초고층건물에서 아웃리거 구조의 최적위치에 대한 캡 트러스가 미치는 영향

Effect of Cap Truss on Optimal Outrigger Location in Tall Building

김 형 기^{1)*}

Hyong-Kee Kim

Abstract

This study purposed to investigate the optimal outrigger location in tall building with cap truss after a structural schematic design of 80 stories building was performed by using MIDAS-Gen. In this paper, the main parameters of structural analysis were the outrigger location and stiffness of main structural elements (outrigger, exterior column, shear wall etc). In order to search the optimal outrigger position in high-rise building with cap truss, we analysed and examined the lateral displacement of top floor which is one of the very important considering factors of tall building structural design.

The paper results indicated that the outrigger location and the stiffness of main structural elements such as outrigger, exterior column and shear wall had an effect on the optimal outrigger location. And it is verified that the study results provided the basic engineering data for fixing the most optimal outrigger location for minimizing the lateral displacement of tall building.

Keywords : Outrigger system, Cap truss, Optimal location, Tall building, Structural analysis

1. 서 론

세계 각국의 대도시에서는 대지이용의 효율성과 복합적인 기능성에 대한 요구 등으로 인하여 초고층건물의 건설이 늘어나고 있고, 우리나라 안에서도 초고층건물의 설계와 시공이 지속적으로 증가하고 있는 추세에 있다. 이와 같은 초고층건물의 설계에서는 동적인 수평하중의 영향이 매우 증가함에 따라서 건물이 높아지면 높아질수록 강도 (Strength)와 강성 (Stiffness)에 대한 요구가 급격하게 증가하여 최적의 횡력저항 구조시스템을 선정하기 위한 엔지니어링 능력이 필요하다. 지금까지의 초고층건물의 구조설계에는 여러 가지의 횡력저항 구조시스템이 적용되었는데 그 중에는 가새 구조, 튜브 구조, 묶음튜브 구조, 아웃리거 구조, 메가 구조 등이 많은 건물에 사용되었다. 앞에서 언급한 여러 가지의 횡력저항 구조시스템 가운데에서 근래에 건설된 초고층건물에 아웃리거 구조를 적용한 사례가 증가하고 있다. 이것은 초고

층건물을 구조설계하는 경우에 아웃리거 구조가 수평하중에 대한 저항성능을 확보하는데 있어서 매우 유효하기 때문이다. 그래서 풍하중이나 지진하중과 같은 횡력에 가장 유효하게 저항하는 초고층건물에 대한 아웃리거 구조의 위치를 찾는 것은 초고층 아웃리거 구조시스템 건물의 구조설계에서 가장 중요한 사항 중의 하나라고 말할 수 있다.

최근에 저자는 실제 초고층건물의 설계조건과 동일한 캡 트러스 (Cap Truss)가 설치되지 않은 초고층건물의 아웃리거 구조시스템에 대한 최적의 아웃리거 위치를 찾기 위하여 아웃리거 구조시스템을 구성하는 주요한 구조요소의 강성과 아웃리거의 위치 등을 변수로 채택한 구조해석을 실시한 후에 그 결과를 분석하여 발표하였다 (Kim, 2013). 한편 아웃리거 구조시스템 중에서 수평강성을 보다 증가시키기 위하여 캡 트러스라고 불리는 초고층건물의 지붕층에 외부기둥과 내부코어를 연결하는 아웃리거 구조시스템을 추가적으로 설치한 경우가 사용되기도 한다. 실제의 초고층건물을 전단

1) 정회원, 강원대학교 건축공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : hyongkee@kangwon.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2014년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

벽, 아웃리거, 아웃리거에 연결된 기둥만으로 단순화시킨 모델링에서 아웃리거의 최적위치를 구한 기존의 연구 (Taranath, 1997; Smith and Salim, 1981)와 달리 본 해석연구에서는 저자의 선행연구 (Kim, 2013)의 연속된 연구의 일환으로서 실제 초고층건물의 설계조건과 동일한 초고층 아웃리거 구조시스템에서 아웃리거의 최적위치에 대한 캡 트러스가 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위하여, 초고층건물의 설계조건에 따라 계획설계 정도의 구조설계를 실시하고 나서, 주요한 구조요소 (아웃리거, 아웃리거에 연결된 기둥, 전단벽, 아웃리거에 연결되지 않은 프레임)의 강성과 아웃리거의 위치 등을 구조해석 변수로 하여 구조해석을 하고 그 해석 결과에 대하여 분석하였다. 본 해석연구는 80층 초고층건물을 대상으로 구조해석과 설계를 위한 프로그램은 MIDAS-Gen 8.00을 사용하여 실시하였다.

