

복합 튜브 구조시스템의 단위 모듈 개발에 대한 민감도 해석

이연종¹, 박성수^{2*}

Sensitivity Analysis for Unit Module Development of Hybrid tube Structural System

Yeon-Jong Lee¹, Sung-Soo Park^{2*}

Abstract: This research deals, The characteristics of mechanics and behavior of the tube structural systems, It has been investigated and considered conventional theory and case models, It has shown the suitability, The best location, And optimal shape of the unit module system, Considered variables materials of stiffness increase and decrease in hybrid tube structural systems this study carried out adapting analysis of statistical concepts. In a concrete way, This study exams the effect of reducing horizontal displacement and the shear lag phenomenon, Also, The purpose of this study is to utilize the basic data on the design and study of future high-rise hybrid structural system using this research. As a result, The framed- tube structural system does not effectively cope with horizontal behavior of high-rise buildings, The results of using varying material tested resistance factors and lateral loads in hybrid tube structural system, When each material is compared Bracing material is identified as a key factor in lateral behavior. In a ratio of material quantity framed-tube structural system, The level of sensitivity affecting the horizontal displacement is greater than the beam's column, In case of braced tube structural system, Braced appeared to be most sensitive in comparison of material quantity ratio in columns and beams.

Keywords: Shear lag phenomenon, Horizontal displacement, Unit module, Tornado diagram, Sensitivity analysis

1. 서 론

건물이 고층화됨에 따라 건물의 형태는 더욱 세장해지고, 구조 기술의 발전과 경량공법에 의해 현대 고층 건물의 강성이 오히려 약화되면서 자중을 비롯한 수직하중의 영향보다 풍하중이나 지진하중과 같은 횡하중에 대한 건물의 수평변위를 제어하는 것이 구조설계에서 중요한 고려사항이 되었다(Park and Lee, 1999). 건물의 높이가 높아질수록 횡력을 부담하는 코어의 휨강성 만으로는 횡변위를 제어하기 어려워 이에 대한 대비책으로 다양한 횡하중 저항구조시스템들에 대한 연구가 이루어져 왔다(Park et al., 1995; *Inha Uni. publishing department*, 1997).

최근 초고층 건물에 있어서 하나의 구조시스템만을 사용하지 않고 서로의 구조적 장점을 이용하여 구조적성능을 향상시키는 방법으로 튜브를 결합시킨 복합 구조시스템 등이 자주 논의되고 있다.

복합 튜브 구조시스템은 구조물의 횡변위를 효율적으로 제

어하는 연구에서 시작되었고, 테두리보의 유연성으로 인한 전단지연현상이 발생하는 구조물의 문제점을 완화시키는 방법을 중심으로 발전하였다. 최초로 1960년대 Fazlur Kahn이 전체 건물을 횡하중에 저항하도록 하는 3차원적인 횡력 저항 튜브시스템을 제안하였고, 횡하중 저항에 대한 상대적인 효과를 높이는 시스템을 체계적으로 분류하고, 대안을 제시하였다(Park and Lee, 1999).

Chang and Foutch(1984)는 골조 튜브를 등가의 연속체로 대체하여 얇은 벽을 가진 튜브로 구조시스템에 대한 해석을 수행하였다(Chang and Foutch, 1984). 김남희, 이동근이 튜브 구조물의 동적 거동을 효율적인 해석을 할 수 있는 모델을 개발하였고(Kim and Lee, 1993), 유은종 외 4인은 초고층모델에 튜브시스템을 이용하여 전단지연의 개선을 위해 모듈화된 튜브를 묶어서 아웃리거와 벨트 트러스를 조합한 모델을 제안하였다(Yoo et al., 1997).

김상대의 2인은 튜브시스템과 아웃리거시스템을 조합한 새로운 구조시스템을 제안하였다(Kim et al., 1997). 이선문 외 3인은 골조 튜브시스템을 바탕으로 여러 복합 튜브시스템들을 제시 하였다(Lee et al., 2001). 김호수, 이대현이 전단지연 및 횡변위를 제어하는 효율적인 복합 튜브 구조시스템의 모델을 제안하였다(Kim and Lee, 2002).

지금까지 구조시스템에 대한 많은 연구가 일반적인 구조

¹정회원, 부산대학교 건축공학과, 박사수료

²정회원, 부산대학교 건축공학과, 교수, 교신저자

*Corresponding author: parks@pusan.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Pusan National University

•본 논문에 대한 토의를 2018년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

모델을 단순 해석한 결과를 횡변위 및 전단지연현상 등을 검토하는 것이 대부분 이었다.

따라서 본 연구에서는 획일적인 구조 전체의 시스템보다는 적정 단위 시스템을 개발하고, 그 시스템에 의한 구조적 효율성을 파악한다. 연구방법으로는 튜브 구조시스템으로 단위 모듈을 설정하여, 시스템의 적정성, 최적 위치, 최적 형태를 파악하고, 시스템의 각 부재 강성증감에 따른 변수를 고려한 복합 튜브 구조시스템을 통계학적인 개념을 도입한 재료적 데이터를 입력하여 민감도 해석을 수행한다. 복합 튜브 구조시스템의 전단지연현상과 횡적 거동에 대한 특성을 고찰하고, 또한 그 결과치를 이용하여 향후 있을 복합 구조시스템의 설계와 실무에 대한 기초 자료를 제공하는데 본 연구의 목표를 두었다. 기존의 연구는 단순히 횡변위와 전단지연현상만을 검토하였는데, 본 연구에서는 재료가 가지는 불확실성을 고려한 통계학적인 개념을 적용하면 다른 현상이 나타날 수 있다는 것이 모델 연구에서 나타났으며, 보완하기 위한 방법으로 민감도 해석을 수행하였다.

