

# 트러스 형태에 따른 스테거드트러스 골조시스템의 구조특성에 관한 연구

나 창 순<sup>1\*</sup> · 홍 윤 수<sup>2</sup> · 유 은 종<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 건축학과, <sup>2</sup>한양대학교 건축공학과

## A Study on the Structural Behaviour of Staggered Truss System by the Shape of Truss

Chang-Soon Rha<sup>1\*</sup>, Yoon-Soo Hong<sup>2</sup> and Eun-Jong Yu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Architecture, Kookmin Univ., Seoul, 02707, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Architectural Engineering, Hanyang Univ., Seoul, 04363, Korea

### Abstract

This paper analyzed structural behaviors of the staggered truss system, typically used in low seismicity regions, resisting the lateral loads such as wind and seismic load. A comparative study of cost and efficiency was carried out by analysing and designing the 10- and 20-story buildings with various types of truss, including pratt, howe, warren, K-, and vierendeel, which may typically be used in staggered truss system. In design, column and truss members are selected in group, and the efficiency of the member design was judged by average demand capacity ratio of the all members in same group. And economic analysis of the system was investigated by the quantity of the structural members. As a result, staggered truss system with the pratt truss and warren truss showed the most economical and efficient performance for 10-story building, and 20-story building, respectively.

**Keywords** : staggered truss, pratt truss, howe truss, warren truss, K-truss, vierendeel truss

### 1. 서 론

스테거드트러스 골조시스템(staggered truss framing system, 이하 STF 시스템)은 층고 전체를 층으로 하는 대형 트러스를 기둥 열을 따라 매 층 엇갈리게 배치한 구조 방식이다(Fig. 1). 경우에 따라 트러스 대신 벽체(wall beam)를 사용하여 엇갈린 벽보 시스템을 구성하기도 한다. 이 방식은 철강 회사의 지원으로 1960년대 MIT에서 개발한 것으로 호텔이나 기숙사, 병원과 같이 동일한 유닛이 반복되는 건물에 사용하기 적합하고 내부에 기둥이 없는 장스팬의 무주공간을 구획할 수 있어서 건축계획 측면에서도 많은 장점이 있다. 이 구조방식의 기본 원리는 지상으로 솟은 캔틸레버 보와 같다. 즉, 외부의 기둥 열은 H형강의 플랜지와 같은 역할을 하며, 기둥 열을 따라 엇갈리게 배치된 트러스는 H형강 캔틸레버 보의 웨브의 역할을

한다. 트러스는 엇갈려 배치되지만 바닥구조의 다이아프램(강막) 역할을 통해 횡하중에 의한 전단력이 좌우 기둥열로 전달됨으로써 결과적으로 트러스가 연속된 단일 골조로 거동하게 된다(Scalzi, 1971). 따라서 각 기둥열에는 트러스를 통해 전달되는 횡력으로 기둥에 모멘트가 발생하지만 3차원으로 결합하여 일체로 거동하게 되면 모멘트는 상쇄되고 기둥에는 주로 인장과 압축이 발생하여 캔틸레버 보와 같은 거동을 한다(Fig. 2).

STF 시스템은 동일한 형태의 트러스를 지상에서 제작한 후 조립하기 때문에 시공이 쉽고 경제적인 방식이지만 그러한 장점에도 불구하고 실제 적용 및 관련 연구가 매우 활발한 편은 아니어서 1960년대 최초 제안이 되었음에도 불구하고 이후 1990년대 말에서야 본격적으로 적용되기 시작하였다. 시공된 사례는 대부분 약진 지역의 5~40층 규모의 건물로서 비교적 최근의 것으로 미국의 38층 Aladdin Hotel(McNamara,

\* Corresponding author:

Tel: +82-2-910-4592; E-mail: csrha@kookmin.ac.kr  
Received January 3 2017; Revised February 13 2017;  
Accepted March 30 2017

© 2017 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.

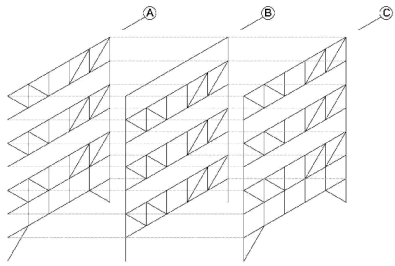


Fig. 1 Geometry of staggered truss framing system

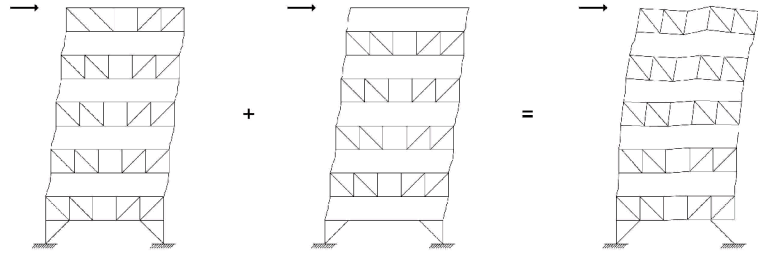


Fig. 2 Structural behaviour of staggered truss framing system for the lateral loads

