame, Lateral displacement

1. 서 론

초고층 건물에서는 건물 높이로 인하여 급격하게 증가한 수평하중 때문에 나타나는 문제점을 해결하기 위하여 초고층 건물의 설계조건에 부합하는 수평하중 저항 시스템을 도입하는 것이 필수적이다. 현재 초고층 건물의 구조설계에 적용되는 수평하중 저항 시스템 중에는 전단벽-강성골조 구조시스템의 적절한 높이에 아웃리거 구조를 배치하는 설계사례가 지속적으로 증가하는 추세에 있다. 초고층 건축에서 아웃리거 구조를 배치하는 경우를 보면 코어에 위치하는 전단벽과 외곽의 기둥을 직접적으로 연결하는 코어 아웃리거 구조를 일반적으로 채택하지만 건축 계획적인 측면 등의 이유로 아웃리거 구조가 전단벽에 직접 연결되지 않고 평면상으로 이동하여 외곽 기둥과 접합되는 오프셋 아웃리거 구조도 사용된다. 아웃리거 구조시스템의 구조설계에서는 코어 아웃리거 구조나 오프셋 아웃리거 구조에 상관없이 대상 건물의 일부 층에 배치가 되기 때문에 설계대상 초고층 건물의 최상층 수평변위가 최소가 될 수 있게 되는 최적 아웃리거 구조의 위치에 대한 정확한 검토가 가장 중점적인 부분 중의 하나이다.

초고층 아웃리거 구조 건물의 최적 아웃리거 배치위치에 대한 기존의 대표적인 연구결과(Smith and Salim, 1981; Jung, 1999; Kim, 2015)는 코어 아웃리거 구조의 최적위치에 대한 것으로 오프셋 아웃리거 구조에 적용하기에는 적절하지 않은 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 기존에 제시된 적이 없었던 오프셋 아웃리거 구조의 최적위치를 제안하기 위하여 전단벽의 강성, 프레임의 강성, 아웃리거의 강성, 아웃리거에 접합된 외곽기둥의 강성 등을 변수로 하여 구조해석을 실시하였다. 본 논문에서 초고층 아웃리거 구조시스템의 구조해석과 구조설계를 위하여 이용한 구조해석 프로그램은 MIDAS-Gen 2018 Ver.865(Midas IT, 2018)이다.

[1]정회원, 강원대학교 공학대학 건설융합학부 교수
***Corresponding author:** hyongkee@kangwon.ac.kr
Department of Architectural Engineering, Kangwon National University, 346 Joongang-ro, Samcheok, Gangwon-do, Korea
•본 논문에 대한 토의를 2019년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2020년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 구조해석모델의 설정과 구조해석방법

2.1 구조해석모델의 설정

본 연구의 해석모델에서 구조평면은 X방향이 12m 등간격으로 5경간 60m이고 Y방향이 13.5m 등간격으로 3경간 40.5m이다. 본 연구의 구조평면과 주요한 구조부재를 Fig. 1에 표시하였고, 해석모델의 입체도를 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구에서 아웃리거는 전단벽이 있는 코어에서 1개 경간 떨어진 위치에 배치됨에 따라서 전단벽과는 직접적으로 연결되지 않았다. 또한 본 논문의 해석모델은 층고가 4m이고 70층으로 구성됨에 따라서 전체 높이가 280m이다. 본 논문의 구조해석모델의 수평하중으로 지진하중은 지역계수, 반응수정계수, 중요도계수, 지반종류를 각각 0.22, 5.0, 1.5, S_B로, 풍하중은 기본풍속, 중요도계수, 가스트영향계수, 지표면 조도구분을

Copyright Ⓒ 2019 by The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

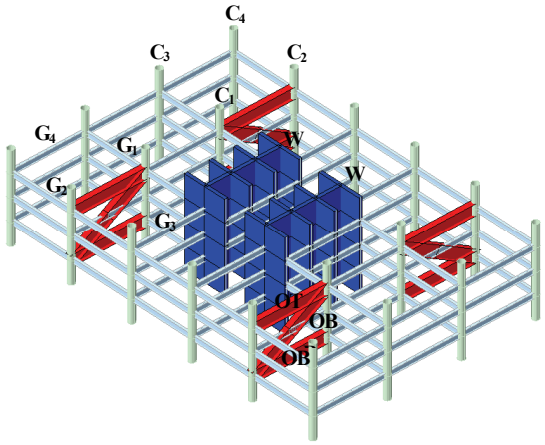
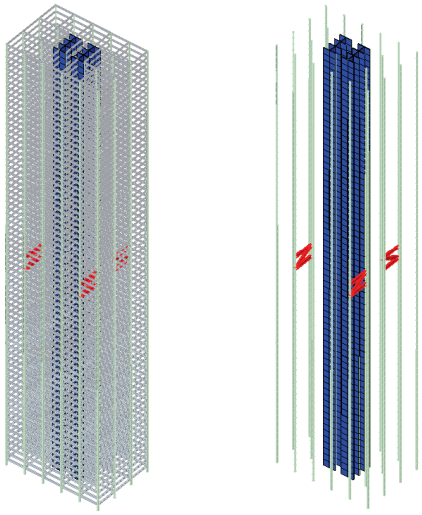


Fig. 1 Layout of structure elements in offset outrigger model



(a) 3-D modelling

(b) 3-D modelling excluding all girders

Fig. 2 3-D modelling of offset outrigger model

각각 26m/sec, 1.05, 1.52, B로 설정하였다. 본 연구에서 변수로 채택된 것은 코어 아웃리거 구조인 경우와 마찬가지로 Table 1과 같이 (1)전단벽 강성, (2)프레임 강성, (3)아웃리거 강성, (4)아웃리거에 접합된 외곽기둥 강성 등이다.

