

# 아웃리거구조시스템과 메가구조시스템 적용에 따른 철근콘크리트 초고층 건물에 대한 부등축소의 영향

김 경 찬<sup>1</sup> · 김 재 요<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>광운대학교 건축공학과 석사과정, <sup>2</sup>광운대학교 건축공학과 교수

## The Effects of Differential Axial Shortening on RC High-rise Buildings with Outrigger or Mega Structure Systems

Gyeong-Chan Kim<sup>1</sup> and Jae-Yo Kim<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01890, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01890, Korea

### Abstract

It is essential to control the lateral displacement and differential axial shortening of the vertical elements in high-rise buildings. Recently, an outrigger or a mega structure system has been adopted to control the lateral displacement. Furthermore, to resolve the problems caused by differential axial shortening in high-rise buildings, analytical prediction and correction is often studied; however, the study on the comparisons of the lateral load resisting systems to address differential axial shortening is less. Therefore, in this paper, a 60-story RC residential building using an outrigger or a mega structure system is analyzed with a construction sequence. Moreover, differential axial shortening can result in an additional member force of structural members and failure of non-structural members. These problems caused by differential axial shortening affects the behaviors and can damage the important structure member in the high-rise buildings. Hence, the effects of the systems on differential axial shortening between the vertical elements in high-rise buildings are studied.

**Keywords** : outrigger, mega structure, column shortening, construction sequence analysis, high-rise building

### 1. 서론

최근 경제성장과 더불어 도시의 인구밀도 해결을 위한 대안으로 초고층 건물의 시공사례가 증가하고 있다. 기존의 중·저층 건물은 내부코어만으로 횡력에 저항할 수 있으나 초고층 건물에서는 높이가 고층화되면서 급격하게 증가한 횡력으로 인해 수평변위 제어를 위한 효율적인 횡력저항시스템이 필수적이며 향상된 횡력저항시스템을 위한 많은 연구들이 국내외에서 진행되었다(Chen *et al.*, 2018; Hulea *et al.*, 2014; Kim, 2020; Taranath, 1988; Youn *et al.*, 2012). 특히, 세계에서 가장 높은 건물인 부르즈 할리파(UAE, 828m), 타이페이 101(대만, 508m)와 페트로나스 타워(말레이시아, 452m) 등에서 사용한 아웃리거 구조시스템은 근래에 초고층 건물에서 빈번하게 적용되는

대표적인 횡력저항시스템 중 하나이다. 또한, 최근 국내에서 완공되거나 시공예정인 초고층 건물의 사례를 살펴보면 롯데 타워(서울, 556m), 파크원(서울, 329m)과 현대그린시티(서울, 562m)(Chung and Yoo, 2019)등에서 하중전이를 통한 메가기둥의 중력하중 지지와 아웃리거 등으로 수평변위를 제어하는 메가 구조시스템을 횡력저항시스템으로 사용하면서, 아웃리거 구조시스템과 함께 주 횡력저항시스템으로 자리 잡고 있다.

한편, 초고층 건물에서는 수평변위 제어와 더불어 건물의 높이 증가에 따른 압축력의 증가로 기존의 중·저층 건물에서 나타나지 않은 구조적 안전성과 사용성의 문제가 나타나고 있다. 특히, 초고층 건물에서 최근 사용되고 있는 콘크리트 재료의 수직 부재에서는 응력의 차이와 재료의 시간의존적 재료성

<sup>†</sup>Corresponding author:

Tel: +82-2-940-5637; E-mail: kimjyo@kw.ac.kr

Received November 11 2021; Revised November 29 2021;

Accepted November 29 2021

© 2022 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

질의 차이로 부등축소가 나타나게 되며, 이러한 축소현상은 누적되어 건물 내 구조체에 영향을 미친다. 보, 슬래브와 같은 수평부재 및 횡력저항시스템인 아웃리저 등과 같은 건물의 주요 구조요소에 추가적인 하중을 유발하며 간막이벽, 커튼월 등과 같은 비구조요소의 파손 등 문제점을 발생시킨다(Kim and Shin, 2011). 이러한 이유로 초고층 건물의 설계 및 시공단계에서 콘크리트의 장기적 거동으로 인한 수직축소량에 대해서 중요하게 고려하고 적절한 분석을 통해 예측 및 검토해야 한다.

기존의 연구들은 건물의 수평변위 제어를 위한 횡력저항시스템의 구조성능 및 설계단계에서 횡력저항시스템을 선정한 건물의 부등축소량의 예측(Lu *et al.*, 2013; Samarakkody *et al.*, 2017)과 예측 결과를 이용한 시공단계에서의 보정방법(Mun and Choi, 2018; Song and Kim, 2019)에 대한 것이 대부분이며 어떤 횡력저항시스템이 부등축소에 대해서 유리한지에 대한 비교는 드문 편이다.

따라서, 본 연구에서는 최근 초고층 건물에서 빈번하게 사용되는 대표적인 두 종류의 횡력저항시스템을 적용한 예제 건물을 국내 건축구조기준(MOLIT, 2019a)을 토대로 단면설계를 진행하였다. 또한, 콘크리트의 시간의존적 재료성질을 고려한 시공단계해석을 수행하여 그 결과를 바탕으로 수직부재에서 발생하는 축소량을 분석하여 횡력저항시스템 적용에 따른 부등축소의 영향에 대해 고찰하고자 한다.

## 2. 연구 대상

### 2.1 예제 모델

횡력저항시스템에 따른 부등축소의 영향을 분석하기 위해, 서로 다른 횡력저항시스템을 사용한 초고층 건물의 3차원 예제 모델을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 예제 모델은 높이가 253.3m(기준층 층고 4.2m, 아웃리저층 층고 5.5m), 세장비는 ‘6.46’인 60층의 초고층 건물로서, 사용한 횡력저항시스템은 메가 구조시스템과 아웃리저 구조시스템이다. 평면은 한 변의 길이가 39m인 정방형이며, 중앙에 RC 코어 벽체가 존재하고 외부 테두리에 RC 기둥이 배치되어 있다. 또한, 30층에서 기둥과 인접 벽체를 아웃리저 벽체와 벨트월을 통해 연결하였다(Fig. 1).

메가 구조시스템을 사용한 “메가구조모델”은 아웃리저 벽체와 벨트월을 설치한 층(이하, 아웃리저층)을 기준으로 1~30층의 하부구조물과 31~60층의 상부구조물로 나누어지며, 기둥은 메가기둥과 셋기둥 두 종류로 구성되어 있다. 메가기둥은 중력하중과 횡하중에 저항하고, 셋기둥은 중력하중에만 저

항하며 상부구조물의 축력을 아웃리저층에서 하부구조물의 메가기둥으로 전이시켜 부담하도록 하였다. 또한, 아웃리저 구조시스템을 사용한 “아웃리저구조모델”은 메가구조모델과 달리 모든 기둥에서 상부구조물의 하중을 부담하도록 하였다.

