

대공간 연성 구조시스템의 종류와 발달과정

The Type and Development for Structure System with Non-rigid Member

이 주 나*
Lee, Juna

박 선 우**
Park, Sun-Woo

박 찬 수***
Park, Chan-Soo

Abstract

The structure systems with non-rigid member were classified by the composition type of line and surface members. As a result of the classification, there are 1-way cable structure, cable net and radial cable net structure in the line member system. And there are pneumatic structure and suspension membrane structure in surface member system. In addition, when the line and surface members are composed together, there is the hybrid membrane system which are divided into hanging type and supported type. In this paper, the Korean terms of structure systems with non-rigid member are recommended through this classification.

In each the structure systems with non-rigid member, the examples were also investigated considering their historical developments. It present that the light weight structure system and the openness of space have pursued with the developments. So largely, cable net structure with membrane, membrane structure and hybrid structure have used in these days.

keywords : Structure system with non-rigid member, 1-way cable structure, Cable net structure, Suspension membrane structure, pneumatic structure, hybrid structure

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

전체 구조형식을 체계적으로 구분하여 적절한 구조시스템의 용어를 사용하는 것은 건축물의 구조체계를 판단하고 구조구성을 이해하는데 있어서 반드시 필요한 일이다. 이제까지의 건축물의 구조는 주로 재료에 의해서 구분되고 불리어진 면이 있다고 할 수 있다. 그러나 건축 실현과정에서 구조를 보다 실질적으로 다루기 위하여는 단순히 재료에 의한 구분보다는 힘의 전달방식의 차이에 따른 구조구성과 구성된 부재의 역

할을 구체적으로 파악할 수 있는 체계적 접근과 분류 및 용어인식이 필요하다. 이것은 특별히 다양한 구조의 구법을 건축계획에 반영하고자 하는 구조디자인의 측면에서는 필수적이라고 할 수 있다.

더욱이 강성이 없는 케이블과 막같은 연성부재를 이용하는 구조의 경우는 그 구법이 일반적이지 못하고 관점에 따라 구조부재의 역할을 다르게 파악할 수 있어, 구조시스템의 용어부터 일관되지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 연성부재를 이용하여 구조를 구성하는 연성 구조시스템의 종류를 살펴 체계적으로 분류하고 용어를 명확히 하고자 한다. 연성 구조시스템의 명칭들은 연성부재의 구성방식을 쉽게 파악할 수 있도록 고안하고자 한다.

* 정희원 · 배재대 건축학과 겸임교수, 공학박사

**정희원 · 한국예술종합학교 미술원 건축과 교수, 공학박사

***정희원 · 충북대 건축공학과 교수, 공학박사

그리고 분류된 각 연성 구조시스템 사례를 정리하여 봄으로서 연성구조가 발달해온 과정을 살펴보고자 한다. 여러 시스템의 발달과정을 통해 기존의 연성구조의 건축적용방식들과 향후 연성구조물의 새로운 활용방향을 탐색하여, 다양한 연성구조디자인을 건축계획에 반영할 수 있게 하고자 한다.

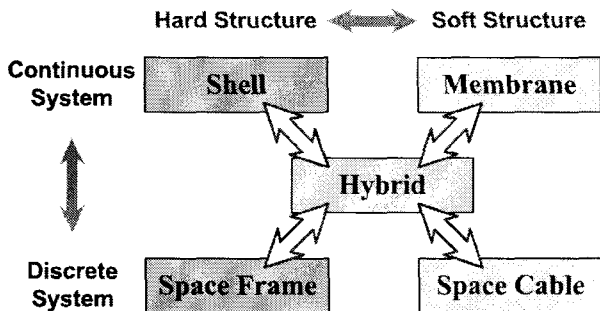
1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서 구조시스템은 단일공간을 설정하며 힘을 양지점으로 전달하는 수평구조시스템으로, 이를 연구에서 고려하는 기본적인 구조시스템의 단위로 하였다. 이러한 수평구조시스템에서 연성재를 사용하는 구조시스템의 범위를 결정하고 연성 구조시스템을 정의하고자 한다.

