

## 개폐식 막구조물

고 중 백\*

### 1. 서 론

지붕 개폐식 구조물은 말 그대로 지붕이 개폐되는 구조물을 말한다. 1961년에 완성한 미국의 피츠버그 개폐식 오디트리움은 유명하다. 이 건물이 지붕개폐식 구조물을 알리는데 최초의 건축물이라고 말할 수 있다. 이 건물이 직경 120m를 넘는 강철제 돔으로 8개의 색손으로 나누어져 있으며 모터를 사용하여 개폐한다. 2분30초에 개폐하는 지붕은 그야말로 장대하며 건축기술의 기계에 대한 총집합체라 말할 수 있다.

그러나, 그 후 몇 개의 계획안이 발표 되었으나, 이 돔을 초과할 수 있는 개폐식 구조물을 유감스럽게 세워지지 않았었다. 독일의 홀라이 오토등이 막구조에 의한 중소규모의 개폐물 몇개를 고안하였으며, 실제로도 다수의 개폐식 지붕을 가진 건축물이 세워졌다.

지금까지의 지붕개폐식 구조물은 그다지 사람들의 주목을 이끌지 못하였다. 최근에 와서는 경제적인 이유로 부터 공사가 중단된 몬트리올 올림픽 스타디움의 막에 의한 개폐 지붕공사가 재개되어 이미 완성 되었다. 토론토의 개폐식 스타디움이 완성되었으며, 일본에서도 테니스 코트, 수영장등 지붕이 개폐되는 구조물이 있다.

개폐식 구조물의 형식에는 여러가지 형태의 것

이 있다. 각건설회사, 건축가에 의해 디자인 및 구조에 뛰어나고 경제적인 것을 고려하여 여러형식의 구조를 독자적으로 개발하고 있으며 어느 형식의 것이 가장 좋다고 단적으로는 말할 수 없다.

### 2. 개폐식지붕 시스템의 종류

- 서스펜션 구조
- 카텐 레일 구조
- 파라솔
- 수평 이동
- 회전 이동
- 에어 빔
- 평행 슬라이드
- 방사 슬라이드
- 연직 축 회전
- 수평 축 회전
- 서스펜션 축 회전

마스트등의 골조에 의해 주위에 매달아 놓은 케이블에 가동식 막의 재료를 붙여 지붕으로 하는 구조 형식을 말한다. 막재를 활차등의 연결장치를 이용해서 케이블 위를 이동시키는 것에 의해 지붕의 개폐를 행한다. 단순히 막재료를 매달아 놓은 것으로서, 골조부의 정점부에 막재를 매달아 놓은 상태의 구조물이 대다수를 차지하고 있다.

\* 현대건설 기술연구소(공학박사)

이렇게 정리 정돈되지 못한 막재를 잘 처리하기 위한 기계적 연구를 행할 필요가 있다. 적용 규모는 스패 수십m에서부터 수백m에 이르기까지 그 범우는 넓다고 볼 수 있다.

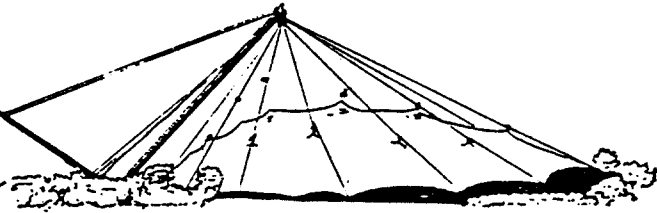


그림 1

- 카텐 레일 구조

카텐 레일이 되는 아취등의 골조에 의존하는 철골 막구조를 말한다. 이 골조에 따라 카텐을 열고 닫는 것 처럼 지붕의 개폐를 행한다. 철골의 골조를 세우는 방법은 여러 가지 형태가 가능하여 디자인의 자유도가 다른 어떠한 구조물에 비교하여 유리하며, 공간의 크기 또한 장대한 규모로 설계할 수 있는 것도 큰 특징이라 말할 수 있다.

과거에는 철골의 재질 및 구조계산의 문제점을 지니고 있어, 장대한 스패이 불가능하였으나 현재는 컴퓨터의 발전과 구조계산의 발전에 의해 다양한 건물의 설계가 가능하다.

과거에는 수영장, 아이스 링크 등에 사용되었으나 지금에 있어서는 그 규모도 클 뿐만 아니라 설비의 발전에 의해서 장대한 스패도 가능하게 되었다.

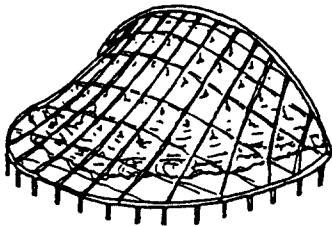


그림 2

- 파라솔 구조

골조에 부착한 막지붕을 우산처럼 골조에 접는 것에 의해 개폐하는 방법을 말한다. 강우시, 강설

시에는 열리고 그 외에는 닫아 놓는 것을 말한다. 원래 우산의 형태에 의해 발상의 근본이 고안되었다. 우산처럼 1색손의 유니트로서 막재의 재단은 불가능하며, 1색손 안에서 막재의 경제적 재단 및 응력을 충분히 견디어 낼 수 있는 방향으로 재단하는 방법이 있으며 넓은 면적에도 사용 가능하다.

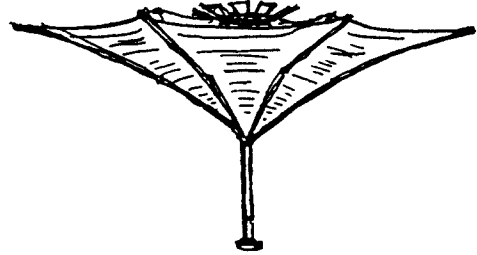


그림 3

- 수평 이동

막재를 부착한 골조(철골)가 아코디언 처럼 자바라에 의해 접어지는 형태에 의해 개폐하는 방법을 말한다. 골조가 기둥 불 일치로 되어 있는 것이 대부분이라 말할 수 있다. 개폐부에는 불 cable 등의 구조재를 남겨두지 않고 완전한 야의 공간을 만드는 것이 가능하며, 대규모 구조물에는 적용이 불가능하다. 소규모, 수영장, 테니스장에 적합하다.