단면설계를 위한 고정하중 및 활하중 조건은 Table 1과 같다. 풍하중 적용을 위한 조건으로 기본풍속 26m/s(서울), 지표면조도구분 ‘B’로 설정하였으며 중요도계수는 초고층 건물에 적용하는 ‘1.05’를 사용하였다(MOLIT, 2019b). 지진하중의 경우에는 유효지반가속도 ‘0.176g’, 지반분류 ‘S<sub>3</sub>’로 설정하였으며 중요도계수는 ‘1.2’를 적용하였다(MOLIT, 2019c). 국내 건축구조기준(MOLIT, 2019a)에 따라 단면 설계를 진행하였으며, 구조재료는 매 15개 층마다 구분하여 콘크리트 설계기

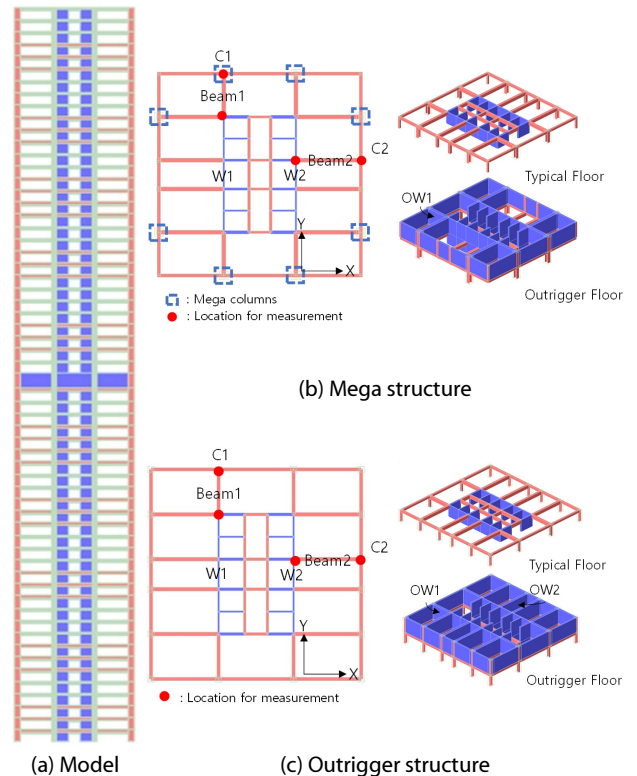


Fig. 1 Sample model

Table 1 Load table

Location	Floor	Load(kN/m <sup>2</sup> )		
		DL	SDL	LL
Outside core	Typical	5.04	2.38	2
	Roof	5.04	2.65	3
	Outrigger	12	2.38	5
Inside core	Typical	4.32	1.3	5
	Roof	5.04	2.65	3
	Outrigger	12	1.3	5
CLL	inside core			3.75
	outside core			2.5

DL : Dead Load, SDL : Superimposed Dead Load  
LL : Live Load, CLL : Construction Live Load

준 압축강도 35~50MPa로 가정하였다. 기둥의 단면크기와 전단벽의 두께는 매 15개 층마다 그룹지어 설계하였다. 특히 메가구조모델의 셋기둥은 하부구조물의 단면이 반복되도록 설계하고, 전단벽의 최소두께는 300mm로 설정하였다. 또한, 두 수직부재의 설계강도비는 0.9 이상이 되도록 하였다. 설계압축강도( $f_{ck}$ ), 기둥의 단면 크기, 전단벽 두께 등 주요 부재들의 설계결과를 Table 2에 정리하였다.

2.2 시공단계해석

본 연구에서는 아래와 같은 시공 조건을 가정하였다.

- 1) 1개 층 당 공기는 5일이며 아웃리저층의 경우 15일로 설정하였으며 활하중 재하까지 380일 소요된다.
- 2) 개별 부재의 초기 재하일은 3일, 상대습도는 65%이다.
- 3) 골조는 코어와 동시시공 되고 고정하중(DL)과 시공활하중(CLL)은 시공과 동시에 재하한다.
- 4) 마감하중(SDL)은 CLL보다 4개 층 후행하여 재하되며 SDL이 재하되는 동시에 해당층의 CLL을 제거한다.
- 5) 골조의 완공과 마감하중이 모두 재하된 후 70일이 지난 시점에 활하중(LL)을 모든 층에 일괄 재하한다.

시공단계해석을 위한 콘크리트 탄성계수 등의 시간의존적 재료성질은 국내 콘크리트구조설계기준(MOLIT, 2021) 모델을 적용하였으며 범용구조해석 프로그램인 MIDAS Gen을 사용하여 총 75단계로 구성된 시공단계해석을 진행하였다. 특히, 콘크리트의 비탄성 거동으로 인한 축소량을 분석하기 위해 크리프와 건조수축에 대하여 국내 콘크리트구조설계기준

에 제시된 예측식을 적용하였으며, 예측식 적용을 위한 주요 부재들의 기하형상치수(notational member size,  $h$ )의 산정 결과는 Table 2에 제시된 바와 같다.

3. 축소량 해석

3.1 메가구조모델 축소량

Stage 69(380일, 입주단계)와 Stage 75(11,330일, 입주 후 30년)의 콘크리트의 시간의존적 재료성질을 고려하고, 부등축소량을 비교하기 위해 인접 슬래브 타설 후에 발생하는 절대 축소량(sub to)을 층에 따라 Fig. 2에 나타냈다. 메가기둥인 C1에서 Stage 69에 발생한 최대 절대축소량은 63.2mm(40층)이고, 인접 벽체 위치 W1에서는 57.6mm(29층)이다. 축력이 전이되는 셋기둥인 C2에서는 78.3mm(40층)이고, 인접한 벽체 위치 W2에서는 57.4mm(30층)이다. Stage 75에 발생한 수직 부재의 절대축소량은 30년 간 비탄성 거동으로 인한 크리프와 건조수축의 영향이 축적되어 Stage 69보다 증가하였으며, C1의 최대 절대축소량은 154.2mm(53층)이고, W1의 최대 축소량은 133.3mm(51층)이다. C2의 최대 축소량은 178.7mm(53층)이고 W2의 최대 축소량은 133.5mm(51층)이다. Fig. 2에서 29층 C2 위치는 중력하중전이로 기둥이 지지되지 않아 절대축소량은 불연속하게 나타났으며, 30층 C2에서 갑작스러운 절대축소량 증가현상이 발생하였다.

Fig. 3은 Stages 69 & 75에 발생하는 인접슬래브 타설 후 절대축소량(sub to) 차이에 따른 부등축소량(differential axial shortening)을 나타냈으며 “기둥 축소량 - 벽체 축소량”으로 정

Table 2 Details of the vertical elements in each structure model

ID	Floor	$f_{ck}$	Mega structure model		Outrigger structure model	
			$B \times H$	$h$	$B \times H$	$h$
C1	1-15	50	1.9 × 1.9	950	1.7 × 1.7	850
	16-30	45	1.65 × 1.65	825	1.6 × 1.6	800
	31-45	40	1.1 × 1.1	550	1.2 × 1.2	600
	46-60	35	0.8 × 0.8	400	0.8 × 0.8	400
C2	1-15	50	0.95 × 0.95	475	1.5 × 1.5	750
	16-30	45	0.7 × 0.7	350	1.4 × 1.4	700
	31-45	40	0.95 × 0.95	475	0.95 × 0.95	475
	46-60	35	0.7 × 0.7	350	0.7 × 0.7	350
W1	1-15	50	THK 0.4	393	THK 0.4	393
	16-30	45	THK 0.35	344	THK 0.35	344
W2	31-45	40	THK 0.3	296	THK 0.3	296
	46-60	35				
OW1	30	45	THK 1.3	1,126	THK 1.4	1,200
OW2			THK 1.1	1,012	THK 1.0	926.5

