

연성구조시스템의 발달과정과 역사적 특성

The Development and Historical Character for Structure System with Non-rigid Member

이 주 나*

Lee, Ju - Na

박 선 우**

Park, Sun - Woo

박 찬 수***

Park, Chan - Soo

요약

구조시스템은 역사적으로 발달해온 기술적 배경에 따라 건축에 사용되었고, 구조의 역할도 변화되어 왔다. 그러므로 다양한 구법으로 이루어지는 연성구조시스템의 건립사례와 시기에 따라 건립된 규모를 조사함으로써, 여러 연성구조형식의 특성을 고찰하고 연성구조의 전개방향을 모색하였다. 그 결과, 연성구조시스템은 초기에 여러 케이블구조로 발달하기 시작하였으나, 1970년대 이후부터는 막구조가 주로 사용되고 있는 것으로 나타났다. 또한 초기의 케이블 구조시스템들은 대공간 건축에 주로 사용되었으나, 1970년 이후에는 중소규모의 건축물에 사용되는 경향이 있으며, 격자형 케이블구조나 공기막구조, 그리고 돔 형식의 들림형 하이브리드 막구조가 대형공간으로 발달하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

Abstract

Structural systems have a lot of architectural meaning concerning historical context of structural technology. Therefore, surveying constructed examples and their constructed year, the character and development of various formations of structure systems with non-rigid member were investigated. At the result, the early modern structure systems with non-rigid member were made up from the cable structures, then membrane structures have mainly used after 1970's. The early structural systems had intended to make the large scale space, after 1970's, they have been adopted into the smaller scale space structure, and cable net structure, pneumatic structure and dome typed hybrid membrane system tend to compose the larger scale space structure.

키워드 : 연성구조시스템의 역사, 일방향 케이블구조, 격자형 케이블구조, 공기막구조,懸수막구조, 하이브리드 구조

Keywords: History of Structure system with non-rigid member, 1-way cable structure, Cable net structure, Suspension membrane structure, pneumatic structure, hybrid structure.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

대공간창출과 창의적이고 개방적인 공간구성에 용이한 연성구조시스템은 재료의 특성상, 구조재료와 기술의 발달과정 속에서 영구적인 건축물로 정착되어왔다. 또한 연성구조시스템은 다양한 구성방식을 가지고 있어서, 크게 선재인 케이블과 면재인

막을 이용하는 구조로 나누어 볼 수 있고 그 안에서 다양한 구법의 시스템이 있다. 구법이 다른 각 구조형식은 발달과정이 다른 재료와 기술의 배경을 가지고 있기 때문에 다른 역사적 특성을 보이게 되고, 이러한 구조시스템의 특성은 향후 구조디자인의 전개과정에서 고려될 필요가 있다.

그러므로 연성구조의 전개과정을 구법이 다른 연성구조시스템의 형식에 따라 고찰하여 보는 것은 다양한 연성구조의 기술발달에 따른 활용방식과 역사적 특성을 파악하는데 중요한 역할을 할 것이라고 본다.

따라서 본 연구에서는 구성방식에 따라 분류된 연성구조형식에 따라 사례를 조사하고, 이들의 형

* 정회원, 배재대 건축학과 겸임교수, 공학박사

Tel : 043-261-2432, E-mail : juna24@hanmail.net

** 정회원, 한국예술종합학교 미술원 건축과 교수, 공학박사

E-mail : psw@knu.ac.kr

*** 정회원, 충북대 건축공학과 교수, 공학박사

E-mail : cspark@chungbuk.ac.kr

식별 건립과정과 해당시기의 건립규모를 살펴보고 연성구조의 역사적 특성을 고찰하고자 한다. 여러 시스템의 역사적 고찰을 통해 기존의 연성구조의 건축 적용방식들과 향후 연성구조물의 새로운 활용 방향을 탐색하려 하는 것이다.

1.2 연구방법 및 범위

전형적인 연성구조시스템으로 결정된 연성구조 형식을 이용하여 사례를 분류하고 건립시기를 분석함으로써 발전양상을 고찰하고자 한다. 또한 사례를 이용하여, 구조시스템의 건립시기와 규모의 관계를 조사하였다.

