

# 비틀어진 형상(Twisted)을 가지는 고층 구조물의 역학적 특성 분석

## Analysis of the Static Characteristics of High-Rise Structures With Twisted Shape

이 다 혜\*  
Lee, Da-Hye

김 현 수\*\*  
Kim, Hyun-Su

강 주 원\*\*\*  
Kang, Joo-Won

### Abstract

In this study, structural characteristics were analyzed by combining gravity load and lateral loads such as seismic loads through static analysis of example structures, and the static characteristics of the twisted structure according to the plane rotation angle were also analyzed. Example structures were selected as regular structure, and twisted structures; 1.0, 2.0, and 3.0 degree angle of rotation per story, and static analysis was performed by the load combination case 1 and case 2. As a result the story drift ratio of the twisted-shaped structure also increased as the plane rotation angle per story increased. The eccentricity according to the load combination was the highest in the lower stories of all analysis models, and the eccentricity was found to be larger as the rotation angle decreased. The twisted-shaped structure was more responsible for the bending moment of the column than the regular structure, and the vertical member axial force of all analysis models was almost similar.

**Keywords :** Atypical structure, High-rise building, Twisted-shaped structure, Static analysis, Torsion angle

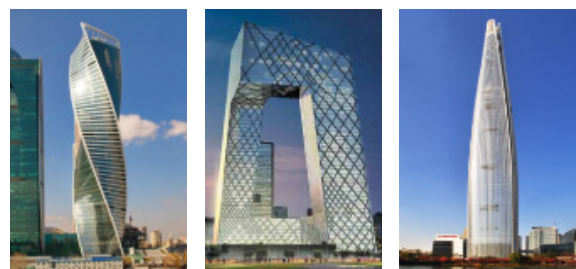
### 1. 서론

최근 세계 여러 주요 도시에 건설되고 있는 초고층 건축물은 비정형 및 자유 형상(Free-form)으로 축조되고 있으며, 랜드마크로서의 역할과 더불어 초고층 건축물이 건설된 국가의 경제력과 기술력을 선전하는 역할을 하고 있다<sup>1)</sup>. 국내의 경우도 다양한 형태의 비정형 및 자유 형상 구조물이 건설되고 있어 구조설계의 새로운 패러다임 전환으로 전개해 나가고 있다. 자유 형상 구조물은 단순한 직각 형태의 전형적인 정형프레임 구조에서 벗어나 건물이 일정한 각도로 비틀린 형태를 취하는 비틀림 형상(Twisted shape), 비스듬히 경사진 형태로 기울어진 형상(Tilted shape), 그리고 높이에 따라 평면 혹은 단면이 줄어드는 형상(Tapered shape) 등으로 다양하게 형상화되어 초고층 구조물의 평면 형태에 적용

되고 있다. 국외의 대표적인 사례로는 중국의 ‘Shanghai Tower’, 캐나다의 ‘Absolute Tower’ 등이 있다. 국내의 경우 비정형 평면을 적용하여 건설된 사례는 다수 있지만 고층 건축물에 다양한 입면 형태를 적용한 사례는 드물어 이에 관한 연구와 최적화된 설계기술이 축적되지 않는 실정이다<sup>2-4)</sup>.

다양한 형상을 가진 초고층 건물은 일반적인 초고층 구조물과는 달리 형상적 특징으로 인해 풍하중이나 지진하중과 같은 횡하중에 대해 구조적 거동을 예측하기 어려우며, 초기 설계 단계에서 형상별 핵심 설계변수를 고려하여 복잡한 구조해석 및 구조적인 안전성을 검토

\* 학생회원, 영남대학교 일반대학원 건축학과, 석사과정  
Dept. of Architecture, Yeungnam University  
\*\* 정회원, 선문대학교 건축학부 교수, 공학박사  
School of Architecture, Sunmoon University  
\*\*\* 교신저자, 정회원, 영남대학교 건축학부 교수, 공학박사  
School of Architecture, Yeungnam University  
Tel: 053-810-2429 Fax: 053-810-4625  
E-mail: kangj@ynu.ac.kr



(a) Twisted shape (b) Tilted shape (c) Tapered shape  
<Fig. 1> Type of free-form tall building

하여야 한다. 특히 자유 형상 구조물 중 코어 부분을 중심으로 평면이 회전하는 형상을 가지는 Twisted 구조물의 경우 풍하중 저감에 효과적인 형태로 다수의 비정형 구조물의 평면 형태로 적용되고 있지만 비틀린 평면으로 인해 기둥이 기울어져 있어 지진하중과 같은 횡하중 작용 시 비틀림에 취약한 구조이다. 이를 보완할 수 있는 다이어그리드 시스템(Diagrid system), 브레이스 튜브(Braced tube system), 아웃리거 시스템(Outrigger system) 등과 같은 구조시스템을 계획하여 안전성을 증가시킬 수 있다<sup>5),6)</sup>. 이에 따라 Twisted 형상 구조물의 내진성능 향상을 위한 내진구조시스템 설계 시 초기 설계 단계에서 Twisted 형상 구조물의 거동과 취약한 위치를 분석하여야 하며, 여러 사례에 대한 해석적 연구를 통해 설계변수를 선정할 필요가 있다.