1999)을 비롯하여 Embassy Suites Hotel(Brazil, 2000), OSU South High Rise Residence Halls(Metz, 2012)등이 있다. Aladdin Hotel은 STF 외에 엘리베이터 코어를 보강하는 방법으로 내력을 확보한 반면 Embassy Suites Hotel과 OSU South High Rise Residence Halls는 13층, 11층 규모의 건물로 순수한 STF 시스템으로 설계가 되었다. STF 시스템에 관련한 설계지침으로는 AISC의 Design Guide (AISC, 2002)가 있다. 여기에 제시된 절차에 기반으로 한 STF 시스템의 비탄성 거동에 관한 연구에 의하면 STF 시스템의 내진성능은 모멘트골조(moment resisting frame, MRF) 또는 가새골조(ordinary concentric braced frame, OCBF)에 비해 효율적인 것으로 나타났다(Kim and Lee, 2006a,b). 그러나 STF 시스템의 내진성능 평가를 위한 비탄성 거동에 관한 연구는 여전히 매우 미흡한 실정이며 이러한 이유로 STF 시스템의 여러 장점에도 불구하고 대부분의 설계기준에서는 STF 시스템을 기본 내진구조로서 규정하고 있지 않고 있으며 다만 FEMA-450(2003)은 충분한 실험과 해석을 통하여 횡력에 대한 저항력과 에너지 소산능력을 갖춘 것으로 입증할 수 있는 경우에 한해 내진구조로서 인정하고 있다. 따라서 건축계획 측면과 경제성, 시공성의 장점뿐만 아니라 횡력에 대한 저항능력이 효율적인 STF 시스템의 활발한 적용과 향상을 위해서는 내진성능에 대한 연구가 보다 광범위하게 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 STF 시스템의 내진성능을 분석하고 비교하기 위한 선행 과정으로 STF에 일반적으로 적용할 수 있는 트러스의 형태를 선정하여 수직하중 및 풍하중, 등가정적 지진하중에 의한 부재설계를 수행하고 STF 시스템에 가장 효율적이고 경제적인 방식을 제시하고자 한다.

## 2. STF 시스템의 설계 방향

STF 시스템을 구성하는 바닥 슬래브는 중력하중에 저항하면서 동시에 횡력에 대해서는 다이아프램 거동을 한다. 따라서

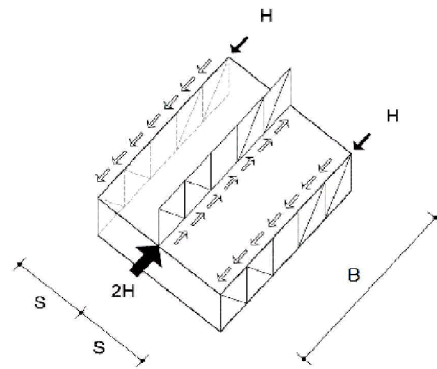


Fig. 3 Lateral loads applied to the staggered truss framing system

바닥 슬래브는 면외방향 뿐만 아니라 면내방향에 대해서도 저항할 수 있도록 안전하게 설계되어야 한다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 슬래브는 그 층에 설치된 트러스의 하현재와 아래층 트러스의 상현재에 교대로 지지된다. 따라서 중력하중에 대해 슬래브는 기둥 간격(S)을 스패인으로 하는 일방향 연속슬래브로 가정하여 설계한다.

횡력에 대해서 슬래브는 다이아프램 거동을 하므로 건물의 깊이를 넘어서는 깊은보(deep beam)로 가정하여 횡력에 의한 전단력과 면내휨모멘트(in-plane bending moment)를 저항하도록 설계한다. 이때 면내휨모멘트의 크기는 하부의 트러스를 양단 고정된 지점으로 보고 스패인(2S)의 중앙부에 상부 트러스로부터의 횡력이 집중하중으로 작용하는 것으로 가정하고 산정한다. 횡력에 의한 트러스의 길이방향으로 작용하는 전단력은 트러스의 상·하현재를 따라 슬래브에 전달되는 것으로 간주한다.

Fig. 3과 같이, 트러스는 그 층이 한 층 전체에 걸치며 스패인 건물의 깊이(B)에 해당하며 슬래브를 통해 전달되는 중력하중 뿐만 아니라 횡력에 대해서도 저항한다. 트러스는 여러 가지의 형태가 가능하지만 대량생산에 적합하도록 동일한 형태를 유지하는 것이 유리하다. 트러스는 중복도 건물에서와 같이 건축계획에서 요구되는 통로를 두기 위해 대개 중앙부는 대각선

부재를 제거하기 때문에 국부적으로 휨모멘트가 발생한다. 트러스는 중력하중에 대해 양단 핀지지된 단순 트러스로 가정하며, 기둥은 중력하중과 횡력에 의해 축하중과 휨모멘트가 동시에 발생하므로 이에 대해 안전하도록 설계한다. 약축과 강축의 강성이 다른 기둥을 사용하는 경우 트러스가 연결된 건물의 단면 방향으로 약축을 배치하고 그 직각 방향으로 강축을 배치하면 더 유리하다. 이때 기둥의 좌굴길이는 단면방향에 대해 트러스 상·하현재로 구속되므로 가새되지 않은 길이, 즉 한 층의 높이로 가정할 수 있으며 장변방향에 대해서는 일반 라멘조 또는 가새골조 등, 장변 방향으로의 골조 형태에 따라 결정된다.

### 3. 해석예제 모델링

#### 3.1 예제 건물

예제 건물은 Fig. 4에서와 같이 폭 36m, 깊이 15m의 장방형 평면을 갖는 10층과 20층의 사무실 건물이다. Aladdin Hotel의 경우와 같은 별도의 구조 보강을 배제하고 순수한 STF 시스템으로 설계하는 것으로 가정하고 층수는 20층으로 제한하였다. 각 모델의 층고는 3m로 동일하게 가정하였다. 장변 방향으로 6m 간격으로 기둥이 배치되며, 단면 방향으로 내부에 기둥이 없는 15m 스패의 무주공간이다. 트러스는 건물의 단면 방향(축 방향)으로 배치하였으며 장변 방향(x축 방향)으로는 모멘트 저항골조(MRF)로 계획하였다. 장변 방향의 경우 모멘트 저항골조 외에도 필요한 경우 가새, 전단벽 등을 보강하여 횡력에 저항하도록 계획할 수 있다. 본 예제에서는 비교를 위하여 단면 방향으로만 횡력이 작용하는 것으로 하고 장변 방향은 설계에서 별도로 고려하지 않았다.