사례들은 19세기 후반이후 즉, 근대에서 현대까지 건축물에서 나타난 예를 대상으로 조사하였다. 또한 연성구조시스템이 전체 건축구조에 미치는 영향을 고려하기 위하여, 연성부재를 이용하여 건축물 주 구조시스템을 구성한 사례만을 조사하였다. 예를 들면 막이나 케이블과 같은 연성부재가 강성구조로 된 주 구조시스템위에 마감구조로 사용된 경우 등은 본 연구의 사례에서 제외하였다.

2. 연성 구조시스템의 형식

연성구조시스템은 연성재를 주 구조부재로 하여 전체 구조시스템의 하중 전달체계가 하중의 변화에 따라 형태가 변화할 수 있는 구조시스템이다. 연성구조시스템에는 다양한 형식이 있는데 선재와 면재의 구성방식에 따라 표1과 같은 연성구조형식으로 분류되었다.¹⁾

선재나 면재는 구성에 따라 힘의 전달방식을 다르게 하므로, 이들의 구성방식에 따라 연성구조의 형태와 구법이 달라지게 된다. 따라서 가장 기본적으로 선재로 이루어진 연성구조시스템과 면재로 이루어진 연성구조시스템, 그리고 이 선재와 면재가 복합적으로 사용되어 주 구조체를 이루는 방식이 있다고 보았다. 이를 보다 세부적인 구성방식의 차이에 따라 분류하고 표1과 같이 연성구조시스템의

대표적인 형식을 결정하였다.

〈표 1〉 연성구조시스템의 형식

부재구성방식		구조시스템 명칭 ²⁾	세부 구성방식
선재	일축방향	일방향 케이블구조	단층
			복층
	다축방향	격자형 케이블구조	단층
			복층
면재	공기압방식	공기막구조	단일막
	장력방식	현수막구조	이중막
선재 + 면재	달립형	달립형 하이브리드 막구조	연성지지
			강성지지
	들림형	들림형 하이브리드 막구조	연성지지
			강성지지

3. 연성 구조시스템의 발달과정

다양한 연성구조의 구법이 역사적으로 발전되어 온 과정을 탐색하고 시기에 따라 주로 활용되었던 구조형식과 그 배경을 고찰함으로써 각 연성구조의 특성을 파악하고자한다. 연성재료가 현대적인 재료로 사용되기 시작한 19세기말 이후부터 현대건축에 사용된 실제사례를 건립시기에 따라 표2에서 나타내고 각 형식별로 역사적 발달과정을 고찰하였다.

3.1 일방향 케이블구조

일방향 케이블구조는 연성선재인 케이블을 한 방향으로 걸어 현수곡선으로 구조를 이루는 형식이다. 사례를 표2에서 나타내었다.

밧줄을 이용하여 원시시대부터 사용되었던 기본적인 구조개념이라고 할 수 있다. 19세기부터 나타났던 대규모의 현수교에서 이 개념이 사용되었고 건축으로 건너와 초기에는 건물과 건물사이를 연결하고 덮거나 창고 등의 거대공간을 이루는 용도로 사용되었다. 1835년 Lorient Ship Mast Factory 건물 사이의 44m 공간의 현수지붕이나 1885년 시카

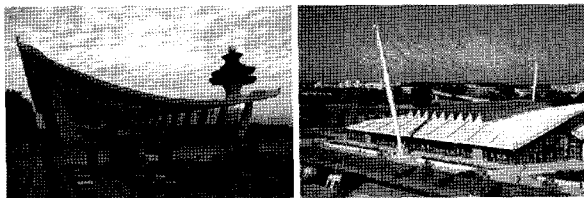
1) 이주나 외 3인, “연성구조시스템의 분류체계와 용어”, 한국셀·공간구조학회 논문집, 제4권 제2호, 2004. 6.

2) 각 구조시스템의 용어는 「대공간 연성구조물의 설계 및 시공기법개발」 연구팀의 연구협의과정을 통하여 결정되었음.

고에 지어진 Marshall Field Wholesale Store의 44m 현수지붕 등이 이러한 예들이 된다. 19세기 후반에는 여러 건축물의 계획안에서 그 사례가 나타나며 임시 박람회용 건축물인 1865년 드레스덴 음악홀(Dresden auditorium)에서 사용된 예가 있다. 연성구조재료가 발달되면서, 초기부터 이루어진 형식이 일방향 케이블구조라고 할 수 있다.³⁾

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 1960년대에 집중적으로 사용되었고, 1959년 David Jawerth나 1965년 Lev Zetlin 등에 의하여 개발된 복층형의 케이블구조 사례들도 이 시기에 집중적으로 나타난다.

