스페이스 프레임의 소개 및 시공사례

The Introduction & Construction Case of the Space Frame

엄 정 효* 조 승 현* ○ 강 기 석* 김 기 문* 김 창 덕**
Um, Jeong-Hyo Cho, Seung-Hyun Kang, Ki-Suk Kim, Ki-Moon Kim, Chang-Duk

요 약

국내 건설 산업에 있어 공항시설, 체육시설, 집회시설, 판매시설 등에 대한 수요가 증가하면서 무주대공간의 필요성이 증가되고 있는 추세이다. 무주대공간 구축에 있어 기존의 PEB(Pre-Engineered Building)구조나 Pipe Truss구조는 span이 커짐에 따라 철재중량이 급격히 증대되고 장스판에는 적용이 어려운 구조적 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하는 구조방법 중 하나로 Space Frame이 고려되고 있으나 아직 국내에서는 Space Frame에 대한 연구가 미흡하여 그 활용성이 높지 않은 실정이다. 본 연구에서는 공사비용, 공사기간, 시공성 등에서 여러 장점을 지닌 Space Frame을 소개하고 무주대공간 구축에 있어 Space Frame을 적용한 사례분석을 통하여 Space Frame의 특징을 조사하고자 하였다. 더 나아가 향후 국내 건설업계에 무한한 발전 가능성을 가진 Space frame의 기본적 특성과 다른 구법들과의 비교를 통해 장점을 확인함으로써 Space Frame에 대한 국내연구를 활성화시키고 향후 실무를 담당하는 현장에서 무주대공간으로서의 Space Frame의 활용을 높이고자 한다.

키워드: 무주대공간, Space Frame, PEB, Pipe Truss, 공사비용, 공사기간, 시공성

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 고도의 산업화와 경제 발전에 따라 건물축의 고층화 및 대형화 추세에 있다. 이와 함께 판매·전시시설과 같이 무주대공간을 형성하는 건축 공간이 필요로 하고 있다. 이에 최근 무주대공간 구축에 있어 적극 고려되고 있는 것이 Space Frame으로써 비용절감과 공기단축 차원에서 Space Frame의 중요성은 더욱 증대되고 있다.

해외 건설선진국에서는 Space Frame을 사용하여 무주대공간 구축에 적극적으로 활용하고 있지만 국내 건설 산업에 있어서는 Space Frame에 대한 연구의 미흡과 인식의 부족으로 인하여 Space Frame의 활용이 적다고 할 수 있다.

본 연구에서는 Space Frame의 개념 및 기본적 특징에 대한 고찰을 비롯하여 무주대공간 구축에 사용되는 공법에 대해서 알아보고 그 중 하나인 Space Frame을 적용한 사례분석을 통하여 장단점을 파악해 보고자 한다. 이러한 과정을 통해 스페이스 프레임에 대한 인식을 높이고 국내연구를 활성화시켜 기술력을 확보하는데 목적이 있다.

* 학생회원, 광운대학교 건축공학부 학사과정
** 종신회원, 광운대학교 건축공학부 교수, 공학박사

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 대형무주공간 구축에 사용되는 공법중 한가지인 Space Frame에 대한 시공공법 및 사례에 대해 조사해보았다. 이러한 Space Frame의 사례들은 국내에서는 그에 따른 연구가 아직은 미흡하기에 Space Frame의 연구는 앞으로의 활용을 위해 더욱 증가되어야 할 것이다.

본 연구의 진행 방법은 다음과 같다.

1) Space Frame의 발전 개요를 분석한다.
2) Space Frame의 개념 및 기본적 특징을 고찰한다.
3) Space Frame의 시공 공법을 관찰한다.
4) Space Frame을 적용한 사례들을 수집한다.
5) 무주대공간의 기존 공법과 Space Frame공법의 장단점을 파악한다.
6) 향후 무주대공간 구축에 있어 구조공법 선정시 참고할 수 있는 지표를 제시한다.

2. Space Frame의 소개

2.1 Space Frame의 발전 개요

Space Frame은 1942년에 Mero System이 개발된 이후 체육관, 공연장, 전시장, 공장 등의 장스팬을 요구하는 건물의 지붕 구조체에 가장 널리 사용되고 있다. 그리고 선재들

의 입체구조 배열의 규칙성 및 반복성으로 인해 내부공간의 인테리어 요서로 사용되며, 유리를 지붕 및 벽면 마감재로 하는 아트리움에도 적용되고 있으며, 신속한 조립과 해체를 요구하는 임시가설 건축물 등 다양하고 폭넓게 사용되고 있다.