본 연구의 해석모델에 사용된 구조재료로서 기둥은 SNT355인 원형강관, 보와 아웃리거는 SM460인 H형강이 사용되었다. 또한 해석모델에 적용된 전단벽과 슬래브의 콘크리트는 설계압축강도(f_{ck})가 각각 70MPa와 24MPa이다. 여기서 바닥 슬래브는 두께가 150mm이고 면내는 물론 면외의 강성에 대한 고려가 가능한 유연격막(Flexible diaphragm)으로 모델링을 하였다. 본 연구에서 설정한 여러 가지 해석모델 중에서 기본모델은 전단벽, 프레임, 아웃리거의 휨강성과 아웃리거에 접합되는 외곽 기둥의 축강성이 각각 1EI와 1EA(E는 탄성계수, I는 단면 2차모멘트, A 단면적)인 경우를 말한다. Table 1에 나타낸 것과 같이 본 연구의 해석변수에 따른 영향을 구체적으로 파악하기

Table 1 Main parameters of this study

No.	Shear wall stiffness	Frame stiffness	Outrigger stiffness	Stiffness of column linked in outrigger
1	5EI	1EI	1EI	1EA
2	2EI			
3*1	1EI			
4	0.5EI			
5	0.2EI			
6	1EI	5EI	1EI	1EA
7		2EI		
8*1		1EI		
9		0.5EI		
10		0.2EI		
11	1EI	1EI	10EI	1EA
12			5EI	
13			2EI	
14*1			1EI	
15			0.5EI	
16			0.2EI	
17			0.1EI	
18	1EI	1EI	1EI	5EA
19				2EA
20*1				1EA
21				0.5EA
22				0.2EA

(Note) *1: basic model(No.3, 8, 14 and 20 are same model.)

위하여 상기의 기본모델을 기준으로 전단벽, 프레임, 아웃리거에 접합되는 외곽 기둥에 대해서 각각 0.2배, 0.5배, 2배, 5배인 경우를 설정하였고 아웃리거에 대해서는 0.1배, 0.2배, 0.5배, 2배, 5배, 10배인 경우를 채택하였다.

2.2 구조해석방법

앞에서 설명한 기본모델의 중간층인 35층에 아웃리거를 설치한 경우에 대하여 구조설계를 실시하였다. 구조설계는 KBC 구조설계기준(Architectural Institute of Korea, 2016)에 의거하였다. 여기서 풍하중에 의하여 해석모델의 최상층에서 발생하는 수평변위는 건물 전체높이의 1/500 이하가 될 수 있도록 구조해석을 진행하였다. Fig. 3에 앞에서 설명한 것과 같이 설계가 실시된 기본모델에 대한 기둥, 보, 전단벽의 구조단면들을 각각 표시하였다. 그리고 아웃리거 구조의 상현재, 하현재, 사재에 대한 H형강의 단면은 H2000×1000×200×200을 사용하였다. 본 연구에서는 아웃리거 구조시스템의 최적위치를 탐색하기 위하여 건물의 아래에서부터 5층 간격으로 아웃리거 구조를 옮겨가면서 구조해석을 추진한 후에 최상층의 수평변위를 확인한 후에 상기의 결과 중에서 최상층에 나타난 수평변위가 최소인 경우를 찾아서 그 위치를 중심으로 아웃리거를 1개층마다 아웃리거의 위치를 변경시켜가면서 최적의 아웃리거구조의 배치위치를 찾았다.

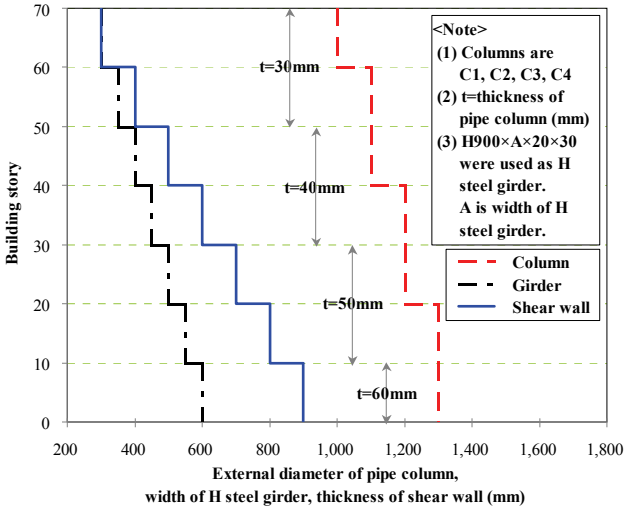


Fig. 3 Sections of column, girder and shear wall in basic model

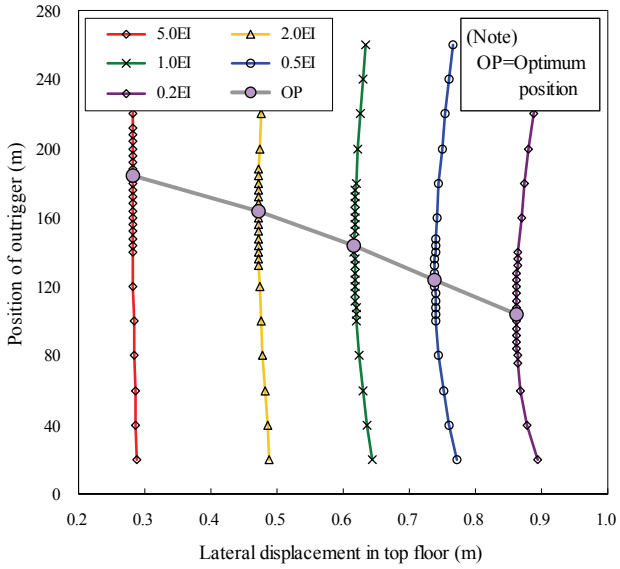


Fig. 4 Distribution of lateral displacement in top floor of analysis models according to stiffness of shear wall

3. 오프셋 아웃리거의 최적위치 탐색을 위한 구조해석에 대한 결과와 분석

아웃리거 구조의 최적위치를 찾기 위하여 전단벽 강성, 프레임 강성, 아웃리거 강성, 아웃리거에 접합된 외곽기둥의 강성 등을 해석변수로 채택한 해석결과에 대하여 분석하였다.