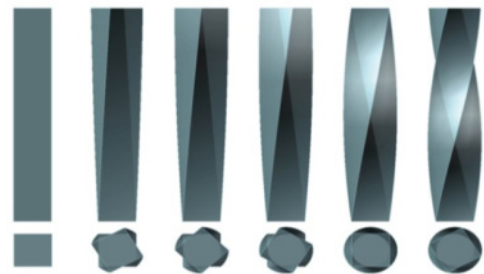
따라서 본 연구에서는 비정형성을 지닌 자유 형상 구조물 중 Twisted 형상의 구조물과 정형 구조물에 중력하중 및 지진하중을 조합하여 정역학적 해석을 통해 구조적인 특성을 분석하였다. 또한 Twisted 형상 구조물의 평면 회전 각도에 따라 역학적인 특성을 비교 분석하여 내진구조시스템 계획 시 핵심설계변수 선정에 기초자료로 제시하는데 목적을 두고자 한다.

## 2. Twisted 구조물의 구조시스템

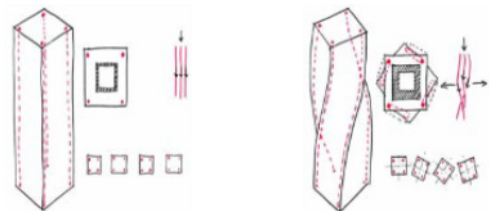
일반적인 정형 형태의 구조물은 각 층의 평면이 모두 유사하므로 기둥이 구조물 전 층에 걸쳐 수직인 기둥 시스템으로 계획된다. 이는 구조물의 축력이 기둥과 보의 접합부에서 보의 재축방향으로 수평분력을 발생시키지 않으므로 비틀림이 크게 발생되지 않는다. 그러나 평면이 일정한 각도로 회전되어 비틀어진 형상(Twisted)을 가지는 초고층 건축물에서는 수직 형태의 기둥 시스템 계획이 불가피하며, 각 층의 수평부재는 바닥하중에 의한 휨모멘트와 수평력을 받을 수 있도록 계획해야 한다.

Twisted 형상을 갖는 비정형 구조물을 구현하기 위한 구조시스템은 <Fig. 3>과 같이 비틀어진 (혹은 기울어진) 기둥 시스템(Twisted column), 기둥-가새 시스템(Column-Brace system/Diagonal Grid system), 그리고 캔틸레버 시스템(Cantilever system) 등 3가지로 분류된다<sup>7)</sup>.

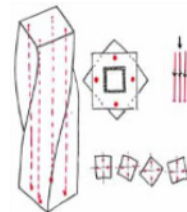
<Fig. 3 (a)>와 같이 기울어진 기둥 시스템은 상부층



<Fig. 2> Example of analyzing design variables for twisted shape structures



(a) Typical structure (b) Twisted structure with twist column



(c) Twisted structure without twist column  
<Fig. 3> Comparison of structural systems between regular and torsional structures<sup>7)</sup>

에서 전달되는 부재의 축하중 자체만으로도 각 층에서 수평 전단력을 유발하며<sup>8)</sup>, 이로 인해 기둥에 과다한 전단력 및 휨모멘트가 발생한다. 즉 경사진 기둥에 의해 비틀림 모멘트를 형성하며 각 층의 보나 슬래브에 영향을 줄 수 있으며, 평면에 배치된 기울어진 기둥으로 형성된 곡선 형상의 구조물은 편심과 상당한 전도 모멘트를 발생시켜 Twisted 형상 구조물 전체의 변형을 유발하기도 한다. 또한 Twisted 형상을 가진 비정형 구조물의 평면 회전 각도가 커질수록 기둥의 경사 각도가 커져 기둥의 휨 강성이 감소하여 횡변위가 증가할 수 있다. 그러므로 수평 전단은 구조시스템을 구성하는 주변 가새 혹은 콘크리트 전단벽, 모멘트-저항 골조 중 하나가 함께 저항하여야 한다. 콘크리트 전단벽과 모멘트-저항 골조의 저항능력은 단면 크기의 증가 또는 철근량의 증가를 통해 향상시킬 수 있지만 중력하중에 대한 부담 증

가와 물량 증가로 인한 경제성을 고려한다면 오히려 가새 시스템을 적용하는 것이 효율적이다.

따라서 일반적으로 다이아그리드(Diagrid system) 구조 시스템이나 브레이스 튜브(Brace tube)와 같은 가새 시스템을 적용함으로써 <Fig. 4 (b)>와 같이 기울어진 기둥 부재의 경사면에 발생하는 힘의 균형을 유지하게 된다. 적용된 가새 시스템은 트러스 요소의 가새를 통해 수직 및 수평분력으로 중력하중을 분산시킴으로써 축 하중에 의해 발생하는 비틀림과 모멘트를 저감시키고, 층별 횡 강성의 증진으로 과도한 수평 변위를 제어할 수 있다.