2. 튜브 구조시스템의 구성과 특성

2.1 시스템의 구성

구조의 기본개념은 Fig. 1과 같이 건물의 외부 벽체에 최소한의 개구부만을 두고, 횡하중에 대한 구조물의 휨강성을 최대화시켜 건물의 높이를 증가시키는 것이다. 건물의 외곽을 마치 벽과 같은 형태로 구조시스템을 구성한다. 즉, 외부 기둥을 1.2m~3.0m로 촘촘히 배치하고 기둥 사이를 60cm~150cm의 얇은 보(Deep beam)로 강접하여 구조물 평면의 단면 2차 모멘트를 최대화 시켜, 구조물의 전체의 강성을 증가시킨다는 개념이다.

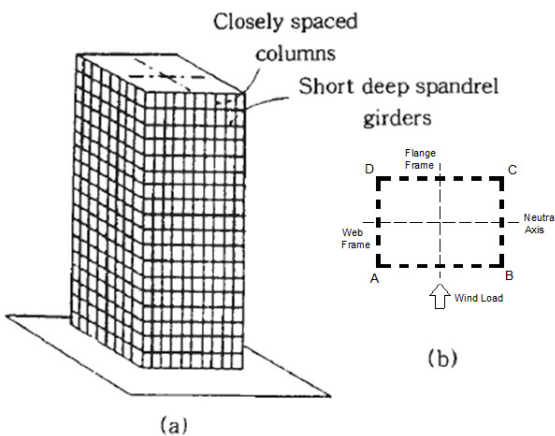


Fig. 1 Tube structural system

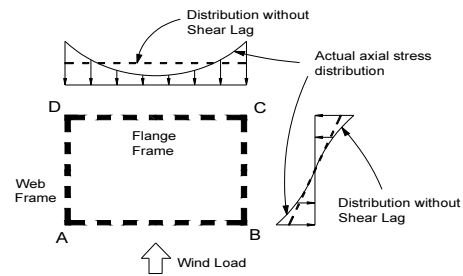


Fig. 2 Shear lag phenomenon

2.2 전단지연현상

Fig. 2와 같이 튜브구조에서 이상적인 축력과 실제적인 축력의 분포가 서로 다른 현상을“전단지연(shear lag)현상”이라 하는데, 이 현상을 최소화시키는 것이 튜브 설계에 있어서 중요한 문제가 된다.

전단지연 현상을 수치적으로 표현하기 위해서 계수로 정의할 필요가 있다. 전단지연 현상으로 인해 모서리 기둥과 내부 기둥의 응력 차이가 발생하는데, 이 응력의 부등 분포 정도를 식(1)과 같이 나타내고 전단지연계수로 정의 한다(Council on Tall Building & Urban Habitat, 1979; Coull and Bose, 1975).

$$\mu_s = \frac{\text{내부 기둥의 응력}}{\text{모서리 기둥의 응력}} = \text{전단지연계수} \quad (1)$$

$\mu_s = 1.0$ 인 경우는 모서리 기둥의 응력과 내부 기둥의 응력이 같은 이상적인 튜브구조의 형태로서, 튜브 골조를 형성하는 각 기둥들이 균등한 응력을 받게 되어 작용하는 수평하중에 효과적으로 지지된다.

본론에서는 기본이론, 가정, 방법론 등을 상술하고 이론적 해석, 실험 또는 계산결과와 그에 대한 분석 및 관련한 기존의 연구 결과와의 비교 고찰 등에 관하여 기술한다.

3. 구조시스템의 민감도 해석

3.1 일반개요

건축 구조 분야에서 민감도 해석법은 주로 최적설계와 주요 설계 변수를 파악하는데 자주 사용되어 왔다. 본 논문에서는 민감도 해석을 수행하기 위해서, 선행 연구자들이 조사한 입력변수의 통계 자료를 참고하였고, 표현 방법으로는 토네이도 다이어그램 해석(Tornado Diagram Analysis, 이후 TDA) 방법을 사용하였다.

Fig. 3은 양 끝단의 변수를 입력하여, 결정 분석을 통해 변동 폭이 산출되는 과정을 보여주고 있다.

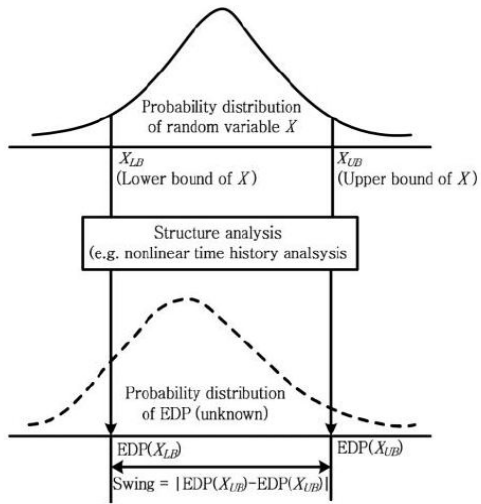


Fig. 3 The development process of tornado diagram(Lee and Mosalam, 2006)

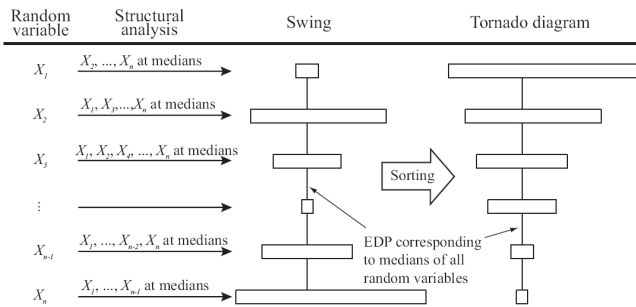


Fig. 4 The expressive process of tornado diagram(Lee and Mosalam, 2006)

Fig. 4와 같이 토네이도 다이어그램 방법에서 입력 변수는 해석에 의해 결과 값이 도출되고, 이 과정에서 결과 값은 각각의 변동 폭으로 표현되며, 변동 폭을 크기순으로 내림 정렬하여 표시하면 토네이도 다이어그램이 완성된다.