또한 연성 구조시스템으로 고려될 수 있는 다양한 구조시스템을 조사하여 분류하고자 한다. 분류에 있어 구조시스템의 원리를 파악하고 디자인에 효과적으로 이용될 수 있도록 부재구성의 조합방식에 따라 분류하고자 한다.

또한 연성 구조시스템이 사용된 기존의 사례들을 발전과정을 참고하여 조사하고자 한다. 사례들은 19세기 후반이후 즉, 근대에서 현대까지 건축물에서 나타난 예를 대상으로 하여 조사하였다.

2. 연성 구조시스템의 정의



〈그림 1〉 대공간 구조시스템의 분류

대공간을 형성하는 구조시스템은 부재에 발생하는 응력을 최소화하는 것이 무엇보다도 요구되기 때문에 대공간 구조시스템에는 위 그림1과 같이 응력효율이 뛰어난 구조시스템들이 주로 사용된다고 볼 수 있다.

대표적으로 구조시스템에 사용되는 부재에는 강성재와 연성재가 있다고 할 수 있는 데, 이중 연성재는 압축강성이 없어 자중에 의해서도 좌굴되는 막이나 케이블과 같은 부재이다.

이들 연성재는 유일하게 인장응력을 발휘할 수 있어 구조응력이 높으면서도 단면이 적게 들고 구조를 가볍게 하여 구조효율이 높은 효과적인 대공간 구조재라고 할 수 있다. 또한 자유로운 형태를 구성할 수 있어서 창의적인 형태로 건축에 아름다움을 더하고 있다. 그러나 고정된 형태를 이루는 것이 아니라 하중에 따라 형태가 변화하여 안정성이 부족한 것이 구조구성에 있어 어려움을 주고 고도의 기술을 요구하여 시공성이나 경제성 면에서 해결해야 할 문제를 가져오는 구조재이기도 하다. 이와 같이 연성재는 여러 장단점을 가지고 있고, 연성재의 특성상 구조의 구법에 따라 전체 건축물의 형태와 공간구성이 좌우되는 특성을 가지기 때문에 건축물에서 연성 구조시스템이 보다 구체적으로 연구되어야 할 필요성을 가진다고 본다.

따라서 본 연구에서는 연성재를 주 구조부재로 하여 전체 구조시스템의 하중 전달체계가 하중의 변화에 따라 형태가 변화할 수 있는 구조시스템을 연성 구조시스템이라 정의하고자 한다.


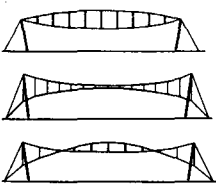









3. 연성 구조시스템의 분류

우선 양측의 수직부재로 하중을 전달하는 수평구조시스템 안에서 연성재를 이용하여 구조를 이루는 구조시스템을 분류하면 표1과 같다. 구조시스템은 연성부재의 구성을 체계적으로 파악하고 활용할 수 있도록 분류되었고, 각 구조시스템의 구성방식을 인식할 수 있는 용어로 구조시스

템 명칭을 선정하여 나타내었다.

연성 구조시스템의 분류는 기본적으로 선재와 면재로 구분되는 구조부재의 구성에 따라 구분되어졌다. 사용되는 부재구성방식을 기준으로 분류함으로써 연성 구조시스템의 구성을 이해하고 각 구조시스템에서 부재의 역할을 체계적으로 파악할 수 있게 한 것이다. 따라서 가장 기본적으로 선재와 면재, 그리고 이 선재와 면재가 복합적으로 사용되어 주 구조체를 이루는 방식이 있다고 보았다.