기둥은 단면 방향이 약축에 저항하도록 배치하였고 각 층의 트러스는 상·하현재 모두 기둥에 핀접합되는 것으로 가정하였다. 지반에 대한 구조물의 지지조건은 수직 및 수평반력과 모멘트 반력이 모든 방향에 대해 구속된 것으로 본다. 예제 건물의 설계하중은 건축구조기준(KBC)을 적용하였다.

Table 1 Design lateral loads for the model buildings

Seismic Loads	Wind Loads
Seismic Zone 1	Basic Wind Speed( $V_0$ ) 30m/s
Zone Coefficient 0.22	Ground Surface Roughness B
Soil Profile Type $S_B$	Gust Effect Factor( $G_f$ ) 2.2
Importance Factor( $I_E$ ) 1.2	Importance Factor( $I_W$ ) 1.0
Response Mod. Factor 3.0	

Table 1은 지진하중 및 풍하중과 관련한 기본계수들을 나타낸다. 구조물의 유효질량으로는 고정하중( )의 100%와 활하중(L)의 25%를 고려하였다. 단면방향의 지진하중 산정 시 지진저항시스템은 STF에 대한 별도의 규정이 없는 관계로 기타구조물로 분류하여 3.0의 반응수정계수(R)를 적용하였다. 풍하중의 경우, 지표면조도구분(노풍도)은 B를 가정하였으며 해당되는 거스트 영향계수(G)는 KBC2006에 제시된 노풍도 B에서의 기준값 2.2를 가정하였다.

각 층의 바닥슬래브는 수직하중에 저항하는 한편 횡력에 대해서는 다이아프램 역할을 하여야 하므로 전술한 바와 같이 수직하중에 대해서는 기둥사이의 공간을 스패인으로 하는 연속 일방향 슬래브로 설계하고 횡력에 대해서는 면내방향으로 건물의 깊이를 축으로 하는 깊은보로 간주하여 설계하였다. 트러스의 설계를 위하여 바닥에 작용하는 하중으로 각 층에는 자중을 포함한 6.0kPa의 고정하중과, 2.5kPa의 적재하중을 옥상층의 경우 6.5kPa의 고정하중과 1kPa의 적재하중을 가정한다.

본 프로젝트에서 다루고자 하는 구조물은 철골조이며, 재질은 10층과 20층 구조물에 대해 각각 SM400과 SM490을 사용하였다. 단면의 경우, 기둥과 보 및 트러스 부재는 모두 H형강으로 설계하였다. 트러스의 형태는 Fig. 5에 정리된 바와 같이 일반적으로 사용되는 프랫트러스(pratt truss), 하우트러스(howe truss), 와렌트러스(warren truss), K형트러스(K-truss) 및 비렌델트러스(vierendeel truss)의 다섯 가지 형태로 계획하였다.

