

프랫트러스의 디자인 구성요소 변화와 역학적 특성분석

An Analysis of Mechanical Features and Variations of Design Composition Elements for Pratt Trusses

박 찬 수*
Park, Chan-Soo

이 주 나**
Lee, Ju-Na

Abstract

The design composition elements and the mechanical behavior of trusses have been investigated for Pratt trusses. As a result, it was determined that the design composition elements of the trusses consist of the composition of webs, the distance between joints, the chords profile, the depth of the truss, and the double chord composition. In addition, by analyzing models with a variation of elements, comprehensive features of structural behavior have been presented for variations of design of Pratt trusses. This is to provide more effective and useful design information on truss structure in the architectural and structural planning stage.

Keywords : Large Space Building, Truss, Pratt Truss, King Post Truss, Structure Design

1. 서 론

트러스구조는 고대로부터 사용되어 온 구조방식이고 현재에도 매우 다양한 방식으로 활용되고 있는 구조시스템이다. 특히 단위 축력부재를 조합구성하는 특성으로 인해 역학적인 효율은 물론 디자인적인 측면에서도 대단히 높은 가능성을 가지고 있는 구조시스템으로 주목된다. 그러나 높은 디자인가능성에 비하여 트러스구조는 일련의 정형적인 패턴만이 활용되거나, 구조능력의 극대화만을 고려는 측면이 있어 아쉬움이 있다. 트러스의 활용가치를 높이고 구조의 디자인적 역할을 확대하기 위해서는, 보다 트러스구조의 근본적인 원리에 접근하여 트러스 디자인의 다변화가능성을 탐색할 필요가 있다.

먼저 트러스의 디자인변화를 가져올 수 있는 구성요소를 도출하여 요소의 조합을 통한 다양한 트러스 디자인을 가능하게 하여야 할 것이다. 그리고 디자인 변화로 그치지 않고 변화된 구성이 가져오는 역학적 거동변화 또한 파악되어야 할 것이다.

본 연구는 건축설계 및 구조계획 전반에서 요구되는 구조디자인 정보를 위한 연구의 일환으로서, 본 연구를 통하여 다양한 트러스구조의 디자인 가능성을 제시하는 것은 물론, 역학적인 측면을 포함하여 여러 설계요구조건에 효과적으로 대응할 수 있는 트러스 구조디자인 설계정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.

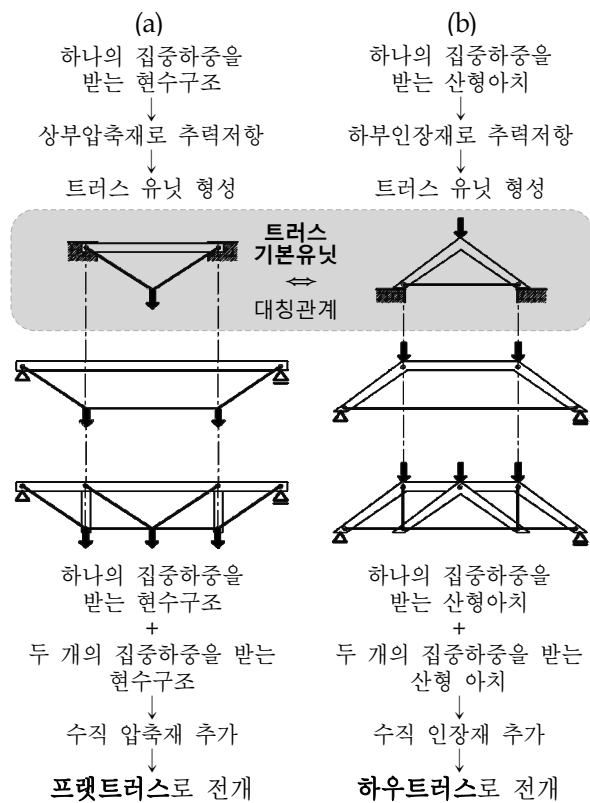
이러한 배경 하에, 본 연구에서는 여러 트러스 중에 프랫트러스(Pratt Truss)를 대상으로 하여 트러스의 디자인 구성요소와 그 역학적 특성변화에 대하여 살펴보고자 한다. 입체트러스는 제외한 단순지지의 선형 트러스 구성을 연구대상으로 하였으며, 디자인 변화에 있어 대칭형 구성만을 고려하여 연구를 진행하였다.