〈표 1〉 연성 구조시스템의 분류체계

부재구성	구조시스템 명칭	세부구성과 구성 예	
선재	일축방향 일방향 케이블구조	단층	
		복층	
	다축방향 격자형 케이블구조	단층	
		복층	
	방사형 케이블구조	단층	
		복층	
면재	공기막구조	단일막	
		이중막	
	현수막구조	단일막	
선재 + 면재	하이브리드형 막구조	달림형	
		들림형	

선재의 경우는 힘의 전달방향에 따라 다양한 구조시스템이 나타나게 되므로 힘의 전달방향에 따라 일축방향과 다축방향으로 세부 분류하였다. 케이블로 대표되는 선재를 일방향으로 사용한 구조방식은 현수교 등에서 그 전형적인 구조예를 볼 수 있는데 이를 일방향 케이블구조라 하였다. 또한 다축방향의 경우는 흔히 케이블을 격자로 배열하여 힘을 전달하는 격자형 케이블구조와 케이블을 방사형으로 배열하는 방사형 케이블구조가 있다. 각 구조시스템에는 단층형과 복층형의 구성을 볼 수 있다.

면재의 장력을 이용하여 하중을 전이하는 시스템은 면재이기 때문에 힘의 전달에 방향성을 특별히 인식하여야 할 필요성이 없어진다. 대신에 막에 장력을 주는 방식이 크게 공기를 이용한 방식과 증력에 대항하여 당기는 방식으로 구분된다. 따라서 공기막구조와 지지점사이에서 당겨지는 막의 장력에 의하여 구조를 이루고 있는 현수막구조로 나누어 볼 수 있다. 공기막구조의 경우는 단일막방식과 이중막방식이 있다. 현수막구조는 단일막방식만이 존재한다고 할 수 있다.

흔히, 막구조에 대하여 언급할 때, 골조막구조라는 용어가 사용되어 막을 마감재로 사용하는 구조와 현수막구조가 구별되기도 한다. 그러나 골조막구조는 현수막구조의 구조원리와 구성이 골조의 일부 마감에 사용된 예에 해당한다고 볼 수 있다. 흔히 골조막구조라고 불리는 구조는 마감재인 막재의 파손이나 제거로 인해 건물전체의 안정성이나 구성에 영향을 미치지 않는다. 그러므로 연성 구조시스템이라 할 수 없다.

또한 구조시스템에서 현수막구조와 골조막구조를 구분하는 것은 구조물에서 사용된 막을 마감재로 볼 것인지, 구조재로 볼 것인지를 막의 크기에 따라 구별하는 등, 관찰자에 따라 구분이 혼동되고 마땅히 제시할 기준도 가지고 있지 못하다. 그것은 골조막이라는 용어가 마감으로 사용된 막의 재료적 특징만을 언급하는 것으로, 마감으로 사용된 막의 구조적 특성이 현수막구조와 다르지 않으며, 실은 구조전체의 힘의 전달방

식은 다른 강성구조체와 같기 때문이다. 즉, 골조막구조라는 용어는 철골트러스구조나, 샌드위치판넬마감구조 등과 같이 재료를 인식하는 구조용어이지 연성구조자체의 힘의 전달방식을 구분하고 인식하는 용어라 할 수 없다.

주 구조체와 바닥구조, 또는 지붕이나 마감구조 등이 복합적으로 이루어내는 건축구조에서 구조시스템으로 그 구성을 파악하고자 할 때, 마감재료의 구성방식을 전체 구조시스템으로 인식하여 구분하는 것은 일반적인 방식도 아니며 바람직하지 못하다고 생각한다.

우리가 막구조 디자인에 있어 관심을 기울이는 것은 막의 지점과 정착방식을 달리함으로써 곡면이 이루는 형태변화를 얻어내는 방식과 원리에 관해서라고 할 수 있다. 그 구조원리 및 체계는 현수막구조로 설명될 수 있으며, 기존의 골조막구조는 주 골조에 따라 강성구조시스템으로 파악하고 마감재부분에 현수막을 이용한 예라고 보아야 할 것이다.

그리고 또한가지 면재와 선재를 복합적으로 사용하여 구조를 구성하는 방식이 있다. 이것을 하이브리드형 막구조라고 하였다. 이 구조에는 막을 케이블을 이용하여 상부지점으로 매달은 달림형 방식과 하부에서 짧은 압축재를 이용하여 들어올린 들림형이 있다고 하겠다.