$f_{ck}$  : compressive strength(MPa),  $h$  : notational size(mm)  
 $B \times H$  : section dimension(m)

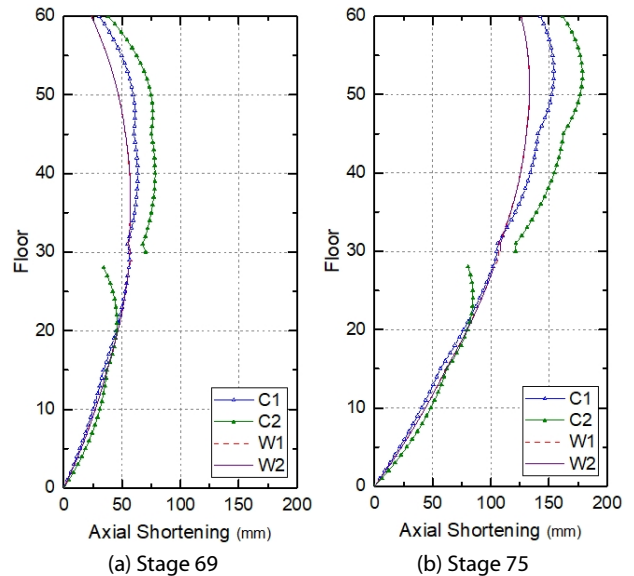
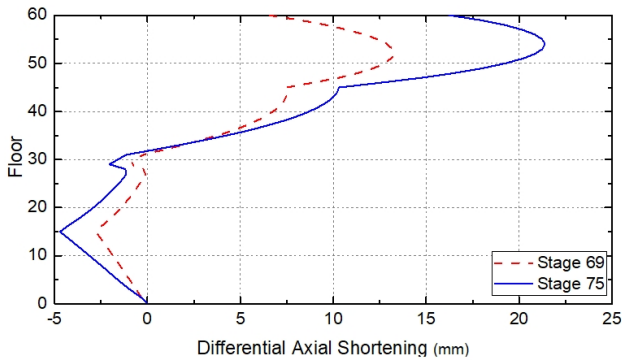
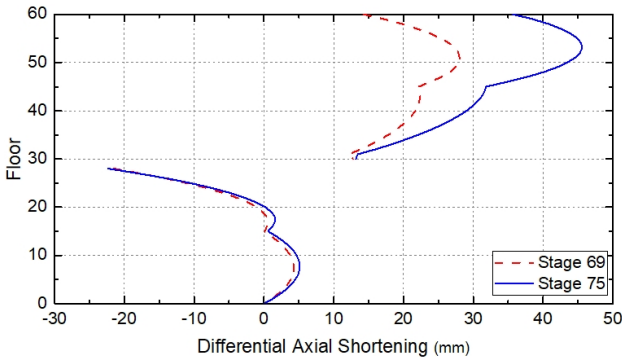


Fig. 2 Axial shortening in mega structure model



(a) DAS1



(b) DAS2

Fig. 3 DAS in mega structure model

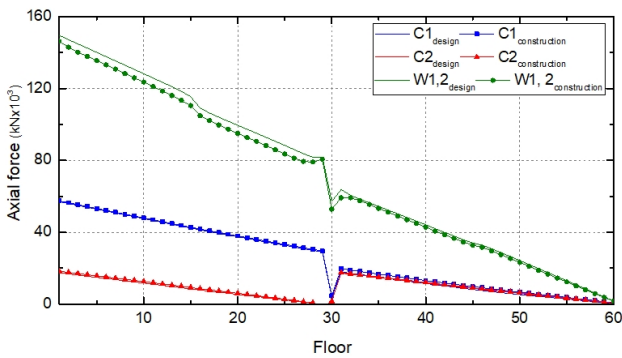


Fig. 4 Axial force distribution of the vertical elements in mega structure model

의하였다. Stage 69에 메가기둥 C1과 벽체 W1 간 부등축소량(DAS1)의 최댓값은 13.3mm(52층)이며, 셋기둥 C2와 벽체 W2 간 부등축소량(DAS2)의 최댓값은 28.1mm(51층)이다. Stage 75에서 최대 DAS1은 21.4mm(54층)이며, 최대 DAS2는 45.6mm(53층)이다(Fig. 3).

DAS1은 1~30층까지 W1의 축소량이 C1의 축소량보다 크게 나타나 음수값으로 발생하였다. 이는 아웃리거 벽체를 통한 하중 전이현상으로, 아웃리거층에서 기둥의 축력이 인접 벽체로 전이되어 하부구조물 벽체의 축소량이 기둥보다 크게 나타났기 때문이다. 이러한 하중 전이현상은 설계단계 및 시공단계의 골조 내 수직 부재의 비계수 중력하중 조합(DL+LL)

Table 3 Differential axial shortening in mega structure model

(unit : mm)

Location	Stage	Differential axial shortening			
		Elastic	Creep	Shr.	Total
C1-W1	69	7.2	6.1	-0.4	12.9
	75	7.2	15.7	-1.6	21.4
C2-W2	69	15.7	12.3	-0.5	27.4
	75	15.7	32.9	-3.0	45.6

에 대한 층별 축력을 나타낸 Fig. 4를 통해 알 수 있다. Fig. 4에서 하부구조물에서 전단벽의 축력이 증가한 것으로 나타났는데 아웃리거 벽체를 통해 메가기둥과 전단벽 간 하중이 전이되었기 때문이다. 또한, 메가기둥의 축력이 전단벽으로 전이되어 하부구조물의 C1 축력이 감소해야하나 증가한 것은 벨트월의 하중전이를 통해 셋기둥의 축력을 메가기둥이 부담하며 나타난 현상이다. DAS2는 21층부터 28층까지 음수값으로 나타났다. 이는 지층부터 29층에 가까워질수록 C2에서 부담하는 축력이 감소하고 W2에서 상부구조물의 하중을 부담하면서 W2의 축소량이 C2의 축소량보다 크게 나타났기 때문이다.

최대 부등축소 발생층의 부등축소 추이를 확인하기 위해 Stages 69 & 75의 부등축소에 대한 시간의존적 재료성질 별 영향요인을 분석하였다. 최대 DAS1은 Stage 75의 54층에서, 최대 DAS2는 Stage 75의 53층에서 발생하였고 해당층의 시공단계 별 부등축소량을 요인별로 나누어 Table 3에 정리하였다.

DAS1과 DAS2의 경우 모두 Stage 69(입주단계)에서 탄성 축소의 영향이 크게 나타났으나 장기적으로 크리프의 영향이 지배적으로 작용하였다. DAS1의 크리프 축소량은 6.1mm(Stage 69)에서 15.7mm(Stage 75)로 157.4% 증가했으며 DAS2의 크리프 축소량은 12.3mm(Stage 69)에서 32.9mm(Stage 75)로 167.5% 증가하였다. 건조수축은 DAS1과 DAS2에서 모두 감소요인으로 나타났다. 건조수축은 하중의 영향을 받지 않고 부재의 체적과 표면적 비의 관계를 나타내는 기하형상치수( $h$ )의 영향을 받으며, 인접 벽체의 기하형상치수가 기둥보다 작게 계획되어 인접 벽체의 건조수축 축소량이 기둥보다 크게 나타났고 이로 인해 부등축소량이 역전되어 건조수축이 감소요인으로 작용하였다.