* 정회원, 공학박사, 충북대학교 건축공학과 교수
Ph.D. Professor, Architectural Engineering Department,
Chungbuk National University

** 교신저자, 정회원, 서울시립대학교 건축학부 객원교수
Ph.D. Visiting Professor, Architectural Department,
University of Seoul
Tel:02-6490-2765 Fax:02-6490-2749
E-mail : juna@uos.ac.kr

2. 트러스의 구조원리 및 유형

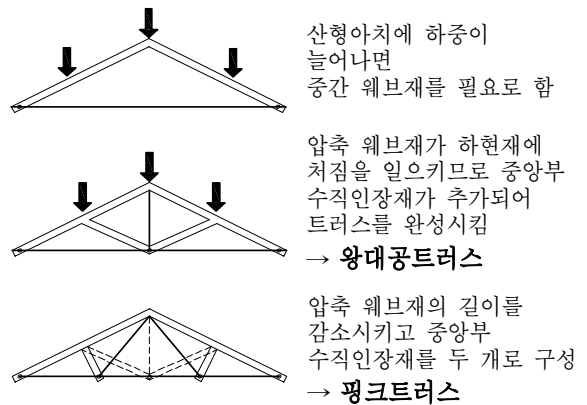
트러스구조의 가장 기본적인 원리는 집중하중을 받는 현수선에서 출발할 수 있다. 단위 집중하중에 대해 인장축력으로 저항하는 두 개의 경사부재와 지점에서 발생하는 추력에 저항하는 하나의 압축부재로 이루어진 삼각형 구성(a), 또는 이를 역전한 두 개의 압축부재와 하나의 인장부재로 이루어진 구성(b)에서 트러스 기본원리가 파악된다(음영부분).



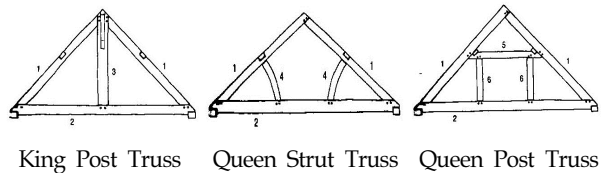
매우 다양한 트러스 구성이 존재하지만 이 기본원리의 확장에 의해 평행현재로 구성된 경우, 인장경사재를 가지는 플랫폼트러스(Pratt Truss)와 압축경사재를 가지는 하우트러스(Howe Truss)의 원리가 파악될 수 있다(상기 도식 참조). 수직부재가 없는 경우가 워렌트러스(Warren Truss)로 전개되며, 이러한 평행현재를 가진 트러스들이 이른바 '보트러스'라고 불리운다.

또한 이와 더불어 대표적인 트러스로 '산형트러스' 유형이 존재하는데, 이 역시 도식에서 보인 두 개의 압축부재와 하나의 인장부재를 가진 기본형 트러스(b)에서 출발하여 하중가점을 늘려가는 확장형으로

이해될 수 있다(아래 도식 참조). 이 산형트러스들은 고대로부터 각 지역에서 활용된 것으로 왕대공트러스 또는 핑크트러스 등의 명칭으로 불린다¹⁾.



그러나 왕대공트러스의 중앙부재는 그 용어의 대공이라는 표현에서 알 수 있듯이 인장부재가 아닌 압축부재로 오해되었던 것을 알 수 있다. 이것은 완전한 트러스의 구성이 완성되기 전의 구법을 그대로 인식하고 있기 때문이다.

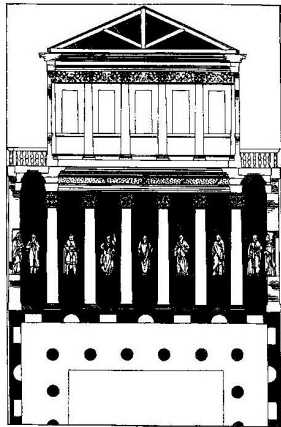


<Fig 1> England style roof structures in the middle ages

트러스기원을 고찰해보면 이것이 명확히 파악되는데, 비트로비우스의 「건축십서」에서부터 수평부재와 삼각형을 이루는 합장지붕을 소개하고 있으며, 중앙에 대공을 세워 사자보 걸치는 것을 용이하게 한 지금의 왕대공트러스와 유사한 구성이 소규모 목조지붕을 비롯해 잉글랜드 여러 지방의 고식 성당지붕에 광범위하게 남아있다. 경사지붕의 형태를 유지하면서도 합장을 이루는 방법 또한 다양해져 왕대공트러스에서 Fig 1.과 같이 두 개의 대공을 가지고 중앙에 보를 설치하는 퀴포스트 트러스로 변형되기도 한 것으로 보인다.²⁾

그러나 이들 고식의 왕대공트러스는 우리의 한식 지붕틀의 원리와 오히려 유사하여, 축력부재의 조합으로 이루어진 완전한 트러스원리를 이용한 것이라

고 보기는 어렵다. 사자보와 수평부재의 긴결과 부재강성에 따라 수평부재가 사자보의 추력을 흡수하는 것이 부족할 수 있으며, 경우에 따라서는 상부의 하중을 왕대공인 지주가 압축력으로 받고 그 힘으로 인해 수평부재 중앙부에 큰 휨모멘트 저항을 요구하는 구조방식인 경우도 다수 나타난다. 퀴포스트 트러스의 경우는 더욱 우리의 전통 한옥지붕구조와 원리가 유사하다고 할 수 있다.