프랫트러스, 하우트러스 및 와렌트러스는 가장 일반적으로

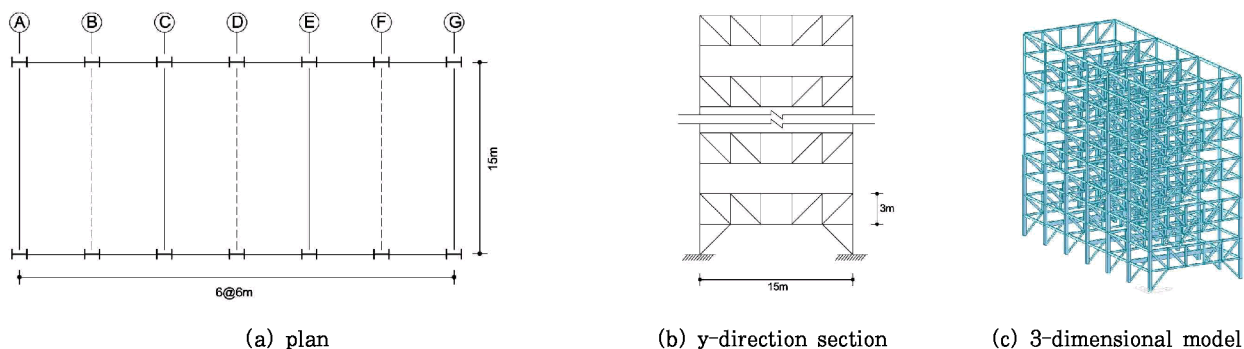


Fig. 4 Model building

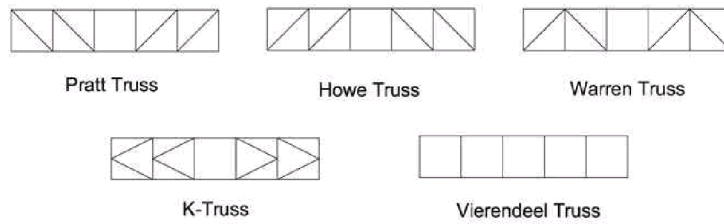


Fig. 5 Truss types used in the models

사용되는 형태로서 경사재의 배치에 따라 작용하는 힘이 달라진다. 플랫폼트러스 형태는 경사재에 인장이 작용하도록 경사재가 배치되어 수직하중에 대해 가장 유리한 형태가 될 수 있고, 하우트러스의 경사재는 와렌트러스에 대해 정반대의 형태로 배치되므로 경사재에 압축력이 작용하며, 경사재가 교대로 배치되는 와렌트러스의 경우 경사재에 압축과 인장이 교대로 작용하게 된다. 한편 형트러스는 수직재 및 경사재가 K 또는 역K의 형태를 가지는 트러스로서 좌굴길이를 짧게 하는 장점이 있고, 비렌덜트러스는 경사재를 생략하여 상현재와 하현재 사이에 수직재만 존재하는 시스템으로 절점은 휨모멘트에 대해 저항하는 강절점으로 구성된다. 현재에는 축력 외에 전단력이 작용하므로 부재 및 절점에는 추가적인 모멘트가 발생하게 되어 구조적으로는 비효율적이지만 경사재가 없으므로 공간계획에는 유리한 측면이 있다.

통로와 같은 공간활용을 위해 사재를 제거하기 때문에 결과적으로 그 주변 수직재에 휨모멘트가 발생한다. 그러나 비렌덜트러스를 제외한 일반 트러스 구조체에서도 이러한 강접합을 도입하는 것이 과연 구조적인 면에서 합리적인지를 판단하기 위해 예제구조물의 단위 트러스 구조체에서 중앙부 수직재의 양단을 각각 편접합과 강접합으로 설정하고 그 때의 부재력을 기준으로 비교·검토해 보고자 한다. Fig. 6에서 중앙부 수직재양단의 흰색 원과 검정색 원은 각각 편절점, 강절점을 나타내며 별도로 표시되지 않은 수직재 및 경사재의 양단은 모두 편접합으로 이루어진다. 해석을 마친 후 얻은 내력비는 해당 부재 위에 표시하였다. 여기서, 내력비(demand capacity ratio, DCR)란, 부재의 저항성능에 대한 부재에 작용하는 부재력의 비를 말한다.

3.2 트러스 절점 계획

전술한 바와 같이 STF시스템의 트러스 중앙부는 일반적으로

Fig. 7은 트러스 구조체를 크게 상·하현재, 수직재, 사재 항목으로 나누고 편접합 및 강접합에 대한 상·하현재의 내력비 분포를 부재 위치와 동일한 순서로 나타낸 것이다.

해석 결과, 중앙부 수직재가 상·하현재에 편접합되는 경우, 수직재의 내력비(0.435)는 낮지만(Fig. 6), 상현재 및 하현

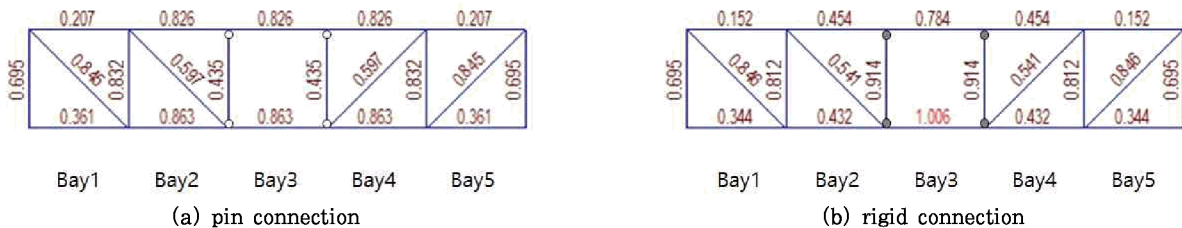


Fig. 6 Demand capacity ratios by joint connection types of central bay

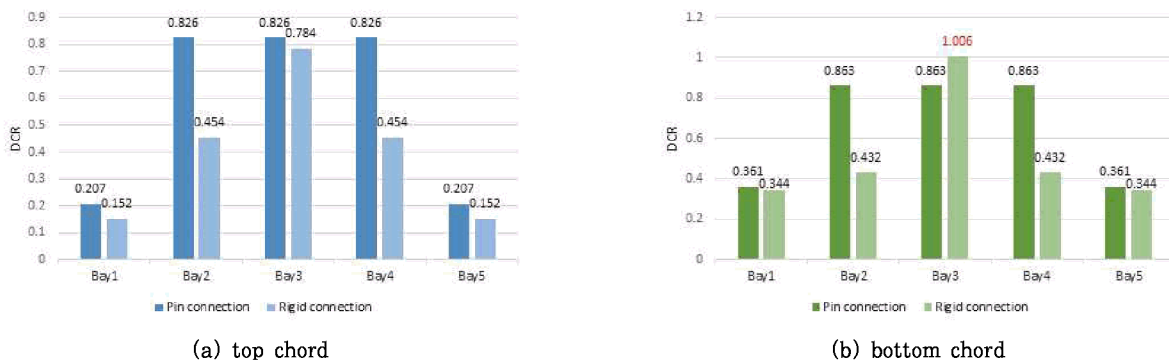


Fig. 7 Demand capacity ratios of top and bottom chord members by joint connection types of central bay

재의 경우는 대체로 높으며 부재별 분포가 고르게 나왔다(Fig. 7). 반면, 수직재가 강접합된 경우에는 수직재가 축력 이외에 휨모멘트도 분담하므로 내력비(0.914)가 편집합에 비해 높게 나옴을 알 수 있다(Fig. 6). 중앙부 하현재는 강접합으로 인해 수직재의 휨모멘트도 같이 전달되므로 내력비(1.006)가 크지만 반면에 중앙부를 제외한 나머지 상·하현재의 경우는 낮아서 내력비 분포에 차이가 많이 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 7). 기타 수직재와 사재의 내력비 분포는 편집합일 때와 큰 차이를 보이지는 않았다. 대개 상·하현재는 동일 부재로 설계하는 것이 일반적이므로 높고 고른 내력비를 갖는 것이 유리하며 따라서 강접합보다 편집합이 더 효과적이라 판단되어 앞으로 본 논문에서 다룰 구조해석 및 설계에 있어 경사재가 없는 중앙부 수직재의 접합은 모두 편집합을 적용하기로 한다.

