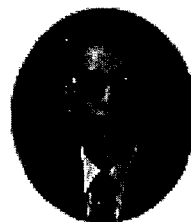


대공간 구조물의 21세기 전망



김 승 덕*

1. 서 언

대공간 구조물은 인류가 태동한 후, 보다 넓고 풍요로운 공간 속에서의 삶을 추구하면서 지속적으로 요구되어 왔다. 시대의 변천에 따라 대공간 구조물은 경제적, 기술적 요인에 의해 계속적으로 변화 발전해 왔으나, 궁극적으로는 지구 중력에 의한 힘에 대한 인류의 도전이라 할 수 있다. 실외공간을 실내로 끌어 들여, 실내에서의 쾌적한 삶을 추구하고자 하는 인간의 지혜는 점차 새로운 재료와 신기술을 개발하여 보다 대규모의 공간을 실현 가능케 하였고, 이는 앞으로도 계속될 전망이다.

대공간 구조물의 실현 가능성을 가능하는 최대의 관건인 지붕구조의 변화는 재료와 기술의 변화와 함께 점차 경량화해 가고 있다. 그림 1은 지붕의 중량을 시대 변화에 따라 나타낸 것이다. 가로축은 연대를, 세로축은 단위면적당 지붕무게를 나타낸 것이다. 이 그림에서 세로축 100kgf/m²를 기점으로 수평선이 그어져 있다. 1962년, 대공간구조 관련 국제학술회의에서 Rene Sarger는 이 그림을 보이며 “지붕중량이 100kgf/m² 이하가 되는 시대에

구조혁명(structural revolution)이 일어날 것이다”라는 흥미로운 발언을 하였다. 100kgf/m²는 바람에 의해 빨려 올라가는 힘(suction)의 차수(order)를 나타내고, 중력의 지배로부터 해방되는 것을 의미한다. 이 그림에서 보면 지붕중량 곡선은 21세기 초에 100kgf/m²의 수평선 아래로 들어가게 되고, 현재는 혁명 전야에 있다고 볼 수 있다.

대공간 구조물은 각 시대의 사회적, 기술적 배경을 잘 나타내며 발전해 왔다. 발전된 순서는 a) 셸 구조, b) 스페이스 프레임 구조, c) 케이블 구조, d) 막 구조 등의 순이다. 재료의 강성으로부터

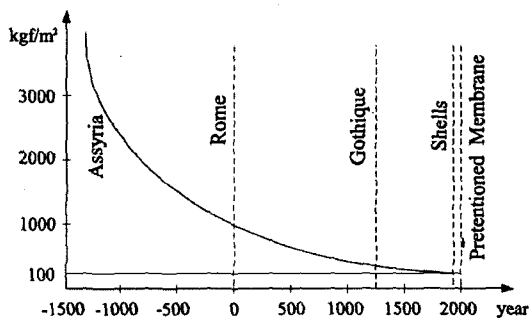


그림 1 지붕중량의 시대적 변화

* 정희원 · 세명대학교 건축공학과, 교수
(sabinus@venus.semyung.ac.kr)

분류하면 a, b는 강성구조 시스템, c, d는 연성구조 시스템이다.

셸의 두께를 t , 곡률반경을 R , 변위를 w 라 하면, 강성구조 시스템의 역학적 거동은 $w=t$ 의 차수인데 반해, 연성구조 시스템은 $w=R$ 의 차수까지 확대된다. $w=t$ 와 $w=R$ 의 차이는 변형후의 구조형태를 예상할 수 있을지 없을지를 나타내는 지표가 된다. 그러므로 강성구조 시스템과 연성구조 시스템은 서로 다른 역학적 특성을 가진다.

이러한 다양한 구조시스템을 이용하여 대공간 구조물은 발전해 왔고, 현재의 기술수준은 span 300m를 극복해 가고 있다. 앞으로 질 높은 삶을 추구하고자 하는 인간의 욕망은 이 한계를 극복하고, span을 더욱 늘려 가게 될 것이다. 즉 거대한 개폐식 지붕을 이용하여 대기의 기상 및 환경의 변화로부터 직접적으로 보호받게 될 것으로 예상된다.

더 나아가, 멀지 않은 장래에는 지구 생활권에서 우주의 생활권으로 이어질 전망이다. 우주 환경이 지구의 환경과는 다르므로 우주에서의 구조물은 지구상의 구조물과는 다른 시스템으로 구축되어야 한다는 것은 자명할 것이다. 대형 전개식 구조물을 이용하여 보다 쾌적하고, 경제적이고, 안전성이 우수한 우주공간의 개발은 더 이상 미룰 수 없는 21세기의 우리의 당면 과제가 되고 있다.

본 원고에서는 대공간 구조물의 과거, 현재, 미래를 조명해 본다. 우선 과거 콘크리트와 철에 의존했던 구조물로부터 최근 경량화 구조물까지의 개략적 흐름을 다룬다. 이어서 미래의 구조물인 우주구조물에 관한 개략을 소개한다.

2. 셸 구조물의 발전과정

곡률을 가진 곡면구조 형태인 셸 구조는 외부 하중에 대하여 효과 높게 저항할 수 있는 형태 저항형 구조물이며, 따라서 두께가 얇고 가볍게 대공간을 만들 수 있는 장점을 갖고 있다. 기본적인 구조저항 메커니즘은 구조물 자체의 곡률을 이용하여 면의방향으로 작용하는 외력을 주로 면내력으로 저항할 수 있게 한 구조 시스템이다. 대공간 구조물은 이러한 셸 구조 원리를 이용하여 만들

어진다. 그러므로 셸 구조는 최소한의 재료를 이용하여 최대한의 하중을 저항할 수 있는 구조시스템이다. 2중 곡률의 셸은 같은 두께의 평판에 비해 10~30배까지도 강하다. 이와 같이 효율이 높은 이유는 면 자체가 곡률을 가지기 때문이다.