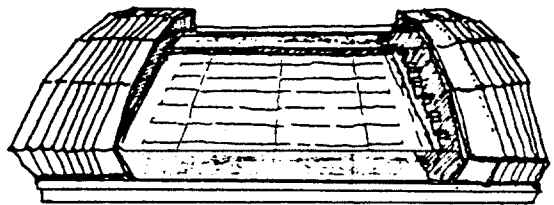


그림 4

- 회전이동

막재를 부착한 트러스 등의 골조에 회전이동시켜, 1개소, 혹은 2개소에 모이게 하여 자바라식으로 개폐하는 방법을 말한다. 소규모의 구조물로부터 야구장급의 대규모까지 폭넓게 이용되어지고 있다.

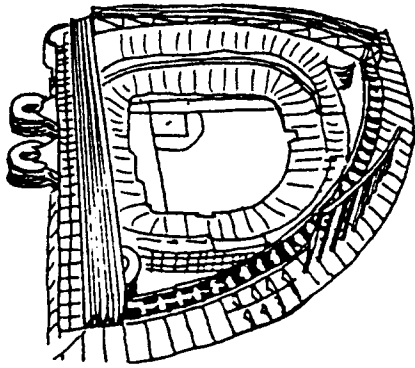


그림 5

- 에어 빔

이중막구조의 에어 빔의 내압을 증감 하는것에 의해 지붕 및 벽체를 수축시켜 개폐하는 방법을 말한다. 평행이동형, 회전이동형, 감아올리기형등 여러 System을 생각할 수 있다. 그러나 평행이동형을 제외하면 상당히 큰 대규모 건물에 사용하는 것은 곤란하다.

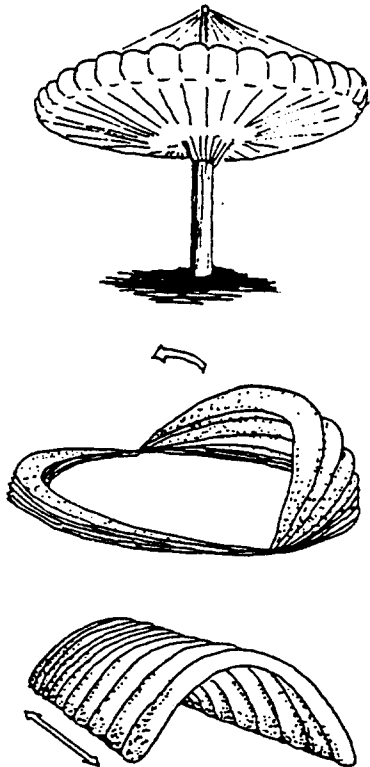


그림 6

- 떠올리는 지붕

이중막구조 지붕에 헬륨 Gas를 투입하여 지붕의 전체 또는 일부를 떠올리는 것에 개폐하는 방식을 말하며, 만국박람회의 파빌리온등의 건물에는 유효하다. 그러나 그다지 실용적이라고 말할 수 없다.

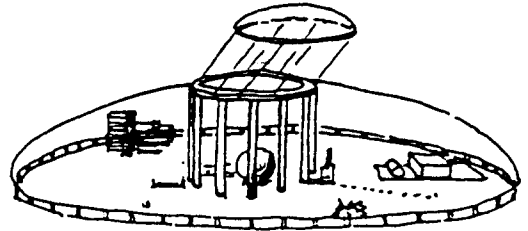


그림 7

- 막구조 평행 Slide 식

몇 개로 분할된 골조막구조 지붕을 레일에 따라서 평행으로 Slide시켜 건물의 끝부분, 혹은 건물 외에 걸쳐, 개폐하는 방식을 말하며, 대규모 Stadium 에도 적용 가능하다.

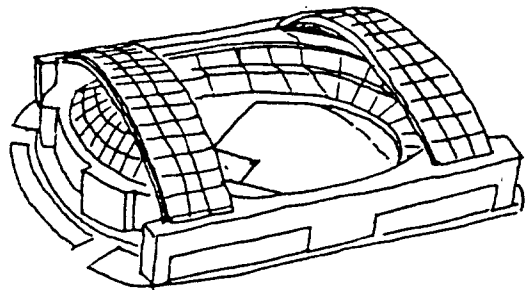


그림 8

-막구조 방사 Slide식

Dome 등 원형 Plan을 가진 골조(철골) 막구조의 지붕을, 방사상에 분할하여, Slide시켜, 중앙부를 개폐하는 방식을 말한다. 대규모 Stadium 및 Concert Hall 등에 적합하다.

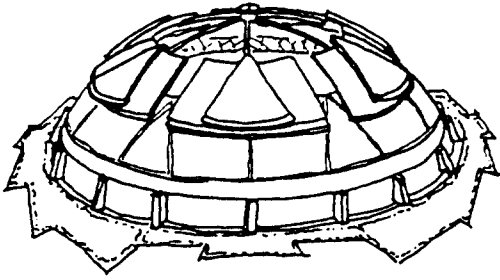


그림 9

- 막구조 연직축, 회전식

원형평면의 막구조지붕을 연직축으로 회전시켜 개폐를 행하는 방식을 말한다. 상부의 고정점을 축으로 회전하여 날개(Section)를 한쪽방향으로 모으는 것을 말한다. Stadium 및 Concert Hall에 적합하다.

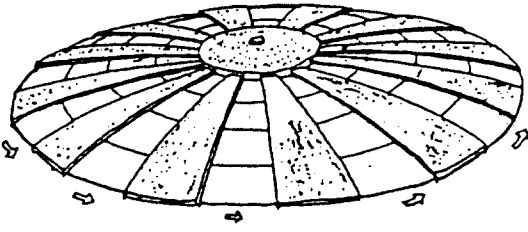


그림 10

- 비막구조 평행 Slide식

철골조, 플라스틱조의 Roof Segment가 Rail 위에서 평행이동하는 것에 의해 개폐하는 방식을 말한다. 대규모 건축에 있어서는 가동부분의 경량화라고 하는 점에서 막구조 평행 슬라이드식 구조에 의한 것이 많다. 수영장, 테니스장의 지붕의 부분 개폐등, 소규모에서는 대형 알루미늄 샷시라고 하는 감각에서 구축하기 쉬운 것 중의 하나라고 볼

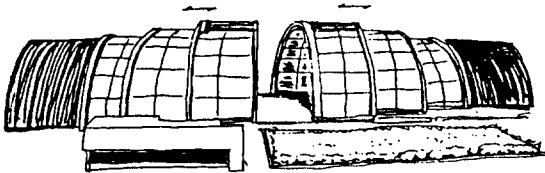


그림 11

수 있다.