### 3.3 트러스 설계

Fig. 8은 앞서 3.2절의 중앙부 수직재에 대한 절점 분석 결과를 토대로 중앙부 수직재를 편집합으로 설계한 트러스 접합상태를 보여준다. 트러스의 형태나 건물의 층수를 막론하고 상·하현재는 단일 부재로서 각 절점은 강절점으로 고려하였다. 비렌덜트러스를 제외한 모든 트러스의 경사재와 수직재는 상·하현재에 편집합으로 연결되며 비렌덜트러스는 경사재가 없

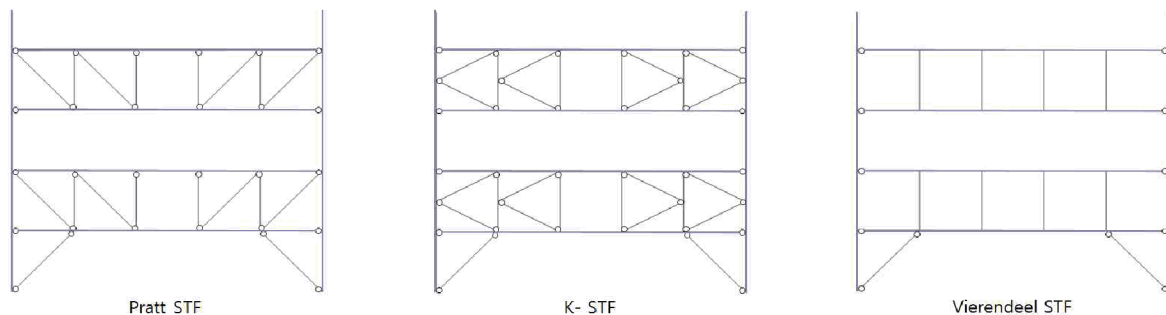


Fig. 8 Joint connections of the truss models

Table 3 Models and the descriptions

Model	Group	Member Description	Model	Group	Member Description			
10-story Building	Column 1	9-10F Column	20-story Building	Column 1	17-20F Column			
	Column 2	5-8F Column		Column 2	13-18F Column			
	Column 3	1-4F Column		Column 3	9-12F Column			
	Girder 1	Truss Top Chord Beam		Truss Bottom Chord Beam	Column 4	5-8F Column		
					Column 5	1-4F Column		
					Girder 2	Truss Bottom Chord Beam		
					Girder 3	Longitudinal Girder		
					Girder 4	1-9F Transverse Girder		
	Girder 5	10F Transverse Girder						
	Truss 1	Truss Vertical Member		Truss Diagonal Member	Truss 1	Truss Vertical Member		
							Truss 2	Truss Diagonal Member

Table 2 Models and the descriptions

Models	Description
PR10 / PR20	Pratt Truss Type 10-/20-story Building
HW10 / HW20	Howe Truss Type 10-/20-story Building
WR10 / WR20	Warren Truss Type 10-/20-story Building
K10 / K20	K-Truss Type 10-/20-story Building
VR10 / VR20	Vierendeel Truss 10-/20-story Building

므로 구조 안정상 수직재를 상·하현재에 강접합으로써 부재간 모멘트가 전달되도록 하였다. 이외에 모든 트러스의 상·하현재와 기둥의 절점, 그리고 1층의 가새 양단은 모두 편집합으로 가정하였다.

Table 2는 본 논문에서 다루는 트러스 형태와 층수를 나타내는 기호이다.

## 4. 해석 및 설계

### 4.1 단면 산정

구조물을 구성하는 부재들은 주어진 하중에서 각기 다른 거동과 응력분포를 보이므로 구조물에 획일화된 단면을 부여 하는 것은 응력이 작은 부재에 과대한 단면을 산정할 우려가 있어 경제성 및 구조설계 측면에서 결코 효율적이지 못하다. 이러한 이유로 구조물의 부재들은 크게 기둥(Column#), 보

Table 4 Members and maximum demand capacity ratios for each group and the descriptions