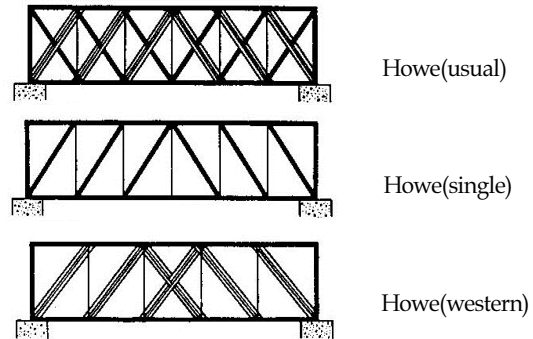
<Fig. 2> King Post Truss in Palladio's "The Four Books of Architecture"(건축사서)

그러나 중세를 거쳐 팔라디오(1508~1580)가 저술한 「건축사서」에는 완벽한 형태의 왕대공 트러스가 활용되고 있었음을 알 수 있다. 이 시기에 산형 트러스 외에도 보트러스 형식을 취한 교량의 모습도 관찰된다.³⁾

18세기에 들어서 철물의 사용이 원활해지면서 많은 부재수를 가지는 여러 타입의 트러스가 활용되기 시작했고, 교량에서 활용되는 각종 보트러스가 유럽과 미국에서 특허를 얻어 알려지면서 현재 트러스구조에 다다른 것으로 본다.

대표적인 것으로는 보에서 발생하는 응력을 가장 기본적으로 축력부재화한 롱트러스(Long Truss, 1830년 특허)를 고찰할 필요가 있으며, 여기서 수직부재를 인장 강봉으로 치환하여 부재 체적을 감소시키고 접합부를 간략화한 하우트러스(Howe Truss, 1840년 특허)가 개발 고안되었다고 알려진다. 그 뒤를 이어 이 하우트러스를 역전한 개념인, 수직부재를 압축재로 하면서 경사재를 강봉재로 치환한 프랫트러스(Pratt Truss, 1844년 특허)가 특허를 취득하였고, 경사재만을 가진 워렌트러스(Warren Truss,

1848년 특허) 등이 정형화된 패턴으로 자리잡았다⁴⁾.



<Fig. 3> Practical patterns of howe truss in 1840's

가장 전형적인 보트러스인 하우트러스와 프랫트러스를 비교했을 때, 목재와 강봉을 혼합해 사용하던 19세기에는 접합이나 시공상의 이유로 하우트러스가 압도적으로 많이 쓰였다(Fig. 3 참조). 그러나 철골트러스가 일반화된 현대에는 수직재 보다 길이가 긴 경사재를 인장재로 활용하는 프랫트러스가 보다 효율적이므로 높은 활용도를 보이고 있다.

따라서 본 연구에서는 먼저 프랫트러스 구성을 기본으로 하여 구조디자인 가능성을 탐색해 보기로 하였다.

3. 트러스구조의 디자인 구성요소

본 장에서는 트러스의 다양한 디자인을 고안하기 위해 고려해야 할 디자인 구성요소들에 대하여 고찰하고자 한다.

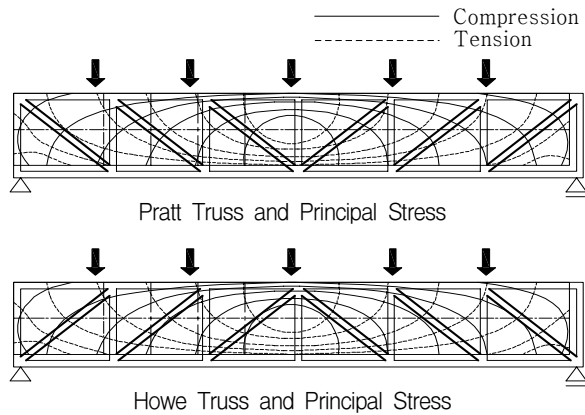
먼저 앞 절에서 트러스의 패턴에서 파악된 바와 같이 트러스는 기본적으로 상현재와 하현재, 그리고 그 현재사이를 연결하는 웨브재로 구성된다. 따라서 웨브재에서는 웨브재의 구성변화, 절점간 거리 설정으로 인한 웨브재의 유닛 개수 결정 등으로 디자인 변화를 이룰 수 있을 것이다. 또한 상하현재의 입면상의 형태변화(profile shape)를 통해 트러스 디자인의 다변화를 꾀할 수 있다. 그리고 모든 구조부재에서 고려되듯이 상하현재간의 거리인 부재의 깊이(depth)변화를 통해 디자인이 변화될 것이다.

이러한 디자인 변화요소는 기존의 다양한 트러스 구조디자인 사례에서도 디자인 수법으로 발견되는

데, 다음에서 이들 각각의 디자인 요소의 디자인 패턴을 파악하고자 한다.