- 비막구조 연직축 회전식

Dome 등의 지붕을 방사상에 부채형의 Element에 분할하여 회전이동에 의한 Element을 겹치게 하여 개폐하는 방식, 피츠버그 돐을 대표적인 예라고 말할 수 있다.

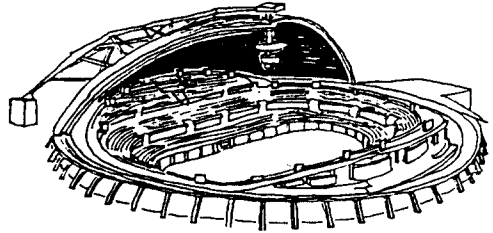


그림 12

Montreal Olympic Stadium<분류:서스펜션 막구조>

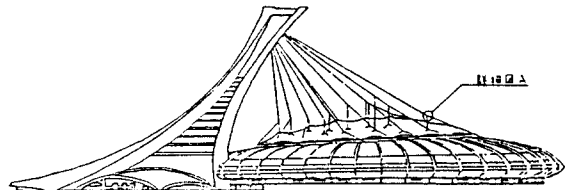
1976년 Montreal, Canada.

Dimension: 장경: 180m 단경

개폐부 장경: 180m, 짧은길이 : 120m, 면적: 18,000m<sup>2</sup>

Montreal Olympic Main Stadium에 Suspension 막구조의 지붕을 씌우어 개폐식으로 하는 계획이, 경제적 이유로 1976년 Olympic당시에는 개폐 지붕이 없었으나, 몇년전 부터 공사가 재개 되어, 최근에 이르러 완성되었다. RC조 Stadium의 장방형의 측부에 동일한 RC조의 기둥을 세워 그것을 Mast로 해서 맨 꼭대기로부터 가이드 Cable을 돌려 매달아 자주적 트락타를 이용하여 막재를 개폐시킨다.

지붕을 개방하여 끌어당겨 올린 막재는 기둥안에 격납 되어지는 것 처럼 되어 있다. RC조의 중



立面圖

그림 13

량감이 있는 구조체와 결합하며, 그외의 Suspension 막구조형의 개폐식 건축에 비교하여 항구적인 것으로 뛰어난 디자인을 갖고 있다.

Bad Harsfeld 수도원 자리의 야외극장. <분류: 서스펜션 막구조>

1967년-1969년 Bad Harsfeld, West Germany

설계:Frei Otto With Ewald Bebner

Dimension:45<sup>m</sup>x37<sup>m</sup>, 1315<sup>m</sup><sup>2</sup>, 최고지붕높이 16m

막재료:폴리염화비닐수지(P.V.C)코팅 폴리스텔 섬유 캔버스

지붕이 없어진 수도원의 중정 부분에 제거 가능한 개폐식의 막지붕을 부착하여 극장으로 한 것이다. 수도원의 Nave중정 측면에 높이 32m, STEEL 제

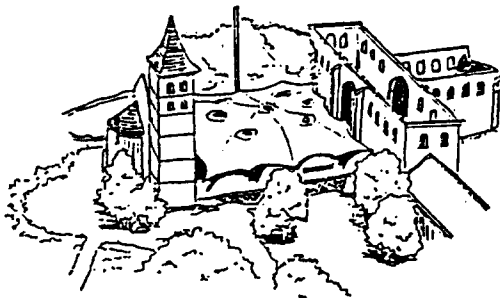
Mast를 세워 그 정점부의 후방에 2개의 지지 Cable, 전방 방사형태 위에 14개의 Guide Cable를 Nave주위에 돌려 매단다. 14개의 Guide Cable에 자주식 Cable Tractor에 의해 장력을 넣는다. 이 Cable Guide Cable위를 Nave 주위로부터 Mast 정점부까지 이동하는 것에 의해 개폐한다. 개폐시간은 약 4분이다.

다목적 대공간 개폐식 지붕계획(Hoecht Stadium) <분류:서스펜션 막구조>

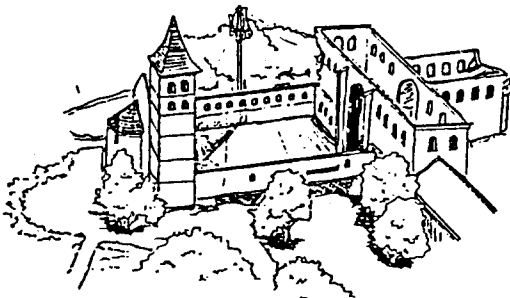
1970년, West Germany

설계:Frei Otto with Berthold Burkhardt, Mike Eekhout, Richard Plate, Bodo Rach

Dimension 직경 약 300m, 600m, Main Mast 180m방식으로 600<sup>m</sup><sup>2</sup>라는 다목적 대공간을 덮고, 동절기에도 난방에 의해서 쾌적감을 유지할 수 있도록 되어 있다. 레스토랑, 전시실, 코머셜 설비 등에 사용되는 테라스등도 있다. Main Mast는 스포츠 이벤트에 사용되며, 테라스 앞에 까지 들어 올릴 수 있도록 되어 있다. 6000<sup>m</sup><sup>2</sup>를 덮기 위한 Main Mast는 180m 길이로 되며, 40°의 각도를 갖