4. 연성 구조시스템의 발달과정

분류를 통하여 보여진 각 연성구조시스템의 실제 적용사례를 19세기 말 이후 근대건축에 사용된 발달과정에 따라 살펴보고자 한다. 이는 구조시스템의 구성원리를 동일하게 가지면서도 몇 가지 세부구성방식에서 변화를 가지며 다양하게 나타나는 연성구조의 디자인 방식을 고찰하기 위한 것이다. 따라서 실제 건축물에 적용가능성을 파악하고 현대 및 향후 연성구조시스템의 전개가능성 또한 고찰하고자 하는 목적을 가진다.

4.1 선재 연성구조시스템

4.1.1 일방향 케이블구조

일방향 케이블구조는 케이블과 같은 연성선재를 한 방향으로 걸어 양지점사이의 하중을 인장 응력으로 전달하는 구조방식이다. 주 스패를 따라 케이블을 배치하면 등분포하중이 작용하고 부재는 현수곡선을 이룬다. 사례를 표2에서 나타내었다.










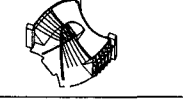



밧줄을 이용하여 원시시대부터 사용되었던 기본적인 구조개념이라고 할 수 있다. 19세기부터 나타났던 대규모의 현수교에서 이 개념이 사용되었고 건축으로 건너와 초기에는 건물과 건물 사이를 연결하고 덮어 거대공간을 이루는 용도로 사용되었다.¹⁾ 19세기 후반에는 여러 건축물의 계획안에서 그 사례가 나타나며 임시 박람회용 건축물인 1865년 드레스덴 음악홀(Dresden auditorium)에서 사용된 예가 있다. 구조재료가 발달되어 오면서 연성구조가 초기부터 발달해 온 형식이 이 일방향 케이블구조라고 할 수 있다.

영구적인 대형 현대건축물에서 사용된 예로는 1964년의 덜레스 공항(Dulles Airport)과 부르고 종이공장(Burgo Paper Mill), 동경실내체육관(Tokyo gymnasium) 등으로부터 시작되어 다수 사용되기 시작하였다고 본다. 특히 1960년대와 1970년대에 집중적으로 사용되었고, 표3에서와 같이 1959년 David Jawerth나 1965년 Lev Zetlin 등에 의하여 개발된 복층형의 케이블구조 사례들도 이 시기에 집중적으로 나타난다.

그러나 1970년대 이후 막재가 발달되면서 사례가 많이 보이지 않으며 현대에는 상징적인 형태효과를 부각시킨 사례 일부를 볼 수 있다.

1) J. B. Harris, K. Pui-k Li, "Masted Structures in Architecture", Butterworth Architecture, 1996.
1835년 Lorient Ship Mast Factory 건물 사이의 44m 공간에 지붕을 씌움,
1885년 Marshall Field Wholesale Store in Chicago 44m 공간 지붕설치.

〈표 2〉 일방향 케이블구조의 사례(단층)

건 물 명	건물형상	스팬 (m)	용도	소재지	건립 년도
Dresden auditorium		40	임시 음악홀	드레스덴, 독일	1865
Cherbourg hangar		60	격납고	셀부르, 프랑스	1921
Dulles airport		49	공항	워싱턴, 미국	1964
Bremen city center		100	집회 시설	브레멘, 독일	1964
Tokyo gymnasium		124	체육 시설	동경, 일본	1964
Burgo paper mill		163	공장	만투아, 이탈리아	1964
Mexico Olympic swimming pool		120	체육 시설	멕시코 시티, 멕시코	1968
John Deere building		43	공장	메릴랜드, 미국	1968
Fiumicino airport Riccardo's hangar		76	창고	로마, 이탈리아	1969
Indiana uni. event hall		70	체육 시설	인디애나, 미국	1969
Frankfurt airport hangar		134	격납고	프랑크푸르트, 독일	1969
Karlsruhe stadium		69	체육 시설	칼스루헤, 독일	1983
Memmingen ice rink		56	체육 시설	메밍엔, 독일	1987
Salt Lake city stadium		93	체육 시설	유타, 미국	2000