2.2 Space Frame의 정의

Space Frame은 선형인 부재들을 결합한 것으로, 힘의 흐름을 3차원적으로 전달시킬 수 있도록 구성된 구조시스템이다. Space Frame은 부재가 입체적으로 배치되어 있으므로 부재축력에 의해 전달된 하중이 모든 방향으로 분산되고, 또한 이들 부재가 변형을 서로 구속하므로 내부의 응력은 감소되고 압축과 인장부재의 단면의 감소되어 경량의 구조가 된다. 또한 경량 구조물임에도 불구하고 이 구조의 구성부재가 모든 형태의 하중에 대해 균등하게 저항하기 때문에 충분한 강성을 지니고 있는 구조이다.

2.3 Space Frame의 기본적 특징

Space Frame은 무주대공간 형성이 가능한 구조로 각 부재는 선부재이므로 자재를 효율적으로 이용 가능하며 공장제작이 가능하므로 정확성을 기할 수 있다. 또한 절점에서 연결된 형태는 스페이스 트러스이며 축력만을 전달하며 unit의 기하학적 배열이 구조물의 강성을 결정한다.

표 1. 스페이스 프레임의 장단점

구 분	내 용 정 리
장 점	Space Frame은 구성부재의 경량화와 구성부재가 거의 모든 형태의 하중에 균등하게 저항하므로 충분한 강성을 지니고 제작기술이 공업화되어 있으므로 현장에서의 접합방법이 간단할 뿐만 아니라 형태에 있어서 명쾌하고 규칙적인 패턴은 근대적인 미적 감각과 일치하며 매력있는 조형물이 되는 경우도 있다.
문 제 점	Space Frame은 개개부재의 과잉강도 및 조인트의 복잡성에 따른 생산성의 저하가 올 수 있으며, 서로 대등한 부재의 조합에 의한 구조물을 형성하므로 부재의 오차가 그 후에 조립 되는 부재에 영향을 미치게 되어, 정밀한 시공도를 요함.(1/10mm 오차). 또한, 접합부에서 느슨한 접합으로 인해 전체 변형에 미치는 영향이 커질 수 있으며, 스페이스프레임의 경우 조립과정에서 가설지지대가 필요하게 되며 Space Frame은 가설지지대의 설치에 따른 경제적, 시공적, 문제점이 따르게 될 수 있다

3. Space Frame의 구조 분석

3.1 Space Frame의 구조시스템 요소

(1) 형태(Form): 연속체로 취급할 때의 전체적인 곡면형상을 의미한다.
(2) 배열(Arrangement): 연속곡면을 구성하는 부재 또는 unit의 구성을 의미한다.
(3) 접합(Connection): 부재 또는 unit의 평면적 또는 입체적 결합을 의미한다.

3.2 Space Frame의 구조적 특징

(1) 스페이스 프레임의 지배적인 하중은 고정하중과 풍하중이다.
(2) 구조시스템의 동적인 성질과 하중을 전달하는 체계는 전체적인 기하학적인 형상과 내부구조, 지지상태에 달려 있다.
(3) 개별 부재의 배열과 전체크기에 대한 부재크기의 구성 빈도수는 스페이스 프레임의 하중전달 능력과 강성을 결정하게 된다.

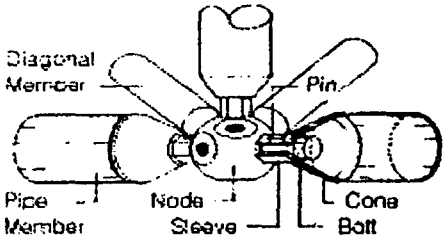


그림 1. 스페이스 프레임 구성 명칭

4. Space Frame의 시공 공법

4.1 Space Frame의 공법의 종류

스페이스 프레임의 조립공법은 다음의 5종류의 공법으로 분류할수 있다.

표 2. 스페이스 프레임의 시공 공법

공 법	내 용
ELEMET	-부재를 한 개씩 또는 unit로 조립한다. -조립의 자유도가 높은 반면 가설 받침대의 비용이 높다. -조건에 따라서는 작업능률이 현저히 떨어지는 경우가 있음으로 주의가 필요하다.
BLOCK	-어느 정도의 크기로 지면에서 조립한 후 들어올려 걸림 후 기중기로 들어올려 건립하는 가장 일반적인 공법이다. -높은 곳에서 작업이 적으며 지상부분의 작업이 많으므로 시공관리가 용의하고 작업능률을 향상시킨다. -블록 조립한 골조를 들어올려 조립한 경우 높은 곳에서도 완전 조립해야될 부분이 많기 때문에 접합이 간단해야 한다.
슬라이딩	-건물의 한부분에 가설 스테이지를 만들어 그 위에서 조립한 후에 순서에 따라 이동시켜 건립하는 공법이다. -조립장소가 최후까지 일정장소에 있기 때문에 기중기의 진입이 한 장소로 충분하고 가설 받침대가 적어도 된다.