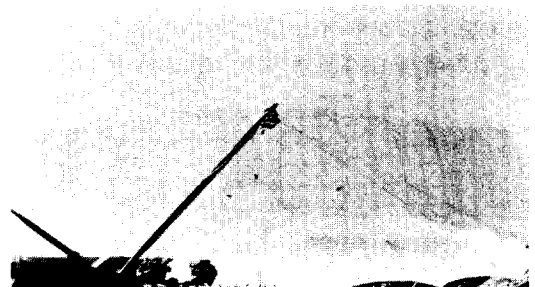


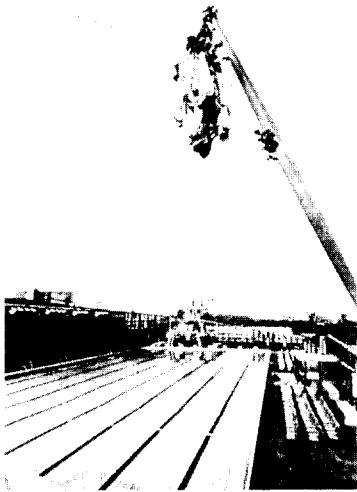
Closed Position



Opened Position

그림 14





Cable에 따라 부착한다. Main Mast 정점부의 활차를 이용해 Ground Level에 설치된 원치까지 연결하여, 인장 Cable에 의해 개폐한다. 지붕을 덮은 상태에 있어서는 Ground외의 배수구에 빗물을 배수하며, Glass에 부착된 Screen(벽체) 상부의 Flexible Tube에 공기압을 가하는 것에 의해 주위를 밀폐한다.

야외 극장지붕 <분류:카텐 레일식 구조>

1954년 Killesburg Stuttgart (독일)

설계:Frei Otto.

수직으로 세워진 Arch로 부터 횡으로 나누어진 Arch로, 세로방향은 얇은 강제 Rail을 사용한다. 창고형의 Net위에 골조를 만들어, 막재를 골조를 붙여 세로방향의 Rail에 따라 개폐시킨다. 막재를 아래부분의 Arch에 부착되어 있는 Compression Ring에 고정하여 Pretension을 넣는다. 지붕을 열 때는 수직 Arch중에 막재를 격납한다. 수직 Arch는 조명설비, 스피커, 적외선 히타 등을 탑재하도록 되어 있다.

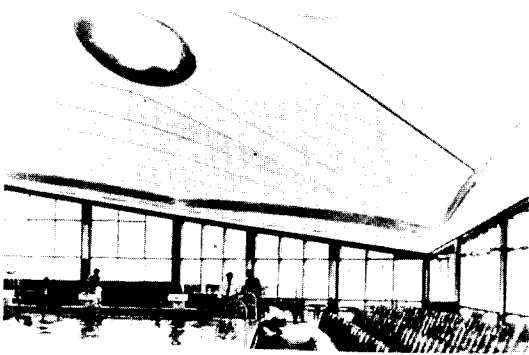


그림 15

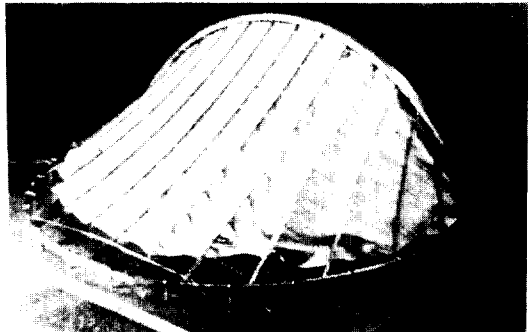
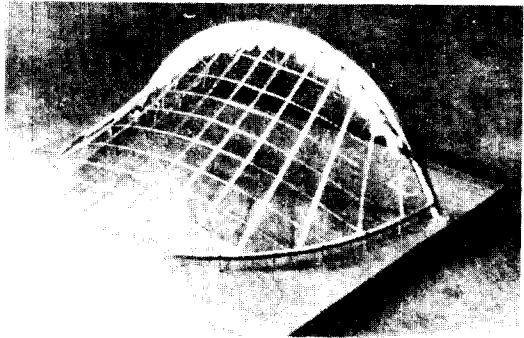


그림 16

고 지면에 접하게 되어 있다. 접합부가 Hinge로 결합되어 Main Mast와 90° 각도를 이루어 보조 Mast에 2다발의 지지 Cable을 걸쳐 힘의 균형을 이룬다. 막재료는 투광성이 있는 것을 사용해 Main Mast로 부터 방사상에 붙여 매달아 Guide

구름지(언덕지형)에 새운 야의 원형극장 <분류 :카텐 레일식 구조>

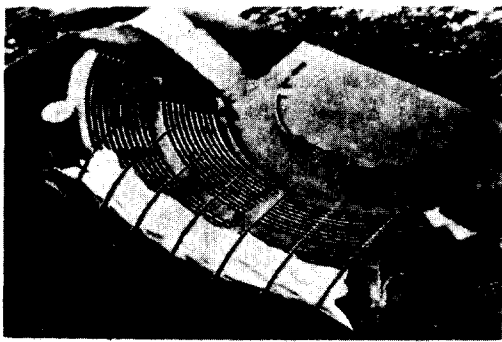
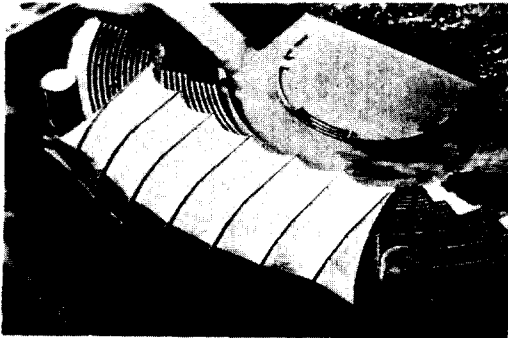


그림 17

1964년:Heppenheim, Germany

설계:Frei Otto

갑자기 소나기가 올 때 관객의 일시 피난소로서

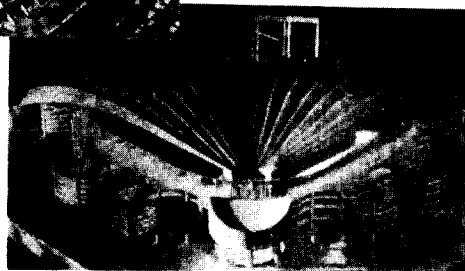
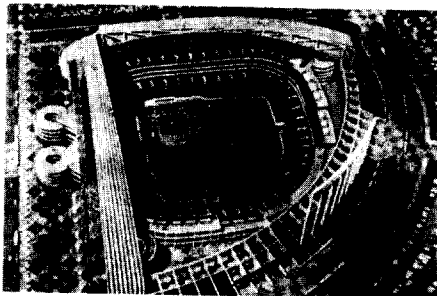


그림 18

관객석의 일부를 막지붕으로 덮는 것을 의미한다. 큰지붕에서 관객석의 일부를 덮는 것에 비해서는 저렴한 비용이다. 7개의 T자형 캔티레바에 평행으로 이동막 지붕을 지지 시킨다. 집중하중이 걸리는 매달은 점에서 막면을 보강하기 위해 보강 cable을 넣었다. 지붕 개방시 막재는 관객석 뒤에 캐비닛에 넣어 수납시킨다. 이 방식에서는 지붕수납 하는 부분이 끝부분에 있고, 평면외에 설치되어 있으므로 해서 거의 완벽한 지붕 개폐가 가능하다.