### 3. 해석모델

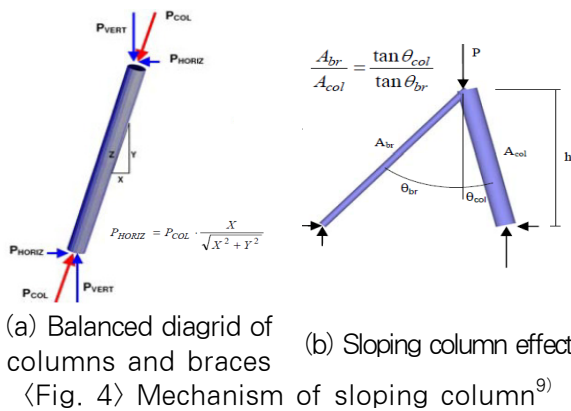
#### 3.1 해석모델의 개요

본 연구에서는 정형 구조물과 Twisted 형상 구조물의 정역학적 구조 거동의 비교와 평면 회전 각도를 변수로 한 Twisted 형상 구조물의 역학적 특성을 비교하기 위해 상용 해석 프로그램인 Midas Gen ver 881.을 사

용하여 해석모델을 모델링하였다. 사용된 해석모델은 60층 규모의 구조물로 기준층부터 최상층까지 평면 형상이 동일한 정형 구조물과 중앙부에 코어 벽체를 두고 외부의 기울어진 기둥과 보를 연결한 Twisted 형상의 구조물을 해석모델로 선정하였다. 각 해석모델의 명칭은 정형 구조물의 경우 'Fixed', 한 층당 평면 회전 각도가 1.0°, 2.0°, 3.0° 씩 회전하는 Twisted 형상의 해석모델을 각각 '1.0 Deg', '2.0 Deg', '3.0 Deg'로 명명하였으며, 해석모델은 <Fig. 5>와 같다. 이에 따른 Fixed 모델의 일반사항은 <Table 1>과 같으며, 1.0 Deg, 2.0 Deg, 3.0 Deg 모델 또한 Fixed 모델의 일반사항과 동일하게 적용하여 평면 회전 각도만 달리하였다.

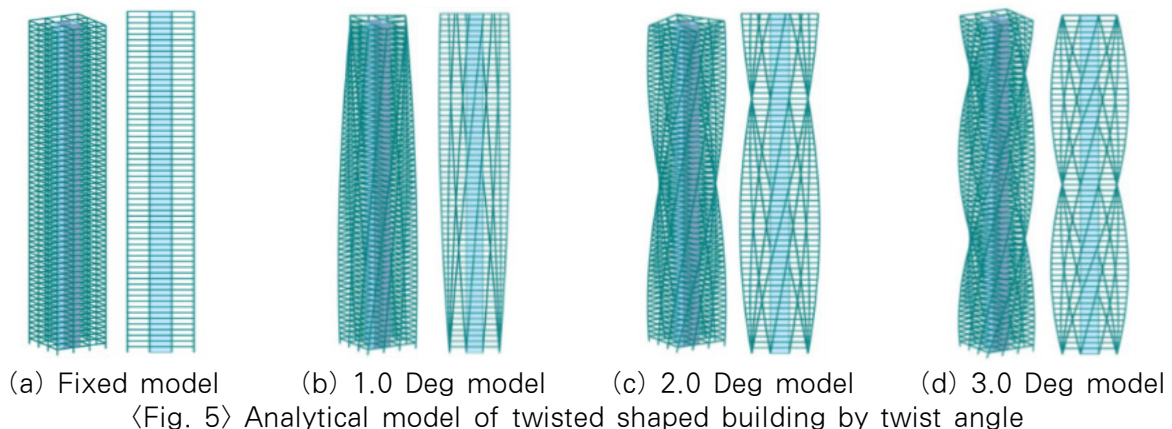
#### 3.2 해석 방법

Fixed 해석모델과 평면 회전 각도별 3가지 해석모델을 정적해석을 통해 층별 기둥의 축력과 모멘트를 분석하였으며, 층별 모멘트 및 축력 값은 각각 층별 축력의 합과 모멘트를 부담하는 기둥을 선정하여 분석하였다.