일부 예를 제외하면, 이 시대의 일방향 현수구조들은 거의 콘크리트마감으로 안정성을 확보하여 콘크리트 셸과 유사한 형태와 공간구성을 보인다. 그러나 이러한 유형은 1970년대 이후 막재가 발달되면서 사례가 줄어들고, 근래의 사례들은 사진1의 b)와 같이 상징적인 형태효과가 크게 나타난다.



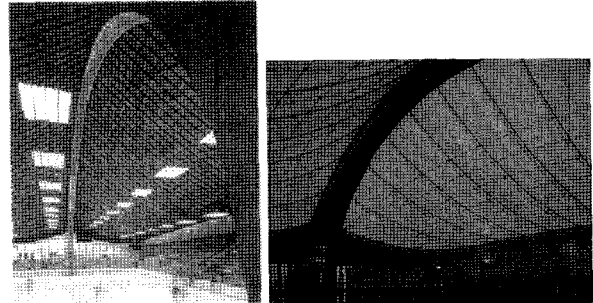
(a) 덜레스공항(1964) (b) 칼스루헤 스타디움(1983)

〈그림 1〉 일방향 케이블구조

3.2 격자형 케이블구조

케이블을 직교시켜 하중을 전달하는 시스템으로 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.⁴⁾ 영구적인 현대건축물의 최초 예는 1953년

놀스캐롤라이나 롤리 박람회장(Raleigh Fair arena)으로, 이것은 연성구조물에서 기념비적인 의미를 가진 건축물이라 할 수 있다.



(a) 예일대하키경기장(1956) (b) 하꾸류동(1993)

〈그림 2〉 격자형 케이블구조

표2에서 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 있다. 또한 구조구법상 원형에 가까운 중심성이 있는 공간을 구성하기 때문에 주로 체육관이나 박람회장 등의 대공간 건축에서 개방적인 공간을 이루고 있다.

3.3 방사형 케이블구조

연성재인 케이블을 방사방향으로 걸어 힘을 전달하는 구조시스템이다. 초기의 예는 1935년의 유고슬라비아 자그라브 박람회의 프랑스관(Zagrab Expo France pavilion)이라 할 수 있다.⁵⁾ 1950년대부터 1960년대말 사이에 집중적으로 사용된 예를 볼 수 있다. 주로 박람회장으로 쓰였고, 대형공간을 가진다. 사례를 표2에서 나타내었다.




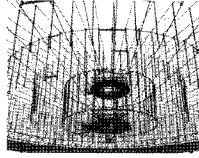



방사형 케이블구조에 콘크리트 마감재가 가진 사례들이 1960년대 말경 집중적으로 나타났는데, 케이블위에 여러 중량의 구조를 매달거나 콘크리트 판넬을 덮는 방식을 사용하여 개방적인 공간을 제공하지 못했다. 1970년대 이후로는 복층방식의 케이블구조에 막을 마감재로 한 사례가 늘고, 특히 스타디움의 캔틸레버 지붕형식으로 다수 사용되고 있다.

3) J. B. Harris, K. Pui-k Li, "Masted Structures in Architecture", Butterworth Architecture, 1996.

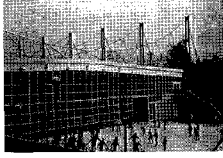
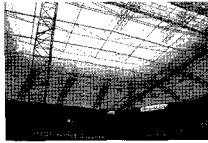


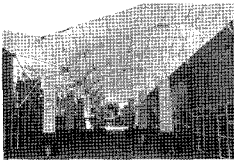
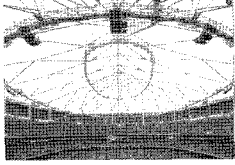
4) C. Wilkinson, "Supersheds", Butterworth Architecture, 1991, p.102.

5) C. Wilkinson, 앞책, p.102.