3.2 토네이도 다이어그램

본 논문에서는 기존 연구자들이 제시한 자료를 바탕으로 입력 변수들을 선정하였으며, 그 확률변수들의 통계적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Statistical characteristics of variables(Yang et al., 2017)

Variable	μ	σ	COV
Brace Strength(MPa)	340.06	35.28	0.104
Column Strength(MPa)	340.06	35.28	0.104
In, Out Girder Strength(MPa)	270.48	25.48	0.094
Modulus(MPa)	204800	3665.9	0.0179

μ : Mean, σ : Standard deviation, COV : Coefficient of variation(σ/μ)

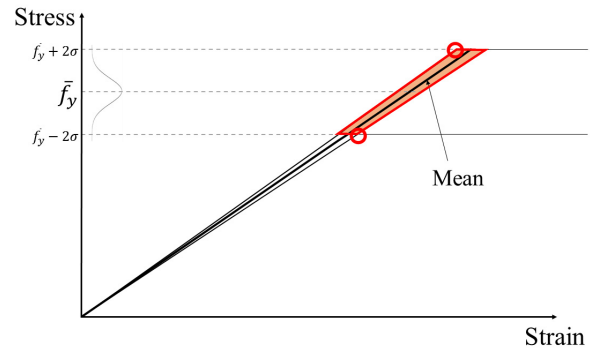


Fig. 5 Statistical composition of steel model(Yang et al., 2017)

강재는 Fig. 5와 같이 상하한 값의 항복강도를 적용하고, 범위는 부재의 탄성 거동까지만 고려하였다.

4. 구조시스템의 단위 모듈 계획

4.1 구조개요

기본 가새 구조시스템에 가새를 변수로 한 입면의 다양한 배치 형태와 구조 유닛 시스템별로 분류한 구조적 성능을 검토하여, 성능 평가를 기준한 모델과 민감도 해석으로 평가된 모델을 비교 평가하여 최적 모델을 도출하고자 한다. 본 연구에 사용된 강재모델의 재료적 특성은 Table 2와 같다.

본 연구에서는 기준이 되는 튜브 구조물의 평면 형태는 30 m × 30 m의 정사각형 평면을 선정하였고, 건물의 층고와 기둥 간격은 3 m로 동일하게 설정하였다. 초고층 건물의 구조적 특성을 반영시키고자 한다면 세장비 5 이상을 요구하고 있다. 본 연구에서는 이 조건을 만족시키고자 기준 세장비를 6으로 설정하였고, 지상 60층에 전체 높이를 180 m로 하였다. 초고층 건물 높이H의 H/500를 횡 변위 제한 값으로 요구하므로 이 조건을 만족시키고, 바닥은 모두 강막으로 가정하였으며, 수평 하중의 전달은 보, 기둥 부재가 모두 부담 하도록 하였다.

4.2 기본 모델의 설정

기본 골조 튜브 모델은 골조 부재 단면 설계는 KBC2016의

Table 2 Material characteristics

Standards	KS16(S)
Used steel	SS400
Modulus of elasticity	205,000 N/mm ²
Poisson's ratio	0.3
Unit weight	7.698 × 10 ⁻⁵ N/mm ²

Table 3 Cross section of frame tube model

Group	Material		Column	
		Name	Cross section	
1	1 ~ 10F	Column_1	□-800×800×50×50	
2	11 ~ 20F	Column_2	□-800×800×30×30	
3	21 ~ 30F	Column_3	□-700×700×30×30	
4	31 ~ 40F	Column_4	□-600×600×30×30	
5	41 ~ 50F	Column_5	□-600×600×20×20	
6	51 ~ 60F	Column_6	□-500×500×20×20	

Group	Material		Beam	
		Name	Cross section	
1	1 ~ 10F	Beam_1	H-900×400×40×50	
2	11 ~ 20F	Beam_2	H-800×400×40×55	
3	21 ~ 30F	Beam_3	H-700×400×40×50	
4	31 ~ 40F	Beam_4	H-600×350×40×40	
5	41 ~ 50F	Beam_5	H-500×350×26×34	
6	51 ~ 60F	Beam_6	H-400×350×15×18	

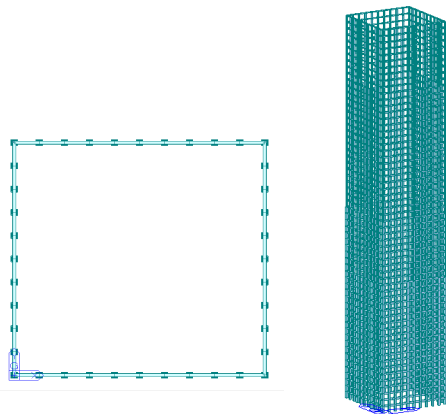


Fig. 6 TA Model of frame tube structure

규준을 만족하는 범위에서 MIDAS Gen 2017을 사용하여, 10개 층 단위로 단면의 크기를 결정을 하였다. 6개 그룹 층별 부재 단면의 크기는 Table 3과 같고, 평면 및 형태는 Fig. 6과 같다.

기본 구조시스템에서 모델변수는 건물 전체 물량을 일정하게 하고, 기본 구조시스템에 부재별 변수를 추가하여, 중요변수가 무엇인지 검토하고, 각 시스템에 대한 횡변위, 전단 지연 현상 등을 검토한다.

4.3 가새 튜브 구조시스템의 모델계획

가새 튜브 구조시스템은 Fig. 7에서 골조 튜브 구조물에 가새를 추가 하고, 4개의 모델을 설정하여, 가장 적절한 규모의 구조시스템을 기본 가새 튜브 구조시스템으로 선정한다. 가

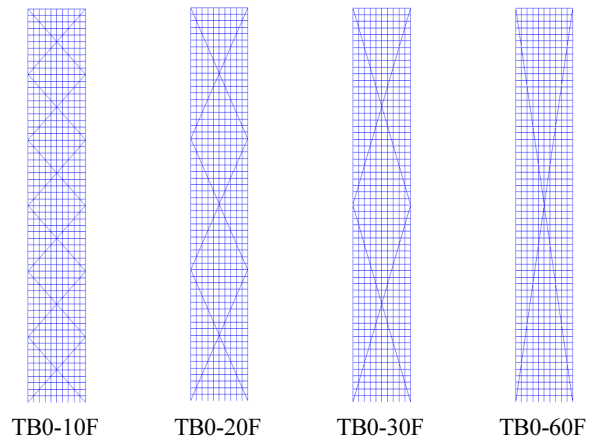


Fig. 7 Bracing installation structural system

새의 물량은 골조 튜브 구조물의 10%에 해당한다.