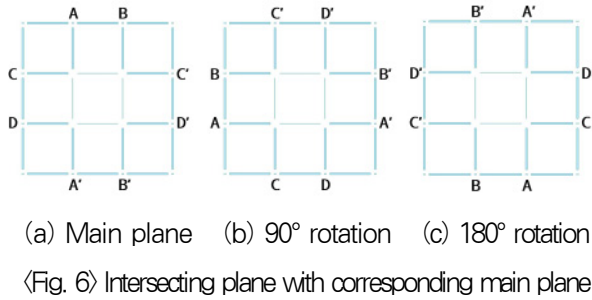
<Table 1> Specification of analytical model

Variable	Specification	
Height	3.9m X 60 story = 234m	
Main plane	36m X 36m	
Material	Beam	SS275
	Column	
	Wall	C24
Section	Beam	H - 400 X 400 X 13/21
	Column	H - 458 X 417 X 30/50
	Wall	400mm
Slenderness ratio	1 : 6.5	



〈Table 2〉 Load combination case

Load case		Description
Case 1	EX	Equivalent static seismic load in X direction
Case 2	1.2DL + 1.0 (1.0EX+0.3EY)	120% Dead load + 100% (100% EX+ 30% EY)



이에 적용된 하중조합은 건축구조기준(KDS 41 10 15 : 2019)<sup>10)</sup>의 강도설계법에 의한 하중조합을 참고하여 등가정적 지진하중과 고정하중의 설계하중조합을 〈Table 2〉와 같이 나타내었다. X방향 등가정적 지진하중(EX)만을 고려한 하중을 ‘Case 1’, 1.2DL+1.0(1.0EX+0.3EY) 하중을 ‘Case 2’로 명명하였다. 하중조합 Case 2에 사용된 100:30법은 한 방향 지진하중의 100%와 직각 방향 하중의 30%에 대한 하중효과의 절대값을 합하여 구하는 것으로 하중 방향과 직각 방향의 하중도 동시에 고려할 수 있도록 조합하였다.

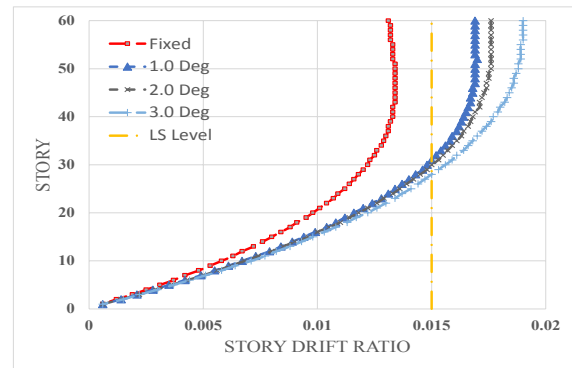
고정하중(Dead Load, DL)의 경우 한 평면의 층당 고정하중은 720kN으로 동일하게 재하하였다. 기준층 평면과 동일한 평면이 되는 구조물, 즉 〈Fig. 6〉과 같이 총 평면 회전 각도가 90°, 180°가 되는 평면에 해당되는 위치인 ‘2.0 Deg’ 해석모델의 46층과 ‘3.0 Deg’ 해석모델의 31층 및 Roof 층의 16개 절점에 45kN, 그리고 이를 제외한 한 층당 평면 회전 각도를 가지는 평면의 24개 절점에 30kN을 재하하였다.

모든 해석모델에 적용된 등가정적 지진하중(Equivalent earthquake load)은 현행 건축물 내진설계 기준(KDS 41 17 00 : 2019)<sup>10)</sup>을 적용하여 〈Table 3〉과 같이 중요도 1의 건축물로 지진구역 1의 지역계수를 적용하여 지진하중을 산정하였다.

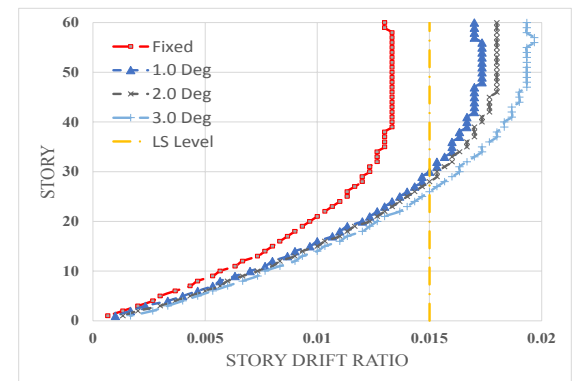
각 해석모델의 편심은 정형 구조물에서 일반적으로 고려된 우발편심효과를 고려하여 각 층의 질량중심점에 5%를 가산하여 우발편심을 고려하였다.

〈Table 3〉 Seismic load factors

Contents	Value
Seismic zone	1
Zone factor (S)	0.22
Site class	S3
Importance factor	1.2
Approximate period (sec)	5.69
Response modification factor (R)	4.5



〈Fig. 7〉 Story drift ratio in Case 1



〈Fig. 8〉 Story drift ratio in Case 2

## 4. 해석 결과

### 4.1 층간변형률

〈Fig. 7〉과 〈Fig. 8〉은 해석모델의 층별 층간변형률을 나타낸 그래프이다. Fixed 모델과 Twisted 형상 해석모델의 층간변형률은 Case 1과 2의 하중조합을 통해 산정된 층간변위에 변위증폭계수( $C_d$ )와 중요도계수( $I_E$ )를 적용하여 산출하였으며, 허용 층간변형률은 현행 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)<sup>10)</sup>에 따라 ‘0.015’로 제한하였다.