3.1 웨브재 구성 변화(Composition of Webs)

앞서 활용되고 있는 트러스 유형에서 살펴본 바와 같이 웨브재의 변화는 트러스 패턴의 가장 큰 변화를 가져오는 구성요소이다.



<Fig. 4> The relationship between trusses and principal stress

Fig. 4에서와 같이 보트러스를 기본으로 생각했을 때, 트러스의 웨브의 축력부재는 그 구성에 따라 보의 주응력도에서 보여지는 힘의 분포를 따르는 인장 또는 압축부재로 거동하며 트러스구조를 구성한다. 전형적인 보트러스에 있어서 웨브재의 변화가능성과 그 구성패턴을 다음과 같이 보일 수 있다.

	비렌틸트러스	경사재가 없으며 휨모멘트로 저항하는 트러스
	플랫트러스	경사재가 인장재 수직재가 압축재
	하우트러스	경사재가 압축재 수직재가 인장재
	워렌트러스	수직재가 선택적으로 활용됨 인장 또는 압축 역할을 하는 경사재
	팬트러스	인장 또는 압축역할을 하는 경사재

3.2 절점간 거리(Distance of Joints)

트러스 조합을 결정하는 또 다른 변수로는 절점간의 거리설정이 될 수 있다. 절점은 지붕이나 외피의 마감구조를 통해 하중을 전달하는 부분이 되며

이에 따라 트러스의 웨브재 유닛의 수가 변화하게 된다. 절점간의 거리를 작게 하면 상하현재와 웨브재로 구획된 하나의 유닛의 개수가 많아지고 부재수가 늘어나며, 가해지는 단위하중의 크기는 줄어들고 부재에 작용하는 힘의 분포 또한 변화할 것이다.

현실적으로는 마감구조의 장선이 대략 1~2m 사이에서 배열되므로 마감구조의 체적과 압축재의 좌굴길이, 그리고 시공 및 디자인적 측면을 고려하여 적정 절점간 거리를 결정하게 된다.

3.3 상하현재 입면형(Chords Profile)

보다 적극적인 트러스구조의 디자인 변화는 트러스 양지점 사이에 걸쳐 변화하는 상하현재의 형태(profile) 변화로 인해 발생한다.



가장 많은 디자인적 변화를 가져올 수 있고 대단히 다양한 형태로 조합될 수 있는데, 여기서는 위 그림과 같은 가장 기본적인 선형 변형이 가능할 것으로 생각하고 분석기준으로 설정하였다.

<Table 1> Examples of Composition Pattern with Chord Profile

Image	Title	Chord Profile	
	The Amsterdam Stock Exchange (1909)	top chord	
		bottom chord	
	Harbor Bridge (1932)	top chord	
		bottom chord	
	Daegu EXECO	top chord	
		bottom chord	
	Jean Tinguely Museum	top chord	
		bottom chord	

각기 상현재와 하현재에서 이들의 입면형이 디자인 의도에 따라 조합되어 나타날 수 있으며, 실제 많은 트러스 구조디자인 사례에서 이러한 구성변화를 볼 수 있다(Table 1참조).

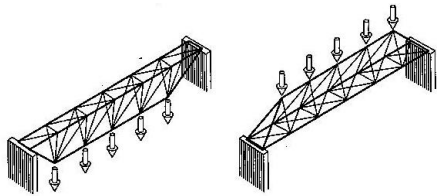
3.4 깊이변화(Depth)

트러스부재의 상하현재간의 거리를 변화시키는 것은 건축공간의 높낮이와 형태변화에 매우 영향이 큰 변수이다. 동시에 구조적으로는 휨에 저항하는 부재의 팔거리를 증가시키는 것과 동일한 결과를 가져오는 민감한 변수이기도하다.

트러스 구조의 디자인에서는 앞서 살펴본 다양한 상하현재의 입면형을 적용함과 동시에, 각기 디자인적인 의도나 부재능력의 증가를 위해 트러스의 깊이를 결정하게 된다. 양지점사이에서 일정 깊이를 유지하는 방식도 있지만, 깊이를 변화시켜 디자인적 변화를 꾀하거나, 구조능력이 크게 요구되는 구간만을 깊이를 키워서 구조의 효율화를 꾀하는 것도 가능하다.

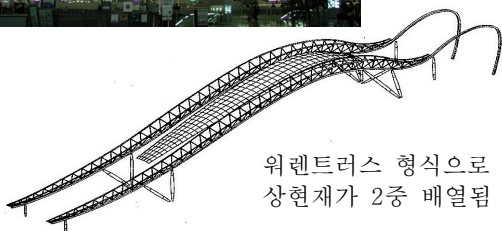
3.5 현재의 2중 배열(Double Chords)

선형트러스의 부재구성에서 활용되는 또 다른 디자인 요소로 상하현재 혹은 웨브재를 하나의 열 또는 두 개의 열로 하는 구성을 들 수 있다.