초기 셸 구조물들은 콘크리트와 철을 주재료로 이용하였다. 재료의 특성상, 콘크리트는 주로 연속체 셸을 만드는데 사용되었고, 철은 높은 강도를 이용하여 재료의 양을 절감할 수 있는 이산계 셸 구조물을 만드는데 사용되었다.

우선 콘크리트계 연속체 셸의 발전과정을 요약한다. 고대 돔의 시조는 로마의 Panteon(128년, 스펜 43.3m)으로 알려져 있다.(그림 2) Panteon은 시멘타이트를 주재료로 하여 리브에 의해 보강된 반구형 셸이다. 이는 보다 높은 강성효과와 셸의 안정문제를 함께 고려하여 역학적 성능을 향상시킨 것이다.

18~19세기에 걸친 산업혁명과 함께, 1824년 영국의 Joseph Aspdin에 의해 포틀랜드 시멘트가 발명되었고, 그후 1867년에 프랑스의 J. Monier에 의



그림 2 Panteon

해 철근콘크리트가 발명되었다. 이와 함께 셸 구조도 새로운 시대를 맞을 수 있었다. 콘크리트는 원래 액체이므로 연속체의 곡면형상에 따라 어떠한 형태도 가능케 한다. 또 콘크리트에 철근으로 보강하면 인장력도 전달할 수 있고, 따라서 막과 같은 형상도 가능하게 된 것이다.

20세기초부터는 수많은 셸 구조물들이 건설되었다. 1900~1960년에는 주택, 교회에서 대규모 운동 경기장까지 span이 10m~100m 정도인 다양한 목적의 셸 구조물들이 만들어 졌다. 셸 구조시스템의 응용으로, 기준형상의 셸을 반복하여 사용하는 방법도 고안되었다. 이 방법은 거푸집 등을 재이용할 수 있어 건설비용을 절약시킬 수 있고, 거대한 공장시설 등에 다양하게 응용되었다. 제2차 세계 대전 종전 후에는 많은 건축가, 엔지니어에 의해 혁신적인 구조물이 많이 등장하였다. 그 대표적인 인물로, E. Torroja, P. L. Nervi, F. Candela, E. Saarinen 등이 아름다운 셸 구조물을 완성시켰다.

1960년대에 들어와서 콘크리트 셸 구조물에 대한 열기는 점차 식어갔다. 그 이유는 다른 건설기술들이 점차 발달하게 되었고, 인건비도 늘어갔다. 숙련된 기술에 의해 건설되는 셸 구조는 보다 간단한 건설수법에 의한 방법으로 바뀌어 나가기 시작했다. 대량생산이 가능하고, 컴퓨터를 이용해 설계할 수 있는 입체트러스 등의 공간구조물이 보다 일반화되기 시작했다.

1960년대까지 건설된 셸 구조물은 원통형, 원추형, 구형, 타원포물면형, 쌍곡포물면형 등, 일반적인 기하학 형상이 대부분이었다.(그림 3, 4, 5) 그러나 H. Isler는 실험에 의한 형상, 즉 힘 그 자체에 의해 만들어지는 형상을 이용한 새로운 기법을 개발하여 다양한 셸 구조물을 건설하였다.(그림 6) 최소의 작용력만으로 외부하중을 지지할 수 있는 매우 효율 높은 구조형상을 개발하였다. 응력은 매우 낮아서 유지관리 및 수리도 많지 않아 수명은 길고, 건설재료도 소량으로 가능하므로 매우 경제적인 구조물이며, 모양도 자연적 곡면을 이용하므로 매우 아름답다. 무엇보다도 최대의 매력은 실현 가능한 형상이 무한히 많다는 점이다. 자연적인 형상이므로 구조적인 면뿐만 아니라 기능적인 면에서도 효율이 높은 구조물이라 할 수 있다.(그림 7)