The Fan Dome <분류:수평 이동식 구조>

1986년 Chicago, Illinois, U.S.A

설계:Hok Sports Facilities Group

Ron · Labinski & Rick Deflon

구조:Geiger Associates

야구장 내야석 후방에서 방사 형태위에 Spn 200m로 16개의 Truss Arch를 걸친다. 그것이, 중앙(Back Screen)후방으로 좌우 8개로 나뉘어진 부채살 처럼 개폐한다. 각 Truss Arch는 Butter Fly Truss라고 불리는 구조재로서 Pin결합되어 있다. 막재는 투광성이 있는 것을 사용하였으며, 지붕 내측에 붙여 막재를 감출 수 있도록 되어 있다. 막지붕 Truss Arch와 Truss Arch사이에 Valley Cable을 사용하여 조개모양을 형성한다. Valley Cable을 사용하여 막재에 장력을 도입하여 완전한 형상을 유지한다.

## Stadium 지붕안 <평행 슬라이드식 구조>

1986년

설계: Shimiz건설(일본)

Stadium의 지붕을 6개의 Element로 분할하여 중간 4장이 Stadium 끝의 Rail 위를 2매씩 나누어 평행이동하여 양단의 구면 Element에 겹치게 된다. 구조는 Shimiz건설이 개발한 하이브리트 장력 막 구조로서, 막재는 테프론 코팅의 투광성을 충분히 살린 것이다. 관객석의 이동이 가능하며 야구, 미식축구가 가능하다. 본구조의 높이, 넓이 등은 자유롭게 설정이 가능하며 Tennis Court, 수영장 등 소규모로부터 대규모까지 응용범위가 가능하다.

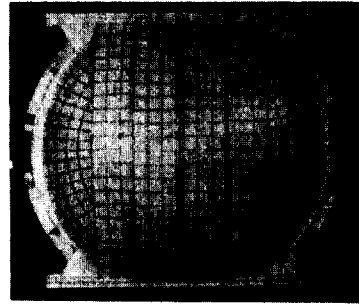
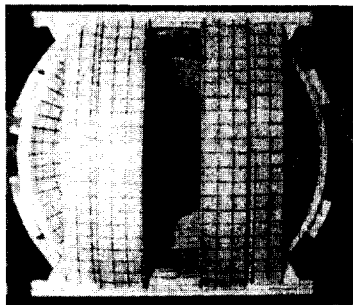
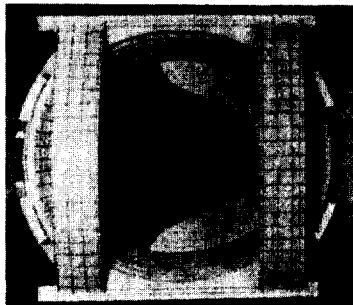
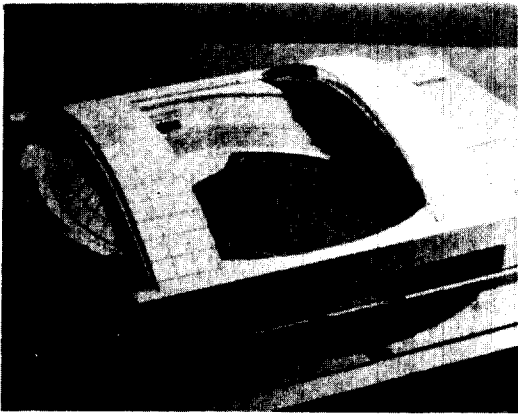


그림 19

## 뉴스카이 라이트 돔(New Sky Light Dome) <방사 슬라이드식 구조>

1986-1987년

설계: (주) Obayashi(일본)

직경: 150m-200m

돔을 방사상으로 5등분하여 각각의 부채형을 원주방향으로 3분할 하여 내측과 중앙의 Element가 외측 Element 위에 Slide해서 움직인다. Dome면적의 약 50%를 개방하는 것이 가능하다. 그것은 Obayashi가 85년에 발표한 1단계 개폐식의 New Sky Dome안을 보다 큰 지붕개폐율을 얻을 수 없을까 해서 개량한 것 이기도 하다. 구 Sky Light Dome에서는 지붕개방시에 개폐의 Guide Rail이 되는 6개의 골조 Arch도 접어지는 상태로 있었으나 새로운 개량안에서는 그대로 남아 있도록 했다. 그것은 stadium내에서 관람하는 경우에는 Arch가 남아 있어도, 그다지 신경 쓰이지 않으므로 무리하게 격납시키는 것 보다는 개구를 크게 하는 편이 좋으므로, 2단계 개폐식으로 개량하였다. 막재는 미국 듀폰사의 "Teflon Coating"에 의한 극소 Glass섬유캔바스를 사용했다. 그림은 Span150m, 면적 20,000m<sup>2</sup> 정도의 큰 stadium이나, 본구조는 span 200m의 큰 Stadium에도 가능하다. 건설 Cost는 직경 200m, 수용인원 10,000인에 약 60-70억엔이 든다. 공기막 구조와 비교하면 개폐설비 만큼 높은 경비가 소요되나, 송풍에 들어가는 Running Cost가 불필요 하기 때문에 총 Cost는 비슷한 수준이라 말할 수 있다. 지붕은 골조 막구조로서 가동 Element는 중앙부 1장에 약 40ton, 2장에 약 120ton의 하중이 걸린다. 동력은 전동 Winch로서 Cable을 매개체로 지붕 Element를 움직인다.