해석결과 10개층 규모로 설치된 TB0-10F 모델이 가장 유리한 규모인 것으로 나왔기 때문에 이후 모델에 대해선 단위 유닛을 10개층을 기준으로 한다.

4.4 단위 모듈의 구조계획

가새로 결합된 단위 유닛 구조시스템의 형태가 튜브 구조물의 거동에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 Fig. 8에서와 같은 형태로 나누어 분석 한다. 사용한 가새의 형태는 유닛별 4가지형태 즉, X, K, V, A형으로 구조성능이 우수한 효과를 가진 시스템을 선정하여 분석하고자 한다.

5. 모델해석 및 고찰

고층화되고 세장해질수록 지진하중에 대한 영향보다는 풍하중에 대한 영향이 더 커지게 되므로 본 연구에서는 풍하중

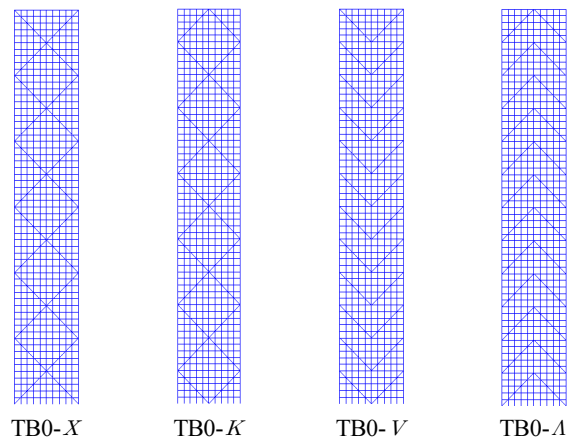


Fig. 8 TB0 Shape of bracing

Table 4 Estimation factors of wind load calculation

	Design basic wind velocity(V_0)	38 m/sec
	Coefficient of altitude distribution of wind velocity(K_{zt})	$z \leq z_b$ 1.0 $z_b < z \leq Z_g$ $0.71z^\alpha$
Roughness in Busan C	Start height of the atmospheric layer(z_b)	10m
	height of gradient wind(Z_g)	350m
	Wind velocity distribution index(α)	0.15
	Gust factor(G_D)	1.65
	Additional factor of wind velocity by terrain(K_{zt})	1.0
	Significant factor(I_w)	1.05
	External pressure factor of windward walls(C_{pe1})	0.8
	External pressure factor of leeward walls(C_{pe2})	-0.5

만 고려하기로 한다. 풍하중은 국내 건축규준인 「건축구조기준 KBC 2016」을 적용하여, Table 4에 따라 산정한다.

5.1 기본 튜브 구조시스템에 대한 검토

본 연구에 사용된 건물의 전체 높이는 180 m이므로, 최상층 횡변위의 제한치는 360 mm가 된다. 골조 튜브 모델의 풍하중에 대한 횡변위 및 층간변위의 형태는 Fig. 9와 같다.

횡 변위는 전체적으로 휨 변형과 전단변형이 혼합된 S자형의 변위형태를 가지며 최상층의 변위 값은 359.998 mm로, 횡 변위 한계치인 360 mm에 초 근접하므로 횡변위를 안전을 위해 제어할 필요가 있다. 층간변위는 20층까지는 계속 증가하

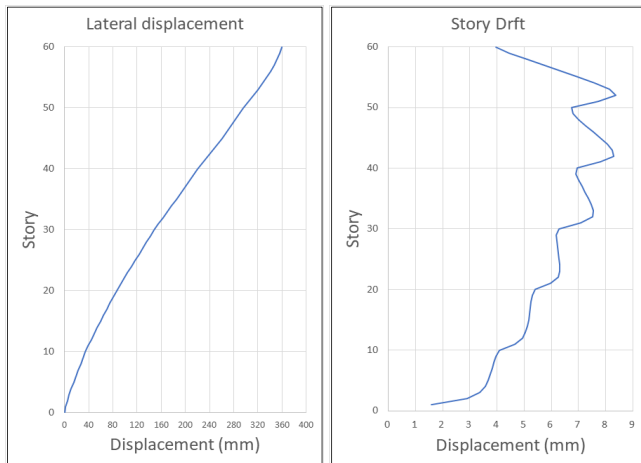


Fig. 9 Lateral displacement and story displacement of frame tube model

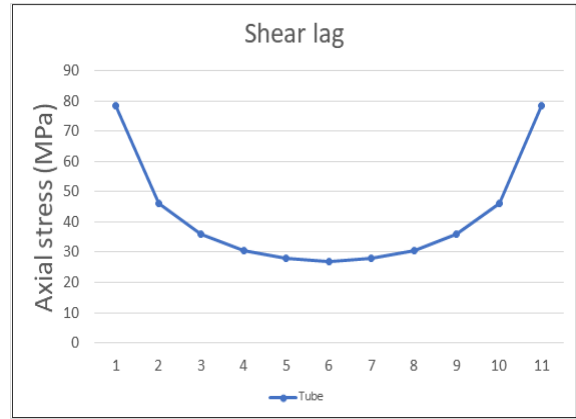


Fig. 10 Axial stress distribution of 1-F flange columns for frame tube model

Table 5 Shear lag factor of frame tube model

Plane position(m)	0	3	15
Axial stress(N/mm ²)	78.3	46.2	27
SF	1	0.59	0.345

는 경향을 보이며 52층 부근에서 최댓값을 가진다.