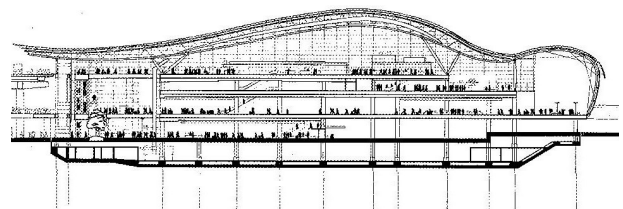
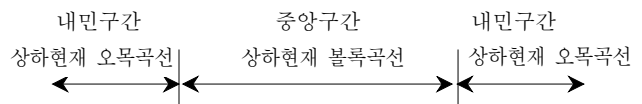
<Fig. 5> Example of double chords composition⁵⁾

양단지점으로 하중을 전달하는 선형의 트러스를 구성하면서도 현재를 입체구성하여 횡좌굴에 대한 저항능력을 증대시키거나 디자인적 효과를 얻을 수 있다. 특히, 주로 압축부로 거동하는 상현재의 경우 좌굴에 효과적으로 저항하기 위하여 2중 배열로 구성되는 사례를 흔히 볼 수 있다.



이제까지 파악한 트러스 디자인 변화요소들이 하나의 트러스 디자인에서 종합적으로 반영되는 것을 살펴보기 위해 실제 트러스 디자인 사례를 분석해 보고자 한다. 분석은 렌조 피아노 설계의 오사카 간사이공항을 대상으로 하였다.

디자인 변화요소	간사이공항 적용패턴		
	웨브재 구성변화	인장 또는 압축역할을 하는 경사재	위렌트러스
절점간의 거리 (유닛/스팬)	3.0m (3/75 = 0.04)		
상하현재 입면형	양내민구간 (변단면)	상현재	오목곡선형
		하현재	오목곡선형
	중앙구간 (일정단면)	상현재	볼록곡선형
		하현재	볼록곡선형
깊이변화	양내민구간	오목형	$h/l=4/18=0.22$
	중앙구간	볼록형	$h/l=10/75=0.13$
현재의 2중 배열	전 구간	상현재 2중 배열	



왼쪽으로 가면서 깊이를 최소화 시킨 변단면 구법

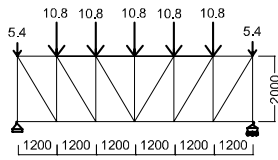
오른쪽으로 가면서 깊이를 최소화 시킨 변단면 구법

4. 구성요소 변화에 따른 프랫트러스의 역학적 거동

본 절에서는 앞서 살펴본 바와 같은 다양한 디자인 구성가능성을 가진 트러스에 있어서 그 디자인 다변화에 따른 역학적 특성을 파악하고자 한다.

7.2m의 경간을 가지는 단순지지의 프랫트러스를 설정하고, 프랫트러스의 절점간의 거리, 상하현재의

-트러스모델의 해석조건



<Table 2> Models of Pratt Truss for analysis

Space of Joint (m)	Depth (m)	Chord profile		Elevation	No.					
		Top	Bottom							
0.9	2	—	—		1					
					2					
1.8	2	—	—		3					
					4					
1.2	1	—	—		5					
					6					
	1.5	—	—	—		7				
						8				
						9				
						10				
						11				
						12				
						13				
						14				
						15				
						16				
						17				
						18				
	2	—	—	—		19				
						20				
						21				
						22				
						23				
						24				
					2	—	—	—		25
										26
										27
										28
									29	
									30	
	31									
	32									
	33									
	34									
	35									

입면형, 깊이를 변화시킨 모델을 설정하고 해석을 통해 역학적 특성 변화를 고찰하고자 한다. 해석모델로 설정된 구성요소의 조합 상세와 해석조건은 다음 그림 및 Table 2에 나타내었다.

4.1 절점간 거리 변화 분석

절점간 거리를 변화시킨 Table 2의 1, 2, 5번의 모델의 해석치 값을 Table 3에서 보였다. 중앙부에서 모멘트가 최대이고, 단부에서 전단력이 최대인 단순보의 역학적 특성에서 쉽게 알 수 있듯이, 상현재와 하현재는 중앙부에서 가장 큰 값을 보이고 웨브재는 단부로 가면서 점차 큰 부재력을 보인다. 표 4에서는 절점간 거리의 변화에 따른 부재력변화를 알 수 있도록 오른편의 부재력 값을 위치에 따라 표현하였는데, 5번과 2번 트러스의 경우, 각각 부재수가 줄어들면서 1번 트러스 부재력의 중간값에 해당하는 값이 각 부재가 배치된 위치에 따라 나타나는 것을 알 수 있다.