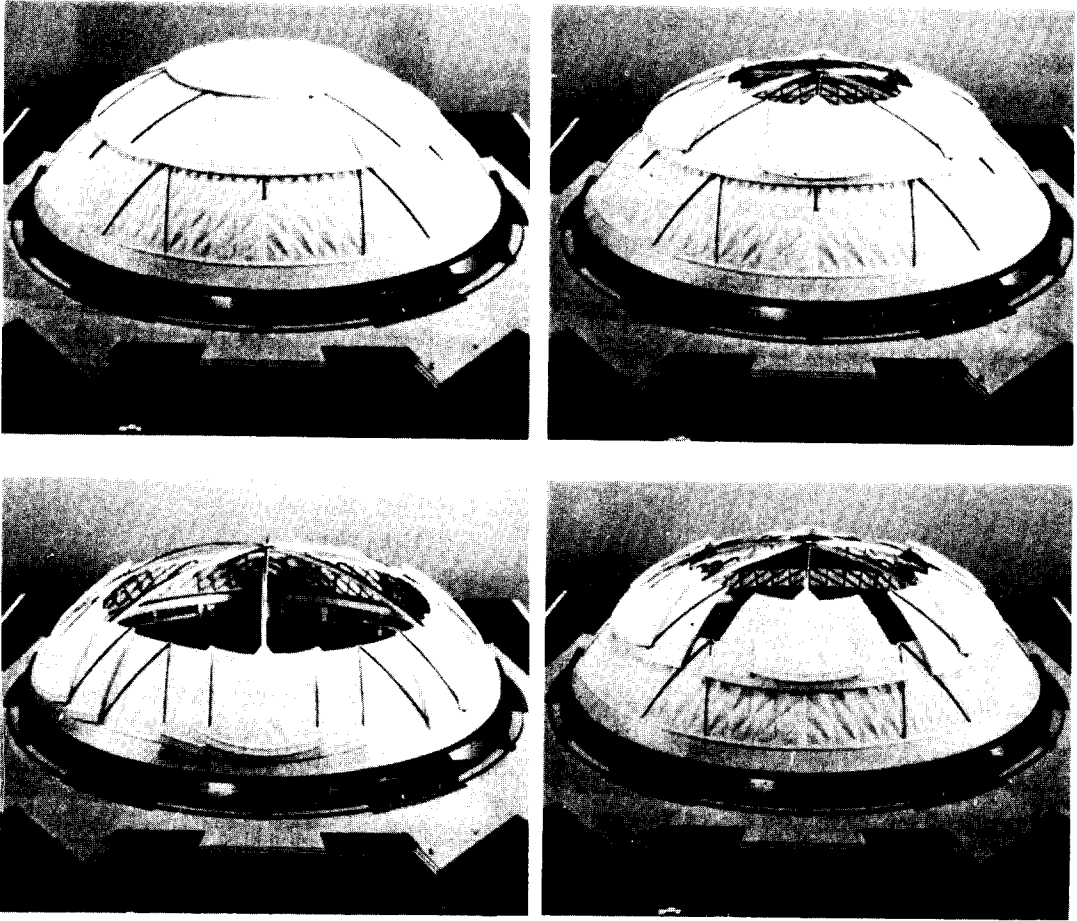


그림 20

### 3. 개폐식 막구조의 필요성과 운영방안

개폐식 스타디움은 새로운 시대를 맞이 하여 비의 영향, 동절기 추위의 영향을 받지 않고, 날씨가 좋은날에는 따가운 태양빛을 받을 수 있다는 사회적 요구로 부터 시작되었다. 지금까지, 많은 고정 지붕 스타디움을 완성하여, 그 기술은 기본적으로 안정된 영역에 들어와 있다고 생각되어지나, 이것을 개폐식 방법으로 하기에는 아직도 많은 분야에 관해 연구를 하지 않으면 안된다. 역사적으로 로마시대의 원형경기장에 개폐식 지붕이 있었다는 자료가 있다. 현시점에 있어서 개폐식 지붕이 전면지붕이 개폐하였는지, 객석부분만을 개폐하였는지에 대해 알 수 없으나 그 추측에 정열을 쏟고

있는 연구자도 있다. 현재 문제로 되고 있는 것은 고정 지붕, 개폐식지붕이 어느 정도의 이벤트 개최가 가능한가, 어느 정도의 수입 확보 가능한가, 사람은 어느 정도 불러 모을 수 있는가, 매력적인 쇼는, 스포츠를 어느 정도 개최 가능한가 하는 것이 문제로 되어 있다. 슈퍼돔은(미국, 뉴올리언즈) 세계 최대규모를 가진 고정지붕 스타디움으로 미국에서도 대리그 구단과 미식 축구 구단에서도 볼 수 없는 적자에 시달렸다. 그러나, 최근에 와서는 돔을 어떻게 사용할 것인가, 어떠한 개최물이 가능한가를 찾아내어 실시하여 흑자로 돌아섰다. 스타디움의 개폐지붕 계획은 단순한 기술적인 문제뿐만 아니라 용도 개발을 행하여, 소프트(개최물)의 이미지를 갖고 계획하여 그것에 적합한

개폐방식의 설계가 필요하다. 개폐지붕 스타디움 만으로서, 종래 야구 및 스포츠를 생각하는 것으로는 관중을 늘 불러 들이는 것은 가능하지 못하다. 그러므로, 다목적으로 다양한 종류의 개최물을 계획 한다. 스타디움을 완전 사용이외, 분할사용을 가능 하도록, 즉 낮에도 내부를 어둡게 할 수 있는 시설을 만든다. 파리에서 젊은 사람을 위해 건설한 뮤직컬홀은 지금까지 파리에 없었던 것이다. 클래식용 홀은 많았으나, 재즈홀은 처음이며 이것을 건설할때에 이미 2년간의 공연 예약이 끝났다. 대공간을 나누어서 사용하는 예도 많다. 모스크바에서는 큰홀을 나누어 동시에 2개의 스포츠를 가능토록 하였다. 대무대를 설정한 극장에도 적용하고 싶다. 5,000-10,000인의 관객석의 경우는 그것에 적합한 공간규모를 나누어서 설계할 필요가 있다.