	PR10		HW10		WR10		K10		VR10	
	Section	DCR	Section	DCR	Section	DCR	Section	DCR	Section	DCR
Column1	H 350x175x7/11	0.954	I 200x150x9/16	0.996	I 200x150x9/16	0.992	I 200x150x9/16	0.995	LH 400x200x6/9	0.981
Column2	H 434x299x10/15	0.975	H 434x299x10/15	0.928	H 434x299x10/15	0.921	H 434x299x10/15	0.915	H 434x299x10/15	0.951
Column3	H 400x408x21/21	0.96	H 400x408x21/21	0.955	H 406x403x16/24	0.945	H 406x403x16/24	0.927	H 350x357x19/19	0.993
Girder1	H 298x201x9/14	0.948	H 248x249x8/13	0.929	H 300x150x6.5/9	0.976	H 354x176x8/13	0.947	I 600x190x16/35	0.991
Girder2	I 250x125x10/19	0.99	H 244x252x11/11	0.939	I 300x150x11.5/22	0.954	LH 400x200x6/9	0.961	H 594x302x14/23	0.955
Girder3	H 588x300x12/20	0.984	H 588x300x12/20	0.992	H 792x300x14/22	0.904	H 440x300x11/18	0.966	H 390x300x10/16	0.947
Girder4	LH 350x175x4.5/9	0.992	LH 300x175x4.5/9	0.984	LH 300x175x4.5/9	0.981	LH 400x200x4.5/6	0.989	I 300x150x8/13	0.98
Girder5	H 350x175x7/11	0.996	H 350x175x7/11	0.988	I 350x150x9/15	0.991	H 350x175x7/11	0.992	I 250x125x10/19	0.943
Truss1	LH 300x175x4.5/9	0.894	H 148x100x6/9	0.989	LH 200x150x3.2/6	0.877	H 248x124x5/8	0.997	H 428x407x20/35	0.886
Truss2	LH 300x175x4.5/9	0.969	H 446x199x8/12	0.977	H 200x204x12/12	0.995	I 200x150x9/16	0.991	-	-
Truss3	H 294x200x8/12	0.98	I 350x150x12/24	0.971	H 294x200x8/12	0.935	LH 400x200x6/12	0.966	H 244x252x11/11	0.984

	PR20		HW20		WR20		K20		VR20	
	Section	DCR	Section	DCR	Section	DCR	Section	DCR	Section	DCR
Column1	H 340x250x9/14	0.92	H 250x250x9/14	0.94	H 336x249x8/12	0.999	H 250x250x9/14	0.941	H 250x250x9/14	0.963
Column2	H 388x402x15/15	0.995	H 350x350x12/19	0.957	H 350x350x12/19	0.951	H 350x350x12/19	0.964	H 350x350x12/19	0.978
Column3	H 414x405x18/28	0.928	H 414x405x18/28	0.867	H 406x403x16/24	0.997	H 414x405x18/28	0.883	H 414x405x18/28	0.886
Column4	H 458x417x30/50	0.782	H 428x407x20/35	0.977	H 428x407x20/35	0.971	H 428x407x20/35	1	H 428x407x20/35	0.999
Column5	H 498x432x45/70	0.99	H 498x432x45/70	0.95	H 498x432x45/70	0.903	H 498x432x45/70	0.928	H 498x432x45/70	0.747
Girder1	H 300x300x10/15	0.937	H 344x348x10/16	0.914	I 300x150x10/18.5	0.911	H 386x299x9/14	0.926	H 404x201x9/15	0.954
Girder2	H 300x300x10/15	0.945	H 336x249x8/12	0.961	H 386x299x9/14	0.96	H 336x249x8/12	0.912	H 912x302x18/34	0.852
Girder3	H 388x402x15/15	0.862	H 310x305x15/20	0.963	H 890x299x15/23	0.987	H 588x300x12/20	0.965	H 390x300x10/16	0.948
Girder4	H 244x175x7/11	0.975	H 244x175x7/11	0.931	H 244x175x7/11	0.957	H 244x175x7/11	0.947	H 244x175x7/11	0.933
Girder5	I 250x125x10/19	0.956	I 250x125x10/19	0.957	I 250x125x10/19	0.961	I 250x125x10/19	0.96	I 250x125x10/19	0.96
Truss1	I 350x150x9/15	0.988	LH 250x150x4.5/9	0.983	LH 300x150x4.5/6	0.939	H 250x125x6/9	0.982	H 912x302x18/34	0.94
Truss2	I 300x150x11.5/22	0.984	LH 450x250x6/12	0.981	H 208x202x10/16	0.988	H 354x176x8/13	0.916	-	-
Truss3	H 294x200x8/12	0.979	H 396x199x7/11	0.993	H 298x201x9/14	0.942	H 396x199x7/11	0.895	H 506x201x11/19	0.996

(Girder#), 트러스(Truss#)로 나누고, Table 3에서와 같이 위치, 방향 혹은 형태 등 더욱 세분화된 기준으로 연관된 부재들을 그루핑(grouping)하였다. 부재설계에는 하중저항계수설계법(LRFD)을 사용하였고, 하중조합으로는 1.4D, 1.2D+1.6L, 1.2D±0.65W, 1.2D±1.3W+L, 1.2D±E+L, 0.9D±1.3W, 0.9D±E를 적용하였다.

기둥은 높이에 따라 위에서부터 4개층 씩 그루핑하되, 10층 구조물의 경우 최상부 2개층을 동일그룹으로 묶었다. 보는 크게 구조물에서 모멘트골조를 구성하는 장변방향의 보와 트러스의 상·하현재를 구성하는 단변방향의 보로 구성되어 있다. 단변 방향의 보는 트러스의 상·하현재를 각기 다른 그룹으로 지정하였으며, 1층부의 2,4,6열 보와 같이 그 어디에도 속하지 않는 보는 별도의 그룹으로 분류하였다. 트러스는 부재 방향에 따라 수직재와 사재로 나누고, 트러스 구조체에 속하지 않은 1층부의 가새를 포함하여 총 세 그룹으로 분류하였다.

트러스의 형태와 전체층수로 구분된 모델은 공통적으로 기능, 위치, 방향 혹은 형태 등의 그루핑 기준을 통일시켜 객관성을 확보하되, 각 모델들의 특성에 맞게 최대 내력비(DCR)를 갖는 단면을 선정하여 해석을 진행하였다. Table 4는 실제 해석 수행 후, 각 구조물에서 그룹별 산정된 단면의 형태와 규격 그리고 그에 따른 최대 내력비를 나타낸다.