절점간의 거리가 길어지면 접합부가 증가하는 대신 압축부의 단위부재 길이가 줄어 좌굴길이를 감소시키는 효과가 있을 것이다. 중앙부와 단부의 부재력이 상이한 점을 감안할 때 절점수를 증가시켜 부재를 세분화하면 요구 부재력에 따라 적정 단면의 부재를 구분해 활용하는 것이 가능할 것이다.

4.2 깊이 변화 분석

상하현재간의 거리를 1.0(3번), 1.5(4번), 2.0(5번)m로 변화한 경우를 Table 5에서 나타내었다. 깊이가 커지면서 상하현재의 부재력이 감소하고 인장경사재의 부재력과 처짐이 감소하는 것을 알 수 있었다. 다만 수직재의 경우는 깊이 변화에 관계없이 일정한 값을 갖는 것을 보여준다.

Table 4의 해석모델들은 단순지지된 것으로 가장 큰 부재력을 보이는 위치가 동일하므로 최대부재력만을 나타내었고, 수직부재값은 끝에서 두 번째의 수직부재값을 나타내었다. 압축력은 진한 글씨로 나타내었다.

4.3 상하현재 입면형 변화 분석

상현재의 형태를 기준으로 하여 하현재를 변화시킨 모델을 비교 분석하였다.

<Table 3> Truss member forces with the variation of distance of Joint

No.	Diagram Right	Member forces in right side from center(KN)															Displacement(mm) Center		
		Top Chord				Bottom Chord				Diagonal web			Vertical web						
1 0.9m		-29.0	-27.3	-21.8	-12.7	27.3	21.8	12.7	0	4.2	13.4	22.2	30.9	-7.9	-12.1	-20.3	-28.2	-32.3	-2.32
5 1.2m		-29.0	-25.9	-16.2		25.0	16.1	0		6.1	18.9	31.3		-10.6	-16.2	-26.9	-32.3	-2.13	
2 1.8m		-29.0		-21.8		21.8		0		10.8		32.6		-16.2		-24.2		-32.3	-2.03

1) 직선형 상현재

6번과 7번과 같이 블록형의 하현재와 조합되면 전체의 입면형은 중앙부에서 깊이가 감소된 형태가 되며, 반면에 8, 9번과 같이 오목형의 하현재를 가지면 중앙부 깊이가 증가하게 된다.

따라서 Table 5에 나타낸 바와 같이, 5번 기본형과 비교하였을 때 6번과 7번 트러스는 중앙부의 현재와 사재의 부재력증가 양상을 볼 수 있다. 반면에 오목형과 결합된 8번과 9번의 경우는 중앙부에서 깊이를 확보한 경우로, 5번과 비교하였을 때 압축부의 부재력이 부재 전 길이 걸쳐 균등해지며 하현재의 인장역할이 커지고 웨브재의 부재력이 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 처짐 또한 가장 감소한다. 이것은 8번의 형태가 단순보의 모멘트도를 그대로 따르는 연력도형이기 때문이라고 여겨진다. 9번의 경우는 크기는 8번과 유사하지만, 웨브재의 인장압축이 바뀌면서 상하현재의 역할이 커지는 것을 보인다.

<Table 4>Truss member forces with the variation of depth

No.	Diagram	Member force (Max.KN)				D (mm) Cen.
		Top	Bot.	Dia.	Ver.	
3 H1		-57.8	51.4	41.7	-26.9	-3.9
4 H1.5		-38.6	34.4	34.4	-26.9	-2.5
5 H2		-29.0	25.0	31.3	-26.9	-2.13

2) 블록산형 상현재

이 입면형은 흔히 산형트러스(Pitched truss, Mountain shaped truss)로 불리는 타입인데, 10번에서 보는 바와 같이 프랫트러스는 상현재가 산형

<Table 5> Truss member forces with the variation of chord profiles(1)

No.	Diagram	Member force (Max. Right side, KN)											D (mm)	
		Top			Bot.			Dia.			Ver.			
5		-29	-26	-16	25	16	0	31	19	6	-16	-27	-32	-2.13
6		-58	-39	-19	40	20	0	25	29	33	-27	-33	-32	-4.25
7		-58	-47	-23	47	24	0	15	28	35	-20	-33	-32	-4.52
8		-29	-28	-26	29	28	37	1	5	-	-12	-15	-	-1.68
9		-29	-39	-47	44	53	53	-19	-12	-	5	0	-	-3.1

이 되면서 경사재가 압축이 되고 수직재가 인장재로 변화한다. 이 경우 트러스의 원리는 2절의 Fig. 2로 이해될 수 있을 것이다. 그러나 이같은 웨브재의 거동변화로 인해 10번 유형을 하우트러스로 명시하고 있는 자료도 있으며⁶⁾, 여전히 프랫트러스로 부르며 인장과 압축거동을 오해하고 있는 자료도 흔히 볼 수 있다⁷⁾. 트러스 원리의 입각하여 용어정리 또한 필요할 것으로 본다.