2. 구조해석 모델의 설정

2.1 구조해석 모델의 개요

본 해석연구에서는 캡 트러스가 설치된 초고층건물에 대한 아웃리거 구조의 최적 아웃리거 위치를 찾기 위하여 다음과 같은 구조해석모델을 정하였다. 해석모델의 구조평면은 가로 60m, 세로 36m로 Fig. 1과 같다. 본 해석모델에서 기둥은 콘크리트충전 강관 구조 (CFT), 보와 아웃리거로 H형강, 건물 중앙의 코어부분은 철근콘크리트 전단벽으로 설계하였다. 본 해석 대상건물에서 4m의 각층 높이로 80층을 설정함에 따라서 건물의 전체높이는 320m가 되었다. 본 해석 모델에서 아웃리거가 건물의 중간 높이인 40층에 설치된 경우 (이하, 기본모델)를 Fig. 1에 표시하였다. 그리고 Fig. 2에

Fig. 1 Structural members of surrounding stories where outrigger system installs in basic model

Fig. 2 Structural members of surrounding stories where cap truss installs in basic model

Table 1 Summary of design load in the structural analysis of this study (Kim, 2013)

Kind of load	Contents	
Dead load	4.0kN/m ²	
Live load	2.5kN/m ²	
Seismic load	Seismic zone factor (S)	0.22
	Soil type	S _B
	Response modification factor (R)	5
	Importance factor (I _E)	1.2
Wind load	Basic wind speed (V _o)	30m/sec
	Importance factor (I _w)	1.1
	Exposure category	B
	Gust factor (G _r)	1.686

서는 캡 트러스가 설치된 주변층의 구조골조를 보여주고 있다. Table 1에 본 해석연구 대상건물에 적용한 설계하중에 대한 개요를 표시하였다. 또한 본 연구의 해석모델에 적용한 구조재료는 기둥과 전단벽의 콘크리트는 설계기준 압축강도 (f_{ck})가 90MPa이고, 기둥, 보, 아웃리거의 철골재료는 SM570를 사용하였다.

2.2 구조해석방법에 대한 개요

본 해석연구에서는 대상 초고층건물의 40층에 아웃리거를 설치한 기본모델을 현행 구조설계기준 (Architectural Institute of Korea, 2009) 만족하도록 구조설계를 실시하였다. 특히 풍하중에 대하여서는 대상 건물의 최상층에 발생하는 수평 변위를 $H/400$ (H 는 건물 높이) 이내에 들어오도록 하였다. 그리고 지진하중에 대한 구조검토를 위하여 등가정적해석은

Fig. 3 Distribution of lateral displacement of basic model building under wind loading (Y direction)

물론 응답스펙트럼해석도 진행하였다. Y방향 풍하중에 따른 기본모델의 Y방향 수평변위에 대한 분포를 Fig. 3에 아웃리거와 캡 트러스 유무의 3가지 경우로 구분하여 각각 표시하였다. 이 그림에서 아웃리거가 설치된 2가지 경우의 최상층 수평변위는 수평변위의 제한값인 $H/400$ 이하가 되는 것으로 나타났다. Table 2에 나타난 것과 같이 본 연구 대상건물의 기본모델에서 주요한 부재의 단면은 앞에서 설명한 구조설계의 과정을 따른 것이다. 여기서의 구조부재 단면은 10층 간격으로 구분하였다. 기본모델에 대한 최적의 아웃리거 위치를 조사하기 위하여 아웃리거 위치만을 5개층 간격으로 상하로 이동시키면서 구조해석을 실시하였다. 그리고 최상층 수평변위가 가장 적게 나타나는 아웃리거 위치를 보다 정확하게 파악하기 위하여 5개층 간격 실시한 구조해석 결과 중에서 최상층 수평변위가 가장 적게 나타나는 아웃리거 주변에서는 1개층 간격으로 해석을 진행하였다. Fig. 4에서 기본모델에 대하여 아웃리거의 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 캡 트러스가 있는 경우와 없는 경우에 대하여 각각 표시하였다.