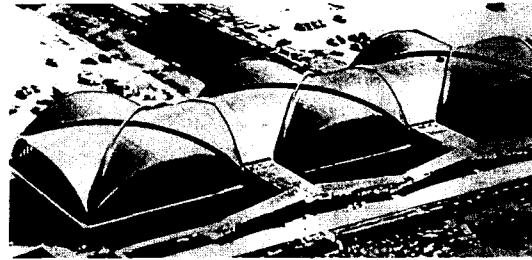


그림 3 원통형 셸구조물

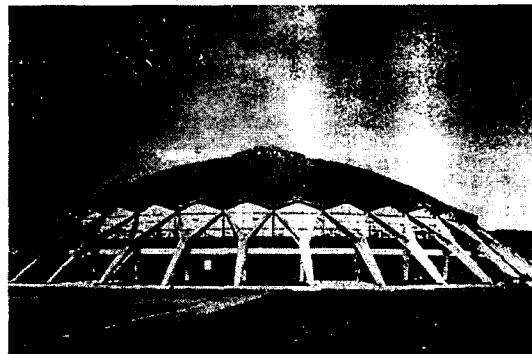


그림 4 구형 셸구조물

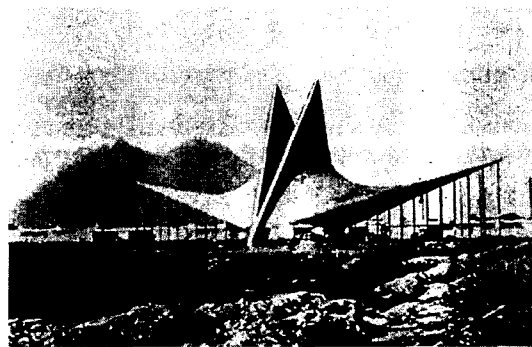


그림 5 쌍곡선 셸구조물

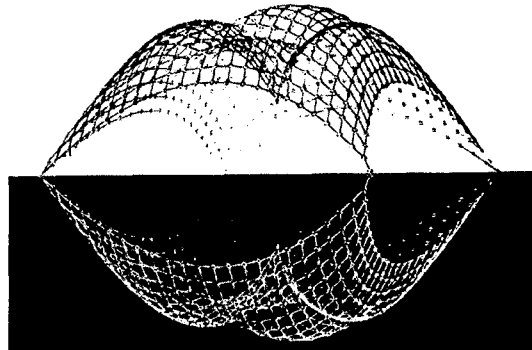


그림 6 실험에 의한 형상 탐색



그림 7 3점지지 셸구조물

다음은 철골계 이산화 셸의 발전과정을 요약한다. 산업혁명 이후 1851년, 런던에서 처음으로 주철, 연철, 유리를 이용한 경쾌한 돔구조물 Crystal Palace가 등장했다.(그림 8) 그후 19세기 후반에는 강철이 이용되었고, 1889년 파리 박람회에서는 거대한 3한지 아치에 의한 기계관(span 115m)이 건설되었다.(그림 9) 또 입체적인 부재배치를 이용하여 보다 가볍고 강한 골조시스템들이 J. W. Schwedler (1875년), A. Foppl(1896년), A. G. Bell(1907년) 등에 의해 제안되었다.

1950년경에는 시스템 트러스를 시작으로, 대량생산이 가능하고 범용성이 우수한 여러 가지 입체트러스 시스템이 R. B. Fuller, K. Wachsmann, S. D. Chateau, M. Mengerlinghausen 등에 의해 제안되었다. 셸형 트러스 구조물은 경간에 따라 단층시스템과 복층시스템으로 분류할 수 있으며, 이들의 접합부는 일반적으로 핀 접합을 이용한다. 핀 접합에 의한 대경간 구조물은 주로 복층시스템을 이용하였으나, 1997년에 span 187.2m의 단층 래티스돔이 일본 나고야에 건설되어 철골계 셸 구조물의 새로운 가능성을 제시하였다.(그림 10)

3. 대공간 구조물의 현황

형태저항형 구조물인 셸 구조는 주로 면내력으로 힘을 전달할 수 있게 한 구조 시스템이므로 매우 우수한 역학적 특성을 가지고 있다. 구조시스템에 따라 보다 세분하면, 연속체 셸 구조물(shell structure), 스페이스 프레임 구조물(space frame structure), 막 구조물(membrane structure).

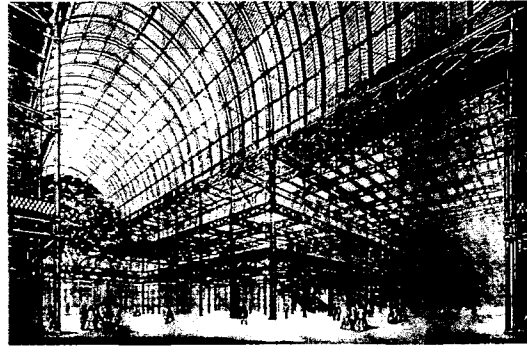


그림 8 Crystal Palace

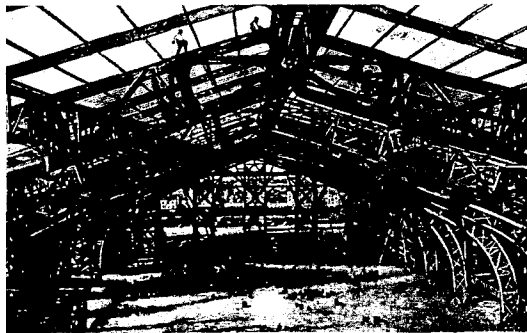


그림 9 파리 박람회 기계관



(a)



(b)

그림 10 나고야 돔

케이블 구조물(space cable structure) 및 이들의 복합 구조체인 복합 구조물(hybrid structure)로 분류할 수 있다.(그림 11)

연속체 시스템으로부터 이산계 시스템으로의 변화는 재료의 절약이라는 개념으로 이해할 수 있고, 또 강성구조 시스템으로부터 연성구조 시스템으로의 변화는 재료의 경량화라는 개념으로 이해할 수 있다. 산업의 발달과 함께 구조 재료는 점차 고강도화, 경량화 하는 추세이고, 대공간 구조물은 이들 재료의 변화에 매우 민감하게 대응하고 있다. 또 보다 진보된 역학이론과 신기술을 기초로 하여, 보다 넓은 대공간의 구조물을 구축 가능케 하고 있다.

20세기 중반에 들어서면서, 신재료 및 신기술의 개발과 함께 셸 구조물은 점차 경량화해 가기 시작했다. 경량구조란 필요 최소한의 자중으로 최대의 적재하중을 지지하는 구조시스템이다. 사용되는 재료 및 자원을 최소한으로 이용하므로 경제적이고, 또 힘의 흐름이 그대로 구조물의 형태로 표현되므로 미적으로 아름답다. 경량구조물의 시작은 1972년 Frei Otto에 의해 건설된 뮌헨 올림픽 피클을 위한 케이블 넷 구조물이다.(그림 12, 13) 사변형의 넷이 각도를 변화시키면 어떠한 형태의 면에도 유연하게 적응시킬 수 있다. 사변형의 케이블 넷 매쉬가 무한의 형태 자유도를 나타낼 수 있음을 나타내는 좋은 예이다.