또한 산형트러스는 기본적으로 중앙부에서 깊이를 가지고 있으면서 단부로 가면서 줄어드는 단면형을 가지고 있으므로 상하현재는 1~9까지의 트러스와 달리 중앙부가 아닌 단부에서 부재력이 크게 요구된다. Table 6에 나타낸 바와 같이 다양한 하현재와 조합된 경우, 11번과 12번은 중앙부 단면감소로 인해 처짐도 증가하고 상하현재 부재력과 중앙부 수직재의 인장력이 증대된다. 11번 트러스의 경우가 시저스트러스(Scissors truss)로 알려진 트러스의 거동이다. 13번과 14번의 경우에는 중앙부 깊이가 증대되는 조합으로 처짐감소와 부재력감소를 볼 수 있는데, 특히 13번의 경우에는 연력도형과 산형

의 조합으로 웨브재의 인장압축 양상에 변화가 오며, 역시 웨브재의 부재력이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다.

<Table 6> Truss member forces with the variation of chord profiles(2)

No.	Diagram	Member force (Max. Right side, KN)										D (mm)	
		Top			Bot.			Dia.		Ver.			
10		-36	-48	-58	43	52	52	-15	-10	21	5	0	-3.5
11		-67	-88	-98	80	89	89	-20	-8	54	4	0	-12.6
12		-45	-67	-89	59	78	79	-24	-18	33	13	5	-8.3
13		-30	-34	-35	33	35	38	-7	-2	5	-4	-9	-1.7
14		-30	-40	-49	40	49	49	-17	-11	5	5	0	-2.7

3) 블록곡선 상현재

Table 8에서는 아치형의 입면형을 가지며 보우트러스(bow truss)라 불리는 기본형에서 변형된 모델들을 비교분석하였다. 블록곡선은 아치형으로서 압축부에 활용되었을 때 연력도형과 일치하게 된다. 따라서 Table 7에서 보이는 트러스의 부재력들은 유사한 타입의 다른 트러스에 비해 부재력이 적고 처짐이 적은 양상을 보인다. 특히 서스펜션아치(Suspension-arch)라고도 불리는 타입에 해당하는 18번의 경우는 인장과 압축의 양현재가 모두 연력도형을 띠고 있는 것으로서 가장 균일하고 적은 힘의

<Table 7> Truss member forces with the variation of chord profiles(3)

No.	Diagram	Member force (Max. Right side, KN)										D (mm)	
		Top			Bot.			Dia.		Ver.			
15		-29	-31	-35	28	24	24	1	7	-2	-4	-1	-1.9
16		-57	-48	-47	45	32	32	15	15	6	-10	-1	-4.86
17		-57	-60	-60	55	43	45	3	15	6	4	4	-6.68
18		-29	-29	-30	29	29	30	0.2	3	-6	-6	-7	-1.4
19		-29	-34	-38	34	36	36	-7	-2	-6	1	0	-1.7

흐름을 보여준다. 또한 크레상 트러스(Crescent truss)라고도 불리는 17번의 트러스는 연력도형 상

하현재의 조합으로 인해 모두 인장제인 웨브재와 하현재의 구성을 보인다.

4) 오목곡선 상현재

Table 8에서는 오목곡선을 상현재로 하는 트러스에 대하여 비교분석하였다. 오목곡선은 상현재로 쓰였을 때 연력도형의 역전형이 되고 중앙부에서 깊이 감소를 가져오게 된다. 따라서 20번의 경우, 동일한 깊이감소를 보이는 7번 트러스와 부재력 패턴이 유사함을 알 수 있다. 특히 21번과 22번의 경우와 같이 블록형의 하현재와 결합하면 중앙부의 깊이가 극단적으로 감소하기 때문에 단순지지의 경우에는 적합하지 않다.

5번 기본형의 거동과 비교하였을 때 입면형의 변화조합으로 단부가 줄어드는 형태를 보였을 경우(8~19, 23, 24) 전반적으로 부재력은 전 구간을 거쳐 고르게 분포되고 웨브재의 부담이 줄어드는 양상을 가진다. 하현재가 블록형인 경우는 트러스의 깊이가 감소하는 만큼 현재의 부재력이 증가되지만, 산형이나 연력도형의 상현재와 조합된 경우(11, 12, 16, 17, 23) 전 구간에서 비교적 고른 힘의 분배를 보이고, 웨브재의 부재력이 줄어든다. 근본적으로 블록형 하현재를 사용하는 것이 내부공간의 체적 증가를 가져오는 것을 생각할 때 대공간 구조에서 이점이 있는 것으로 생각된다.