〈표 3〉 일방향 케이블구조의 사례(복층)

건 물 명	건물형상	스팬 (m)	용도	소재지	건립 년도
Omnibus Reparatur Halle		50	공장	베를린, 독일	1959
Johanneshov stadium		83	체육 시설	스톡홀름 스웨덴	1965
Mexico Olympic stadium		65	체육 시설	멕시코 시티, 멕시코	1968
Billingham ice rink		60	체육 시설	빌링햄, 독일	1969
Schiphol Transit Store		77	상업 시설	스키폴, 네덜란드	1969

4.1.2 격자형 케이블구조







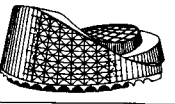
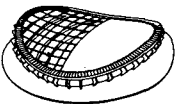






유연한 케이블을 사용하여 인장응력을 여러방향으로 분산 전달하는 시스템중 케이블을 직교시켜 하중을 전달하는 시스템이다. 케이블 넷(Cable Net)시스템으로도 알려져 있다.

이 시스템으로 이루어진 건물 중 최초의 중요한 건물로 인정받는 것은 1896년 니즈니 노브고드 박람회의 러시아 산업관(Niznij- Novgorod exhibition)이다.²⁾ 영구적인 현대건축물의 최초 예는 1953년 놀스캐롤라이나 롤리 박람회장(Raleigh Fair arena)으로, 이것은 연성구조물에서 기념비적인 의미를 가진 건축물이라 할 수 있다.

표4에서 사례를 보인 바와 같이 이후 이 시스템은 전형적인 연성구조방식으로 현재까지 고른 분포를 보이고 있다. 초기에는 케이블위의 마감재가 콘크리트 등의 중량재였으나, 최근에는 막재와 함께 사용되어 경량구조를 주로 추구하고 있으며 구조구법상 원형에 가까운 중심성이 있는 공간을 구성하기 때문에 주로 체육관이나 박람회장 등의 대공간구조에서 개방적인 공간을 이루고 있다.

2) C. Wilkinson, "Supersheds", Butterworth Architecture, 1991, p.102.

〈표 4〉 격자형 케이블구조의 사례

건물명	건물형상	스팬 (m)	용도	소재지	건립년도
Niznij-Novgord exhibition		21	박람회장	니즈니-노브고드, 러시아	1896
Raleigh Fair arena		91	체육시설	놀스캐롤라이나, 미국	1953
Yale uni. hockey rink		73	체육시설	코네티컷, 미국	1956
Kagawa stadium		82	체육시설	카가와, 일본	1965
Arizona State coliseum		128	집회장	아리조나, 미국	1965
67Expo German pavilion		약 45	박람회장	몬트리올, 캐나다	1967
El Paso event hall		42	문화시설	일패소, 멕시코	1972
Milan sport hall		137	체육시설	밀라노, 이탈리아	1973
Calgary stadium		137	체육시설	캘거리, 캐나다	1988
Munich ice rink		104	체육시설	뮌헨, 독일	1982
Lindsay park sports center		120	체육시설	캘거리, 캐나다	1984
Hakuy Ryou dome		45	체육시설	히로시마, 일본	1993
Osaka pool		60	체육시설	오사카, 일본	1996
Myao Li arena		82.5	체육시설	마이에오리, 대만	2000

4.1.3 방사형 케이블구조

연성체인 케이블을 방사방향으로 걸어 힘을 전달하는 구조시스템이다. 접시(Dish)구조로 불리기도 하는데 본 연구에서는 방사형 케이블구조라 하였다.

초기의 예는 1935년의 유고슬라비아 자그라브 박람회의 프랑스관(Zagrab Expo France pavilion)이라 할 수 있다.³⁾ 1950년대부터 1960년대 말 사이에 집중적으로 사용된 예를 볼 수 있다. 주로 박람회장으로 쓰였고, 대형공간을 가진다. 사례를 표5에서 나타내었다.