압축과 휨을 주체로 하는 돔 구조물을 대신하여, 1950년대부터 막구조 시스템이라는 장력을 주체로 하는 구조시스템이 등장하였다. 막구조는 옛날부터 전해오는 유목민들의 텐트구조의 이미지에서 벗어나지 못한 채 가설구조물이라는 개념을 가지고 있었다. 서커스단의 천막구조물에서부터 만국박람회의 각종 전시장에 이르기까지, 일정한 기간동안 이용된 후 철거되는 형태를 취해 왔다. 그러나 불연성 막재료의 개발 및 막구조 시스템의 체계화와 함께, 종래의 가설구조물이란 개념에서 영구구조물로의 개념 전환이 이루어졌다. 수많은 연구자 및 설계자로부터 막의 형태결정 및 구조해석에 관하여 연구 개발되어 왔고, 오늘날에는 다음과 같이 크게 3 종류의 기본 시스템으로 나눌 수 있다.

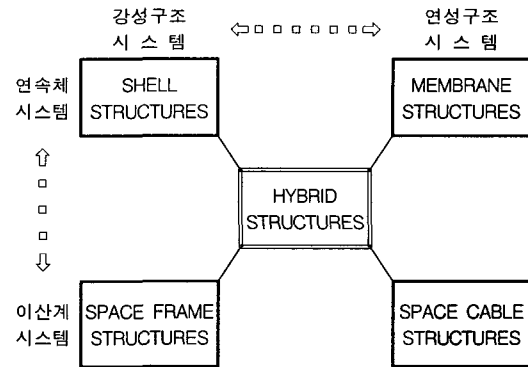


그림 11 대공간 구조물의 분류



그림 12 뮌헨 올림픽 스타디움

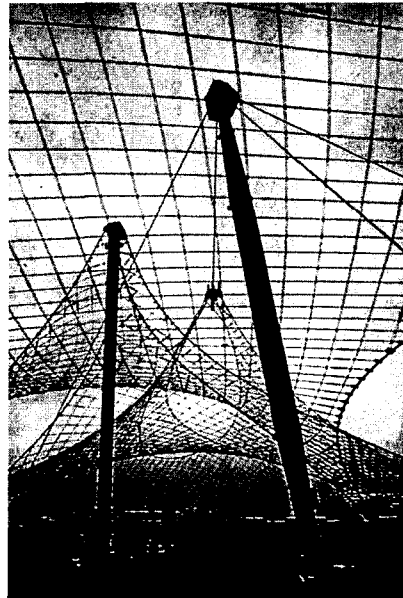


그림 13 케이블 넷 구조

- i) 서스펜션식 막구조(그림 14)
- ii) 프레임식 막구조(그림 15)
- iii) 공기 막구조(그림 16)

대부분의 건축구조재료가 19세기에 등장한데 비해, 영구 막재는 20세기에 등장한 비교적 신소재이다. 영국의 기술자 F. W. Lanchester(1917년)에 의해 제안된 공기 막구조는 미국의 기술장교

W. Bird에 의해 실용화되었고(1946년), 1960년대에는 전람회 또는 전시장을 중심으로 많이 건설되었다. 1973년에는 미국에서 불소수지 코팅의 글래스 파이바에 의한 영구 막재료가 개발되어, 공기 막구조는 영구적 대공간 구조물로 이용되게 되었다. 1970년 일본 오사카 박람회의 미국관의 설계자 D.Geiger와 H.Berger는 미국내에 span 100~200m의 공기막 돔구조물을 많이 설계하였다. (그림 17) 그후 Geiger는 공기압을 이용하지 않고

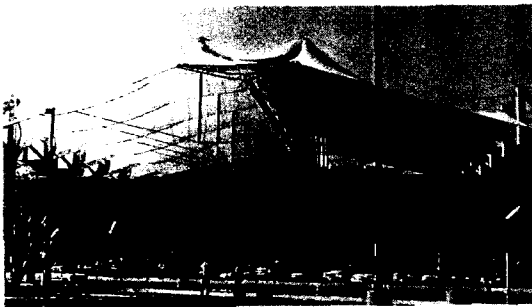
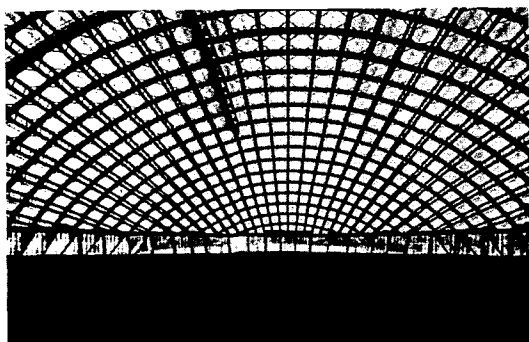


그림 14 서스펜션식 막구조



(a)

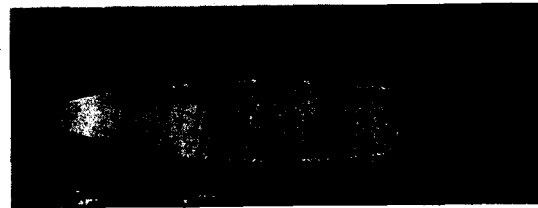


(b)

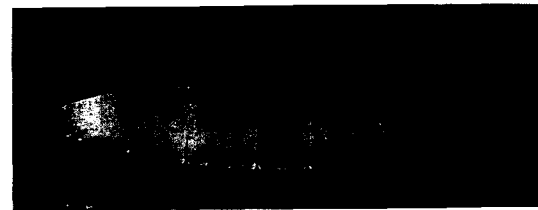
그림 15 프레임식 막구조



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 16 공기 막구조의 시공과정

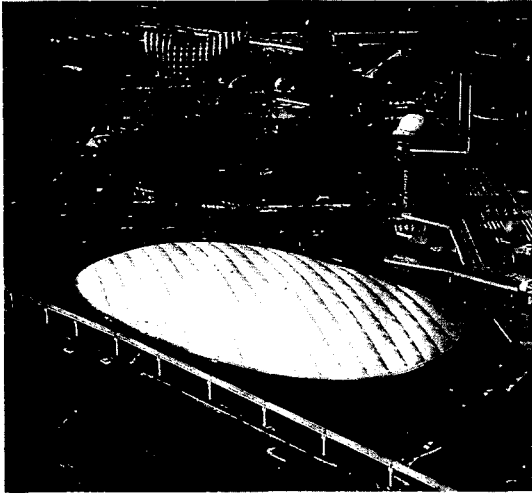


그림 17 오사카 박람회 미국관



그림 18 서울 올림픽 체조경기장

경량의 대공간 구조를 만들 수 있는 케이블 돔을 개발하였고, 이를 이용하여 1986년 서울 올림픽 체조/펜싱 경기장을 건설하였다.(그림 18, 19) 근년에는 수많은 영구 막구조물이 건설되었고, 최근에는 영국 Greenwich에 세계 최대 span인 320m의 Millennium Dome이 건설되어 경량 구조물의 향후 발전 가능성을 보여 주었다.(그림 20)