<Table 8> Truss member forces with the variation of chord profiles(4)

No.	Diagram	Member force (Max. Right side, KN)										D (mm)		
		Top			Bot.			Dia.		Ver.				
20		-59	-49	-26	47	23	0	15	38	45	-21	-29	-39	-5.3
21		-250	-99	-30	98	28	0	160	83	47	-28	-83	-47	-52.1
22		-234	-146	-38	143	36	0	94	124	55	-35	-57	-52	-53.9
23		-52	-52	-41	51	42	56	2	17	-	-18	-22	-24	-6.0
24		-39	-60	-77	67	87	87	-32	-23	-	-14	7	0	-8.6

특히 어떠한 조합패턴에서든 상현재 혹은 하현재가 연력도형을 취하는 경우(8, 13, 15~19, 23)에는 부재력이 균등하게 분포하고 웨브재의 부재력이 감소하여 높은 효율을 보이는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

프랫트러스는 단위 현수구조의 원리에서 출발하여 웹경사재가 인장재가 되도록 고안된 트러스이다. 이 프랫트러스를 대상으로 트러스의 디자인 구성요소를 파악하고, 이들 구성요소의 변화에 따른 역학적 특성변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 웹재의 구성, 절점간의 거리, 상하현재 입면형, 상하현재간의 거리, 현재의 2중배열 등을 변화시켜 다양한 트러스 디자인을 고안할 수 있을 것으로 보고 이를 트러스 디자인의 구성요소로 파악하였다.

2) 단순지지의 프랫트러스를 대상으로, 도출한 구성요소의 변화를 적용하여 모델을 결정하고 부재력을 검토한 결과, 절점간의 거리를 감소시켜 상현재의 좌굴길이를 감소시키고 부재력을 세분화시킬 수 있음을 파악하였다. 그리고 상하현재간의 거리가 증가함에 따라서 상하현재와 경사재의 부재력이 감소함을 파악하였다.

3) 상하현재의 입면형을 크게 평행형과 볼록산형, 볼록곡선형, 오목곡선형, 오목산형으로 설정하여 이를 조합구성한 트러스모델의 역학적 특성을 조사하였다. 다양한 입면형의 조합은 트러스 전체의 상하현재간의 깊이변화를 가져오므로, 중앙부나 단부에서 입면형의 깊이변화에 따른 다양한 부재력 변화가 관찰되었다.

중앙부 상하현재와 단부 웹재에서 부재력이 크게 나타나는 단순지지 트러스의 거동은 단부에서 깊이가 감소하는 입면형의 경우 전반적으로 균일한 부재력 분포를 보이고, 연력도형을 취하는 현재와 조합되는 경우 전반적으로 적은 부재력으로 저항이 가능해지는 패턴을 보였다.

상하현재의 입면형 변화에 따라 웹재의 거동패턴 또한 변화하는데, 조합된 모델 중에는 왕대공트러스와 같이 경사재가 압축거동으로 변화되어 기본 프랫트러스의 정의에 해당되지 않는 구성 또한 파악되었다.

높은 구조적 효율성 때문에 대공간에서 다수 활용되는 트러스 구조는 구조적 요인 뿐만아니라 여러 가지 건축적 요인도 고려하여 디자인하게 된다. 따라서 탐색된 주요 구성요소들의 조합가능성을 고려하고 이에 따른 역학적 거동특성을 인지한다면 보다

효율적이고 차별화된 트러스 공간디자인을 표현해 낼 수 있을 것이다. 향후 각 디자인 요소에 대한 보다 세부적인 구성변화를 고찰하는 연구를 통해 구조디자인의 실질적 정보체계화를 시도하고자한다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) 이주나, 박찬수, "건축과 구조", 기문당, 2010. pp.211-222.
- 2~4) 藤本盛久 편저, "構造物の技術史", 市ヶ谷出版社, 2003. pp.180-182, pp.354-357, pp.605-636.
- 5) D. L. Schodek, "Structures", Prentice-Hall Inc, 1980.
- 6) F. Moore, "Understanding Structures", Mc Graw-Hill, 1999., p.39.
- 7) F. D. K. Ching 외 2인 저, "Building Structures Illustrated", John Willy & Sons, 2009, p.227.
- 8) Philip Jodidio, "Renzo Piano", Taschen, 2005.
- 9) B. Hilson, "Basic Structural Behaviour", Thomas Telford, 1993.
- 10) 金多潔 저, 김종성 역, "철골구조의 이야기", 탐구문화사, 1997.
- 11) 사이토 마사오, "건축 공간 구조이야기", 기문당, 2005.
- 12) 김광중외 4인, "아치 트러스 및 공간 트러스 구조의 비탄성 비선형 거동해석", 한국공간구조학회 논문집, 2008.10., pp.47-59.
- 13) 한상을, 조남철, "케이블-트러스 복합구조물의 형상최적화에 관한 연구", 한국셀공간구조학회 논문집, 2003.9., pp.75-83.
- 14) 이주나, "국내 대공간 건축의 발달과정과 건립특성에 관한 연구", 한국공간구조학회논문집, 2009. 6., pp.65-76.

(접 수 일 자 : 2013년 02월 07일)
 (심사완료일자 : 2013년 05월 08일)
 (게재확정일자 : 2013년 05월 22일)