3. 최적 아웃리거 위치 탐색을 위한 구조해석에 대한 결과와 분석

캡 트러스가 설치된 초고층건물에서 최적의 아웃리거 위치를 찾는 것을 주요한 목적으로 아웃리거 위치와 아웃리거 시스템을 이루고 있는 주요 구조부재 (아웃리거, 아웃리거에 연결된 기둥, 전단벽, 아웃리거에 연결되지 않은 프레임 등)

Table 2 List of main structural members in basic model building (Kim, 2013)

Kind of structural member	Member name	Floor	Section
Column	C ₁	1~10	Ø1400×50
		11~20	Ø1400×40
		21~30	Ø1300×40
		31~40	Ø1300×30
		41~50	Ø1200×30
		51~60	Ø1200×25
		61~70	Ø1100×25
		71~80	Ø1100×20
	C ₄ / C ₅	1~10	Ø1900×50
		11~20	Ø1900×40
		21~30	Ø1800×40
		31~40	Ø1800×30
		41~50	Ø1700×30
		51~60	Ø1700×25
		61~70	Ø1600×25
		71~80	Ø1600×20
Shear wall	W ₁	1~10	Thickness=1,300mm
		11~20	Thickness=1,200mm
		21~30	Thickness=1,100mm
		31~40	Thickness=1,000mm
		41~50	Thickness=900mm
		51~60	Thickness=800mm
		61~70	Thickness=700mm
Girder	G ₁	1~10	H920×700×40×60
		11~20	H920×650×40×60
		21~30	H920×600×40×60
		31~40	H920×550×40×60
		41~50	H920×500×40×60
		51~60	H920×450×40×60
		61~70	H920×400×40×60
		71~80	H920×350×40×60
Outtrigger	OTS / OB ₁ / OBR ₁		H1500×1000×150×150

의 강성을 변수로 한 구조해석을 실시하였다. 본 연구의 구조해석은 계획설계 수준에 해당하는 구조설계의 결과와 동일하게 대상 건물의 모든 구조부재를 모델링을 실시한 경우 (이하, 전체모델링)와 기존의 아웃리거 해석모델 (Taranath, 1997)과 동일하게 구조부재로 아웃리거, 아웃리거와 연결한 외곽기둥, 전단벽만으로 모델링을 실시한 경우 (이하, 코어모델링)에 대하여 각각 진행되었다. 여기의 코어모델링의 모든 구조부재는 전체모델링의 최하층 구조부재와 동일한 것으로 하였다. 앞에서 설명한 것처럼 계획설계 수준에 해당하는 구조설계를 실시한 결과와 동일하게 대상 건물의 모든 구조부

Fig. 4 Distribution of lateral displacement in top floor of basic model according to outrigger location, with or without cap truss

재를 모델링을 실시한 전체모델링 중에 아웃리저를 건물의 중간 높이인 40층에 설치한 기본모델에서 아웃리저 위치를 변수로 하여 구조해석을 수행한 경우를 전체모델링에서의 표준모델이라고 하였고, 아웃리저, 아웃리저에 연결된 기둥, 전단벽만을 구조부재로 모델링하고 구조부재는 기본모델의 최하층 단면으로 일정하게 하며 아웃리저를 건물의 중간 높이인 40층에 설치한 코어모델링의 기본모델에서 아웃리저의 위치를 변수로 하여 구조해석을 수행한 경우를 표준모델이라고 하였다. 한편, 본 논문에서의 해석변수로 채택한 주요 구조부재의 강성범위는 기존의 관련연구 (Smith and Salim, 1981)와 실제건물의 구조설계 결과를 참고로 하여 정하였다.