3.1 최적위치에 대한 해석결과

Fig. 4는 본 연구의 해석결과 중에서 대표적으로 전단벽에 대한 강성을 변수로 한 경우에서 아웃리거의 배치위치에 따른 각 구조해석모델의 최상층 수평변위 분포를 표시하였다. 여기서 강성은 5EI, 2EI, 1EI, 0.5EI, 0.2EI인 경우이다. Fig. 4에서 전단벽, 프레임, 아웃리거, 아웃리거와 연결된 기둥의 강성이 1EI이거나 1EA인 기본모델에서는 아웃리거 구조가 144m(0.514H, H는 건물의 높이) 높이에 위치하는 경우에서 최상층의 수평변위가 0.6168m(H/454)로 최소가 되었다. Fig. 4를 보면 전단벽 휨강성을 1EI인 모델보다 5배와 2배로 각각 증가시킨 경우는 최상층의 수평변위가 각각 0.2814m(H/995)와 0.4722m(H/593)로 아웃리거 구조가 각각 184m(0.657H)와 164m(0.586H)에 위치한 경우에 최소가 되었고, 최상층의 수평변위는 전단벽 강성이 1EI인 모델인 경우보다 23.4～54.4% 감소하였다. 또한 Fig. 4에서 전단벽 휨강성을 1EI인 모델보다 0.5배와 0.2배로 각각 감소시킨 경우는 최상층 수평변위가 각각 0.7381m(H/379)와 0.8613m(H/325)로 아웃리거 구조가 각각 124m(0.443H)와 104m(0.371H)에 있는 경우에서 최소로 나타났고, 최상층에서 발생한 수평변위는 전단벽의 강성이 1EI인 모델인 경우와 비교하여 19.7～39.64% 늘었다.

Fig. 5에서는 앞에서 언급한 전단벽, 프레임, 아웃리거, 아웃

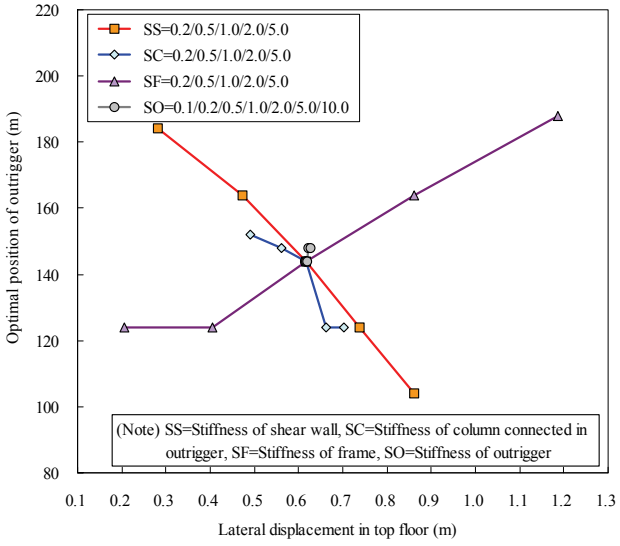


Fig. 5 Relation between optimal outrigger position and lateral displacement in top floor according to analysis factors

리거에 접합된 기둥의 강성 변화에 따른 오프셋 아웃리거의 최적위치를 표시하였다. Fig. 5에서 전단벽의 강성이 5EI, 2EI, 1EI, 0.5EI, 0.2EI인 경우는 최적 아웃리거 구조시스템의 배치위치가 184m(0.657H), 164m(0.586H), 144m(0.514H), 124m(0.443H), 104m(0.371H)로 전단벽의 강성이 감소하면 최적 아웃리거의 위치가 건물 하부로 이동하는 경향을 나타내었다. 반면에 Fig. 5에서 프레임의 강성이 5EI, 2EI, 1EI, 0.5EI, 0.2EI인 경우는 최적 아웃리거 구조시스템의 배치위치가 124m(0.443H), 124m, 144m(0.514H), 164m(0.586H), 188m(0.671H)로 프레임의 강성이 감소하면 최적 아웃리거의 위치가 건물 상부로 이동하는 경향을 보였다. 아웃리거의 강성이 10EI, 5EI, 2EI, 1EI, 0.5EI,

0.2EI, 0.1EI인 경우에서는 아웃리거의 최적위치가 각각 144m (0.514H), 144m, 144m, 144m, 144m, 148m(0.514H), 148m로 아웃리거 강성이 기본모델의 50% 이상인 경우에서는 아웃리거 강성의 변화에 따른 아웃리거의 최적위치에 변화가 나타나지 않았지만, 아웃리거 강성이 기본모델의 20% 이하인 경우에서는 아웃리거의 최적위치가 다소 건물 상부로 이동하였다. 그리고 아웃리거에 접합된 외곽기둥의 축강성이 5EA 2EA, 1EA, 0.5EA, 0.2EA인 경우에서는 최적 아웃리거 구조의 위치가 152m(0.543H), 148m(529H), 144m(0.514H), 124m(0.443H), 124m로 아웃리거 구조와 연결된 기둥 강성이 증가하면 아웃리거의 최적 위치가 건물의 상부로 옮겨가는 경향을 보였지만 일정 이하의 강성을 가진 경우에는 아웃리거와 접합된 외곽기둥의 강성의 변화에 따른 아웃리거의 최적위치에 변화가 나타나지 않았다.