### 3.2 아웃리거구조모델 축소량

아웃리거구조모델의 시공단계해석 결과로부터 Stage 69와 Stage 75에서 부등축소량을 비교하기 위해 인접 슬래브 타설 후에 발생하는 절대축소량(sub to)을 층에 따라 Fig. 5에 나타냈다. Stage 69에 아웃리거 벽체(OW1)와 연결된 기둥인 C1에서 최대 절대축소량은 67.0mm(40층)이고, 인접 벽체 W1에서는 61.4mm(38층)이다. 아웃리거 벽체(OW2)와 연결된 기둥인

C에서 최대 절대축소량은 72.0mm(48층)이고, 인접 벽체인 W2에서는 61.8mm(38층)이다. Stage 75에서 발생한 C1의 최대 절대축소량은 161.4mm(53층)이고, W1에서는 36.9mm(51층)이다. C2에서는 169.2mm(53층)이고 W2에서는 137.5mm(51층)이다.

Stage 69와 Stage 75에 발생하는 인접 슬래브 타설 후 절대

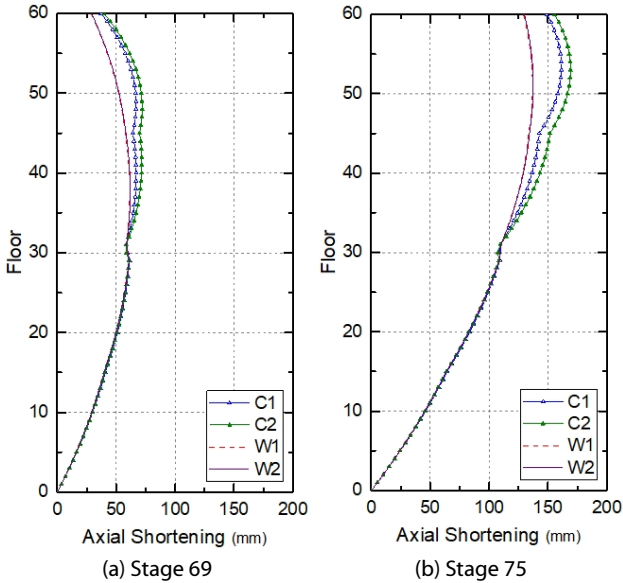


Fig. 5 Axial shortening in outrigger structure model

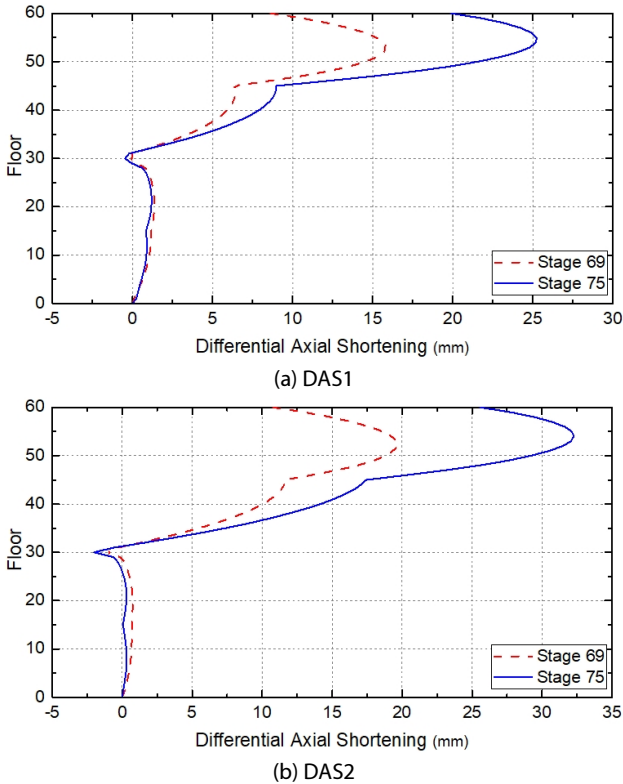


Fig. 6 DAS in outrigger structure model

축소량(sub to) 차이에 따른 부등축소량을 Fig. 6에 제시하였으며 하중의 영향을 분석하기 위하여 Fig. 7에 설계단계와 시공 단계에서의 비계수 중력하중 조합(DL+LL)에 대한 수직 부재의 층별 축력을 나타냈다. Stage 69에서 RC기둥 C1과 인접 벽체 W1의 부등축소량(DAS1)의 최댓값은 15.9mm(53층)이고 RC기둥 C2와 인접 벽체 W2의 부등축소량(DAS2)의 최댓값은 19.7mm(52층)이다. Stage 75에서 발생한 DAS1의 최댓값은 25.2mm(55층)이고 DAS2의 최댓값은 32.3mm(54층)이다 (Fig. 6). 아웃리저구조모델에서는 아웃리저 벽체가 기둥(C1, C2)을 구속하여 아웃리저층에서 DAS1과 DAS2가 감소하였으며, 아웃리저 벽체와 벨트월을 통한 하중 전이현상으로 하부구조물 기둥에서 부담하는 축력은 감소하고 벽체에서 부담하는 축력이 증가하여 수직 부재 축소량 차이가 상부구조물보다 작게 나타났다(Fig. 7).

최대 부등축소 발생층의 부등축소 추이를 확인하기 위해 Stages 69 & 75의 부등축소량을 영향요인에 따라 분석하였다. 최대 DAS1은 Stage 75의 55층에서, 최대 DAS2는 Stage 75의 54층에서 발생하였고 해당층의 시공단계에 따라 부등축소량을 요인별로 나누어 Table 4에 정리하였다.

DAS1과 DAS2는 Stages 69에 탄성축소와 크리프의 영향으로 증가하였으나 Stage 75에서는 크리프에 의한 영향이 지배적인 것으로 나타났다. DAS1의 경우 크리프 축소량이 7.8mm (Stage 69)에서 19.6mm(Stage 75)로 151.3% 증가하였다. DAS2의 경우 크리프 축소량이 10.0mm(Stage 69)에서 24.4mm(Stage 75)로 144.0% 증가하였다. 또한, 건조수축의 경우 DAS1과

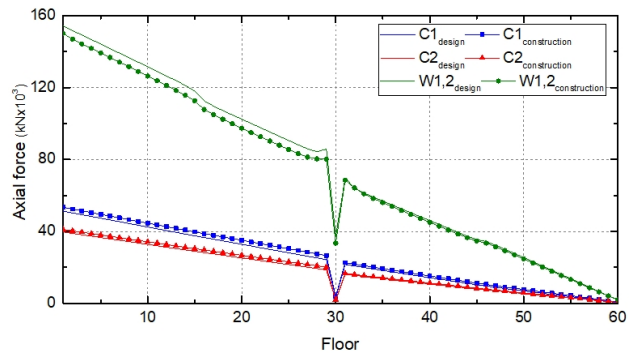


Fig. 7 Axial force distribution of the vertical elements in outrigger structure model

Table 4 Differential axial shortening in outrigger structure model (unit : mm)

Location	Stage	Differential axial shortening			
		Elastic	Creep	Shr.	Total
C1-W1	69	8.2	7.8	-0.7	15.3
	75	8.2	19.6	-2.5	25.2
C2-W2	69	10.0	10.0	-0.8	19.3
	75	10.0	24.4	-2.2	32.3

DAS2에서 모두 감소요인으로 나타났다. 이는 인접 벽체의 기하형상치수가 기동보다 작게 계획되어 인접 벽체의 건조수축 축소량이 기동보다 크게 나타나 부등축소량이 역전되어 건조 수축이 감소요인으로 작용하였기 때문이다.