스타디움의 지붕에서는 천정 높이가 높은 예로서, 미국의 대규모 공기막구조에서 그라운드면에 테이블을 놓고 식기가 놓여 코스 요리가 나와, 정장을 하신 손님이 식사를 할 때 그 공간은 너무나도 어울리지 않았다. 이러한 것을 적용하고자 개폐지붕을 설정하면, 지붕이 불필할 날에는 지붕을 닫고, 옥외 스포츠, 야외콘서트, 야외운동회에서는 자연광과 자연의 바람을 받으면서 즐길 수 있다. 하늘 밑에서 할 수 있는 보증을 받게 된다. 실내에서 개최하는 쇼, 서커스, 전시회, 건본전람회등에는 적극적으로 대응이 가능한 질 높은 공간을 제공 할 수 있도록 이동성이 높은 관객석의 설계를 계획한다. 오픈 스타디움은 개방감, 야외극장, 야외콘서트, 날씨가 좋은 날에는 태양빛을 받고 싶다는 욕구, 그리고 별이 빛나는 밤하늘 아래서 관전하고 싶다는 욕구, 담배를 피우고 싶다는 욕구를 만족 시킬 수 있다. 스타디움의 실내화는 세계적인 추세이며, 개폐식지붕은 심볼성을 갖고 양면성을 전부 만족시켜 준다. 지붕개폐를 시킴으로 인하여 예상치 못하게 개최물이 열려질 수 있는 가능성도 생각할 수 있다. 그 차액은 간단히 회수가 가능하다고 말하는 설계자도 있다. 개폐지붕 스타디움으로 가능한 개최물의 종류, 문화 시설로서도 사용이 가능한 것, 세계적으로 유명 개최물을 조사하여 적극적으로 용도개발을 행하고, 단순

한 스타디움으로서가 아니라 여러 분야에 적용 가능한 목적성, 동시에 심볼로서의 단일성을 가질 수 있는 구조물을 설계 해야 된다. 개폐지붕은 단순히 지붕이 열리면 좋다고 말할 수 없다. 지붕을 닫을 경우, 그것은 고정된 돔구장에도 뒤지지 않는 것, 지붕을 열은 경우에도 오픈스타디움에도 뒤지지 않는 개방감을 수여하는 것을 기본으로 한다. 고정된 돔구장에 비해 공사비는 극단적으로 낮게 하지 않는다.

#### 4. 개폐식 막구조 설계시 유의사항

개폐에 따른 지붕구조의 문제, 하부구조의 문제, 개폐기구의 문제, 개폐지붕으로서 하절기의 냉방설비, 그 에너지의 코스트 절감, 에어돔으로서 항시 송풍 이라는 메카니즘과 그 제어 시시템의 경비 절감 등에 의한 코스트를 고려해, 그 범위 내에 가능한 개폐방식으로 해야 한다. 안전성이 높고, 유지보수가 적은 메카니즘을 고려하여 기능을 결정한다. 개폐지붕 스타디움에서의 개폐지붕 방식의 평가는 목적, 대지조건 등 용도에 의해 차이가 있으나 일반적으로 생각해 다음과 같은 기본 조건을 설정한다.

##### 1. 지붕개폐 상태에서 하늘의 형상

관객으로부터 보아서 개방감이 있는 형태, 관객의 수평 방향에 대해서도 오픈으로 한다. 주관객석으로는 열릴 때, 눈에 거슬리는 지붕면이 보이지 않도록 한다.

##### 2. 그라운드 지붕의 그림자

그림자가 경기에 방해 하지 않도록 하며 관람하기 쉽도록 한다. 그리고 지붕을 오픈 당시 수납 지붕의 그림자가 경기에 영향을 주지 않도록 한다.

##### 3. 닫은 상태의 조건

고정지붕 방식에 비교해 닫아놓은 상태에서의 성능을 떨어뜨리지 않는다. 통풍이 가능하며 기본적으로 지붕에 투광성이 있는 재료를 사용하여 낮에도 밝은 조도를 유지한다.

##### 4. 열린 상태에서의 조건

단순한 모양으로 한다. 안전성이 높은 것으로

하며 하며 유지 관리도 용이하며 경제적인 것으로 한다.

#### 5. 개폐에 따른 필요면적

개폐에 필요 이상의 면적의 증대를 최소한으로 한다. 이러한 사항을 계획의 기본으로 하여 검토, 만족할 수 있는 계획으로 한다. 기본적으로는 관객석에 앉아 지붕이 열린 경우, 외야를 넘어 있는 스카이라인을 보며 지붕의 존재감을 없앤다.

#### 6. 목적에 따른 개폐형상.

대상 스포츠의 설정 및 이벤트의 설정이 필요하다. 지붕이 오픈 되어지는 경우 대칭성이 요구되는 스포츠의 파악

#### 7. 지붕이 열릴 때 태양의 방향

지붕 격납층에 의해 태양이 비추는 경우 그라운드에 크나큰 그림자가 생긴다.

#### 8. 내외야 스탠드 바울

야구에서는 내야 우선으로, 외야는 작아도 좋으나 그밖의 스포츠에서는 그것이 차이가 있는 것도 있다. 미국에서의 스타디움 미식축구 중심으로 설계 되어 있다.

#### 9. 내외야 스탠드 높이비

야구에서는 낮아도 좋다. 지붕이 열릴 경우 주 관객석보다 외야를 넘어서 있는 외부의 스카이라인이 필요하며 개폐방식과도 관련성을 갖고 있다고 볼 수 있다.

#### 10. 개폐에 의한 면적상의 문제

개폐에 따른 건축면적, 대지면적을 불필요하게 증대시키지 않는다.

#### 11. 지붕면 음영의 대비

지붕을 열은 경우 선수로부터 격납지붕 부분과 오픈 부분과의 크나큰 명암대비에 대한 검토가 필요하다.

#### 12. 골조 잔존의 문제

골조지붕을 남기고 개폐하는 경우 여러 각도에서의 신중한 검토를 필요로 한다.

#### 13. 조명의 위치

종래의 고정지붕 보다 낮아질 가능성이 있다.

#### 14. 지붕이 닫혔을 때 통풍·폐쇄성

지붕을 닫았을 때의 통풍성, 동절기의 폐쇄성에 대한 대응이 필요하다.