최근의 대공간 구조물은 보다 환경친화적 구조물로 발전하고 있다. 그 방법의 하나로 필요에 따라 열고 닫을 수 있는 개폐식 구조물들이 속속 건설되고 있다.(그림 21, 22) 맑은 날은 야외 공간이 되며, 우천시 또는 추운 겨울에는 실내에서 생활이 가능한 구조물들이 최근 우리의 주목을 받고 있다. 또 재료와 기술의 발달과 함께 보다 적극적인 대공간 구조물을 계획하기도 한다. 그 예로

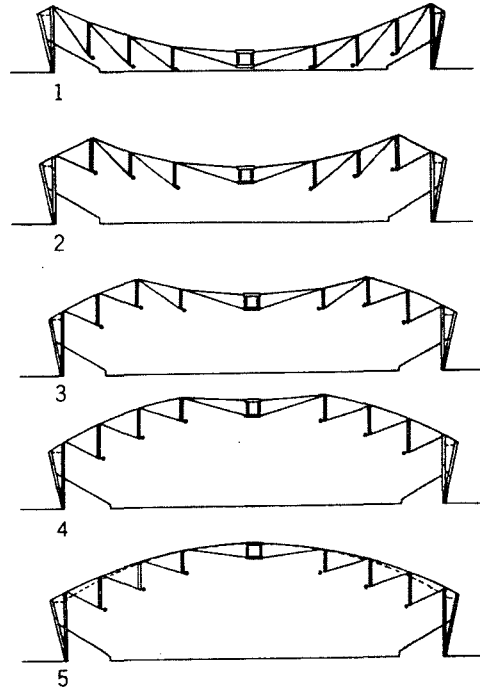


그림 19 케이블 돔의 시공과정

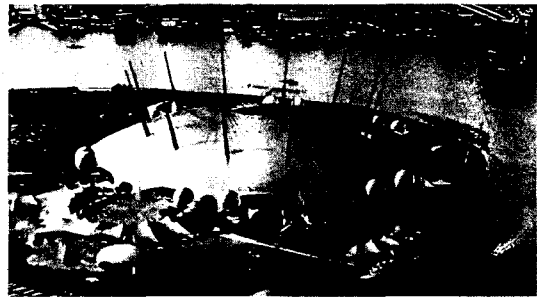
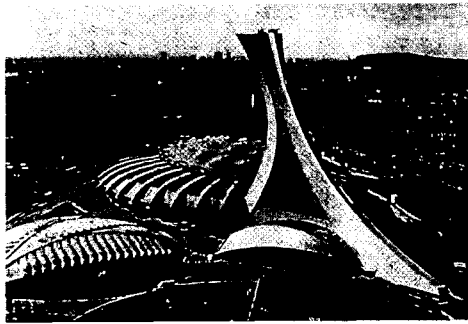


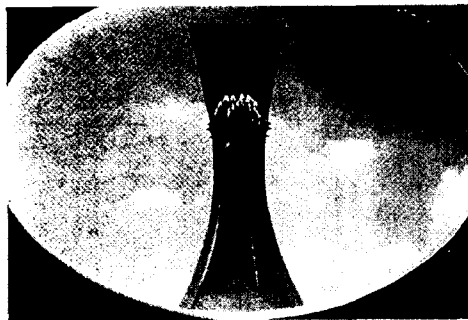
그림 20 Millennium Dome



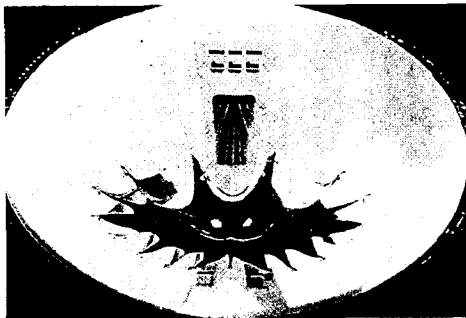
그림 21 후쿠오카 돔



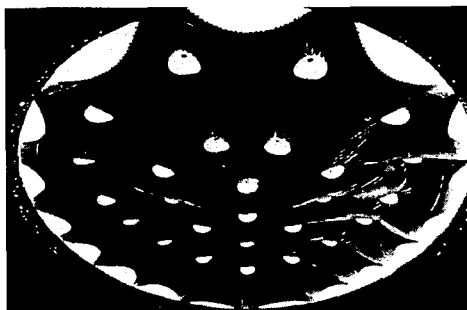
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 22 몬트리올 올림픽 스타디움

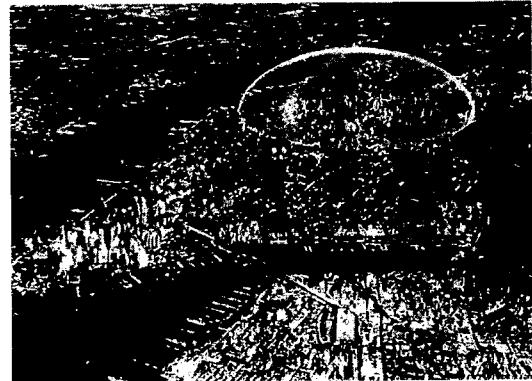


그림 23 맨하탄 계획

「맨하탄 계획」을 들 수 있다.(그림 23) 뉴욕시의 반 정도를 커다란 돔으로 덮는 계획으로, 눈, 비 등을 막고, 태양광선의 영향과 대기의 질을 조절할 수 있는 거대한 프로젝트도 준비되고 있다.