### 4.2 내력비 및 골조물량

본 연구에서는 효율적인 설계를 위해 내력비 측면에서 부재 그룹별로 최적의 단면을 선정한 것으로 보고 구조해석을 수행,

기둥부재 및 전 부재의 내력비의 평균값을 도출하여 모델 간 서로 비교해 보았다. 내력비의 평균값이 높을수록 그루핑한 부재에 균등한 용력이 작용하므로 효율성이 높다고 할 수 있다. Table 5 및 Fig. 9는 해당 구조물에서 기둥 혹은 전체부재의 평균 내력비와 그 분포를 나타낸다.

모델별로 기둥 및 전체부재의 평균 내력비를 비교하여 그 값이 큰 순서대로 배열하면 다음과 같다.

#### ▶기둥 내력비

VR10 > PR10 > K10 > HW10 > WR10  
PR20 > WR20 > K20 = VR20 > HW20

#### ▶전체 내력비

PR10 = VR10 > HW10 > WR10 > K10  
VR20 > WR20 > HW20 > PR20 > K20

Table 5 및 Fig. 9에 나타난 바와 같이 대체로 플랫폼 비렌달트러스 모델이 기둥 및 전체 부재의 내력비가 높게 나와

Table 5 Average demand capacity ratio(DCR) for each model

Models	Avg. DCR		Models	Avg. DCR	
	Column	Total		Column	Total
PR 10	0.635	0.549	PR 20	0.598	0.463
HW 10	0.530	0.537	HW 20	0.576	0.480
WR 10	0.523	0.525	WR 20	0.594	0.492
K 10	0.535	0.443	K 20	0.586	0.436
VR 10	0.646	0.549	VR 20	0.586	0.518

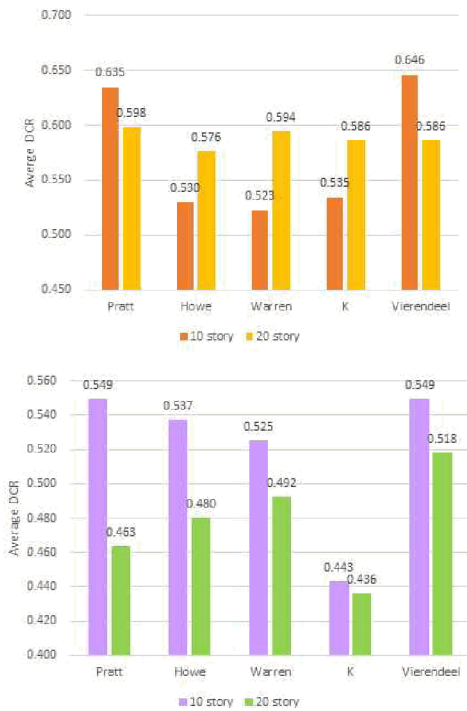


Fig. 9 Average demand capacity ratio of each model for column(top) and all members(bottom)

부재의 과설계를 줄임으로써 비교적 경제적인 단면을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

기둥부재의 평균 내력비는 0.5~0.6 범위의 고른 분포를 보이지만 모델 간 서열은 층수와 트러스 형태에 따라 확연히 다르다. 특히 와렌트러스 모델은 저층보다 고층 구조물에서 평균 내력비가 가장 크게 증가하였다. 반면, 전체부재에 대해서는 K10, K20이 여타 구조물에 비해 낮은 내력비를 기록해 단면 사용의 효율성 면에서 가장 불리하였다.

다른 트러스와 달리 사재가 없는 비렌딜트러스 모델은 타 모델들과 직접 비교는 어려우나 부재들의 평균 내력비만 놓고 본다면 가장 효율적인 방식이라 할 수 있다. 이 다음으로 효율성이 좋은 방식은 프랫트러스로 나타나지만 예외적으로 20층 구조물의 전체 내력비는 다소 낮다. STF시스템에 하우트러스를 적용하였을 때, 전체 부재의 내력비는 평균 정도의 효율성을 갖지만, 기둥 부재의 그루핑을 보다 체계적으로 해야 할 필요가 있다. 이와 반대로 K-형 트러스는 기둥 부재의 내력비가 보통 수준임에도, 전체 부재의 내력비가 낮아 비효율적인 방식이라 할 수 있다.

한편, 내력비에서 나타난 개별 부재의 효율성과 별도로 모델별 골조 물량은 시스템의 경제성을 나타낸다. 각 모델별로 사용된 전체 골조 물량은 Table 6 및 Fig. 10에 정리하였다.

각 시스템별 물량이 적게 사용된 순서대로 배열하면 다음과 같다.

Table 6 Quantity of structural members in each model

Models	Quantity(kN)			Models	Quantity(kN)		
	Truss	Girder	Total		Truss	Girder	Total
PR 10	348.5	1,442	1,791	PR 20	1,351	4,971	6,322
HW 10	482.6	1,479	1,961	HW 20	1,014	4,689	5,702
WR 10	403.1	1,421	1,824	WR 20	962	4,431	5,393
K 10	504.7	1,380	1,885	K 20	1,169	4,614	5,784
VR 10	375.2	3,580	3,618	VR 20	60	8,680	8,740

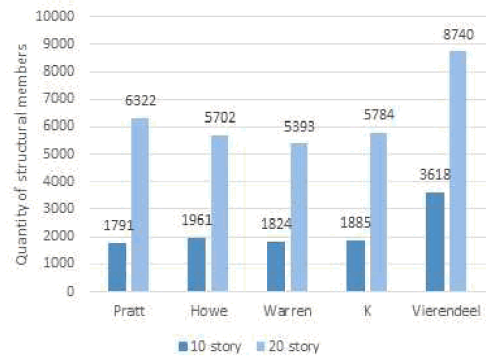


Fig. 10 Comparisons of the quantity of structural members in each model(unit kN)