1960년대 말경 집중적으로 나타나던 이 구조시스템은 1970년대 막재가 다수 사용됨에 따라 사례가 보이지 않고 있다. 안정성확보가 경량으로 이루어지기 어려워서 케이블위에 여러 중량의 구조를 매달거나 콘크리트 판넬을 덮는 방식을 사용하여 개방적인 공간을 제공하지 못했고, 구조적으로도 잇점이 적은 구조방식이다. 또한 오목한 중심을 가지기 때문에 생기는 배수문제 등으로 인해 사용이 원활치 않은 것으로 보인다. 경량구조가 선호되는 특성상 1970년대 이후로 사례를 흔히 볼 수 없는 것으로 생각된다.

4.2 면재 연성구조시스템

4.2.1 공기막 구조

공기막구조의 방식은 크게 공기지지방식과 공기팽창방식이 있어서, 가압과 감압을 이용하여 막의 장력을 이끌어 건축구조를 형성하게 된다.








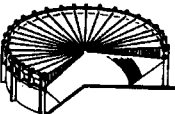


공기막구조는 기구의 원리를 이용하여 1950년대 군사용 시설(레이더 돔)에서부터 실현되어졌다.⁴⁾ 건축에서 시작된 최초의 예는 1970년 오사카 박람회의 미국관('70 Expo U.S. pavilion)으로, 이후 다수의 건축물이 공기지지방식인 단일막구조로 이루어지고 있다. 사례를 표6에 나타내었다.

대표적인 경량 대공간 구성방식으로 최근에는














3) C. Wilkinson, 앞책, p.102.

4) C. Wilkinson, 앞책, pp.108~109.

〈표 5〉 방사형 케이블구조의 사례

건물명	건물형상	스팬 (m)	용도	소재지	건립년도
Zagreb Expo France pavilion		36	박람회장	자그라브, 유고슬라비아	1935
Montevideo stadium		93	체육시설	몬테비디오, 우루과이	1957
Brussels Fair U.S. pavilion		100	박람회장	브뤼셀, 벨기에	1958
Villita Assembly hall		40	집회시설	텍사스, 미국	1961
Oakland Alameda coliseum		128	체육시설	오클랜드, 미국	1966
Madison Square Garden		123	집회시설	뉴욕, 미국	1967
Inglewood stadium		124	체육시설	캘리포니아, 미국	1967
Industrie halle		56.6	집회시설	작센, 독일	1969
Stadthalle der Freundschaft		60	체육시설	튀링겐, 독일	1969
Utica civic auditorium		73	집회시설	뉴욕, 미국	1959
Jubillaeum sports hall		93	체육시설	레닌 그라드, 러시아	1969
Sports palace		102	체육시설	바쿠, 러시아	1969
Salt palace		109	체육시설	유타, 미국	1969
Multipurpose hall		160	집회시설	레닌 그라드, 러시아	1969
Hamton Road coliseum		97	체육시설	버지니아, 미국	1971

〈표 6〉 공기막구조의 사례

건물명	건물형상	스팬 (m)	용도	소재지	건립년도
Osaka 70 Expo U.S. pavilion		138	박람회장	오사카, 일본	1970
Milligan uni. field house		65	집회시설	테네시, 미국	1974
Santa Clara Uni. Leavey center		102	집회시설	캘리포니아, 미국	1974
Uni-dome		130	체육시설	아이오와, 미국	1975
Silver dome		228	집회시설	미시간, 미국	1975
South Dakota dome		122	집회시설	사우스다코타, 미국	1978
Dalhousie physical education complex		91	체육시설	노바스코티아, 캐나다	1979
Carrier dome		183	집회시설	뉴욕, 미국	1979
Stephan C.O. Cornell center		136	집회시설	플로리다, 미국	1980
Sundome uni. of Florida		145	집회시설	플로리다, 미국	1980
Metro dome		227	집회시설	미네소타, 미국	1982
Vancouver stadium		232	집회시설	밴쿠버, 캐나다	1982
The Hoosier stadium		120	집회시설	인디애나, 미국	1984
Kajima stadium		33	집회시설	지바, 일본	1985
Tokyo dome		200	체육시설	동경, 일본	1988
The Roman arena		57	체육시설	남프랑스	1989
Kumamoto dome		128	체육시설	구마모토, 일본	1997

케이블과 함께 사용하여 이중막 공기주입식의 구조 등 여러 방식으로 발달하여 사용되는 예를 볼 수 있다.