골조 튜브 모델의 1층 플랜지 기둥의 축응력 분포 형태는 Fig. 10과 같다. 전단지연계수는 0.345로서, 모서리 기둥의 응력이 내부 기둥의 응력의 2.9배가 된다. 따라서 모서리 기둥의 단면으로 동일하게 구조물을 설계할 경우 상당한 강제량을 낭비하게 되며, 이러한 경우에는 모서리 기둥의 단면을 내부 기둥의 단면과 분리하여 설계하는 것이 효율적이다. 또한, Table 5에 나타나 있듯이 내부 기둥의 응력과 단부에서 두 번째 기둥 응력과의 비가 0.584로, 전단지연 효과가 여전히 큰 형태를 보인다. 이렇듯 튜브 구조시스템의 전단지연현상을 줄이기 위한 대책이 필요하다.

5.2 단위모듈의 적정 형태에 대한 검토

골조 튜브구조에 전체입면으로 설치된 단위 유니트 형태가 시스템의 거동에 미치는 영향을 횡변위 및 전단지연계수를 통해 살펴본다. 가새의 물량은 TA물량의 10%만큼 적용하였고, 가새는 X, K, V, A 형태로 설치하였다. 모델의 해석 결과 변위 및 전단지연계수는 Table 6와 같고, 횡변위, 축응력은

Table 6 Displacement and shear lag factor

Model name	Lateral displacement(mm)	Shear lag factor
TB0 - X	195.269	0.460
TB0 - K	205.870	0.439
TB0 - V	209.864	0.565
TB0 - A	198.676	0.371

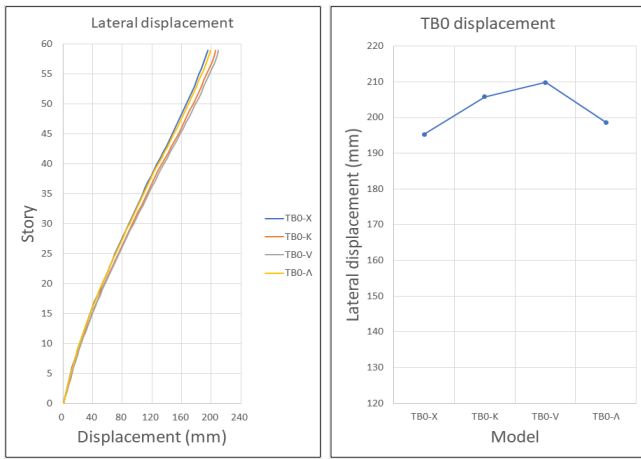


Fig. 11 Lateral displacements graph of TB0

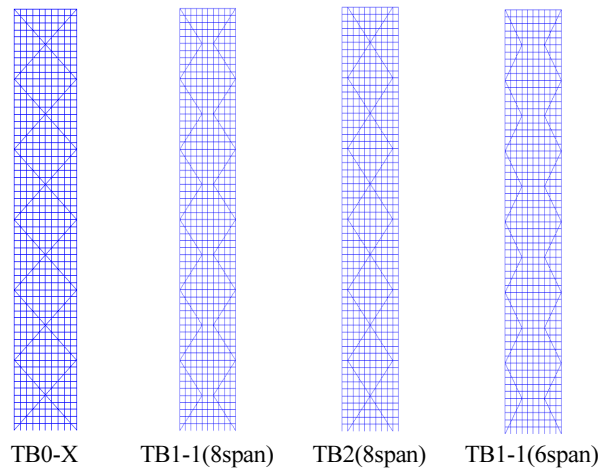


Fig. 13 TB Installation span of bracing

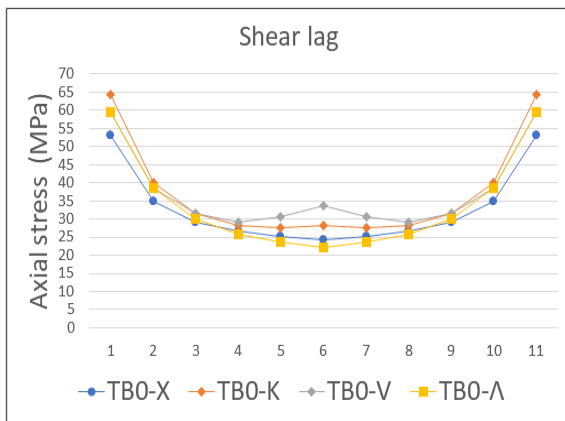


Fig. 12 TB0 Axial stress distribution

Table 7 Displacement and shear lag factor

Model name	Displacement(mm)	Shear lag factor
TB0 - X	195.269	0.460
TB1-1(8Span)	218.912	0.468
TB2 (8span)	211.282	0.425
TB1-1(6Span)	252.467	0.450

Figs. 11, 12에 나타내었다.

해석결과는 크게 TB0-X, TB0-K와 TB0-V, TB0-A로 분류할 수 있다. Table 6에서 알 수 있듯이, 가새가 전체 입면으로 설치된 경우 TB0-X, TB0-A 모델이 횡 변위가 상대적으로 작게 나왔다. 그리고 전단지연계수는 TB0-X, TB0-A 모델이 큰 값을 가졌다. Fig. 12를 보면 TB0-V형 가새가 가장 큰 전단지연계수를 가지지만, 축응력은 TB0-X보다 높은 값을 가진다. 횡변위와 전단지연계수를 모두 고려했을 때 TB0-X형 가새가 가장 유리하다고 판단된다.

5.3 단위모듈의 설치 공간에 따른 결과 검토

골조 튜브구조에 전체입면으로 설치된 시스템과 부분 입면으로 8개 공간, 6개 공간에 설치된 시스템을 비교하여, 구조물 거동에 미치는 영향을 횡변위 및 전단지연계수를 통해 살펴본다. 가새가 설치된 모델은 Fig. 13과 같은 형태이고 가새의 설치 공간은 다르지만 물량은 동일하게 맞췄다.