Case 1과 Case 2 하중조합 모두 정형 구조물에 비해



Twisted 형상 구조물의 층간변형률이 더 높게 나타났으며, 평면의 회전 각도가 증가될수록 층간변형률이 증가하는 양상이 나타났다. 허용층간변형률은 Case 1과 Case 2에서 모두 Fixed 모델을 제외한 Twisted 형상 구조물 모델에서 건축구조 기준의 허용층간변형률인 0.015를 초과하였다. 이는 평면 회전 각도가 증가할수록 층별 배치된 기둥의 경사 각도가 증가하여 횡 강성이 감소된 것으로 판단된다.

### 4.2 편심률

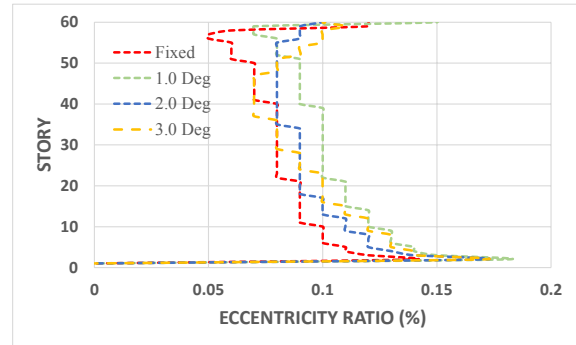
구조물은 중량의 중심(Center of gravity)으로 지진력이 작용하여 수평 방향으로 변형하며, 각 층의 기둥, 벽, 브레이스 등 내진요소의 강도가 강심(Center of rigidity)을 통해 저항하게 된다. 하지만 중량의 중심과 강심의 거리 차이가 큰 경우 편심(Eccentricity)이 발생하여 수평으로 비틀림 변형이 일어나 강심으로부터 거리가 먼 부재의 과도한 변형으로 각 층의 내력이 저하되고 지진에너지가 집중된다. 따라서 식 (1) 및 식 (2)와 같이 각 방향에 대한 편심율을 산정하여 비틀림 저항에 대한 비율로 나타내어 편심을 평가할 수 있다. 수치가 클수록 편심의 정도가 커 평면적으로 크게 치우쳐 있음을 의미한다.

$$R_{eX} = e_Y / r_{eX} \tag{1}$$

$$R_{eY} = e_X / r_{eY} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \text{where, } r_{eX} &= \sqrt{\frac{K_R}{\Sigma K_X}} \\ &= \sqrt{\frac{\Sigma(K_X \cdot \bar{Y}^2) + \Sigma(K_Y \cdot \bar{X}^2)}{\Sigma K_X}} \\ r_{eY} &= \sqrt{\frac{K_R}{\Sigma K_Y}} \\ &= \sqrt{\frac{\Sigma(K_X \cdot \bar{Y}^2) + \Sigma(K_Y \cdot \bar{X}^2)}{\Sigma K_Y}} \end{aligned}$$

여기서,  $e_X$ 는 편심의 X 좌표,  $e_Y$ 는 편심의 Y 좌표,  $r_{eX}$ 는 X방향 탄력반경,  $r_{eY}$ 는 Y방향 탄력반경,  $K_X$ 는



〈Fig. 9〉 Eccentricity ratio

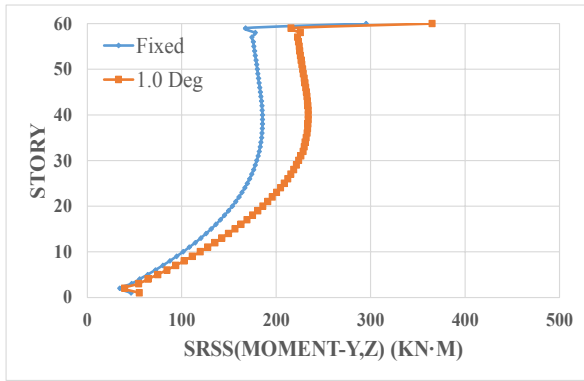
내진요소의 X방향 수평강성,  $K_Y$  는 내진요소의 Y방향 수평강성,  $\bar{X}$ 는 강심을 원점으로 한 좌표계 내진요소의 X 좌표,  $\bar{Y}$ 는 강심을 원점으로 한 좌표계 내진요소의 Y 좌표이다.

해석모델의 경우 수평 방향(X, Y방향)의 등가정적 지진하중을 기준으로 강심과 중량의 중심을 산정하고 편심율을 산출하여 〈Fig. 9〉와 같이 나타내었다. 해석 결과, Twisted 해석모델 중 1.0 Deg 모델의 편심율이 가장 크고, 최대 편심율은 정형 구조물 대비 약 1.29배 크게 나타났다. 또한 전체 해석 모두 2층을 포함한 하부층과 Roof 층의 인접 층에서 편심율이 가장 크게 나타났다. 이는 층당 평면 회전 각도가 작을수록 해당 층의 수직부재에서 과도한 변형 및 수평 방향의 전단력에 따른 모멘트가 크게 발생될 것으로 판단된다.