4.2.2 현수막 구조

현수막구조는 지지점을 두고 막의 당김력이 발생하게 하여 구조를 이루는 방식으로 원시시대부터 텐트 등의 형식으로 발달해 온 구조시스템이다. 현대건축에서 사용된 대형건축물의 초기 예로는 1970년 오사카 엑스포의 일본 오토모바일 산업관(Japan automobile industry pavilion)이나 1974년 엑스포 미국관('74 Expo U.S. pavilion)을 들 수 있는데, 막재가 원활히 사용된 1970년대 이후부터 가설건축물이나 시설물에서 실험적으로 사용되기 시작하면서 점차로 발달하였다고 본다.



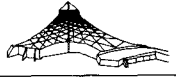






영구적인 건축물에 사용된 최초의 예로는 1973년 미국의 라 베른대학의 학생관(La Verne college student hall)이 있다. 표7에서 나타낸 사례는 적은 규모의 마감재로 사용된 것을 제외하고 주로 한정된 공간을 가지는 건축물에 사용된 것을 나타내었다. 막구조는 현대에 와서 매우 다수의 건축물에서 일부 혹은 전체의 지붕구조로 사용되고 있으며, 점차로 조형적인 효과가 부각되고 공간에 투명한 개방감을 주고자 하는 의도로 여러 용도에서 사용되고 있는 것을 볼 수 있다.

4.3 면재와 선재의 복합 연성구조시스템

4.3.1 하이브리드형 막구조

면재인 막과 선재인 케이블이 함께 하나의 구조시스템을 이루는 방식으로 매우 효과적인 경량구조이며 기술적 난이도를 가진 구조형식이라 할 수 있다. 이 방식은 막을 상부에서 당기는 달림형과 하부에서 압축재를 이용하여 들어올리는 들림형으로 구분하여 볼 수 있는데, 달림형은 외

〈표 7〉 현수막구조의 사례

건물명	건물형상	스팬 (m)	용도	소재지	건립년도
Japan automobile industry pavilion		30	박람회장	오사카, 일본	1970
La Verne college student hall		40	학생회관	캘리포니아, 미국	1973
'74 Expo U.S. pavilion		98	박람회장	워싱턴, 미국	1974
Bullock department		30	상업시설	캘리포니아, 미국	1978
Canada harbour place		52	문화시설	밴쿠버, 캐나다	1985
Diplomatic club		35	문화시설	리아드, 사우디아라비아	1986
M&G Ricerche lab,		40	업무시설	바나프로, 이탈리아	1992
Denver airport		46	교통시설	콜로라도, 미국	1994
Ja-Yi sports gymnasium		57	체육시설	자이, 대만	1996


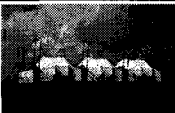

부형태효과가 뛰어나며 들림형은 내부형태효과 및 공간구성효과가 뛰어난 방식이라고 할 수 있다.

1970년대부터 다수 사용되기 시작한 막구조가 1980년대 후반에 이르면서 디자인 요소로 다변화되는 것을 볼 수 있다. 창의적인 디자이너들이 새로운 형태를 추구하고, 기술자들이 구조적 효율을 높이기 위한 새로운 구조형식을 고안함으로써 나타나게 된 구조형식이 하이브리드형 막구조이다. 이들 구조는 현대 건축가들 작품에서 그 사례를 찾아볼 수 있는데, 달림형의 경우를




표8에서 나타내었다. 표9는 들림형의 경우인데 대부분 1980년대 이후에 일부기술자와 건축가의 작품들에서 나타난다.