3.2 아웃리거의 최적위치 제시

아웃리거 구조시스템의 최적위치에 대한 기존의 연구 중에서 Smith 등(Smith and Salim, 1981)에 의해 제안된 내용이 가장 대표적인 것이라고 할 수 있다. Smith 등은 아웃리거의 최적위치에 대하여 아웃리거 구조시스템을 구성하고 있는 전단벽, 아웃리거, 아웃리거에 접합된 외곽기둥의 구조성능을 반영한 ω라는 영향지수로 표현하였다. 그리고 Smith 모델에서는 아웃리거의 최적위치를 ω라는 지수와의 관련 식으로 표현하면서 구체적인 수식으로 표현하지 않고 그래프로 표현하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Smith 모델에 의한 아웃리거의 최적위치를 그래프로부터 추출한 결과로부터 ω를 변수로 한 회귀분석을 통하여 유도하였다. 앞에서 설명한 ω라는 지수와 Smith 모델에 의한 최적위치를 다음에 나타내었다.

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

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

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

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

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

$$X_1/H = -0.55\omega + 0.445 \quad (6)$$

여기서, $(EI)_o$: 아웃리거의 등가 휨강성, a : 코어(전단벽) 길이의 1/2, b : 아웃리거의 길이, $(EI')_o$: 아웃리거의 실제 휨강성, EI : 코어(전단벽)의 휨강성, $(EA)_c$: 아웃리거에 연결된 외곽기둥의 축강성, H : 건물 높이, X_1 : 건물의 최상층에서 아웃리거의 최적위치까지의 거리

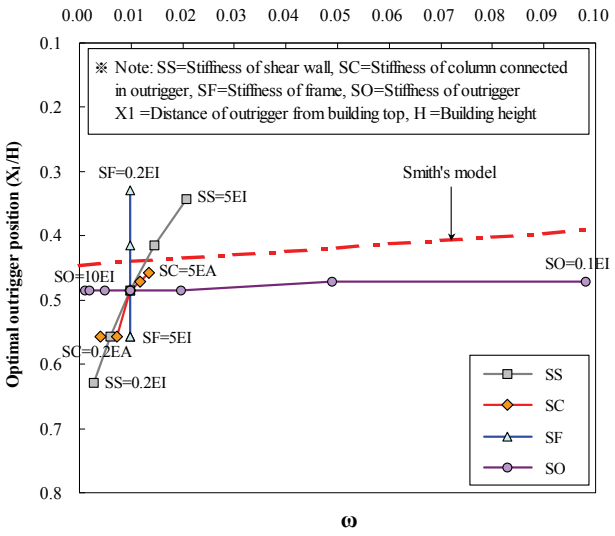


Fig. 6 Comparison of smith's model and analysis results about optimal position of offset outrigger

Fig. 6에 표시한 것과 같이 아웃리거 구조의 최적 위치에 대하여 본 해석결과와 Smith 모델을 비교해보면 전단벽의 강성이 2EI 이상인 경우와 프레임 강성이 0.5EI 이하인 경우를 제외하고 구조해석에 의한 결과는 건물높이의 2.6~18.6% 하부에 있는 것으로 나타났다. Fig. 6에서 전단벽, 프레임, 아웃리거에 접합된 기둥의 강성을 변수로 한 경우를 보면 최적 아웃리거의 위치에 대한 해석결과와 Smith 모델과의 차이가 크게 나타났다. 특히 프레임 강성이 해석변수인 경우(5개 모든 모델 ω=0.0098)를 보면 프레임 강성이 0.2EI인 경우에서는 본 해석결과가 Smith 모델보다 건물높이의 10.7% 상부에 있는 것으로 나타났지만 프레임 강성이 증가하면 할수록 하부로 이동하다가 프레임 강성이 5EI인 경우에서는 건물높이의 12.2%까지 하부에 있는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 6에서 전단벽 강성이 해석변수인 경우를 보면 전단벽 강성이 5EI인 경우에서는 해석결과가 Smith 모델보다 건물높이의 8.1% 상부에 있는 것으로 나타났지만 전단벽의 강성이 감소하면 할수록 하부 방향으로 이동하다가 전단벽 강성이 0.2EI인 경우에서는 건물높이의 18.6%까지 하부에 있는 것으로 나타났다. 앞에서 언급한 아웃리거 구조시스템의 최적위치에 대한 Smith 모델은 아웃리거 구조를 이루고 있는 구조요소를 건물의 코어에 위치한 전단벽, 건물의 외곽 기둥, 전단벽과 외곽기둥을 연결하는 아웃리거로 설정하였다. 한편, 본 연구의 해석에서는 아웃리거 구조에 직접적으로 접합되지 않은 프레임이 되는 기둥과 보도 구조해석을 위한 모델링에 포함하였다.