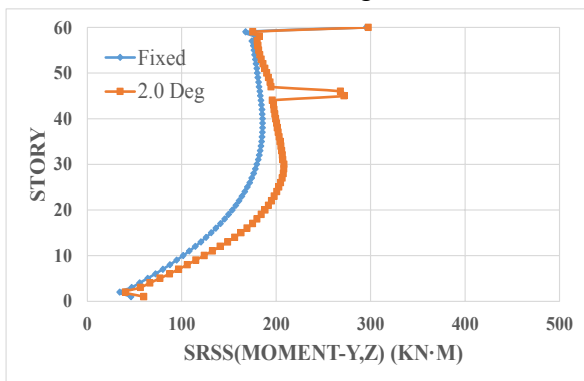
### 4.3 기둥의 휨모멘트

〈Fig. 10〉과 〈Fig. 11〉은 Twisted 형상의 해석모델과 Fixed 모델의 Case 1 및 Case 2 하중조합에 대한 층별 휨모멘트를 나타낸 그래프이다. 휨모멘트는 각 층 12개 기둥 부재 중 최대 휨모멘트를 부담하는 기둥 부재의 로컬 좌표계(Local axis)의 X방향 휨모멘트( $M_x$ )와 Y방향 휨모멘트( $M_y$ )를 층별로 선정하였다. 이를 보정하기 위해서 두 축의 모멘트를 각각 제공하여 합산 후 제공근하여 구하는 제곱합제곱근법(SRSS : Square Root of Sum of Square)을 적용하였다.

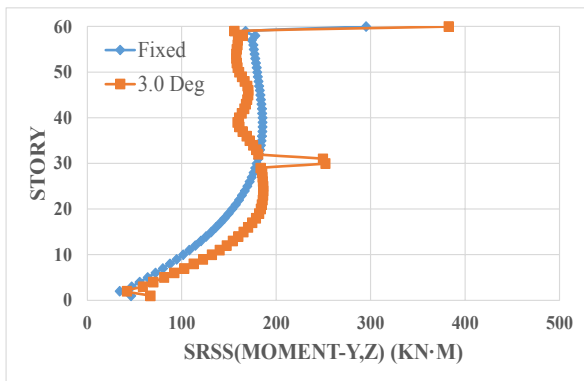
X방향으로 등가정적 지진하중을 가력한 Case 1의 경우 정형 구조물과 Twisted 형상 구조물 모두 Roof 층에서 최대 휨모멘트가 나타났다. 특히 Roof 층은 정형 구조물에 비해 편심율이 크게 나타난 Twisted 형상 구