#### 4. 횡력저항시스템에 따른 부등축소량 영향

철근콘크리트 60층 초고층 건물을 대상으로 메가 구조시스템과 아웃리저 구조시스템 적용에 따른 부등축소의 영향을 분석하기 위해 부등축소가 건물에 미치는 영향 중 마감재 등 비구조요소의 파손 및 수평부재 및 아웃리저 벽체 등 구조요소의 부가하중을 검토하였다.

##### 4.1 마감재 등 비구조요소에 대한 영향

부등축소량에 대한 최대 허용한계치는 Choi(2010)와 같이 현 국내 콘크리트구조설계기준(MOLIT, 2021)의 수평부재의 최대 허용처짐(과도한 처짐에 의해 손상되기 쉬운 비구조요소를 지지 또는 부착한 지붕 또는 바닥구조, 경간길이( $l$ )의  $1/480$ )을 처짐각으로 치환하여  $l/240$ 을 기준으로 적용하였다. 각 모델의 최대 부등축소량이 발생한 층에 대해서 최대 허용한계치를 검토하였으며 이를 Table 5에 정리하였다.

두 모델의 DAS1과 DAS2는 모두 최대 허용한계치를 만족하였다. 메가구조모델은 메가기동인 C1의 31~45층을 제외하고 횡하중(풍하중 혹은 지진하중)이 포함된 하중조합인 “1.2DL+1.0LL±1.3W 혹은 1.2DL+1.0LL±1.0E”에 의해 설계되었고, C1의 31~45층 및 셋기동인 C2는 중력하중 조합인 “1.2DL+1.6LL”로 설계되었으며, 아웃리저구조모델의 기동(C1, C2)은 하부구조물에서 풍하중이 포함된 하중조합으로, 상부구조물에서 중력하중 조합으로 설계되었다. 또한, 두 모델의 모든 벽체는 횡하중이 포함된 하중조합으로 설계되었다.

메가구조모델에서 C1이 횡하중에 의해 설계된 층에서는 벽체와의 축소량이 크게 차이나지 않았으나 중력하중에 의해 설계된 층에서는 C1의 축소량으로 DAS1이 증가하였고, C2는 전 층에서 중력하중으로 설계되어 벽체와 축소량 차이가 크게 발생하였다(Figs. 3 and 6). 아웃리저구조모델에서 기동이 횡하중에 의해 설계된 하부구조물에서는 기동과 벽체의 축소량 차이가 크지 않아 부등축소가 작게 나타났으나 상부구조물에

서 기동이 중력하중에 의해 설계되며 부등축소량이 크게 증가하였다. 또한, 아웃리저구조모델의 C1과 C2가 동일한 중력하중 조합으로 설계되었음에도 최대 부등축소 발생층에서 DAS2가 DAS1보다 28.2% 크게 발생하는 것은 평면 내에서 W1과 W2는 대칭이고 동일한 재료 및 두께로 설계되어 축소량 차이가 크게 발생하지 않았으나, C2에서 부담하는 축력이 C1보다 13.9% 작고 휨모멘트에 대한 비중이 상대적으로 크게 나타나므로써 C2의 단면적이 C1보다 작게 설계되어 C2에서 C1보다 많이 축소하였기 때문이다.

이와 같이 인접부재들의 설계는 중력하중조합 혹은 중력하중과 횡하중이 포함된 하중 조합에 따라 영향을 받는 것을 알 수 있으며, 벽체가 주로 횡하중이 포함된 하중조합에 의해 설계되기 때문에 기동이 어떤 하중조합에 의해 설계되었는가에 따라 기동축소에 영향을 받게 된다. 횡하중이 포함된 하중조합으로 설계된 부재는 중력하중에 의한 기동축소가 상대적으로 작게 나타나고, 중력하중 조합으로 설계된 부재는 기동축소가 상대적으로 크게 발생하여 벽체와의 축소량 차이가 크게 발생하게 된다. 특히, 메가구조모델에서 셋기동이 전 층에서 중력하중 조합으로 설계되어 아웃리저구조모델보다 부등축소가 크게 발생하였다.

##### 4.2 수평부재 등 구조요소의 구조거동

###### 4.2.1 수평부재

부등축소에 의해 발생한 부가하중은 구조체에 영향을 줄 수 있기 때문에, 최대 부등축소량 발생층에서 부등축소 측정 위치의 수평부재(Fig. 1)인 Beam1과 Beam2의 모멘트를 분석하여 각 모델별로 Tables 6과 7에 정리하였다.

각 모델의 최대 부등축소 발생층 수평부재에 대해서 공칭강도( $M_n$ ), 설계단계의 비계수 중력하중 조합으로 발생한 “설계단계 부재력( $M_{design}$ )”, 시공단계의 비계수 중력하중 조합으로 발생한 “시공단계 탄성 부재력( $M_{DL+LL}$ )”, 비탄성 성분인 크리프와 건조수축으로 발생한 “시공단계 비탄성 부재력( $M_{Creep} \& M_{Shrinkage}$ )” 그리고 “시공단계 총 부재력( $M_{const}$ )”을 정리하였고 이를 공칭강도에 대한 비율로 분석하였다.

메가구조모델(Table 6)에서 Beam1의 벽체 측 시공단계 탄성 부재력( $M_{DL+LL}$ )은 설계단계보다 18.3%p 감소한 -991.6kN·m가 발생하였고, 기동 측은 설계단계보다 15.8%p 감소한 278.9kN·m

Table 5 Limit of DAS in each structure model

(unit : mm)

Measured Location	Mega structure model				Outrigger structure model			
	Span( $l$ )	Floor	DAS	CHK( $l/240$ )	Span( $l$ )	Floor	DAS	CHK( $l/240$ )
C1-W1	8,400	54F	21.4	O.K(35)	8,400	55F	25.2	O.K(35)
C2-W2	12,600	53F	45.6	O.K(52.5)	12,600	54F	32.3	O.K(52.5)

가 발생하였다. 설계단계와 시공단계 탄성 부재력의 차이가 발생한 원인은 설계단계해석(이하, 일반해석)에서는 구조물 전체가 동시에 시공되고 하중을 일괄 재하하는 것으로 가정하면서, 하부층에 재하된 하중이 시공되지 않은 상부층의 부재력과 축소량에 영향을 주는 것과 다르게 시공단계해석은 시공 일정에 따라 부재가 시공되면서 하부층 하중이 시공 전인 상부층 내력에 영향을 주지 않고, 각 층의 시공 전 발생한 탄성 축소량(up to)이 보정되어 부등축소량이 감소하고 이에 따라 시공단계 탄성 부재력이 감소하였기 때문이다(Kim and Shin, 2010). 또한, 중력하중에 의해 양 단부에서 부모멘트가 발생하여야 하나 C1이 W1보다 상대적으로 매우 작은 강성을 가져 기둥 측 단부에 매우 작은 부모멘트가 발생하였고 C1에서 W1보다 큰 축소량이 발생함으로써 기둥 측에서 발생한 상대적으로 큰 정모멘트에 의해 결과적으로 기둥 측 부재력이 정모멘트로 발생하였다. Beam1의 시공 중 총부재력( $M_{const}$ )은 Stage 69에 벽체 측에서 -1,044.9kN·m, 기둥 측에서 332.7kN·m가 발생하였고 비탄성 거동의 영향으로 시공단계 탄성 부재력( $M_{DL+LL}$ )보다 증가하였다. Beam1을 지지하는 수직부재(C1, W1)에서 크리프로 인해 C1이 W1보다 크게 축소하면서(Table 3) 크리프 부재력( $M_{creep}$ )이 Stage 69에 벽체 측에서 -59.7kN·m, 기둥 측에