#### 15. 개폐시간

토론토 20분, 몬트리올 20분, 피츠버그 2.5분

#### 16. 내부를 어떻게 해야 하는 이유

내부를 낮에도 밝게 또는 어렵게 하는 사회적 요구 충족 및 다목적성 고려

#### 17. 구동방식

구동부가 고장 혹은 일부 파손되도 안전한 것. 개폐도중에 고장이 있어도 안전한 것. 브레이크 장치가 뛰어난 것. 개폐시 국부적으로 큰(집중)하중이 걸리지 않도록 한다. 개폐도중에도 구조전체가 안정 상태로 있으며 폭주의 위험이 없을 것.

#### 18. 가동부분을 가진 부분

가동기구를 가진부분을 적게 한다. 유지 보수관리를 하기쉬운 위치에 설정한다. 복잡한 가동 기구는 피한다.

#### 19. 지붕 개폐의 에너지

개폐 시스템의 차이에 의한 사용 에너지 차가 크므로 검토를 요한다.

#### 20. 강설시

다소의 강설에도 개폐할 수 있을 것

#### 21. 가동 부분

가동부를 설치하는 방법, 횡력, 차륜의 불균등하중, 마찰, 탈선, 차륜의 공전작동소음, 적정조도, 고정방법, 브레이크 장치 부동침하 등의 검토

#### 22. 지붕구조 방식

가동지붕으로 안전성, 신뢰성, 경제성, 시공성, 유지보수관리성, 내구성, 안전성, 방화성, 피난성, 경량성, 투광성등을 고려한다.

#### 23. 구조의 경량화

고정지붕과 비교해 어느 정도의 철골량의 증감이 있다. 개폐방식에 따라 증감의 영향이 있다.

#### 24. 가동 단위

작은 부분까지 가동시키면 복잡하게 된다. 가동 단위가 적정한지 어떠한가 검토 하며, 가동단위를 독립된 구조로 하는편이 안전하다.

#### 25. 열은 상태에서 구조의 적정도

지붕수납시 바람하중은 어느 정도 견딜 수 있으나, 가능하다면 최대바람 하중에 저항하도록 한다. 지붕수납 부분, 지붕수납 상태에서 안전성을 확보한다.

26. 닫은 상태에서의 구조의 객정도

닫은 상태에서 고정지붕과 비교해 안전성이 떨어지지 않도록 한다. 토론토 스타디움에서 직경 10m의 구멍이 지붕면에 있어서 안전이라는 조건을 만족 시켰다.

27. 지붕면으로 부터 낙하물

개폐의 진동동에 의한 기구, 부재, 센서류, 쓰레기, 물, 눈등의 낙하가 없도록 한다.

28. 내구성

외부에 철골을 노출되지 않도록 한다. 유지관리 용이하다.

29. Span & Rise 비

구조적으로 적절한 스패와 라이즈를 찾는다.

30. 가동부

가동중 지붕의 바람 그 외에 하중에 의한 변형량, 가동부 경계의 고정 방법에 대한 구조적 평가

31. 지붕면위의 눈하중

곡면에 대한 눈의 정확한 하중분포를 파악한다.

32. 개폐에 따르는 국부 하중

개폐에 따른 경계구조, 하부구조의 영향을 검토한다.

33. 지붕 수납의 풍하중

풍동실험이 필요하며, 어느 정도의 바람하중을 고려 할 것인가를 검토

34. 지붕 가동중의 하중

바람하중, 눈하중, 지진하중 등을 어느 정도까지 계산에 산정할 것인가.

35. 열응력 변형

열응력의 의한 수축 팽창을 CHECK 한다.

36. 가동부의 충격하중

하중의 활중계수를 고려한다.

37. 막면의 장력(상시 막면의 유지 장력)

대규모 지붕에서는 항시 장력을 관리할 필요가 있으며, 막의 장력 재도입에 관한 검토. 특히 막면을 접어서 개폐하는 경우.

38. 막면의 적정 unit

운반성, 시공성, 막면강도, 인열 방지성 검토

39. 곡면의 형성

막면의 곡면이 필요하며, 개폐에 의해 겹치는 두께가 증가되지 않는 unit 곡면이 필요.

40. 천정막 곡면

천정막을 매달면, 그만큼 겹치는 두께가 증가한다. 수납시에 바람에 흔들리는 문제 검토

41. 개폐에 의한 막재의 손상

막재의 접촉 즉, 개폐시 막재와 타재료와의 접촉을 없앤다. 막을 접어 개폐의 경우

42. 막재의 교환부착

용이하게 교환 및, 부착 가능한 구조

43. 막재의 부착 시공성

안전하고 용이하게 부착하는 방법 연구

44. 천정막의 강도

개폐시에 바람하중을 받는다.

45. 천정막의 청소 검토

간이하게 청소 가능한 방식의 연구

46. 천정 막재의 투광성

내부를 밝게 하기위해 밑바닥에 투광성이 좋은 재료 개발

47. 냉방의 문제

하절기에 지붕을 덮었을 때 실내에서 이벤트 개최하는 경우에 필요하며, 하절기의 냉방시의 외부 기온 설정의 검토.

48. 냉방의 문제

난방에 비해 간단  
동절기에 통풍을 없앤다.

49. 조명

기본적으로 천정 조명을 할 수 있으며, 조명 철탑을 사용하면 Open구장보다 낮게 된다. 개폐시의 밝기 조합이 필요하며 다목적으로 대응하는 조명 계획이 필요

50. 소리

천정으로부터 Speaker를 매달 수 없는 문제의 검토. 개폐시에서 소리의 차이에 대한 대응책이 필요하며, 흡음성의 높은 천정막을 사용

51. 환기·배기

환기공을 어디에 설치 할 것인가.

52. 음설

눈이 많이 오는 지역에서의 대응책 마련.

53. 누수

가동 집합부의 문제로 주수 실험이 필요. 지붕 격납시의 물(비)처리의 검토. 지붕 개폐시 도중의 물(비)처리 검토.

54. 피뢰침

지붕면에 피뢰침 설치 불가능하므로 그 대응책의 연구

55. 가동부 유지관리

눈으로 이상한 부분을 알 수 있는 곳의 체크 리스트 작성. 가동부를 적게하여 유지, 보수를 용이하게 한다. 유지, 보수의 위험이 적게 한다.

56. 전파장채

주변을 체크한다.

참 고 문 헌

1. 지붕계폐식 구조물에 관한 연구  
Sasaki Naoya