3.1 전체모델링의 구조해석

3.1.1 아웃리저 강성변화에 따른 최상층 수평변위의 분포

Fig. 5의 (a)에서 표준모델을 비롯하여 표준모델의 아웃리저 단면 2차 모멘트를 변경한 4가지 경우에 대하여 아웃리저 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 보여주고 있다. 이 그림에서 표준모델에서는 아웃리저 단면으로 $H1500 \times 1000 \times 150 \times 150$ 을 사용하였다. Fig. 5의 (a)는 전체 아웃리저 구조시스템의 중립축에 대하여 아웃리저의 단면 2차 모멘트를 표준모델의 2.42배, 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변화시킨 경우에 대하여

Fig. 5 Distribution of lateral displacement in top floor of entire modelling according to outrigger location (change of stiffness in outrigger and column)

최상층의 수평변위 분포를 각각 표시하였다. 표준모델에 발생하는 최상층 수평변위는 아웃리저가 128m (0.4H, H는 건물의 높이)에 있는 경우에 가장 적으로 나타났다. 그리고 표준모델의 경우보다 아웃리저 단면 2차 모멘트를 2.42배 증가시킨 경우는 아웃리저가 124m (0.388H)에 있을 때 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 반면에 표준모델보다 아웃리저 단면 2차 모멘트를 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변경한 경우는 아웃리저가 각각 136m (0.425H), 140m (0.438H), 168m (0.525H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게

나타났다. 이상에 나타난 것과 같이 아웃리저 구조시스템의 강성이 감소하면 감소할수록 대상 초고층 건물의 최상층 수평변위는 아웃리저의 위치가 상대적으로 상부쪽에 위치할 때에 최소로 나타나는 경향을 보였다.

3.1.2 아웃리저에 연결된 기둥 강성변화에 따른 최상층 수평변위의 분포

Fig. 5의 (b)에서 표준모델과 함께 표준모델의 아웃리저에 연결된 기둥 EA (E는 탄성계수, A는 기둥 단면적)를 변경한 4가지 경우에 대하여 아웃리저 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 보여주고 있다. Fig. 5의 (b)는 아웃리저에 연결된 기둥 EA를 기준으로 하여 건물 전체의 중립축에 대하여 2.42배, 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변화시킨 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포를 각각 표시하였다. 표준모델의 경우보다 아웃리저에 연결된 기둥 EA를 2.42배 증가시킨 경우는 아웃리저가 136m (0.425H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 반면에 표준모델보다 아웃리저에 연결된 기둥 EA를 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변경한 경우는 아웃리저가 모두 124m (0.388H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 이상에서 알 수 있는 것과 같이 아웃리저에 연결된 EA가 감소하면 감소할수록 대상 초고층 건물의 최상층 수평변위가 아웃리저의 위치가 상대적으로 하부쪽에 위치할 때에 최소로 나타나는 경향을 나타내었지만 변화하는 정도는 상대적으로 미약하게 보였다.

3.1.3 전단벽 강성변화에 따른 최상층 수평변위의 분포

Fig. 6의 (a)에서 표준모델을 비롯하여 표준모델의 전단벽 단면 2차 모멘트를 변경한 4가지 경우에 대하여 아웃리저 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 보여주고 있다. Fig. 6의 (a)는 전체 건물의 중립축에 대하여 전단벽 단면 2차 모멘트를 표준모델의 2.42배, 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변화시킨 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포를 각각 표시하였다. 표준모델의 경우보다 전단벽 단면 2차 모멘트를 2.42배 증가시킨 경우는 아웃리저가 140m (0.438H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적은 것으로 나타났다. 반면에 표준모델보다 전단벽 단면 2차 모멘트를 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변경한 경우는 아웃리저가 각각 104m (0.325H), 92m (0.288H), 64m (0.2H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 이상에 나타난 것과 같이 전단벽의 강성이 감소하면 감소할수록 대상 초고층 건물의 최상층 수평변위가 아웃리저 위치가 상대적으로 건물의 하부쪽에 위치할 때에

Fig. 6 Distribution of lateral displacement in top floor of entire modelling according to outrigger location (change of stiffness in shear wall and frame)

최소로 나타나는 경향을 보였다.