모델의 해석 결과 변위 및 전단지연계수는 Table 7과 같고,

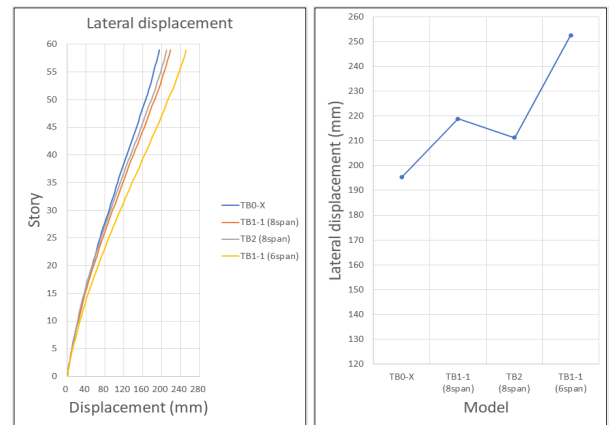


Fig. 14 Lateral displacements of TB Model

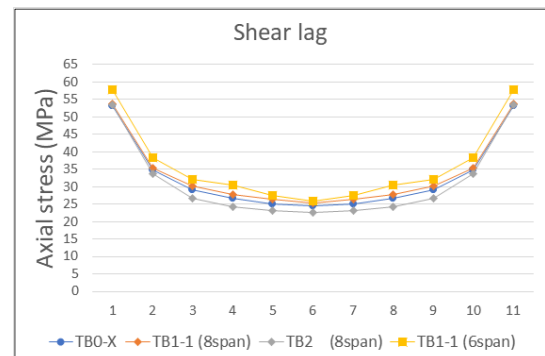


Fig. 15 Axial stress of TB Model

횡변위, 축응력은 Figs. 14, 15에 나타내었다.

설치 공간에 따른 횡변위 결과로는 Table 7과 Fig. 14에서 알 수 있듯이, 지지하는 공간이 많을수록 횡변위가 낮은 것을 알 수 있다. 그리고 같은 8개 공간을 지지하더라도 배치를 어떻게 하느냐에 따라서 횡변위 감소효과는 차이를 보였다.

Fig. 15를 보면 6개 공간의 축응력이 다른 모델에 비해 높은 값을 가지고, Table 7의 전단지연계수를 보더라도 비교한 세 개의 모델 중에 가장 불리한 값을 가졌다. 8개 공간을 지지하는 TB1-1모델의 경우 전단지연계수는 미세하지만 TB0-X보다 유리한 값을 가졌다. 그러나 8개 공간을 지지하더라도 배치 위치가 다른 TB2모델은 TB0-X보다 전단지연계수가 불리하게 나왔다.

같은 물량의 가새를 설치하더라도 지지공간 수에 따라 횡변위 및 전단지연계수는 차이가 난다. 횡변위를 제어하는데 있어서는 지지공간을 많이 가질수록 유리하고, 전단지연계수의 경우 지지공간 수 보다는 가새의 배치를 어떻게 하느냐에 따라서 변화한다. 가새를 설치할 때, 횡변위와 전단지연계수를 동시에 고려하기 위해서는 가새의 배치 위치가 중요하다고 판단된다.

5.4 물량 증감에 따른 민감도해석

- TB2 부재 물량 변화에 따른 부재 민감도 검토

해당 장에서는 구조물의 횡변위가 얼마큼 감소 되었나 보다, 물량 증감 경우별로 부재가 가지는 민감도가 어떠한 경향을 가지고 변화하는지를 비교하고자 한다. Fig. 16은 가새가 설치되지 않은 순수 골조 튜브구조와 가새가 설치된 골조 튜브 구조시스템 모델의 민감도 변화를 나타낸 것이다. 모델의 부재 물량과 민감도 비율은 Table 8, 9에 나타내었다. 민감도의 비율은 각 부재의 변동폭을 부재의 변동폭의 합으로 나눈 값이다.

Table 8, 9를 보면 TA에서 기둥과 보의 물량은 61%, 39%이다. 기둥의 물량이 61%를 차지 하지만 구조물의 횡 변위에 영향을 미치는 민감도의 정도는 58%로 나타났다. 골조 튜브 구조는 상대적으로 보의 물량에 비해 보가 구조물의 횡변위에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

골조 튜브 물량의 10% 추가 후 TB2의 기둥, 보, 가새 물량 비율은 55%, 36%, 9%가 되고, 민감도 비율은 각각 60%, 18%, 22%가 된다. 가새의 비율은 전체물량의 9%이지만 민감도는 22%로 횡변위에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 물량에 대비하여 비교하면 가새는 기둥의 약 2배 이상 횡변위에 민감하다는 것을 알 수 있다. 기둥, 보의 물량증가보다 가새의 설치가 횡변위를 제어하는데 아주 효과적인 것과, 가새의 영향력 정도를 민감도 해석으로 알 수 있다.