4. 우주구조물로의 발전 전망

우주공간은 냉전시대의 종식과 함께, 군사적 이용가치보다는 상업적 이용가치가 더욱 크게 될 것이다. 인간의 생활공간이 지구공간에서 무한의 우주공간으로 전개될 전망이다. 지금까지의 우주개발은 우주선 및 우주정거장 개발을 중심으로 주로 군사적으로 이용되어 왔다. 그러나 21세기에는 우주공간의 상업화와 함께, 우주공간에서의 삶의 질이 고려될 것이며, 이때 건축적인 기여는 매우 크게 될 것이다. 중력상태 하에서는 제작이 불가능한 여러가지 제품들을 만들기 위하여, 조립 및 해체가 간편한 막, 케이블, 트러스 등의 재료를 이용한 복합 전개구조물을 대형 우주플랜트 및 대형 우주정거장 건설 등에 응용할 수 있다.

먼저 우주구조물의 특징을 다루어 본다. 우주구조물은 수십m에서 수십km까지 대규모로 건설되며, 고정되지 않고 우주공간에 설치하여야 하므로 매우 유연한 구조물이어야 한다. 작용되는 외력레벨도 지상구조물에 비해 지극히 작으므로, 지상에서 자중에 의해 변형되는 구조물도 우주공간에서는 능력을 발휘할 수 있다. 아무 것도 없는 공간에 구조물을 실현시켜야 하므로 어느 정도는 폐쇄형 시스템으로 할 필요가 있다. 따라서 우주구조물은



그림 24 우주구조시스템 개념

시스템적 구조물 형태를 취해야 한다. 즉 수송, 구조, 전개, 수납, 유지보수 등을 포함해서 시스템적 구조물이어야 한다. 또 공간적 제한도 적고 무중력상태이므로 지상구조물에 비해 자유로운 발상이 가능하다. 동시에 간단한 단위요소를 주기적으로 반복시켜 구조물을 만들 수 있으므로 단순하고 기본적인 구조개념이 실현 가능하다.(그림 24)

우주구조물을 분류하면 크게 강성구조물과 연성구조물로 분류할 수 있다. 강성구조물은 압축 및 휨을 받는 구조요소로 제작되고, 종래의 위성, 반사경, space colony, 트러스 안테나, 평판형의 태양발전위성 등이 있다.(그림 25, 26, 27, 28, 29, 30) 연성구조물은 막 및 케이블을 이용하여 인장력을 받는 구조요소로 제작되고, 강성구조물보다 대규모이고 경량의 구조체를 만들 수 있다. 또 소단위의 유닛을 접어서 이동시킬 수 있으므로 운송효율도 좋다.

장력부재는 압축력을 받지 못하므로 구조물의 안정화 방법으로 3가지 유형을 들 수 있다.

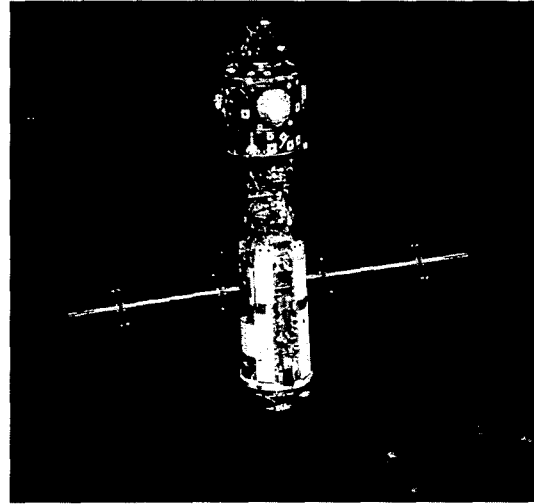


그림 25 International Space Station



그림 26 Mars Exploration Imagery

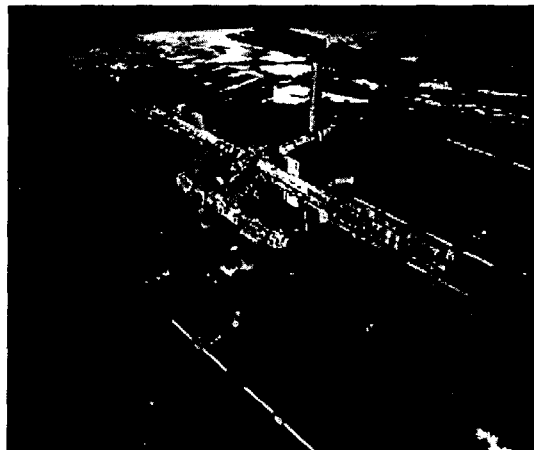


그림 27 International Space Station Imagery

- 1) 장력에 대응하는 압축부재를 가지는 구조물
- 2) 압축부재 없이 자체적으로 이에 대응하는 구조물
- 3) 우주의 미소외력을 이용한 구조물의 안정화