3.1.4 아웃리저에 연결되지 않은 프레임 강성변화에 따른 최상층 수평변위의 분포

Fig. 6의 (b)에서 표준모델을 비롯하여 표준모델의 아웃리저에 연결되지 않은 프레임 (기둥과 보) 단면 2차 모멘트를 변경한 3가지 경우에 대하여 아웃리저 위치에 따른 최상층

의 수평변위 분포를 보여주고 있다. Fig. 6의 (b)는 아웃리저에 연결되지 않은 프레임 단면 2차 모멘트를 표준모델의 2배, 0.5배, 0.1배로 변화시킨 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포를 각각 표시하였다. 표준모델의 경우보다 프레임 단면 2차 모멘트를 2배 증가시킨 경우는 아웃리저가 104m (0.325H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 반면에 표준모델보다 아웃리저 단면 2차 모멘트를 0.5배, 0.1배로 변경한 경우는 아웃리저가 각각 140m (0.438H), 148m (0.463H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 앞에서 설명한 것과 같이 아웃리저에 연결되지 않은 프레임의 강성이 감소하면 감소할수록 대상 초고층건물의 최상층 수평변위가 아웃리저의 위치가 상대적으로 건물의 상부쪽에 위치할 때에 최소로 나타나는 경향을 보였다.

3.2 코어모델링의 구조해석

3.2.1 아웃리저 강성변화에 따른 최상층 수평변위의 분포

Fig. 7의 (a)는 코어모델링에서 표준모델을 비롯하여 표준모델의 아웃리저 단면 2차 모멘트를 변경한 4가지 경우에 대하여 아웃리저 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 보여주고 있다. 이 그림에서 표준모델에서는 아웃리저 단면으로 H1500×1000×150×150을 사용하였다. Fig. 7의 (a)에서 아웃리저 단면 2차 모멘트를 표준모델을 기준으로 하여 전체 아웃리저 구조시스템의 중립축에 대하여 2.42배, 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변화시킨 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포를 각각 표시하였다. 여기서 표준모델에 발생하는 최상층 수평변위는 아웃리저가 140m (0.438H, H는 건물의 높이)에 있는 경우에 가장 적은 것으로 나타났다. 표준모델의 경우보다 아웃리저 단면 2차 모멘트를 2.42배 증가시킨 경우도 아웃리저가 140m (0.438H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 반면에 표준모델보다 아웃리저 단면 2차 모멘트를 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변경한 경우는 아웃리저가 각각 148m (0.463H), 156m (0.488H), 180m (0.563H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다.

3.2.2 기둥 강성변화에 따른 최상층 수평변위의 분포

Fig. 7의 (b)는 코어모델링에서 표준모델과 함께 표준모델의 기둥 EA (E는 탄성계수, A는 기둥 단면적)를 변경한 4가지 경우에 대하여 아웃리저 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 보여주고 있다. Fig. 7의 (b)는 기둥 EA를 기준으로 하여 건물 전체의 중립축에 대하여 2.42배, 0.36배, 0.22배,

Fig. 7 Distribution of lateral displacement in top floor of core modelling according to outrigger location (change of stiffness in outrigger, column and shear wall)

0.07배로 변화시킨 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포를 각각 표시하였다. 표준모델보다 기둥 EA를 2.42배 증가시킨 경우는 아웃리거가 144m (0.45H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 반면에 표준모델보다 기둥 EA를 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변경한 경우는 아웃리거가 각각 140m (0.438H), 136m (0.425H), 132m (0.413H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 이상과 같이 코어만을 모델링한 경우에서도 기둥 EA가 감소하면 감소할수록 최상층 수평변위가 아웃리거의 위치가 상대적으로 하부쪽에 위치할 때에 최소로 나타나는 경향을 보였다.

3.2.3 전단벽 강성변화에 따른 최상층 수평변위의 분포

Fig. 7의 (c)는 코어모델링에서 표준모델을 비롯하여 표준모델의 전단벽 단면 2차 모멘트를 변경한 4가지 경우에 대하여 아웃리거 위치에 따른 최상층의 수평변위 분포를 보여주고 있다. Fig. 7의 (c)는 전체 건물의 중립축에 대하여 전단벽 단면 2차 모멘트를 표준모델의 2.42배, 0.36배, 0.22배,

0.07배로 변화시킨 경우에 대하여 최상층의 수평변위 분포를 각각 표시하였다. 표준모델보다 전단벽 단면 2차 모멘트를 2.42배 증가시킨 경우는 아웃리거가 144m (0.45H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 반면에 표준모델보다 전단벽 단면 2차 모멘트를 0.36배, 0.22배, 0.07배로 변경한 경우는 아웃리거가 각각 140m (0.438H), 140m (0.438H), 136m (0.425H)에 있을 때에 최상층 수평변위가 가장 적게 나타났다. 이상과 같이 전단벽의 강성이 감소하면 감소할수록 대상 초고층건물의 최상층 수평변위가 아웃리거의 위치가 상대적으로 하부쪽에 위치할 때에 최소로 나타나는 경향을 보였지만 그 차이는 미약하였다.