(a) 1.0 Deg

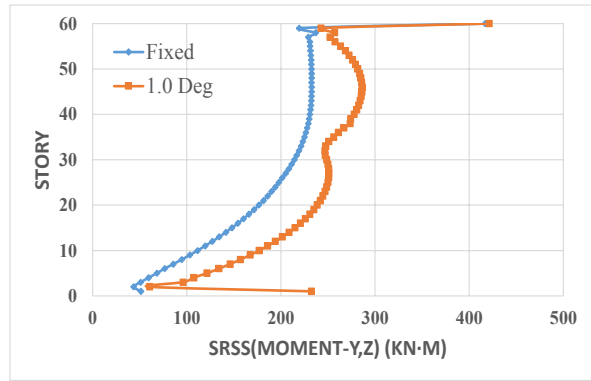


(b) 2.0 Deg

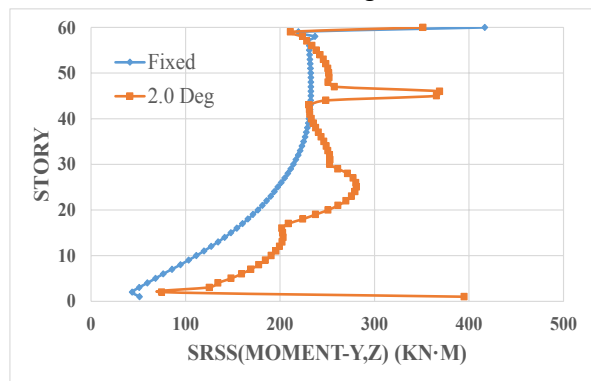


(c) 3.0 Deg

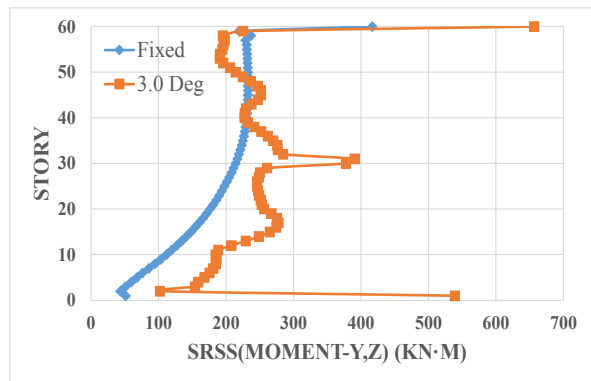
〈Fig. 10〉 SRSS (Moment-y,z) in Case 1



(a) 1.0 Deg



(b) 2.0 Deg



(c) 3.0 Deg

〈Fig. 11〉 SRSS (Moment-y,z) in Case 2

조물의 휨모멘트가 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

또한 1.0 Deg 해석모델을 제외한 2.0 Deg 및 3.0 Deg 해석모델의 경우 기준 평면과 동일한 평면을 가지는 층의 기둥 휨모멘트가 크게 나타났다. 층의 회전 각도별 Twisted 형상 구조물과 정형 구조물 기둥의 휨모멘트 양상과 비교하였을 때 1.0 Deg 및 2.0 Deg 모델은 Fixed 모델에 비해 전반적으로 휨모멘트가 크게 나타났지만, 3.0 Deg 모델의 경우 Fixed 모델보다 휨모멘트가 작게 발생하는 층이 나타났다.

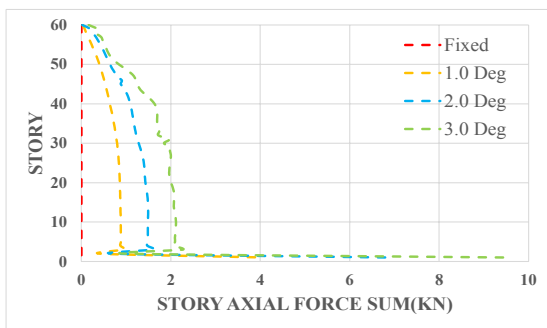
Case 2 하중조합의 경우 기둥의 층별 휨모멘트는 해석모델 모두 편심율이 크게 나타난 최하부층(Ground floor)과 Roof 층에서 크게 나타났으며, 평면이 정형 형태인 최하부층과 동일한 평면을 가진 층의 휨모멘트 또한 현저히 크게 나타났다. 이는 정형 형태의 평면을 가지는 층은 다른 층에 비해 상대적으로 휨 강성이 크므로 휨모멘트가 해당 층에 집중된 것으로 판단된다. 또한 Twisted 구조물의 회전 각도별 기둥의 휨모멘트 양상을 살펴보았을 때 Case 1과 마찬가지로 층당 회전 각도가

커질수록 Fixed 모델 기둥의 휨모멘트와 차이가 감소하였으며, 3.0 Deg 모델에서는 Fixed 모델보다 휨모멘트가 작게 발생하는 층이 나타났다.

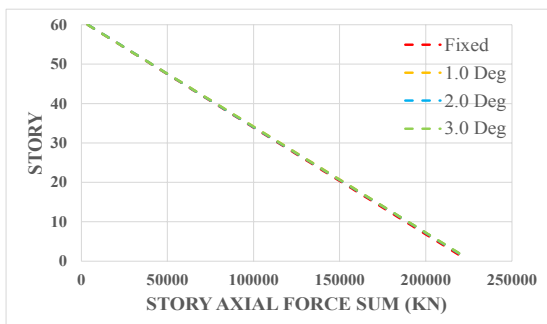
#### 4.4 수직재의 축력

Fixed 모델과 Twisted 형상 해석모델의 하중조합별 수직재가 받는 축력을 분석하기 위해 <Fig. 12>와 같이 각 층 수직재의 축력 합을 그래프로 나타내었다.

등가정적 지진하중만 작용한 Case 1 하중조합의 경우 정형 구조물은 기둥의 배치가 대칭이며, 일정한 각도를 가지는 수직재가 축력을 분담한다. 따라서 해당 층의 수직재 축력을 합산하였을 때 각 기둥이 분담하는 축력이 상쇄되므로 축력 합이 0에 가깝게 나타났다. Twisted 형상 구조해석모델은 정형 구조물과 달리 평면 회전 각도가 커질수록 각 층 수직재의 축력 합이 증가하는 양상이 나타났다. 기둥이 경사진 각도를 가져 각 층의 축력 합이 정형 구조물보다 클 것으로 예상되었지만 그 수치는 미소하였다. 이에 따라 등가정적 지진하중으로 인한 수직재가 분담하는 축력합이 미소하므로 Case 2 하중조합의 경우도 모든 해석모델에서 각 층 수직재의 축력 합이 유사하게 나타난 것으로 판단된다.



(a) Case 1



(b) Case 2

<Fig. 12> Story axial force sum

## 5. 결론

본 연구에서는 정형 구조물과 평면이 일정한 각도로 회전하는 Twisted 형상 구조물에 대해 중력하중과 횡하중(등가정적 지진하중)을 조합하여 정역학적인 구조특성을 비교 분석하였다. 또한 Twisted 형상 구조물의 평면 회전 각도를 변수로 하여 역학적 특성을 비교 분석한 결론은 아래와 같다.