▶골조 물량

PR10 < WR10 < K10 < HW10 < VR10  
 WR20 < HW20 < K20 < PR20 < VR20

순서에서 보듯, 10층 및 20층 모델에서 와렌트러스 방식이 대체로 물량이 적게 사용된 것을 알 수 있으며, K형트러스 모델은 사재가 다른 시스템에 비해 2배 가까이 사용되었음에도 불구하고 층수와 상관없이 평균 수준의 경제성을 보여준다. 다만, 20층의 프랫트러스 모델의 경우 오히려 비렌딜트러스를 제외하고 다른 시스템에 비해 물량이 가장 많이 사용된 것으로 보아 저층의 구조에서 효율적인 방식이라고 할 수 있다. 비렌딜트러스 시스템의 경우 내력비가 비교적 높은 편으로 그루핑한 부재의 효율성은 우수한 편이지만 대각선 가새를 생략함으로써 축력 외에 모멘트가 작용하는 구조의 특성상 다른 방식에 비해 절대적인 물량이 현저하게 증가하는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 프랫트러스, 하우트러스, 와렌트러스, K-형 트러스 및 비렌딜트러스를 STF 시스템에 적용하여 트러스별 경제성 및 효율성을 검토하였으며 다음의 결론을 얻었다.

사재가 본래 없는 비렌딜트러스를 제외한 STF시스템에서 트러스 중앙 배이의 사재를 통로확보 등을 위해 제거한 후 중앙부 수직재를 상·하현재에 편접합하게 되면 각 부재의 내력비 분포가 균등해져 구조물을 더욱 효율적으로 설계할 수 있다.

기둥 및 보, 트러스 부재는 그루핑하여 설계하였으며 부재저항 성능에 대한 부재력의 비율, 즉 각 부재들의 내력비를 평균하여 산출한 평균 내력비를 그루핑의 효율성을 나타내는 지표로 삼았다. 10층 및 20층의 예제 모델을 설계한 결과 비렌딜트러스 방식을 적용한 STF의 경우 전체 부재에 대한 평균 내력비가 가장 커 그루핑의 효율성이 높았다. 전체 물량에 있어서는 20층 모델에서는 와렌트러스를 적용한 방식이, 10층 모델에서는 프랫트러스를 적용한 방식이 가장 작은 물량이 산출되어 우수한 경제성을 나타내었다. 부재 단면산정의 효율성과 시스템의 경제성을 나타내는 골조 물량을 종합적으로 고려해볼 때 10층에서는 프랫트러스 방식이, 20층에서는 와렌트러스 방식이 가장 우수한 것으로 나타났다.

비렌딜트러스를 적용한 STF 시스템은 다른 방식에 비해 골조물량이 커 비경제적인 방식이지만 건축계획 측면에서는 유리한 점이 있다. 또한 기둥 및 전체 골조에 대한 평균 내력비가 높은 편으로써 부재 그루핑의 효율성이 우수한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 예제 건물을 20층으로 한정하여 각 트러스를 적용한 STF 시스템의 효율성과 경제성을 분석하였으며, 층수가 더 높은 초고층 건물에서 STF를 적용한 경우에 대한 분석은 별도의 연구를 통하여 추후 진행되어야 할 과제이다.

## References

- Brazil, A.** (2000) Staggered Truss System Proves Economical For Hotels, *Modern Steel Construction*, AISC.
- Design Guide 14** (2000) Staggered Truss Framing Systems, AISC.
- FEMA 450** (2003) NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Building Seismic Safety Council.
- KBC 2006** (2006) Korean Building Code-Structural, AIK.
- Kim, J., Lee, J.** (2006) Seismic Behaviour of Staggered Truss Systems, *Paper No.164, 1st ECEES*, Geneva, Switzerland.
- Kim, J., Lee, J.** (2006) Seismic Improvement of Staggered Truss Systems using Buckling Restrained Braces, *J. Earthq. Eng. Soc. Korea*, 10(2), pp.11~19.
- McNamara, R.J.** (1999) Aladdin Hotel, *Modern Steel Construction*, AISC.
- Metz, S.** (2012) Staggered Home, *Modern Steel Construction*, AISC.
- Scalzi, J.B.** (1971) The Staggered Truss System - Structural Considerations, *Eng. J.*, AISC, pp.138~143.

## 요 지

본 논문에서는 약진 지역에서 적용되는 스테거드트러스 골조시스템의 수평하중에 대한 구조특성을 분석하였다. 스테거드트러스 시스템에 적용되는 프랫, 하우, 와렌, K형, 비렌딜의 대표적인 트러스 형태를 기준으로 10층과 20층의 예제 건물에 대한 해석과 설계를 수행하여 트러스 형태에 따른 시스템의 경제성과 효율성을 비교·분석하였다. 설계에서 기둥 및 트러스 부재는 같은 부재를 몇 개 층씩 그루핑하여 사용하였으며 부재의 효율성은 그루핑된 부재의 평균 내력비를 기준으로 판단하였으며 시스템의 경제성은 전체 골조물량을 기준으로 판단하였다. 분석 결과 효율성과 경제성 측면에서 10층의 예제에서는 프랫트러스를 사용한 시스템이 우수한 것으로 나타났으며 20층의 예제에서는 와렌트러스를 사용한 방식이 우수한 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 스테거드트러스, 프랫트러스, 하우트러스, 와렌트러스, K형트러스, 비렌딜트러스