〈표 2〉 연성구조시스템의 형식별 발달과정

건립연도 구조형식	1850	1900	1950	1960	1970
일방향 케이블구조		◆Dresden auditorium 	· Cherbourg hangar 		<ul style="list-style-type: none"> • Dulles airport • Bremen city center • Tokyo gymnasium ◆Burgo paper mill <ul style="list-style-type: none"> • Mexico Olympic swimming pool • John Deere building • Fiumicino airport Riccardo's hangar • Indiana uni. event hall • Frankfurt airport hangar • Omnibus Reparatur Halle <ul style="list-style-type: none"> • Johanneshov stad. • Mexico Olympic stadium • Billingham ice rink • Schiphol Transit Store
격자형 케이블구조		◆Niznij-Novgord exhibition 		· Raleigh Fair arena · Yale uni. hockey rink	<ul style="list-style-type: none"> • Kagawa stadium • Arizona State coliseum • 67Expo German pavilion
방사형 케이블구조			· Zagrab Expo France pavilion		<ul style="list-style-type: none"> • Montevideo stadium • Brussels Fair U.S. pavilion • Villita Assembly hall • Oakland Alameda coliseum • Madison Square Garden • Inglewood stadium <ul style="list-style-type: none"> • Industrie halle • Stadthalle der Freundschaft ◆Utica civic auditorium <ul style="list-style-type: none"> • Jubillaeum sports hall • Sports palace • Salt palace • Multipurpose hall
공기막구조					◆'70 Expo U.S. pavilion 
현수막구조				◆Federal Garden Exhibition in Cologne	· Japan automobile industry pavilion
달림형 하이브리드 막구조					
들림형 하이브리드 막구조					

(왼쪽에서 계속)

1971	1980	1990	2000
		<ul style="list-style-type: none"> • Karlsruhe stadium ◆ Memmingen ice rink 	<ul style="list-style-type: none"> • Salt Lake city stadium
<ul style="list-style-type: none"> • El Paso event hall • Milan sport hall 		<ul style="list-style-type: none"> • Munich ice rink • Lindsay park sports center • Calgary stadium 	<ul style="list-style-type: none"> • Hakyu Ryou dome • Osaka pool • Myao Li arena
<ul style="list-style-type: none"> • Hamton Road coliseum 		<ul style="list-style-type: none"> • Zaragoza stadium • Rome Olympic Stadium 	<ul style="list-style-type: none"> • Tennishalle Rotenbaum • Gottlieb-Daimler Stadium ◆ Gerry Weber Stadium • Malaysia Stadium
<ul style="list-style-type: none"> • Milligan uni. field house • Santa Clara Uni. Leavey center • Uni-dome • Silver dome 	<ul style="list-style-type: none"> • South Dakota dome • Dalhouse physical education complex • Carrier dome • Stephan C.O. Cornell center • Sundome uni. of Florida • Metro dome • Vancouver stadium 	<ul style="list-style-type: none"> • The Hoosier stadium • Kajima stadium • Tokyo dome ◆ The Roman arena 	<ul style="list-style-type: none"> • Kumamoto dome
<ul style="list-style-type: none"> • La Verne college student hall • '74 Expo U.S. pavilion • Bullock department 		<ul style="list-style-type: none"> • Canada harbour place • Diplomatic club 	<ul style="list-style-type: none"> • M&G Ricerche lab • Denver airport • Ja-Yi sports gymnasium
		<ul style="list-style-type: none"> ◆ Jeddah airport • Schlumberger research 	<ul style="list-style-type: none"> • Nottingham Amenity building
		<ul style="list-style-type: none"> ◆ Schlumberger headquarter • Staffordshire house • San-diego convention center • 서울올림픽체조/펜싱경기장 • Florida Suncoast Dome • Redbird Arena • Amagi Dome ◆ Atlanta Georgia Dome • Taoyuan Sports Arena 	 <ul style="list-style-type: none"> • La Plata Stadium

범례; “•”은 해당건물의 건립년도를 표시함 “◆”의 표시 건축물은 표안에 사진을 첨부한 건축물임

3.4 공기막 구조

공기막구조는 기구의 원리를 이용하여 1950년대 군사용 시설(레이더 돔, 1946)에서부터 실현되어졌다.⁶⁾ 대형건축에서 시작된 최초의 예는 1970년 오사카 박람회의 미국관(70 Expo U.S. pavilion)으로, 이후 다수의 건축물이 공기지지방식인 단일막 구조로 이루어지고 있다. 대표적 사례는 표2에 나타내었다.