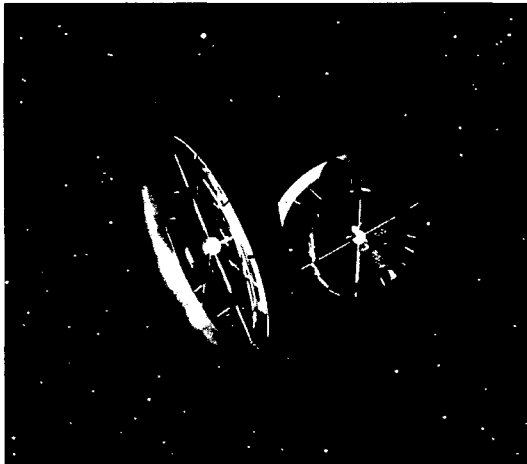


그림 28 Space Colony

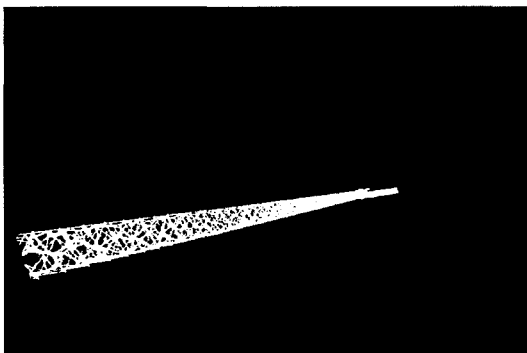


그림 29 Shuttle Mission Imagery

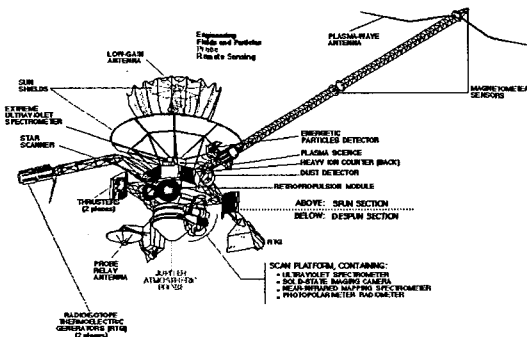
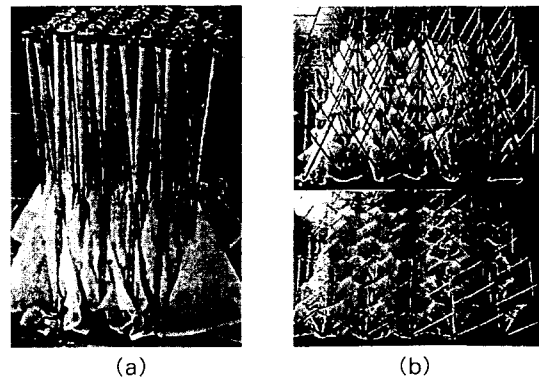


그림 30 Galileo Spacecraft

가령 2)에는 회전에 의한 원심력이나 미소 내압을 이용하는 방법이 있다. 3)에는 태양복사압이나 중력 등을 이용할 수 있고, 외력레벨이 미소하기 때문에 수km~50km가 되는 거대한 시스템을 형성하게 된다.

다음은 우주구조물의 구조개념을 다룬다. 전개형 구조시스템은 수납효율, 전개방식, hinge수 등에 의해 평가된다. 수납효율은 지상으로부터의 운송 회수에 직접 좌우되고, 전개방식은 우주에서의 보조작업을 가능한 작게 하면서 전개 신뢰성이 높아야 한다. 그러므로 구조물 자체가 충분한 전개기능을 확보하고 있어야 한다. 전개를 위한 매커니즘인 hinge는 구조물 전체의 정확도, 중량, 제작비 등의 관점에서 가능한 적은 편이 좋다.(그림 31)

우주구조물은 어느 정도 전개형 모듈을 사용하더라도 최종적으로는 조립형의 구조개념에 의존한다. 이러한 개념은 조립에 관한 지원기술, 구조부재 관련 기술 등에 기초한다. 또 조립형 구조물에서는 구조부재를 조립할 수 있는 로봇 개념도 필수이다. 로봇 기술의 특징으로는, 작업비계의 지지점이 로봇의 움직임에 따라 상대적으로 움직여야 하고, 작업대상이 공간에서 운동하고 있으므로



(a) (b)



그림 31 전개구조물의 개념도

작업팔도 여러 개가 필요하며, 구조물의 대형화에 대응하는 로봇 팔의 유연성을 고려해야 하고, 인간이 개입하지 않아도 작업이 가능하게 어느 정도의 자율성을 가질 수 있어야 한다.

어떠한 구조시스템을 선택할 것인지는 작업성과 제작비 등에 의해 결정될 수 있으나, 단순히 역학적 성질에 의한 최적화보다는 광범위한 구조 최적화를 생각해야 한다. 즉 연성구조물에서는 제어와 구조를 동시에 최적화할 필요가 있다.

종래의 구조물은 고정된 구조물이었으나, 우주 구조물은 전개형 구조물과 같은 가변형상 구조, 특히 넓은 의미에서 형상변화 및 역학특성 변화 등을 포함하는 가변성 구조물을 생각할 필요가 있다. 이와 같이 가변성 구조를 적극적으로 제어하여 구조물 자체가 여러 가지 적응성 및 자율성을 가지게 한 것이 지적적응구조물(intelligent adaptive structure)이다.(그림 32)

종래의 구조개념은 구조물(structure)을 지적로봇(intelligent robot)이 만드는 것을 의미한다. 그러나 로봇의 참여는 단순히 정밀도를 높일 수 있는 기능만이 아니고, 구조시스템 전체의 완성을 보다 효율적으로 할 수 있다. 이와 같은 지적적응 구조물 개념은 우주구조물의 형상제어 및 진동제어 방법에 직접 관련 있을 뿐 아니라, 우주구조물의 운용상태에도 조정적응화 기능을 가질 수 있게 한다. 우주구조시스템은 점차 대형화될 것이고, 따라서 역학적 특성을 지상에서 실험하기는

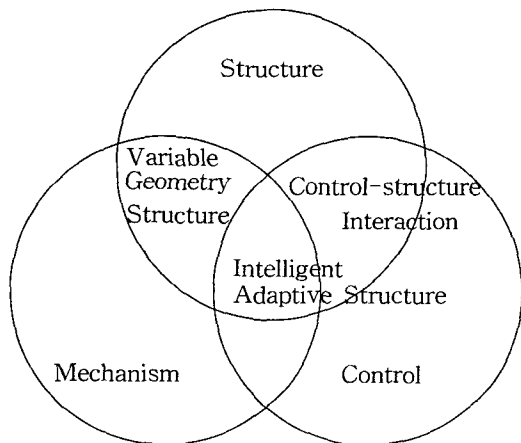


그림 32 지적적응구조물

어렵다. 지적적응구조물은 이와 같은 사태를 해결하기 위한 유력한 해결책의 하나이기도 하다.