Fig. 7에서 아웃리거의 강성이 10EI, 5EI, 2EI, 1EI, 0.5EI, 0.2EI, 0.1EI인 7가지 경우인 해석모델에서 아웃리거 구조의 하현재에 작용하는 축하중의 크기를 코어 아웃리거 구조와 오프셋 아웃리거 구조에 대하여 각각 나타내었다. Fig. 8에서

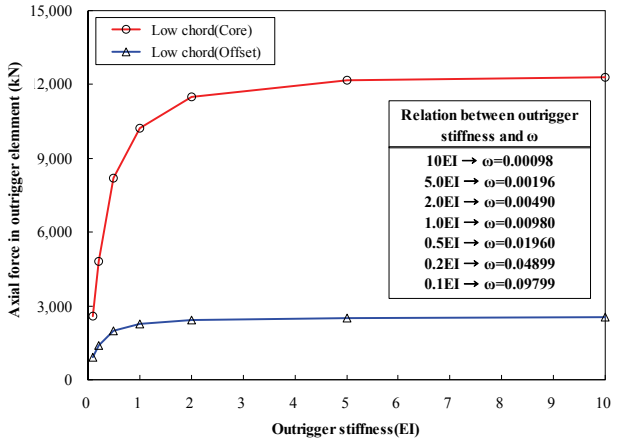


Fig. 7 Comparison of axial forces in core and offset outrigger element according to outrigger stiffness

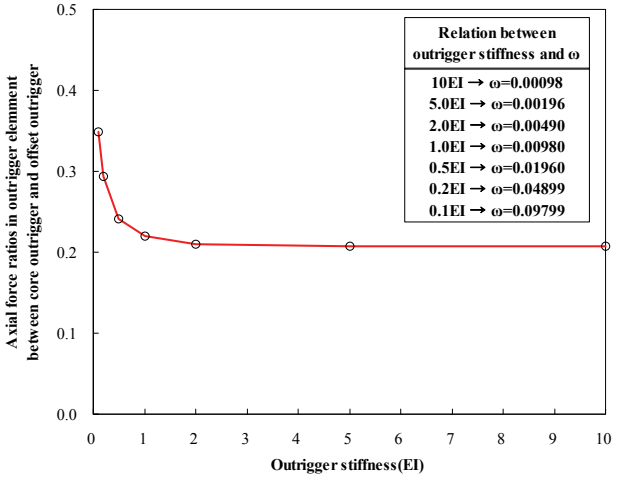


Fig. 8 Comparison of axial force ratios in outrigger element between core outrigger and offset outrigger according to outrigger stiffness

는 앞에서 설명한 7가지 경우에 대한 아웃리거의 강성 별로 코어 아웃리거 구조에 대한 오프셋 아웃리거 구조의 하현재에 작용하는 축하중 크기의 비율을 나타내었다. 상기의 Fig. 7과 Fig. 8에는 아웃리거의 강성에 따른 Smith 모델의 ω라는 지수도 표시하였다. Fig. 7과 Fig. 8을 보면 아웃리거의 강성이 0.5EI 이상인 경우에서는 오프셋 아웃리거에 작용하는 축력이 코어 아웃리거의 20% 내외로 나타났다. 또한 Fig. 7과 Fig. 8에서 아웃리거의 강성이 0.2EI 이하와 같이 아웃리거의 강성이 현저하게 낮은 경우에서는 오프셋 아웃리거에 작용하는 축력이 코어 아웃리거의 30% 에 근접하거나 초과하는 결과를 보이면서 다소 오프셋 아웃리거와 코어 아웃리거의 차이가 다소 감소하는 경향을 보였다. 이상의 결과로부터 오프셋 아웃리거의 경우가 코어 아웃리거에 비하여 전달하는 축력이 현저하게 적은 것을 알 수 있다. 이것은 오프셋 아웃리거는 전단벽과 직접 연결되지 않았기 때문에 전단벽으로부터 아웃리

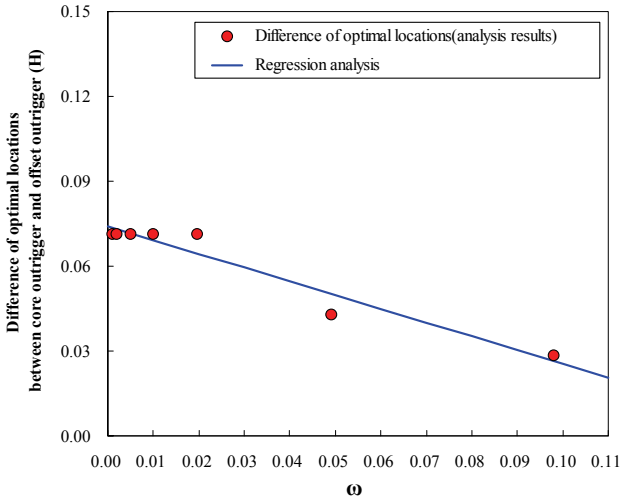


Fig. 9 Comparison between equation of regression analysis and analysis results about optimal location differences between core outrigger and offset outrigger

거로 전달되는 힘이 적다는 것을 의미한다. 다시 말하면 아웃리거의 휨강성 평가에서 동일한 조건이면 오프셋 아웃리거가 코어 아웃리거에 비하여 열세라는 것을 의미한다. 이러한 의미에서 동일한 조건의 오프셋 아웃리거와 코어 아웃리거는 아웃리거의 구조적인 역할의 차이로 아웃리거 구조의 최적위치에서도 차이가 발생하는 것이 당연하다고 판단된다.