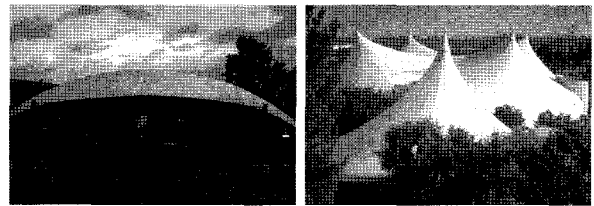
1970년대 막재의 발달에 따라 최근까지 매우 원활히 사용되는 대표적인 경량 대공간 구성방식이다. 최근에는 케이블과 함께 사용하여 이중막 공기주입식의 구조 등 여러 방식으로 발달하여 사용되는 예를 볼 수 있다.

3.5 현수막 구조

현수막구조는 지지점을 두고 막의 당김력이 발생하게 하여 구조를 이루는 방식으로 원시시대부터 텐트 등의 형식으로 발달해 온 구조시스템이다. 현대건축에서 구조재로 적용될 수 있는 개념과 디자인가능성의 개발은 1955년경부터 Frei Otto에 의하여 이루어졌다.⁷⁾ 대표적인 예가 쾰른의 연방정원박람회 시설물(사진3-a 참조) 등이다. 이와 같이 초기에는 주로 박람회 등의 가설건축물에 사용되었는데, 1970년 오사카 엑스포의 일본 오토모바일 산업관(Japan automobile industry pavilion)이나 1974년 엑스포 미국관(74 Expo U.S. pavilion)도 케이블 보강과 함께 이루어진 막구조물의 대표사례라고 할 수 있다.

영구적인 건축물에 사용된 최초의 예는 1973년 미국의 라 베른대학의 학생관(La Verne college student hall, 사진3-b)이다. 이 구조물은 1970년 듀폰사가 개발한 4불화에틸렌수지(테프론)를 코팅한 유리섬유재를 사용한 최초의 건축물이고⁸⁾ 이때부터 내구성을 갖춘 막재가 건축물에 원활히 사용되기 시작하였다. 표2에서는 막이 마감재로 사용된

것을 제외하고 막의 장력을 이용하여 건축물의 구조체를 구성한 사례를 나타내었다. 막구조는 현대까지 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.



(a) 연방정원박람회 정문(1957) (b) 라 베른대(1973)

〈그림 3〉 현수막 구조

3.6 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 외부형태효과가 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. 표2에 나타낸 사례들은 주로 현대 건축가들 작품에서 나타나는 해당 사례들이다.

들림형의 경우중 방사형으로 배치하여 돔형식으로 이루어진 경우가 텐서그리터 돔의 경우로 1988년 서울올림픽 체조경기장에서 처음 사용되어 발전되고 있는 구조형식이다. 하이브리드 구조방식은 구조효율이 매우 높아 대공간 구조를 이룰 수 있으며, 다양한 디자인 패턴 또한 보일 수 있어서 현대의 막구조의 주 발전방향이라고 할 수 있다.

6) C. Wilkinson, 앞책, pp.108-109.

7) Kazuo, Ishii, "Membrane Design and Structures in the World", 신건축사, 1999, pp.18-25.

8) 산업도서출판공사편집부, "건축기술정보", 1994.2, p.39.