TB2의 물량 증감에 따른 부재 민감도를 검토하기 위한 모

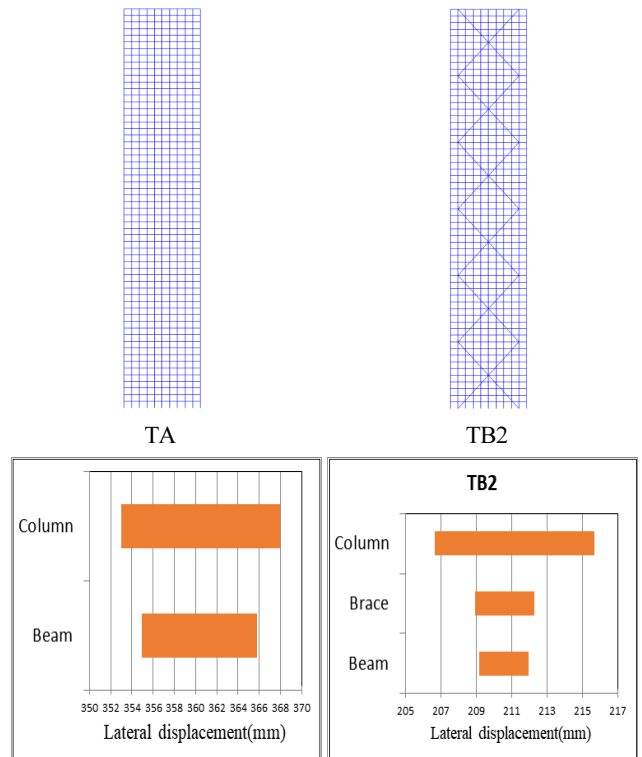


Fig. 16 TDA of TA and TB2

Table 8 Quantity ratio of material

Quantity	Column	Beam	Bracing	Total(%)
TA	61%	39%	-	100%
TB2	55%	36%	9%	100%

Table 9 Sensitivity ratio of material

Sensitivity	Column	Beam	Bracing	Total(%)
TA	58%	42%	-	100%
TB2	60%	18%	22%	100%

Table 10 Lateral displacement and shear lag factor

Model name	Displacement	Shear lag factor
TB2	211.282 mm	0.425
TB2 (Col.-10% Brace+10%)	209.249 mm	0.477
TB2 (Beam-10% Brace+10%)	206.462 mm	0.467
TB2 (Beam+10% Col. -10%)	225.491 mm	0.451

델은 Table 10에 나타내었다. 모델별 부재의 물량비율과 민감도비율의 결과 값은 Table 11, 12와 같고, 부재의 민감도 그래프는 Fig. 17과 같다.

TB2 모델에서 (기둥-10% 가새+10%)과 (보-10% 가새+10%)의 모델을 비교해보면, 공통적으로 가새 물량이 전체물량의

Table 11 Quantity ratio of material

Quantity ratio of material	Column	Beam	Bracing	Total
TB2	55%	36%	9%	100%
TB2 (Col.-10%, Brace+10%)	45%	36%	19%	
TB2 (Beam-10%, Brace+10%)	55%	26%	19%	
TB2 (Beam+10%, Col.-10%)	45%	46%	9%	

Table 12 Sensitivity ratio of material

Sensitivity	Column	Beam	Bracing	total
TB2	60%	18%	22%	100%
TB2 (Col.-10% Brace+10%)	66%	15%	19%	
TB2 (Beam-10% Brace+10%)	57%	21%	22%	
TB2 (Beam+10% Col. -10%)	68%	12%	20%	

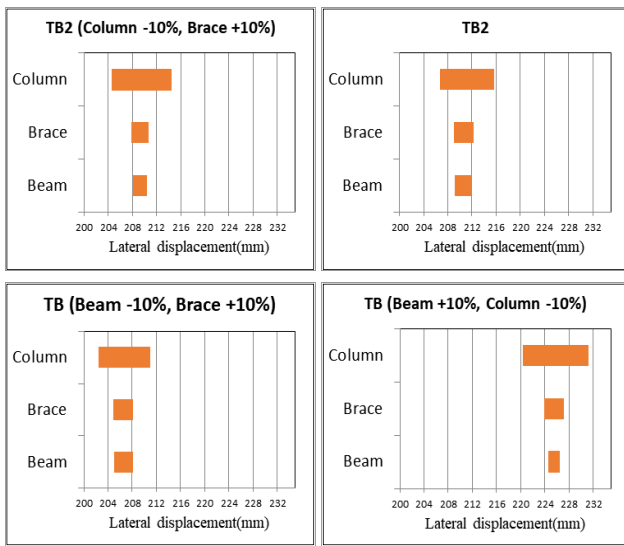


Fig. 17 TDA(Quantity increase and decrease of model)

10%만큼 증가하였는데, 부재의 민감도는 전혀 다르게 나온 것을 확인할 수 있다. (기둥-10% 가새+10%) 모델은 가새의 민감도비율이 기존 TB2 부재의 민감도 비율 22%에서 19%로 감소하였고, 기둥의 민감도비율은 60%에서 66%로 증가하였다. (보-10% 가새+10%) 모델은 가새가 증가하였지만 민감도 비율은 22%로 동일하였고, 보의 물량은 감소 하였으나 민감도 비율이 21%로 증가하였다.

(보+10% 기둥-10%) 모델의 경우, 기둥의 민감도 비율이 68%로 증가하였고, 보, 가새 부재는 각각 12%, 20%로 감소하였다.

Table 12의 결과로부터, 물량 증감에 따라, 부재가 횡변위에 영향을 미치는 정도는 변화하는 것을 알 수 있다. 구조물의 물량을 증가시킬 수 없다면, 보의 물량을 감소시키고 그만큼 가새의 물량을 증가시키는 게 횡변위 제어 및 전단지연계수에 유리하다고 판단된다. 이처럼 가새 설치 계획을 어떻게 하

느냐에 따라, 각 부재가 구조물의 거동에 영향을 미치는 정도는 달라진다. 가새 설치 구조물에서는 민감도 해석을 하여 추가적인 정보를 얻고, 그 정보를 통하여 가새의 영향력이 클 수 있도록 설계를 해야 한다.