Fig. 9에서는 아웃리거의 강성이 10EI, 5EI, 2EI, 1EI, 0.5EI, 0.2EI, 0.1EI인 7가지 경우인 해석모델에서 코어 아웃리거 구조와 오프셋 아웃리거 구조 사이의 아웃리거 최적위치의 차이와 Smith 모델의 ω라는 지수와의 관계를 나타내었다. 여기에서 코어 아웃리거 구조와 오프셋 아웃리거 구조 사이의 아웃리거 최적위치의 차이는 ω가 0.0196 이하(아웃리거 구조의 강성이 0.5EI 이상)인 경우는 0.0714H(H는 건물의 전체 높이)이고, ω가 0.04899(아웃리거 구조의 강성이 0.2EI)인 경우와 ω가 0.09799(아웃리거 구조의 강성이 0.1EI)인 경우는 각각 0.0429H와 0.0286H로 나타났다. 이 결과는 Fig. 8에서 나타낸 아웃리거 구조의 강성의 변화, 즉 Smith 모델의 ω의 변화에 따른 코어 아웃리거와 오프셋 아웃리거 간의 아웃리거 하현재에 작용하는 축력비 분포의 변화와 유사한 경향을 보였다. Fig. 9에서 아웃리거의 강성이 7가지 경우인 해석모델에서 코어 아웃리거 구조와 오프셋 아웃리거 구조 사이의 아웃리거 최적위치의 차이와 ω라는 지수의 결과를 회귀분석하여 나타내면 다음과 같다.

$$D_1/H = -0.485\omega + 0.074 \quad (7)$$

여기서,

D_1 : 코어 아웃리거와 오프셋 아웃리거의 최적위치 차이

Table 2 Regression analysis data for the optimal offset outrigger location in this study

Shear wall stiffness	Frame stiffness	Outrigger stiffness	Stiffness of column connected in outrigger	ω	SR_f *1	Optimal location of offset outrigger(m)	Optimal location of core outrigger((m)
5.0EI	1.0EI	1.0EI	1.0EA	0.02072	0.300	184	164
2.0EI	1.0EI	1.0EI	1.0EA	0.01461	0.509	164	140
1.0EI	1.0EI	1.0EI	1.0EA	0.00980	0.666	144	124
0.5EI	1.0EI	1.0EI	1.0EA	0.00591	0.792	124	112
0.2EI	1.0EI	1.0EI	1.0EA	0.00269	0.899	104	96
1.0EI	5.0EI	1.0EI	1.0EA	0.00980	0.883	124	84
1.0EI	2.0EI	1.0EI	1.0EA	0.00980	0.777	124	112
1.0EI	1.0EI	1.0EI	1.0EA	0.00980	0.666	144	124
1.0EI	0.5EI	1.0EI	1.0EA	0.00980	0.535	164	144
1.0EI	0.2EI	1.0EI	1.0EA	0.00980	0.352	188	152
1.0EI	1.0EI	10.0EI	1.0EA	0.00098	0.666	144	124
1.0EI	1.0EI	5.0EI	1.0EA	0.00196	0.666	144	124
1.0EI	1.0EI	2.0EI	1.0EA	0.00490	0.666	144	124
1.0EI	1.0EI	1.0EI	1.0EA	0.00980	0.666	144	124
1.0EI	1.0EI	0.5EI	1.0EA	0.01960	0.666	144	124
1.0EI	1.0EI	0.2EI	1.0EA	0.04899	0.666	148	136
1.0EI	1.0EI	0.1EI	1.0EA	0.09799	0.666	148	140
1.0EI	1.0EI	1.0EI	5.0EA	0.01347	0.666	152	144
1.0EI	1.0EI	1.0EI	2.0EA	0.01181	0.666	148	136
1.0EI	1.0EI	1.0EI	1.0EA	0.00980	0.666	144	124
1.0EI	1.0EI	1.0EI	0.5EA	0.00731	0.666	124	124
1.0EI	1.0EI	1.0EI	0.2EA	0.00414	0.666	124	124

(Note) *1: Lateral stiffness ratios of frame in rigid frame-shear wall system

본 논문에서는 보다 합리적인 최적의 아웃리거 위치를 제시하는 방법을 찾기 위하여 기존의 Smith 모델을 이용하였다. 앞에서 설명한 내용을 보면 Smith 모델이 해석결과와 차이가 다소 있지만 아웃리거 구조를 구성하고 있는 구조부재들의 강성에 따른 아웃리거 최적위치의 변화에 대한 전체적인 흐름을 어느 정도 표현하고 있다고 판단이 된다. 특히 이런 경향은 프레임의 강성 변화가 배제된 아웃리거 강성을 변수로 한 경우에서 뚜렷하게 나타났다. 그리고 Smith 모델이 해석결과와 차이가 다소 나타난 것은 모델링 방법에서 프레임에 대한 고려가 없기 때문으로 추정된다. 따라서 본 연구에서 아웃리거의 최적위치에 프레임의 강성을 반영하고자 한다. 프레임의 강성을 고려하기 위해서는 본 논문의 해석모델에서 아웃리거 구조를 모델링하지 않은 강성 프레임-전단벽 구조(Rigid frame-shear wall system)로부터 프레임의 수평강성을 산정하였다. 프레임의 수평강성을 구하는 방법은 기존 연구(Kim and Park, 2003)에서 도출하였다. 먼저 수평하중에 전단벽 구조만이 저항하는 것으로 가정하여 해석모델의 층별로 발생하는 각각의 수평변위를 얻었다. 그리고 본 연구의 해석모델의 프레임-전단벽 구조에서 나타나는 층별의 수평변위를 구하였다. 앞에서 설명한 전단벽만의 구조와 프레임-전단벽 구조를 대상으로 수평변위 대표값(x)과 수평강성 대표값(I)을 아래와 같이 구하였다.