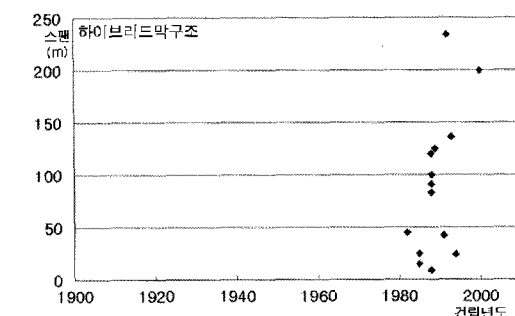
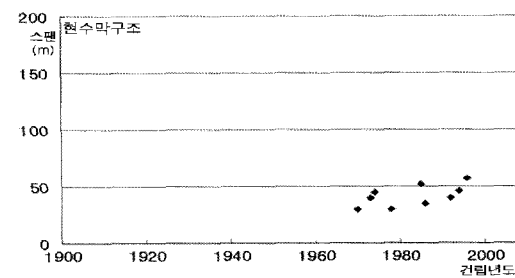
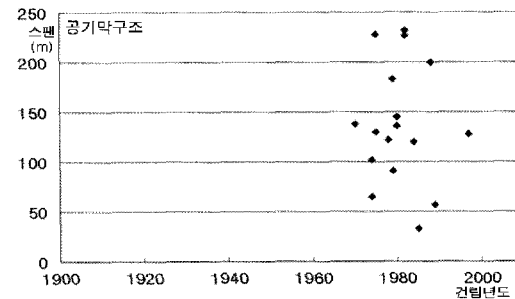
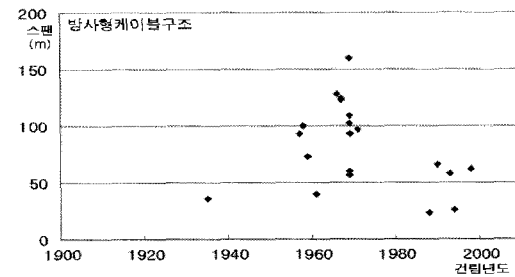
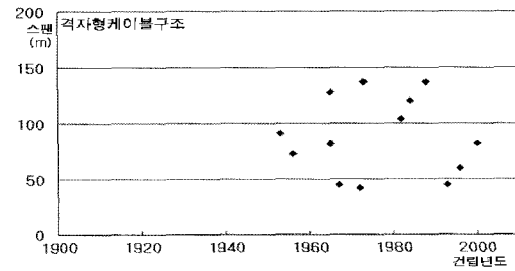
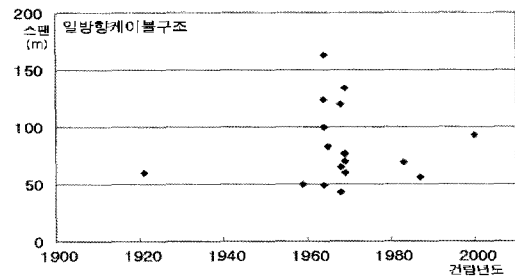
4. 연성구조형식의 시기별 규모변화

연성구조형식별 특성을 파악하기 위하여 사례의 건립시기와 건립된 규모의 상관관계를 조사하였다. 일반적으로 연성구조시스템은 대공간 구성능력이 부각되어 사용되어왔지만, 형식별로 보면 보다 세부적인 건축특성이 존재하고 시기에 따라 구조의 역할과 의미는 변화하게 된다. 인장구조형식별로 건립규모와 시기와의 관계를 오른쪽의 그래프와 같이 살펴보고자 한다.

본 연구의 사례조사에 의하면, 여러 형식의 케이블 구조들은 1960년대에 집중적으로 보이며 1970년대 이후로는 대공간으로 발전되는 양상을 지속적으로 보이지 않는다. 반면 1970년대 이후에는 막구조형식이 주로 대공간을 구성하는 연성구조형식으로 사용되는 것으로 나타난다.

격자형 케이블구조는 현재까지 지속적인 분포를 보이고 있고 넓은 범위의 규모에서 사용되고 있으나, 일방향 케이블구조나 방사형 케이블구조는 1960년대 이후로 사례자체가 적으며 비교적 적은 규모의 건축물에서 형태효과가 뛰어난 사례들이 나타났다. 방사형 케이블구조에서 1980년대 이후의 사례들은 스타디움의 쉼터 지붕을 이루는 경우로서 완전한 건축공간을 구성하는 경우와도 조금은 다른 경우의 예가 된다.

1980년대 이후부터 대공간을 주로 구성하는 것은 공기막구조와 서울올림픽체조경기장 같은 돔형식의 들림형 하이브리드 막구조이다. 특히 이들 구조는 시기가 지남에 따라 기술이 발달하면서 대공간 건축으로 이루어지는 특성이 두드러지는 것으로 보인다. 하이브리드형 막구조는 기술발달이 가속화되면서 얻어진 구조형식으로 1988년 이후에 집중적으로 나타나는 데 돔형식은 초대형공간으로 발달하는 한편, 그 외의 구성 예는 막과 선재가 조합된 형태와 공간구성의 다양성 때문에 아주 적은 규모의 사례로도 나타난다. 기술적인 해결은 어렵지만 부재의 조합에 따라 활용도와 구성력이 뛰어난 특성을 가지고 있다고 할 수 있으며, 다양한 특성을 가지고 있는 만큼 이후 활용도가 높아지고 있다고 할 수 있다.