표 2. 스페이스 프레임의 시공 공법-계속

공 법	내 용
이동받침대	-가설 스테이지로 이동하면서 건립한다. -스테이지는 이동을 용이하기 위하여 경량의 조립 받침대가 사용된다. -건립시의 레벨 조정등의 무리하지 않도록 가경량 이므로 이동이 용의하고 작업이 단순하다.
LIFT-UP	-가구 전체를 지상에서 조립 후 lift-up하여 건립하는 것이다. -조립작업의 대부분을 지상에서 함으로 작업관리가 쉽고 안전하며 버팀대가 불필요하다. -조립작업을 지상에서 함으로 관리가 용의하고 안전하다.

4.2 Space Frame의 공법선택 시 고려사항

실제 건립에서는 이들 공법을 적절하게 혼합하여 가장 효율적인 공법을 택한다.

(1) 설계상의 조건: 구조체형식, 형상, 규모

(2) 시공상의 조건: 부지의 상태(고저차, 진입로, 송전선 등), 공기, 공사비

(3) 안전, 노무상의 조건: 안전대책, 작업원의 숙련도

5. Space Frame의 적용 사례

Space Frame의 적용한 여러 가지 건축물 중에서 가장최근에 시공한 광주 월드컵 경기장과 지붕의 규모가 100m 이상의 무주공간을 가진 창원자전거경기장을 분석하였다.

표 3. 창원 자전거 경기장 적용사례.1

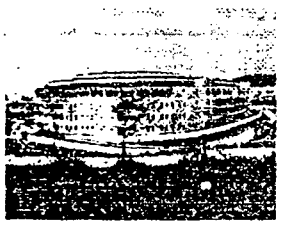
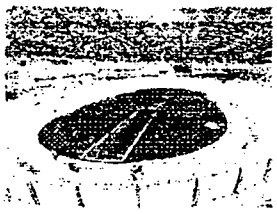
창 원 자 전 거 경 기 장	
	
개요	-면적 : 부지면적 : 50,500㎡ -건축면적 : 24,477㎡ (연면적 41,059㎡, 지상 5층 동형) -사업시행자 : 창원시 -투자규모 : 799억원 (창원시·경상남도 균등부담) -시설규모 : * 관람석 : 6,300석 (수용능력 12,000명) -경주로 : 길이 333.3m, 폭 9.7m, 경사로 4~34' -사업기간 : 1996. 12. 30 ~ 2000. 11. 30
구조	-지붕 규모는 160m, 세로 110.2m의 크기를 가지고 있다 -부재수 4,761개, 1,233개의 절점, 5개의 층으로 구성되어 있다. -본구조물은 국내에서 시공된 최장 SPAN의 Space Frame 지붕구조체이다.

표 4. 광주 월드컵 경기장 적용사례.2

광 주 월 드 컵 경 기 장	
개요	-대지면적 : 327,391㎡(99,035평) -건축면적 : 30,913㎡(9,351평) -연면적 : 87,436㎡(26,449평) -수용규모 : 약 43,000석 -건물규모 : 지상 5층 -형태 : 축구전용경기장 -건설비 : 1,588억원 -공사기간 : 1998.11.16~2002.1.12
구조	-입체모양의 격자 구조인 스페이스 프레임(Space Frame) 지붕형태로 하중분산 시스템을 적용하여 구조 및 시공의 안전성 확보 -스테인리스 지붕 마감재 사용으로 내구성 및 경제성 확보 -지붕 하중을 여러 방향으로 분산할 수 있는 하중분산 시스템을 적용한 스페이스프레임 구조로 절곡이 없는 평면형의 지붕면 형성 -전체의 지붕하중은 메인 아치와 스탠드를 연결하는 트러스로 지지 -중간 기둥이 없는 대공간 연출이 가능하며 경량의 재료만으로 충분한 강성을 유지 -하중은 단위부재의 축력에 의해 전달되며 지붕전체가 하나의 구조체로서 거동

6. 대형 무주공간의 기존 공법과 Space Frame 공법의 장단점 파악

6.1 무주 대공간 구성 방법

특수재료의 개발과 구조재료의 변화는 압축뿐만 아니라 인장에도 효과적으로 저항할 수 있게 됨으로 대형공간을 구성하는 구조형식들이 개발 되었다.

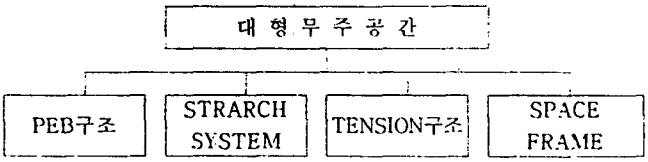


그림 2. 무주대공간의 구성 방법

(1) PEB(Pre-Engineered Building) 구조 : 휨모멘트가 큰 부위는 단면을 증가, 휨모멘트가 작은 부위는 단면을 감소시키는 등 응력분포에 따른 부재의 제작을 통해 강재의 물량을 줄일 수 있는 구조시스템이다.