$$x = \sqrt{\frac{\sum \Phi_i^2}{N}} \tag{8}$$

$$I = \frac{1}{x} \tag{9}$$

여기서, φ_i : 각 층의 수평변위, N : 층수

프레임의 수평강성 대표값(I_f)은 프레임-전단벽 구조의 수평강성 대표값(I_{fs})에서 전단벽 구조의 수평강성 대표값(I_s)을 제외함으로 얻었다. 그리고 프레임의 수평강성 비(SR_f)는 프레임-전단벽 구조의 수평강성 대표값(I_{fs})에 대한 프레임의 수평강성 대표값(I_f) 비율로 정의하였고 이것을 Table 2에 나타내었다. 프레임의 강성을 고려한 아웃리거 구조의 최적위치를 찾을 목적으로 회귀분석을 진행하는데 필요한 자료를 Table 2에 표시하였다. 앞에서 설명한 것처럼 산정한 프레임의 수평강성 비(SR_f)를 변수로 채택한 회귀분석을 수행하여 도출한 아웃리거의 최적위치(X_{pro})는 코어 아웃리거는 (10)식, 오프셋 아웃리거는 (11)식으로 각각 나타낼 수 있었다.

$$X_{pro}/H = X_1/H + 0.434SR_f - 0.172 \tag{10}$$

$$X_{pro}/H = X_1/H + 0.434SR_f - 0.172 - D_1/H \tag{11}$$

여기서, SR_f: 프레임-전단벽 구조에서 프레임 수평강성 비, X_1: 건물의 최상층에서 아웃리거의 최적위치까지의 거리 (Smiith 모델)

여기서는 아웃리거 구조의 최적위치에 대한 기존 모델과 새로 제안된 방법을 비교하기 위하여 본 연구의 아웃리거 구조의 최적위치에 대한 구조해석의 결과(X_{ana})를 기존의 Smith 모델로 산정한 아웃리거의 최적위치 결과(X_{sm})와 본 논문의 제안식으로 구해진 아웃리거의 최적위치 결과(X_{pro})와 비교하여 Fig. 10~Fig. 13, Table 3, Table 4에 각각 나타내었다. Table 3을 보면 오프셋 아웃리거 구조의 최적위치에 대한 Smith 모델은 건물 높이의 11.2% 상부에 위치하는 것으로 평가되었고 변동계수는 19.6%로 나타났다. 한편 코어 아웃리거 구조의 최적위치에 대해서는 건물 높이의 24.6% 상부에 있고 변동계수는 11.8%가 되었다. 반면에 Table 4를 보면 본 연구의 제안식은 오프셋 아웃리거 구조의 최적위치에 대해서는 건물 높이의 0.8% 상부에 있는 것으로 평가되었고 변동계수도 6.0%로 나타났다. 그리고 코어 아웃리거 구조의 최적위치에 대해서는 건물 높이의 0.4% 하부에 있고 변동계수는 4.8%가 되었다. 또한 Fig. 10에서 Smith 모델은 아웃리거의 최적위치가 ω값의 크기에 관계없이 해석결과보다 상부에 위치하는 것으로 평가하였고, 오프셋 아웃리거의 경우가 코어 아웃리거보다 상부에 위치하는 정도가 감소하였다. Fig. 11에서는 Smith 모델로 산정한 최적 아웃리거의 위치는 프레임의 수평강성 비(SR_f)가 클수록 해석결과보다 상부에 있는 것으로 나타났다. Fig. 12와 Fig. 13을 보면 아웃리거의 최적위치에 대하여 본 연구의 제안식은 아웃리거의 최적위치가 ω와 SR_f의 크기에 따른 큰 편차 없이 해석결과를 정확하게 예측하였다. Fig. 12와 Fig. 13에서는 본 연구의 제안식이 아웃리거의 최적위치에 대하여 오프셋 아웃리거와 코어 아웃리거의 종류에

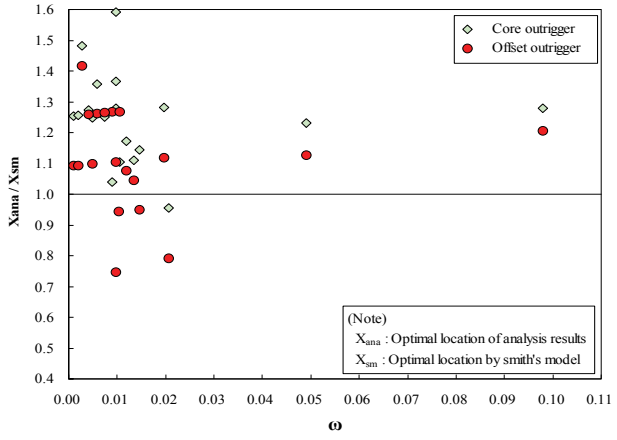


Fig. 10 Comparison of analysis results and smith's model about optimal location of outrigger according to ω

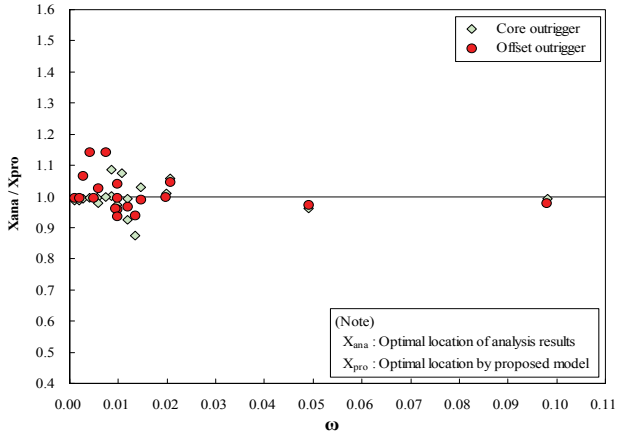


Fig. 12 Comparison of analysis results and proposed model about optimal location of outrigger according to ω