막재만으로 공간을 덮는 현수막구조는 1970년 이후에 선보이기 시작하여 최근까지 사용되는 가운데, 25~55m의 비교적 중소규모의 건축사례가 대부분이다. 현수막구조는 막재 단독으로는 구조적 한계가 있지만 형태구성효과가 뛰어나고 내부에 개방성을 높이기 때문에 대공간 외에도 다양한 규모의 건축물에서 사용되는 특성을 가지고 있다고 할 수 있다.

인장구조의 구조능력에 있어서, 150m 이상의 초대형규모로 성장할 수 있는 경우는 공기막구조나 들림형 하이브리드 막구조와 같이 별도의 구조형식들에서 보이더라도, 100m 내외의 공간구성에 대한 능력은 전 인장구조형식에서 나타난다. 그럼에도 불구하고 형식별로 시기에 따라 집중되는 규모가 다르게 나타나는 것을 보이는 것은 형식별로 내포된 건축의 형태·공간구성특성과 구조적 합리성에 따른 경제성이나 시공성 등이 반영된 것으로 생각된다. 그러므로 건축에서 연성구조시스템의 계획을 고려할 때, 연성구조형식이 가지고 있는 구조능력 외에도 형태 및 공간특성 또한 고려할 필요가 있다고 본다.

5. 결론

연성구조시스템의 형식별로 사례를 조사하고 역사적인 발전과정을 고찰하였다. 선재와 면재의 구성으로 구분하여 본 연성구조형식에서 시기에 따라 나타나는 역사적 특성은 다음과 같이 요약된다.

- 1) 케이블구조는 교량에서부터 사용된 케이블로 인해 19세기 후반부터 발달되어 왔고, 1960년대까지 대공간 건축물에서 주로 활용되었다. 영구적이며 대형구조재로 활용될 수 있는 막재가 1970년대에 개발됨으로써 1970년대 이후 대공간 구성은 주로 막구조 형식에 의해 이루어지고 있는 것으로 나타났다.
- 2) 건립시기와 규모의 상관관계를 살펴보면, 일방향 케이블구조나 방사형 케이블구조는 초기부터 발달하여 1960년대까지는 대공간구성에 주로 활용되었으나, 이후에는 사례가 많지 않으며 형태 및 공간효과가 주목되는 중소규모 건축물에서 활용되고 있는 양상을 보인다. 격자형 케이블구

조는 지속적으로 사례가 나타나며 폭넓은 공간 규모로 사용된다.

- 3) 공기막구조와 들림형 하이브리드 막구조는 1970년대 이후 대공간 구조를 이루는 주된 구조형식으로 조사되었다. 현수막구조와 하이브리드형 막구조는 막재의 형태 및 공간효과로 인해 중소규모의 건축물에 많이 사용되었다.
- 4) 하이브리드형 막구조는 1988년 이후에 기술발달에 따라 집중적으로 나타나는 데, 초대형공간으로 발달하는 구조성능과 막과 선재가 조합된 형태와 공간구성의 효과를 가지고 있기 때문에 매우 다양한 특성을 가지고 있어 향후 활용도가 높다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 「2003년 건설기술기반 구축사업 지역 특성분야」 연구개발비에 의해 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. IASS Journal, "Recent Spatial Structures in Japan", Vol.42, n.1-2, 2001.
2. W. Schueller, "The Design of Building Structures", Prentice-Hall, 1995.
3. C. Wilkinson, "Super Sheds", Butterworth Architecture, 1991.
4. J. B. Harris et. al., "Masted Structures in Architecture", Butterworth Architecture, 1996.
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. 이주나, "건축구조계획을 위한 인장시스템의 특성 및 유형분석", 충북대학교 박사학위논문, 2004.
8. 산업도서출판공사 편집부, "건축기술정보", 산업도서출판공사, 1997. 03, 1994. 02.

9. 송호산, "건축구조 디자인의 세계", 기문당, 2001.
10. 강문명외 1인, "막구조의 변천역사", 전산구조 공학회지, v.004, n.003 1991, 9, pp. 8-12.
11. The Institute for the Documentation of International Architecture, "Detail", 2000. 6.