1) 하중조합에 따른 정형 예제 구조물과 Twisted 형상 구조물의 층간변형률을 비교한 결과, 정형 구조물에 비해 Twisted 형상 구조물의 층간변형률이 더 높게 나타났다. 평면의 회전 각도가 증가될수록 층간변형률이 증가하는 양상이 나타났다. 이는 평면 회전 각도가 증가할수록 층별 기둥의 경사 각도가 증가하여 휨 강성이 감소한 것으로 판단된다.

2) 수평 방향 등가정적 지진하중(EX, EY)을 기준으로 강심과 중량의 중심을 산정하고 4개 해석모델의 편심율을 산출하여 비교한 결과, Twisted 해석모델 중 편심율이 가장 큰 해석모델은 1.0 Deg 모델로 정형 구조물보다 최대 편심율이 약 1.29배 크게 나타났다. 전체 해석모델에서 가장 큰 편심율을 가진 층은 하부 층, 그다음 Roof 층의 인접 층으로 나타났다. Twisted 형상 해석모델은 평면 회전 각도가 증가할수록 편심율이 크고, 높은 편심율을 가지는 범위가 증가하는 양상이 나타나므로 층당 평면 회전 각도가 작을수록 해당 층 수직재의 과도한 변형 및 수평 방향의 전단력에 따른 모멘트를 받는 범위가 증가한 것으로 판단된다.

3) 하중조합에 따른 해석모델의 기둥 휨모멘트를 SRSS 법으로 산정하여 비교 분석한 결과, Roof 층과 최하부층에서 기둥의 휨모멘트가 크게 나타났으며, 층당 평면의 회전 각도가 커질수록 Twisted 형상 구조물 기둥의 휨모멘트와 정형 구조물 기둥의 휨모멘트의 차이가 크지 않았다.

4) Twisted 구조물의 경우 최하부층과 동일하게 정형 형태의 평면을 가지는 층의 기둥 휨모멘트가 다른 층에 비해 크게 나타났다. 이는 정형 형태의 평면을 가지는 층강성이 상대적으로 크기 때문에 휨모멘트가 집중된 것으로 판단된다.

5) Twisted 형상 구조해석모델에서 각 층 수직재의 축력 합은 평면 회전 각도가 커질수록 증가하였지만, 각

층 수직재 축력 합이 수치는 미소하였다. 이를 통해 평면 회전 각도를 증가시켜 기둥이 일정 각도 이상으로 경사질 경우 각 층 수직재의 축력 합이 크게 나타날 것으로 예상되며, 평면의 회전 각도를 증가시킨 구조물의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

추후 Twisted 형상 구조물에서 구조적 요소 혹은 형태적 요소에 대한 변수를 다양하게 적용하여 Twisted 형상 구조물의 동적특성에 대한 연구를 진행할 예정이다.

### 감사의 글

본 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (NRF-2020R1A2B5B01002117)

### References

1. Lee, J. C., "Complex Shape and Structural System of High-Rise Buildings", Architectural Institute of Korea, Vol.54, No.10, pp.14~17, 2010
2. Kim, S. W., & Lee, K. K., "Seismic Performance Evaluation of High-rise Steel Diagrid Frames with Torsional Irregularity", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol.29, No.3, pp.47~54, 2013
3. Ali, M. M., & Moon, K. S., "Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects", Architectural Science Review, Vol.50, No.3, pp.205~223, 2007, doi: 10.3763/asre.2007.5027
4. Moon, K. S., "Outrigger System for Structural Design of Complex-Shaped Tall Buildings", International Journal of High-Rise Buildings, Vol.5, No.1, pp.13~20, 2016, doi: 10.21022/IJHRB.2016.5.1.13
5. Youn, W. S., Lee, D. H., Cho, C. H., Kim, E. S., Lee, D. C., & Kim, J. H., "Seismic Performance Evaluation of Complex-Shaped Tall Buildings by Lateral Resisting Systems", Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol.25, No.6, pp.513~523, 2012, doi: 10.7734/COSEIK.2012.25.6.513
6. Moon, K. S., "Structural Design Construction of Complex-Shaped Tall Buildings", International Journal of Engineering and Technology, Vol.7, No.1, pp.30~35, 2015, Retrieved from <http://www.ijetch.org/vol7/761-R009.pdf>
7. Chung, K. R., "Structural System for Irregular Shaped Tall Buildings", Architectural Institute of Korea, Vol.52, No.4, pp.59~62, 2008
8. Son, S. H., & Lee, S. G., "Structural and Construction Technologies with New Design Trend of High-rise Building", Korean Society of Steel Construction, Vol.19, No.2, pp.14~22, 2007
9. Krolicki, J., Collins, J., & Ko, E. (2010). Dubai Towers, Dubai - Engineering the World's Tallest Sculpture. Proceedings of the Structures Congress 2010, USA, pp.3021~3034, doi: 10.1061/41130(369)272
10. Architectural Institute of Korea, Korean Design Standard (KDS 41), 2019.

- Received : August 20, 2020
- Revised : September 14, 2020
- Accepted : October 08, 2020