(2) STRARCH 구조 : 경량 철골 구조로서 휨, 압축 등에 유리한 원형 단면의 파이프로 구성된 지붕 트러

스의 설치 공법으로 아치형 구조물을 직선으로 조립한 뒤 유압잭을 이용, 설계된 모양의 아치형 트러스를 완성시키는 구조시스템이다.

(3) 인장구조(TENSION STRUCTURE) : 힘의 흐름이 면내 인장력을 통해지지 되도록 하는 케이블구조, 막구조 등을 통틀어 말한다.

(4) SPACE FRAME : 스페이스 프레임은 선형인 부재들을 결합한 것으로 힘의 흐름을 3차원적으로 전달시킬 수 있도록 구성된 구조시스템 이다

6.2 기존 PIP Truss와 Space Frame의 장단점 파악

기존의 시공된 PIP Truss의 구조물을 구조, 비용, 중량, 공기, 안전성, 등을 Space Frame과 비교하였다.

표 5. PIP Truss와 Space Frame의 비교

구분	기존 PIP Truss	Space Frame
설 계	-3차원 입체 구조 -수작업에 의한 재래 설계 -장시간 및 많은 인력 투입	-3차원 입체 구조 -COMPUTER 자동 설계 -단시간 및 소수 전문 인력투입
금 액	중량물 및 과다한 자재 투입 100%	경량물 및 3차원 구조 70%
중 량	100%	50%
재 질	SPS PIPE	SPS PIPE
PURIN	TRUSS를 잡아주기 위하여 중량물 투입	전체 TRUSS가 형성되어 경량물 투입
제 작 및 시 공	-수동 절단 용접으로 장기간 소요 -소부재 공장 제작하여 현장 용접에 의존 하므로 품질에 문제가 있으며 도금이 불가능 -중량물이므로 현장 설치시 대형 장비 이용	-CAD/CAM을 이용한 공장 제작 -도금 및 도장 공정이 뛰어남 -SPACE FRAME은 경량 TRUSS로써 경량장비 이용 -현장설치 용이하며 현장용접이 없어 품질면에서 뛰어남
설치기간	100%	50%
안 전	중량물로써 위험요소가 많음	경량물로써 위험요소가 줄어듬
단 점	부재수량이 많아 현장 부재 관리에 중점	특정기능공 시공으로 관리자가 조립부재의 관리 감독의 어려움

출처 한맥중공업

7. 결론 및 향후 과제

본 연구는 대형 무주공간 구축시 사용되는 공법을 소개하고 그중에 한 구조공법인 스페이스 프레임에 시공공법 및 사례에 대해 조사해 보았다. 사례분석을 통해서 스페이스 프레임은 100m 이상의 무주대공간 구축이 가능하며 선형재들의 결합으로 이루어져 철재중량이 감소되며, 계획 설계로 공사기간이 단축되는 장점이 있음을 확인하였다.

무주대공간 구축에 있어 공사비용의 절감과 공사기간의 단축을 도모할 수 있는 스페이스 프레임의 공법을 국내 건설 산업에서 활성화시키기 위해서는 스페이스 프레임에 대한 활발한 연구가 이루어져야 하겠다.

끝으로 귀중한 현장자료를 공개해주신 한맥중공업 김영준 소장님, 황원현 상무님, 동부건설 손성현 팀장님, 오영석 기사님께 진심으로 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 박윤섭(1985), 대공간 지붕구조 및 공기막 구조에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사학위 논문
2. 여동진(1991) 스페이스 프레임에 건축적 특성에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문
3. 조영남(2002), 슬라이딩 공법에 의한 철골 구조물의 건립, 인하대학교 산업대학원 석사학위 논문
4. 한맥중공업, H.M Space Frame
5. 한맥중공업, Pre-Engineered Building Systems & Steel Structure

Abstract

In domestic construction industry, now demand for airport facilities, gymnastic facilities, mass meeting facilities, sales facilities is increasing. Because of this, demand for huge space is also increasing. In making huge space, existing PEB(Pre-Engineered Building) and Pipe Truss, As span is lager and larger, steel weight is increasing and hard to apply for large span. For solving this problem, Many program was proposed, and in that Space Frame was rising. But in domestic construction there are very rare practical use for Space Frame. In this study, we wish to introduce Space Frame that has several advantages in construction expense, construction time, constructibility and also with analyzing example for applying Space Frame, wish to investigate characteristic of Space Frame. Go forward better, through comparison of other different old method and basic character of Space Frame, confirm advantage of Space Frame that have infinite development possibility and revitalize the Space Frame in domestic study and further more wish to raise practical use for Space Frame.

Keywords : Huge Space, Space Frame, PEB, Pipe Truss, Construction cost, Construction Time, Constructibility