3.3 캡 트러스 유무에 따른 최적 아웃리거 위치에 대한 비교분석

Fig. 8은 전체모델링에서 주요한 구조요소의 강성 변화와 캡 트러스 유무에 따른 최적 아웃리거의 위치를 각각 비교하

Fig. 8 Comparison on optimal outrigger location in entire modelling according to stiffness change of main structural elements, with or without cap truss

였다. Fig. 8의 (a)에서 아웃리저의 강성 변화에 따라 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최적의 아웃리저 위치는 0.0~6.1% 건물의 하층방향으로 이동하면서 최상층 수평변위는 1.1~2.6% 감소하였다. 여기서 표준모델에서는 최소의 최상층 수평변위가 발생하는 아웃리저 위치는 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 5.9% 건물의 하부쪽에 있는 것으로 나타났고, 최상층 수평변위는 2.5% 정도 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 8의 (b)에서 아웃리저에 연결된 기둥의 강성 변화에 따라서 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최적의 아웃리저 위치는 0.0~5.9% 건물의 하층방향으로 이동하면서 최상층 수평변위는 0.8~4.5% 감소하였다. Fig. 8의 (c)에서 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 전단벽의 강성 변화에 따라 최적의 아웃리저 위치는 0.0~14.6% 건물의 하부방향으로 이동하였고, 최상층 수평변위는 0.4~3.0% 감소하였다. Fig. 8의 (d)에서 아웃리저에 연결되지 않은 프레임의 강성 변화에 따라 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최적의 아웃리저 위치는 3.7~19.6% 건물의 하부방향으로 이동하였고, 최상층 수평변위는 0.9~11.9% 감소하였다. Fig. 8에 나타난 것과 같이 전체모델링에서 아웃리저, 아웃리저에 연결된 기둥, 전단벽의 강성이 증가할수록 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최적의 아웃리저 위치는 건물의 하층방향으로 큰 폭으로 이동하였고 최상층 수평변위도 감소하는 비율이 늘어나는 경향을 보였다. 여기서 최적의 아웃리저 위치는 전단벽의 강성이 증가하는 경우에서 가장 크게 하층방향으로 이동하였고, 최상층 수평변위는 아웃리저에 연결된 기둥 강성이 증가하는 경우에서 감소하는 비율이 가장 크게 늘어났다. 한편, 아웃리저에 연결되지 않은 프레임의 강성을 변화시킨 경우에는 다른 구조부재(아웃리저, 아웃리저에 연결된 기둥, 전단벽)와는 반대로 이 프레임의 강성이 감소할수록 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최적의 아웃리저 위치는 건물의 하층방향으로 큰 폭으로 이동하였고 최상층 수평변위도 감소하는 비율이 늘어나는 경향을 보였다.

Fig. 9는 코어모델링에서 주요한 구조요소의 강성 변화와 캡 트러스 유무에 따른 최적 아웃리저의 위치를 각각 비교하였다. Fig. 9의 (a)에서 아웃리저의 강성 변화에 따라 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최적의 아웃리저 위치는 22.2~24.5% 건물의 하층방향으로 이동하면서 최상층 수평변위는 14.5~18.6% 감소하였다. Fig. 9의 (b)에서 아웃리저에 연결된 기둥의 강성 변화에 따라서 캡

Fig. 9 Comparison on optimal outrigger location in core modelling according to stiffness change of main structural elements, with or without cap truss

트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최적의 아웃리거 위치는 21.7~25.0% 건물의 하층방향으로 이동하면서 최상층 수평변위는 1.8~22.4% 감소하였다. Fig. 9의 (c)에서 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 전단벽의 강성 변화에 따라 최적의 아웃리거 위치는 22.2~23.9% 건물의 하부방향으로 이동하였고, 최상층 수평변위는 9.6~32.2% 감소하였다. Fig. 9에 나타난 것과 같이 코어모델링에서 아웃리거와 전단벽의 강성은 감소할수록 아웃리거에 연결된 기둥의 강성은 증가할수록 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최상층 수평변위가 감소하는 비율이 늘어나는 경향을 보였다. 한편, 최적의 아웃리거 위치는 캡 트러스가 있는 경우가 없는 경우에 비하여 21.7~25.0%의 범위에서 건물의 하층방향으로 이동하면서 아웃리거, 아웃리거에 연결된 기둥, 전단벽의 강성 변화에 따른 차이가 현저하게 나타나지 않았다.