마지막으로 우주구조물의 동적응답에 관해 기술해 본다. 우주구조물은 우주공간에 존재하므로 강제자유도와 탄성자유도를 동시에 고려해야 한다. 또 우주구조물은 장력부재와 힘부재가 복합적으로 형성되는 경우가 많고, 이때 구조물 전체 강성은 장력의 크기에 의존하게 된다. 유연성이 높은 구조물은 좁은 진동수 범위 내에서 많은 진동모드가 존재하고, 부재의 국부 진동모드가 저차 진동수에서 나타나기도 한다. 비교적 소규모의 트러스 구조물에서는 연속보 또는 평판에서는 나타나지 않는 진동모드가 저차 진동수에서 나타날 수 있다.

우주구조물은 지상구조물에 비해 공기에 의한 감쇠를 기대할 수 없으므로 일반적으로 감쇠기능이 나쁘다. 따라서 진동제어는 일반적으로 제어외력을 진동방향으로 작용시키는 것이 보통이다. 그러나 케이블, 막에 의한 우주구조물에서는 진동변위방향과 직각인 면내방향으로 작용하는 장력에 의해 진동을 제어하는 것이 효과적이다. 이와 같은 것을 강성제어라 한다. 트러스 구조물인 경우도 구조물 전체가 면외방향으로 진동하더라도 부재 자체에는 축력의 변화가 생긴다. 이때 부재 축력을 적절히 제어하면 진동을 억제할 수 있다.

우주구조물은 주변 자유의 경계조건하에서, 우주공간에서 정지 또는 운동하고 있으므로, 구조거동은 많은 연구영역에 상호 관련된다.(그림 33) 저궤도상에서는 대기 및 전자 유체의 영향에 관련이 되고, 태양과 지구 등으로부터의 열도 큰 영향을 미친다. 가령 열에 의한 변형보다 구조진동이 현저하게 늦은 경우는 열변형과 구조진동과

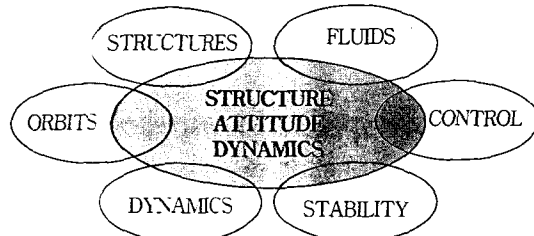


그림 33 우주구조물의 연구영역

의 연성효과(coupling)에 의해 열 flutter가 발생한다.

우주구조물이 대형화 될수록 강성이 저하되고, 따라서 외력의 영향도 많이 받는다. 특히 외력과 구조물과의 연성효과에 의한 구조물의 대변형 또는 구조불안정 현상은 중요한 문제이다. 또 제작할 때 받는 하중, 우주선이 도킹할 때의 하중, 미소한 운석 또는 궤도상의 먼지 등에 의한 충격력 등은 비교적 큰 하중으로 작용한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 집중하중을 구조물 전체에 분산시키는 방법, 또는 어느 정도의 하중을 초과하면 구조물 자체가 분리되었다가 재구성되는 구조 개념 등도 생각할 수 있다.

5. 결 언

최근 세계화, 정보화 시대가 가속되며, 새로운 시대적 물결이 급속히 파급되고 있는 가운데 우리는 새 천년을 맞이하였다. 21세기에는 우리가 어떤 모습으로 어떤 환경에서 삶을 영위할 것인가에 관해 관심이 더욱 간다. 하지만 불확실한 미래를 향해 한 걸음씩 나아갈 뿐 앞날의 모습은 여전히 안개 속에 숨어 있다. 미래를 전망해 보고 싶지만 그리 간단한 일은 아닐성 싶다.

본 고에서는 향후 21세기의 대공간 구조물을 전망하기 위해 대공간 구조물의 과거, 현재, 미래를 조명해 보았다. 콘크리트와 철을 주 건설재료로

사용하던 시절에서 최근 경량화 구조물까지의 개략적 흐름을 다루고, 이의 연장선에서 미래 구조물을 전망해 보았다. 미래는 우주 시대로 설정하고, 우주에서의 건축적 역할을 중심으로 우주구조물의 개략을 소개하였다.

끝으로 저자의 짧은 지식에 비해 너무나 큰 테마를 다룬 것에 대해 조금 부담스러웠고, 다소 잘못된 논리가 있으면 독자의 너그러운 이해를 부탁드립니다.

참 고 문 헌

1. R. J. Mainstone, *Developments in Structural Form*, Penguin Books Ltd, 1975
2. P. L. Gould, *Analysis of Shell and Plates*, Springer-Verlag, 1988
3. 鈴木誠之, 高木健治, “宇宙時代の建設”, 日本土木學會誌, 1989. 1., pp.14~16
4. H. Berger, *Light Structures : Structures of Light*, Birkhauser, 1996
5. J. Abel, R. Astudillo, N. K. Srivastava, “Current and Emerging technologies of Shell and Spatial Structures”, IASS, 1997
6. A. Holgate, *The Art of Structural Engineering*, Edition Axel Menges, 1997
7. K. Ishii, *Membrane Designs and Structures in the World*, Shinkenchiku-sha, 1999 