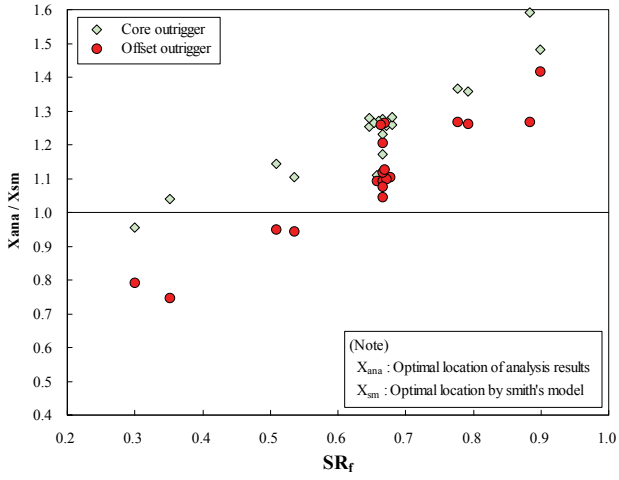


Fig. 11 Comparison of analysis results and smith's model about optimal location of outrigger according to SR_f

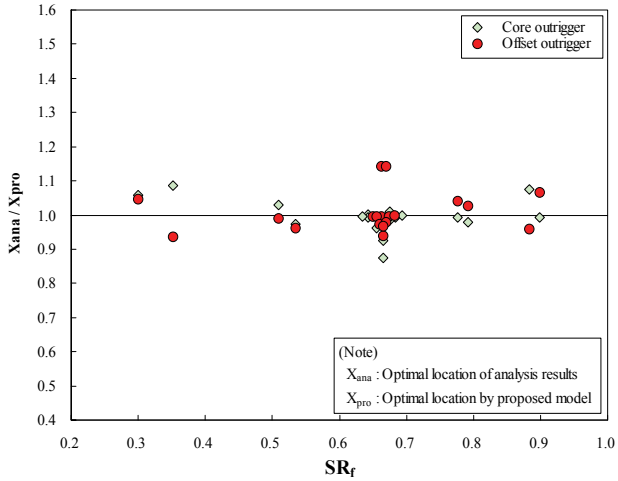


Fig. 13 Comparison of analysis results and proposed model about optimal location of outrigger according to SR_f

Table 3 Statistics of X_{ana}/X_{sm} by smith's model about optimal outrigger location

Outrigger kind	Average	Coefficient of variation (%)
Offset	1.112	19.6
Core	1.246	11.8
Total	1.179	15.6

Table 4 Statistics of X_{ana}/X_{pro} by proposed model about optimal outrigger location

Outrigger kind	Average	Coefficient of variation (%)
Offset	1.008	6.0
Core	0.996	4.8
Total	1.002	5.4

따른 편차가 특별히 나타나지 않은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 오프셋 아웃리거 구조의 최적위치를 파악하기 위하여 전단벽의 강성, 프레임의 강성, 아웃리거의 강성, 아웃리거에 접합된 기둥의 강성 등을 구조해석의 변수로 하여 구조해석을 실시하고, 해석결과를 비교분석하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 본 논문에서는 오프셋 아웃리거 구조의 최적위치를 평가하는 방법을 제시하였다. 이렇게 제시된 방법은 아웃리거 최적위치에 대한 대표적 기존의 연구성과인 Smith 모델보다 합리적인 결과를 보였다. 오프셋 아웃리거의 최적위치에 대한 평가에서 Smith 모델은 10% 이상 건물 상부에 있고 변동계수가 20% 정도로 나타난 반면에 본 연구의 제안식은 1%를 초과하지 않는 범위에서 건물 상부에 위치하고 변동계수도 6% 정도로 나타났다.
2) 본 연구에서 제시된 오프셋 아웃리거 구조시스템의 최적위치를 예측하는 방법은 이웃리거 구조시스템을 구성하는 구조요소인 아웃리거, 전단벽, 아웃리거에 접합된 기둥에 대한 각각의 강성은 물론 프레임-전단벽 구조에 대한 프레임 구조의 수평강성 비율을 사용하여 프레임의 효과를 고려한 것이다.

References

1. Architectural Institute of Korea (2016), Korean Building Code-Structural, (in Korean).
2. 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).
3. 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).
4. Kim, J. & Park, Y. (2003). The Structural Design of High-rise Building, *International Seminar of Tall Buildings and Urban Habitat, Architectural Institute of Korea*, 64-74 (in Korean).
5. Midas IT. (2018). MIDAS GEN, Analysis & Design.
6. Smith, B., Salim, I. (1981). Parameter Study of Outrigger-braced Tall Building Structures, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 107(10), 2001-2014.

Received : 09/02/2019
Revised : 10/28/2019
Accepted : 10/31/2019

요 지 : 본 논문은 오프셋 아웃리거 구조의 최적위치에 대한 제안을 목적으로 70층 규모의 아웃리거 건물을 대상으로 일반 구조해석 프로그램인 MIDAS-Gen을 이용하여 계획설계 수준의 구조설계를 실시하였다. 그리고 본 연구에서 주요 변수는 전단벽의 강성, 프레임의 강성, 아웃리거의 강성, 아웃리거에 접합된 기둥의 강성이다. 본 연구의 목적을 위하여 최상층의 수평변위, 아웃리거에 작용하는 하중의 분포, 아웃리거의 최적위치에 대한 기존모델 등을 분석하였다. 본 논문은 오프셋 아웃리거 구조의 최적위치를 제안하였다. 그리고 본 연구의 결과는 초고층 오프셋 아웃리거 구조시스템의 최적위치를 찾는데 필요한 구조공학자료를 얻는데 도움이 된다고 사료된다.

핵심용어 : 오프셋 아웃리거 시스템, 최적위치, 프레임 강성, 수평변위