4. 결 론

본 해석연구에서는 캡 트러스가 설치된 80층의 초고층건물에 대한 최적의 아웃리거의 위치를 찾기 위하여 아웃리거 구조시스템을 구성하는 주요한 구조요소의 강성과 아웃리거의 위치 등을 변수로 채택한 구조해석을 실시한 후에 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 계획설계 수준의 구조설계를 수행한 결과로 캡 트러스가 설치된 80층 건물의 모든 구조부재를 모델링한 표준모델에서는 최소의 최상층 수평변위가 발생하는 아웃리거 위치는 0.4H (H는 건물의 높이)로 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 6%정도 건물의 하부쪽에 있는 것으로 나타났다.
- (2) 계획설계 수준의 구조설계를 수행한 결과로 캡 트러스가 설치된 80층 건물의 모든 구조부재를 모델링한 표준모델에서는 캡 트러스를 설치함으로써 인하여 최상층

수평변위를 2.5% 정도 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

- (3) 계획설계 수준의 구조설계를 수행한 결과로 80층 건물의 모든 구조부재를 모델링한 경우에서 아웃리거, 아웃리거에 연결된 기둥, 전단벽의 강성이 증가할수록 캡 트러스가 있는 경우가 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 최적의 아웃리거 위치는 건물의 하층방향으로 큰 폭으로 이동하였고 최상층 수평변위도 감소하는 비율이 늘어나는 경향을 나타내었다.
- (4) 계획설계 수준의 구조설계를 수행한 결과로 캡 트러스가 설치된 80층 건물의 전단벽, 아웃리거, 아웃리거에 연결된 기둥만을 구조부재로 모델링한 표준모델에서는 최소의 최상층 수평변위가 발생하는 아웃리거 위치는 0.438H (H는 건물의 높이)로 캡 트러스가 없는 경우에 비하여 24%정도 건물의 하부쪽에 있는 것으로 나타났다.

References

1. Architectural Institute of Korea, "Korean Building Code-Structural", 2009 (in Korean).
2. B. Stafford Smith and Irawan Salim, "Parameter study of outrigger-braced tall building structures", Proc. ASCE, Vol. 107, ST10, 1981, pp.2001-2014.
3. Bungale S., Taranath, T., "Steel, concrete & Composite Design of Tall Building", McGraw-Hill, 1997, pp.445-459.
4. Jung, D., "Optimum outrigger location for outrigger braced structures with stiffness varying linearly along the height", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 15, No. 2, 1999, pp.55-62 (in Korean).
5. Kim, H., "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, 2013, pp.85-92 (in Korean).

Received : 09/04/2013

Revised : 09/24/2013

Accepted : 09/30/2013

요 지

본 연구는 구조해석 프로그램 MIDAS-Gen을 사용하여 80층 건물의 구조분야에 대한 계획설계를 실시한 후에 캡 트러스가 설치된 초고층건물의 아웃리거 구조의 최적위치에 대하여 연구하는 것을 목적으로 하였다. 이 논문에서 구조해석의 주요한 변수는 아웃리거 위치와 주요한 구조요소 (아웃리거, 외곽기둥, 전단벽 등)의 강성이다. 캡 트러스가 설치된 초고층건물의 아웃리거 구조의 최적위치를 찾기 위하여 초고층건물의 구조설계에서 가장 중요하게 고려해야하는 요소의 하나인 최상층의 수평변위를 분석하고 고찰하였다.

본 연구의 결과, 아웃리거 위치와 아웃리거, 외곽기둥, 전단벽과 같은 주요한 구조요소의 강성은 최적의 아웃리거 위치에 영향을 주는 것으로 나타났다. 그리고 본 연구의 결과는 초고층건물의 수평변위를 최소화시키는 최적의 아웃리거 위치를 결정할 수 있는 기본적인 엔지니어링 자료를 제공하는 것으로 나타났다.

핵심 용어 : 아웃리거 구조, 캡 트러스, 최적위치, 초고층건물, 구조해석