서 48.3kN·m가 발생하여 양 단부의 부재력을 증가시키는 요인으로 작용하였다. 반면에 건조수축에서는 C1이 W1보다 작게 축소하여(Table 3) 건조수축 부재력( $M_{shrinkage}$ )은 Stage 69에 벽체 측에서 6.4kN·m, 기둥 측에서 5.6kN·m가 발생하여 단부의 부재력을 감소시키는 요인으로 작용하였으나 크리프의 영향에 비해 매우 작게 나타났다. Stage 75에서는 비탄성 거동(크리프와 건조수축)으로 인한 부등축소량이 증가하면서 시공단계 비탄성 부재력이 증가하여 시공 중 총 부재력이 증가하였지만 증가량이 공칭강도의 최대 5% 미만 수준으로 그 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 한편, Beam2는 양단 핀접합으로 설계되어 단부모멘트가 발생하지 않았다.

아우트리거구조모델(Table 7)의 Beam1에서는 전반적으로 메가구조모델과 유사한 경향으로 나타났다. 시공단계 탄성 부재력( $M_{DL+LL}$ )은 벽체 측에서 설계단계보다 15.9%p 감소한 -639.3kN·m가 발생하였고, 기둥 측은 설계단계 부재력( $M_{design}$ )과 반대 방향으로 작용한 -19.0kN·m가 발생하였다. 설계단계와 시공단계 탄성 부재력의 차이가 발생한 원인은 시공단계해석 상 설계단계의 시공 전 탄성 축소량이 보정되어 수평부재의 부재력이 감소하였기 때문이다. 기둥 측 부재력은 중력하중에 의해 양 단부에서 부모멘트가 발생하여야 하나 C1과 W1의 강성 차이로 설계단계에서 정모멘트로 발생하였고, 시공단계해석으로 설계단계에서 과대평가된 부등축소량이 시공단계에 56.1% 감소한 메가구조모델과 달리, 61.5% 감소하면서 부 방향의 부재력으로 발생하였다.

시공 중 총부재력( $M_{const}$ )은 Stage 69에 벽체 측에서 -639.4kN·m, 기둥 측에서 -8.2kN·m가 발생하였다. Beam1을 지지하는 수직부재(C1, W1)에서 크리프 부등축소로 인해 크리프 부재력( $M_{creep}$ )이 Stage 69에 벽체 측에서 -10.5kN·m, 기둥 측은 15.9kN·m가 발생하였다. 특히, 기둥 측에서 크리프 부재력( $M_{creep}$ )이 시공단계 탄성 부재력과 반대 방향으로 작용하면서 오히려 감소하였다. 건조수축 부재력( $M_{shrinkage}$ )은 메가구조모델(Stage 69)과

Table 6 Bending moment of the horizontal element in mega structure model

(unit : kN·m)

Moment		Beam1(54F)			
		Wall side		Column side	
		Stage 69	Stage 75	Stage 69	Stage 75
Nominal strength( $M_n$ )		2,574.8(100%)			
Member force	$M_{design}$	-1,461.4(56.8%)		684.2(26.6%)	
	$M_{DL+LL}$	-991.6(38.5%)		278.9(10.8%)	
	$M_{creep}$	-59.7	-240.8	48.3	212.2
	$M_{shrinkage}$	6.4	112.4	5.6	-90.4
	$M_{const}$	-1,044.9 (40.6%)	-1,119.9 (43.5%)	332.7 (12.9%)	402.6 (15.6%)

Table 7 Bending moment of the horizontal elements in outrigger structure model

(unit : kN·m)

Moment		Beam1(55F)				Beam2(54F)			
		Wall side		Column side		Wall side		Column side	
		Stage 69	Stage 75	Stage 69	Stage 75	Stage 69	Stage 75	Stage 69	Stage 75
Nominal strength( $M_n$ )		1,810.4(100%)				1,810.4(100%)			
Member force	$M_{design}$	-927.3(51.2%)		244.3(22.6%)		-1,243.2(68.7%)		-501.9(27.7%)	
	$M_{DL+LL}$	-639.3(35.3%)		-19.0		-1,106.8(61.1%)		-589.1(32.5%)	
	$M_{creep}$	-10.5	-145.0	15.9	149.8	35.9	-8.3	-11.7	42.8
	$M_{shrinkage}$	10.5	79.6	-5.1	-71.9	4.7	28.1	0.2	-21.9
	$M_{const}$	-639.4 (35.3%)	-704.8 (38.9%)	-8.2 (0.5%)	58.8 (5.5%)	-1,066.2 (58.9%)	-1,087.0 (60%)	-600.6 (33.2%)	-568.2 (31.4%)

$M_{design}$  : bending moment by unfactored DL+LL at design stage,  $M_{DL+LL}$  : bending moment by unfactored DL+LL under construction

$M_{creep}$  : bending moment by creep under construction,  $M_{shrinkage}$  : bending moment by shrinkage under construction

$M_{const}$  :  $M_{DL+LL} + M_{creep} + M_{shrinkage}$

유사한 경향으로 벽체 측에서 10.5kN·m, 기둥 측은 -8.2kN·m가 발생하였다. Stage 75에서는 비탄성 거동(크리프와 건조수축)으로 시공 중 총 부재력( $M_{const}$ )이 증가하는 것으로 나타났으나 공칭강도의 최대 4.3% 미만 수준으로 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

Beam 2의 벽체 측 시공단계 탄성 부재력( $M_{DL+LL}$ )은 설계단계보다 7.7%p 감소한 -1,106.8kN·m가 발생하였고, 기둥 측은 설계단계보다 4.8%p 증가한 -589.1kN·m가 발생하였다. 설계단계와 시공단계 탄성 부재력의 차이가 발생하는 이유는 해석 특성상 시공단계 부등축소량이 설계단계보다 감소하였기 때문이다. 또한, 기둥 측에서는 Beam1과는 달리 C2와 W2의 강성이 Beam1의 경우보다 상대적으로 큰 차이를 보이지 않아 기둥 측에서 부방향의 부재력이 발생하였고, 시공단계해석에서 탄성 부등축소량이 설계단계보다 감소하면서 기둥 측 시공단계 탄성 부재력은 설계단계보다 증가한 것으로 판단된다. 시공 중 총부재력( $M_{const}$ )은 Stage 69에 벽체 측에서 -1,066.2kN·m, 기둥 측에서 -600.6kN·m가 발생하였으며 비탄성 거동으로 벽체 측에서는 시공단계 탄성 부재력보다 감소하였고 기둥 측에서는 증가하였다. 크리프 부재력( $M_{creep}$ )은 크리프 부등축소로 인해 Stage 69에 벽체 측에서 35.9kN·m, 기둥 측에서 -11.7kN·m가 발생하였고 Stage 69에는 기둥 측의 부재력을 증가시키는 요인으로 작용하였으나 증가량이 공칭강도의 0.7% 미만으로 영향이 대단히 작게 나타났다. 건조수축 부재력( $M_{shrinkage}$ )은 Beam1과 유사한 경향으로 나타났으며, Stage 75에서는 기둥 측에서 부재력을 증가시키는 요인으로 작용하였으나 크리프의 영향보다 작게 나타났다.