들림형의 경우중 방사형으로 배치하여 돔형식으로 이루어진 경우가 텐서그리드 돔의 경우로 1988년 서울올림픽 체조경기장에서 처음 사용되어 발전되고 있는 구조형식이다. 이 구조방식은 높은 기술력이 요구되며 다양한 디자인패턴을 보일 수 있어서 현대의 막구조의 주 발전방향이라고 할 수 있다.

〈표 8〉 하이브리드형 막구조의 사례(달림형)

건물명	건물형상	스팬(m)	용도	소재지	건립년도
Jeddah airport		45	공항	제다, 사우디아라비아	1982
Schlumberger research		25	연구소	캠브리지, 영국	1985
Nottingham Amenity building		24	업무시설	노팅햄, 영국	1994

〈표 9〉 하이브리드형 막구조의 사례(들림형)

건물명	건물형상	스팬(m)	용도	소재지	건립년도
Schlumberger headquarter		15	업무시설	파리, 프랑스	1985
Stafford-shire house		9	전시관	런던, 영국	1988
San-diego convention center		91	집회시설	산디에고, 미국	1988

6. 결 론

다양한 연성부재를 이용하는 구조시스템을 고

찰한 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 연성 구조시스템은 연성재를 주 구조부재로 하여 전체 구조시스템이 하중의 변화에 따라 형태가 변화할 수 있는 구조시스템이라 정의하였다.

2) 연성부재 구성방식을 체계적으로 파악할 수 있게 하기 위하여 선재와 면재, 그리고 선재와 면재의 복합으로 이루어진 구조시스템으로 분류하고 세부구성에 따라 세분하였다.

3) 구조시스템은 분류된 바와 같이 구조 구성방식을 파악할 수 있는 명칭으로 불리어지는 것이 바람직하다고 본다. 따라서 논의된 바와 같이 일방향 케이블구조, 격자형 케이블구조, 방사형 케이블구조, 공기막구조, 현수막구조, 하이브리드형 막구조라는 용어를 제외하며 세부구성에 따라 보다 구체적으로 파악되어질 수 있을 것으로 기대한다.

4) 다양한 연성 구조시스템 사례의 역사적 진행과정을 고려하여 보면, 재료의 발전과 더불어 경량구조를 이루려는 의도와 다변화하는 구조디자인의 효과를 요구하는 방향으로 발전되고 있음을 볼 수 있다. 구체적으로, 격자형 케이블구조의 활용이 지속적으로 이루어지고 있으며, 경량이며 개방적인 막재료의 활용이 높아지고, 보다 다양한 디자인효과와 구조효율을 가져오는 하이브리드형의 구조로 발전하고 있음을 알 수 있다.

구조시스템을 구성하는 구조원리와 부재구법을 파악할 수 있는 용어를 결정하고 통일하여 사용하는 것은 연성구조의 이해를 돕고 건축계획에 있어 적용기회를 넓히는 것이라고 생각된다. 차후 보다 적극적인 연성구조의 활용을 위하여 구체적인 설계방법과 디자인방안을 제시할 수 있는 연구가 이어질 것으로 본다.

참고문헌

- 1) 이주나, "건축구조계획을 위한 인장시스템의 특성 및 유형분석", 충북대학교 박사학위논문, 2004.

-
- 2) IASS Journal, "Recent Spatial Structures in Japan", Vol.42, n.1-2, 2001.
 - 3) W. Schueller, "The Design of Building Structures", Prentice-Hall, 1995.
 - 4) C. Wilkinson, "Super Sheds", Butterworth Architecture, 1991.
 - 5) R. Scheuermann et. al., "Tensile Architecture in the Urban Context", Butterworth Architecture, 1996.
 - 6) Kazuo, Ishii, "Membrane Design and Structures in the World", 신건축사, 1999.
 - 7) F. Otto, "Tensile Structures", Prentice-Hall, 1980.