6. 결론

본 연구에서는 복합 튜브 구조시스템의 거동에 대한 모델 등을 고찰하고, 통계학적인 개념을 도입한 재료의 특성치를 대입하여, 횡적 거동에 대한 민감도 해석은 토네이도 다이어그램 해석방법을 사용하였다. 복합 구조시스템의 횡하중에 의한 전단지연현상과 횡적 거동에 대한 특성을 고찰하고, 또한 그 결과치를 이용하여 향후 있을 초고층 복합 구조시스템의 설계와 연구에 대한 기초 자료를 제시하며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 골조 튜브 구조시스템만으로는 초고층 건물의 횡적 거동에는 효과적으로 대처하지 못하므로 복합 튜브구조 시스템을 구성하여 횡하중 저항요소로 구성부재를 다양하게 변화시켜 검토한 결과, 각 부재 물량대비 가새 부재가 가장 큰 횡적 거동에 대한 영향 요소로 파악되었다.
- 2) 복합 구조물의 횡변위와 전단지연현상을 두고 단위모듈을 검토한 결과, 기본 모듈의 크기규모는 건물 폭과 동일한 높이로, 단위 모듈의 구조 형태는 X형이 최적이고, 설치경간은 폭을 따라 간격이 클수록 유리하였다
- 3) 골조 튜브구조는 물량대비 보가 기둥보다 횡변위 영향에 미치는 민감도의 정도가 크게 나타났고, 가새 튜브 구조시스템의 경우는 가새가 물량대비 기둥 및 보와 비교하면 가장 민감한 것으로 나타났다.
- 4) 복합 튜브 구조시스템에 많이 사용되는 X, K, V, A 형태를 비교하면, 가새 형태 간에는 전체 횡변위의 차이가 크지 않지만 그중 X형인 경우가 횡 변위 감소 효과가 가장 크고, 전단지연효과는 그에 비례하지 않았다. V형인 경우, 전단지연완화 효과는 크지만, 횡변위는 가장 불리하였다.
- 5) 단위모듈의 가새 설치 경간 모델 중 횡 변위가 작은 모델을 선정하여, 구조 전체 물량을 기준하여 검토한 결과, 복합 튜브 구조시스템의 횡변위 감소 효과를 기대 할 경우에, 물량을 증가시킬 경우는 가새 부재를 증가시키고, 물량 증가 어려운 경우는 보와 가새를 동일비율로 조정하는 것이 가장 합리적인 방법이다.

본 논문의 대상모델은 횡하중, 평면 또한 정방향으로 한정되어 있다. 실제 튜브구조물의 거동에 가까운 결과를 얻기 위해서는 중력하중, 재료의 물성치에 대한 여러 영역을 고려한 사항, 다양한 형태의 평면과 구조시스템에 대한 연구가 필요하다.

References

- Chang P. C., and Foutch, D. A. (1984), Static and Dynamic Modeling and Analysis of Tube Frames, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 110(12), 2955-2975.
- Coull, A. and Bose, B. (1975), Simplified Analysis of Frame- Tube Structures, *Journal of the Structural Division*, ASCE, 101, 2223-2240.
- Kim, H. S., and Lee, D. H. (2002), A Study on Structural Efficiency of Hybrid Tube System considering Shear Lag and Lateral Drift Control, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 18(3), 47-54.
- Kim, N. H., and Lee, D. G., (1993) Efficient Seismic Analysis of Framed-Tube Structures, *The Architectural Institute of Korea*, 9(2), 175-183.
- Kim, S. D., Hong, W. K., and Kim, Y. H. (1997), Optimal Design of Tall Tubular Buildings Based on the Minimization of Shear Lag, *Journal of the architectural institute of Korea*, 13(9), 269-276.
- Lee, S. M., Park, S. C., Lee, D. H., and Kim, H. S. (2001), A Study on Selection of Efficient Hybrid Tube System Considering Control of Shear Lag Phenomenon, *The Architectural Institute of Korea*, 21(2), 79-82.
- Lee, T. H., and Mosalam, K. M. (2006), Probabilistic Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Structural Components and Systems, *PEER Technical Report*, University of California, Berkeley.
- Park, C. L., Song, H. C., Hwang, J. S., Ahn, J. H., and Cheon, J. H. (1995), Behavior Analysis of Tubular Systems with Different Floor-Plans, *The Architectural Institute of Korea*, 15(2), 511-515.
- Park, H. S., and Park, C. L. (1995), Shear lag Phenomenon of tube structure, *Koeran Society of Steel Struction*, 7(4), 25-29.
- Park, J. H., and Lee, D. B. (1999), Structural Analysis of High-Rise Buildings, *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 12(3), 12-19.
- Structural Design of Tall Steel Buildings (1979), *Council on Tall Building & Urban Habitat*, Vol. SB.
- Structural Systems for Tall Buildings (1997), *Inha Uni. publishing department*.
- Yang, J. K., Kang, H. G., and Park, S. S. (2017), Sensitivity Analysis on the Axis Rotation Diagrid Structure System with the Brace Angle Change, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 19(1), 257-263.
- Yoo, E. J., Park, H. S., Song, H. C., Ahn, J. H., and Park, C. L. (1995), Design of Effective Tubular Structure Systems with Minimized Shear Lag Factor Distributions, *The Architectural Institute of Korea*, 12(5), 181-186.

Received : 11/02/2017

Revised : 11/07/2017

Accepted : 11/14/2017

요 지 : 본 연구에서는 튜브 구조시스템의 역학적 특징과 거동에 대한 이론과 모델 연구 등을 고찰하고, 단위 모듈 시스템의 적정성, 최적 위치, 최적 형태를 파악하고, 각 부재의 강성증감에 따른 부재 변수를 고려한 복합 튜브 구조시스템을 통계학적인 개념을 도입한 민감도 방법에 의한 해석을 수행하였다. 구체적인 방법에서 복합 튜브 구조시스템의 전단지연 현상과 횡적 거동에 대한 특성을 비교 고찰하였고, 또한 그 결과치를 이용하여 향후 있을 초고층 복합 구조시스템의 설계와 실무에 대한 기초 자료를 제시하는데 연구의 목표를 두었다. 연구 결과로는 골조 튜브 구조시스템만으로는 초고층 건물의 횡적 거동에는 효과적으로 대처하지 못하므로, 복합 튜브 구조시스템을 구성하여 횡하중 저항요소로 구성부재를 다양하게 변화시켜 검토한 결과, 각 부재 물량대비 가새 부재가 가장 큰 횡적 거동에 대한 영향 요소로 파악되었다. 골조 튜브구조는 물량대비 보가 기둥보다 횡변위 영향에 미치는 민감도의 정도가 크게 나타났고, 가새 튜브구조시스템의 경우는 가새가 물량대비 기둥 및 보와 비교하면 가장 민감한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 전단지연현상, 횡적거동, 단위모듈, 토네이도 다이어그램, 민감도 해석