이와 같이 수평부재의 부재력은 대부분 부재에서 중력하중 조합에 대해 설계단계보다 시공단계 탄성 부재력이 더 작게 발생하였다. 시공단계를 고려할 경우 부재가 점진적으로 시공되고 부재의 탄성 축소량(up to)이 보정되면서 부등축소량이 감소하였기 때문에 수평부재의 부재력이 변화하였다. 또한, 시간의존적 재료성질로 인해 부재력이 증가하더라도 안전성에

큰 영향이 없는 수준의 증가인 것으로 판단된다.

#### 4.2.2 아웃리저 벽체

각 모델의 아웃리저층(30층)에서 아웃리저 벽체(OW1, OW2)의 상부 부분에 대해서 전단력에 대해서 공칭강도( $V_n$ ), 설계단계의 비계수 중력하중 조합으로 발생한 “설계단계 부재력( $V_{design}$ )”, 시공단계의 비계수 중력하중 조합으로 발생한 “시공단계 탄성 부재력( $V_{DL+LL}$ )”, 비탄성 성분인 크리프와 건조수축으로 발생한 “비탄성 부재력( $V_{creep}$  &  $V_{shrinkage}$ )” 그리고 “시공 중 총 부재력( $V_{const}$ )”을 Table 8에 정리하였고 이를 공칭강도에 대한 비율로 분석하였다.

메가구조모델에서 메가기둥인 C1과 인접 벽체인 W1을 연결한 아웃리저 벽체(OW1)의 시공단계 탄성 부재력( $V_{DL+LL}$ )은 1,120.1kN이 발생하였다. 이와 같이 발생한 것은 수평부재의 경향과 유사하게 설계단계와 시공단계의 해석 특성상 수직 부재의 시공 전 축소(up to)가 보정되면서 부등축소량이 감소하였기 때문이다. Stage 69에 크리프 부재력( $V_{creep}$ )은 75.8kN이, 건조수축 부재력( $V_{shrinkage}$ )은 566.2kN이 발생하여 시공 중 총 부재력( $V_{const}$ )을 증가시키는 요인으로 작용하였으나 비탄성 거동으로 인한 증가량이 공칭강도의 2.7% 미만 수준으로 그 영향이 대단히 작게 나타났다. 한편, Stage 75에서 크리프 부재력은 부등축소가 벽체에서 크게 발생하여 정(+) 방향의 전단력이 발생하여야 하나 수평변형이 코어부 방향으로 발생하면서 부(-) 방향의 더 큰 전단력이 발생함으로써 결과적으로 부방향의 전단력으로 나타났다.

아웃리저구조모델에서 C1과 W1을 연결한 아웃리저 벽체(OW1)의 시공단계 탄성 부재력( $V_{DL+LL}$ )은 메가구조모델의 경향과 유사하게 나타났으며, -568.9kN이 발생하였다. 또한, 비탄성 부재력( $V_{creep}$  &  $V_{shrinkage}$ )은 Stage 69에 크리프와 건조수축 부등축소의 영향으로 시공단계 탄성 부재력과는 반대의 부호로 발생하여 시공 중 총 부재력( $V_{const}$ )에 증가요인으로 작용하였으나 증가량이 공칭강도의 2.9% 수준으로 그 영향이 대단

Table 8 Shear force of outrigger walls in each structure model

(unit : kN)

Force	Mega structure model				Outrigger structure model								
	OW1		OW2		OW1		OW2						
	Stage 69	Stage 75	Stage 69	Stage 75	Stage 69	Stage 75	Stage 69	Stage 75					
Nominal strength( $V_n$ )	44,875.2(100%)				-46,808.3(100%)				-39,776.7(100%)				
Member force	$V_{design}$	-959.0				-4,285.4(9.1%)				-3,846.8(9.7%)			
	$V_{DL+LL}$	1,120.1(2.5%)				-568.9(1.2%)				242.5			
	$V_{creep}$	75.8	-1,516.6	516.9	-1,075.9	270.6	-1,357.7						
	$V_{shrinkage}$	566.2	2,702.8	529.4	2,402.8	820.2	2,704.3						
	$V_{const}$	1,762.1(3.9%)	2,306.2(5.1%)	477.3	758.0	1,333.3	1,589.0						

$V_{design}$  : shear force by unfactored DL+LL at design stage,  $V_{DL+LL}$  : shear force by unfactored DL+LL under construction

$V_{creep}$  : shear force by creep under construction,  $V_{shrinkage}$  : shear force by shrinkage under construction

$V_{const}$  :  $V_{DL+LL} + V_{creep} + V_{shrinkage}$



히 작은 것으로 나타났다. C2와 W2를 연결한 아웃리저 벽체(OW2)의 시공단계 탄성 부재력( $V_{DL+LL}$ )은 두 수직부재 간 탄성 부등축소로 인해 242.5kN이 발생하였다. 또한, 시간의존적 재료성질로 인해 발생하는 크리프 및 건조수축 부재력( $V_{creep}$  &  $V_{shrinkage}$ )은 OW1의 경향과 유사하게 시공 중 총 부재력( $V_{const}$ )을 증가시키는 요인으로 작용하였으나 그 크기가 공칭 강도의 3.4% 미만 수준으로 대단히 작은 것으로 나타났다.

메가구조모델의 아웃리저층에서 부등축소가 아웃리저구조모델보다 상대적으로 크게 발생함으로써 메가구조모델 아웃리저 벽체에서 시공 중 총 부재력이 아웃리저구조모델보다 크게 발생하였으나, 두 모델에서 아웃리저 벽체는 골조 내에서 횡력저항시스템으로 작용하여 수평부재에 비해 횡력 저항 기여도가 대단히 높기 때문에 중력하중 조합에 의한 부재력이 상대적으로 낮게 나타났다. 또한, 부등축소 뿐만 아니라 수평 변형의 영향과 함께 복합적으로 작용하여 벽체의 부재력이 변화할 수 있으나 시공 총 부재력은 크게 증가하지 않아 아웃리저 벽체의 안전성에 큰 영향은 없을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 최근 60층 규모 초고층 건물에서 자주 사용되는 두 종류의 횡력저항시스템을 각각 적용한 예제 건물을 대상으로 단면설계 및 콘크리트의 시간의존적 재료성질을 고려한 시공단계해석을 진행하여 각 횡력저항시스템이 건물에서 발생하는 부등축소에 미치는 영향에 대해 비교, 분석하였다. 시공단계해석에 따른 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 수직 부재의 절대축소량을 비교한 결과, 두 모델의 벽체에서 발생한 최대 절대축소량의 차이는 미미하게 나타났으나, 기둥의 경우에는 메가 구조시스템의 셋기둥이 전 층에서 중력하중 조합으로 설계되어 축소량이 크게 발생함으로써 아웃리저 구조시스템의 기둥과 큰 차이를 보였다. 따라서 절대축소량에 대해 메가 구조시스템을 횡력저항시스템으로 사용하는 경우는 아웃리저 구조시스템을 사용하는 경우보다 상대적으로 불리한 것으로 나타났다.
- 2) 수직 부재의 부등축소량을 비교한 결과, 두 시스템 모두 아웃리저 벽체로 부등축소량이 감소하였고, 아웃리저 벽체 설치층 하부(층)에 대해서 모든 기둥이 횡하중을 포함한 하중조합에 의해 설계됨으로써 기둥과 벽체의 축소량 차이가 대단히 작게 발생하여 부등축소량이 감소하는 현상을 보였다.
- 3) 부등축소량으로 인해 발생하는 마감재 등의 파손에 대

한 영향을 비교한 결과, 메가 구조시스템과 아웃리저 구조시스템을 사용한 경우 모두 부등축소량에 대한 최대 허용한계치를 전 시공단계에서 만족하였다. 그러나 각 시스템에서 중력하중 조합으로 설계된 기둥이 있는 경우 기둥의 축소량으로 인해 부등축소량이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 메가 구조시스템의 셋기둥에서는 기둥과 인접 벽체 간 부등축소량이 최대 허용한계치에 근접하여 발생하였다. 이에 반해 메가 구조시스템에서 중력하중과 횡하중 조합으로 설계된 메가기둥의 경우 최대 허용한계치에 대해 충분한 안전성을 나타냈다.

- 4) 부등축소로 인해 구조요소에 발생하는 부재력을 비교한 결과, 시공단계해석의 특성상 설계단계보다 감소한 부등축소량으로 인해 비계수 중력하중 조합에 대한 시공단계 탄성 부재력은 설계단계보다 대부분 감소하는 것으로 나타났으며, 비탄성 거동으로 인해 부가하중이 발생하더라도 부재의 안전성에 큰 영향은 없어서 부등축소로 인한 부가하중 때문에 부재 단면을 재설계할 수준의 증가는 없는 것으로 판단된다. 특히, 주로 횡하중이 포함된 하중조합에 의해 설계된 아웃리저 벽체는 중력하중에 의해 발생하는 부등축소가 부재력에 미치는 영향이 대단히 적은 것으로 나타났다.

이와 같이 예제모델에서 발생하는 부등축소에 대한 횡력저항시스템의 영향을 검토하는 조건 및 과정을 제시하였다. 그러나 메가 구조시스템이 60층 규모의 예제 건물보다 높은 건물에서 사용되는 점을 고려하였을 때, 본 논문과 같은 조건으로 보다 다양한 층수를 갖는 건물에 대해서 추가적인 검토가 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2019R1A2C1011667)을 받아 수행되었습니다.

## References

- Chen, Y., Cai, K., Wang, X.** (2018) Parameter Study of Framed-Tube Structures with Outriggers using Genetic Algorithm, *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 27:e1499.
- Choi, S.W.** (2010) A Study on the Displacement of Finishing Materials according to Column Shortening of High-rise Residential Apartment Buildings, M.S. Thesis, Hanyang University, p.69.

- Chung, K.R., Yoo, S.H.** (2019) Structural Design and Construction of Mega Braced Frame system for Tall Buildings, *Int. J. High-Rise Build.*, 8(3), pp.169~175.
- Hulea, R., Parv, B., Nicoreac, M., Petrina, B.** (2014) Optimum Design of Outrigger and Belt Truss Systems using Genetic Algorithm, *J. Civil Eng. Archit.*, 8(6), pp.709~715.
- Kim, H.K.** (2020) Modified Proposal for Optimal Location of Offset Outrigger System in High-rise Building, *J. Korea Inst. Struct. Maint. & Insp.*, 24(5), pp.37~44.
- Kim, H.S., Shin, S.H.** (2010) Effects of Differential Column Shortening on Internal Member Forces of Tall Buildings, *J. Archit. Inst. Korea (Structure)*, 26(5), pp.35~42.
- Kim, H.S., Shin, S.H.** (2011) Reduction of Differential Columns Shortening due to Outrigger, *J. Archit. Inst. Korea (Structure)*, 27(9), pp.29~36.
- Lu, J., Wu, J., Luo, X., Zhang, Q.** (2013) Time-dependent Analysis of Steel-reinforced Concrete Structures, *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 22, pp.1186~1198.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT** (2019a) Architectural Structure Design Standard (KDS 41 00 00).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT** (2019b) Architectural Structure Design Standard : Design Load (KDS 41 10 15).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT** (2019c) Seismic Design Standard for Buildings (KDS 41 17 00).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT** (2021) Concrete Structure Design Standard (KDS 14 20 00).
- Mun, I.W., Choi, K.B.** (2018) The Influence Factors on the Compensation of Column Shortening in Tall Buildings, *J. Korea Inst. Struct. Maint. & Insp.*, 22(1), pp.208~215.
- Samarakkody, D.I., Thanbitatman, D.P., Chan, T.H.T., Moragaspititiya, P.H.N.** (2017) Differential Axial Shortening and its Effects in High-Rise Buildings with Composite Concrete Filled Tube Columns, *Const. Building Mater.*, 143, pp.659~672.
- Song, E.S., Kim, J.Y.** (2019) Analytical Correction Method Based on a Comparison of the Column Shortening Measurement-Prediction in Tall Buildings, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 32(6), pp.391~400.
- Taranath, B.S.** (1988) *Structural Analysis and Design of Tall Buildings*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Youn, W.S., Lee, D.H., Cho, C.H., Kim, E.S., Lee, D.C., Kim, J.H.** (2012) Seismic Performance Evaluation of Complex-Shaped Tall Buildings by Lateral Resisting Systems, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 25(6), pp.513~523.

## 요 지

초고층 건물에서 수평변위 제어와 수직부재에서 발생하는 부등축소에 대한 검토가 필수적이다. 수평변위 제어를 위해 근래에 아웃리거 구조시스템과 메가 구조시스템을 횡력저항시스템으로 사용한 초고층 건물이 증가하고 있다. 또한, 부등축소로 인한 구조적 문제를 해결하기 위해 부등축소량 예측과 예측결과를 통한 시공단계에서의 보정방법이 연구되어 왔으나 부등축소에 대한 횡력저항시스템의 영향 비교는 드문 편이다. 따라서, 본 논문에서는 수평변위 제어를 위해 아웃리거 구조시스템과 메가 구조시스템을 사용한 60층 규모의 철근콘크리트 주거용 초고층 건물에 대해 시공단계해석을 통한 부등축소를 비교하고 그 영향을 분석하고자 한다. 또한, 부등축소는 비구조요소의 파손 및 구조요소에 부가하중을 유발하기도 하며 부등축소가 야기한 문제는 초고층 건물에서 중요한 부재를 손상시킬 수 있으므로 각 횡력저항시스템별로 수직부재의 부등축소에 대한 영향을 분석하였다.

**핵심용어** : 아웃리거, 메가구조, 기둥축소, 시공단계해석, 초고층 건물