

세계의 대형 개폐식 지붕구조

A large Retractable Roof Structure in the World

박 선 우*
Park, Sun-Woo

최 취 경**
Choi, Chui-Kyoung

요 약

전 세계적으로 많은 개폐식 지붕구조들이 존재한다. 개폐식 지붕은 다양한 사용성과 요소들로 구분된다. 100여개 이상의 사례를 스패, 구동장치, 개폐방식, 지붕재료 등등과 같은 요소들로 분류 될 수 있다. 이 논문에서 분류된 데이터를 바탕으로 건축적인 그리고 구조적인 계획에 있어서 고려해야 할 사항을 제안하고자 한다.

Abstract

There are many retractable roof structures in the world. Retractable roofs will be classified by various factors and user, for example span length, moving mechanism, opening system, roof material and utility in over 100 examples. Therefore I will present considerations in architectural planning and structural design.

키워드 : 개폐식 지붕, 형태, 구동방식, 시스템, 사례

Keywords : retractable, roof, types, moving mechanism, system, examples

1. 서론

개폐식 구조는 다양한 분야에서 이용된다. 특히 대규모 체육시설 또는 복합적인 용도 건축물에 사용된다. 각 대륙에도 많이 건설되어 있는 상태지만 아직 한국에서는 초기단계라 할 수 있다. 최근 이슈가 되고 있는 실내 야구장이 계획이 속속 발표되고 있다. 이러한 경기장은 개폐식 구조로 계획되어 있지만, 구체적으로 어떠한 방식으로 할 것인지는 결정되지 않았다.

이러한 초기 단계인 국내사정으로 보아 세계 여러 나라에 건설된 대형 개폐식 구조물을 조사하여 한국에서의 어떠한 형식이 적절한가를 알아보하고자 한다. 거의 모든 대륙에 대형 개폐식 돔이 존재하지만, 유일

하게 아프리카 대륙에는 사례를 찾아 볼 수 없다. 이 논문에서는 용도별로 가장 많이 사용되는 체육시설 또는 리조트 시설을 중심으로 사례를 조사하기로 한다.

이 논문에서는 스패가 100m 내외의 대형 개폐식 구조물에 관해서 대륙별로 분류하기로 한다. 그러나 아직 아프리카에는 그러한 사례를 찾아 볼수 없어 실제로 아시아, 아메리카, 유럽, 오세아니아의 사례 조사가 될 것이다.

2. 개폐식 지붕구조의 형식 분류

개폐식 지붕의 분류 방법은 여러 가지 요소(factor)에 따라 분류될 수 있다. 이러한 요소들은 개폐 구동방식, 지붕 구조형식, 마감 재료와 같은 요소들로 구분된다. 지난해에 발표된 <개폐식 구조의 적용유형에 관한 사례 연구>에서 개폐형식과 구동방식을 참고하기로 한다.












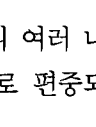
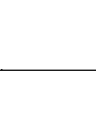
* 정회원, 한국예술종합학교 건축학과 교수, 공학박사
Tel: 02-746-9624 Fax:02-746-9615

E-mail : psw@knu.ac.kr

** 정회원, 경원대학교 건축공학과 교수, 공학박사
E-mail : cck@kyoungwon.ac.kr

3. 대형 개폐식 구조물의 사례

2.1 아시아

국 가	건물명	스팬(m) (개폐면)	건립 시기	돔 사진
일본	Komatsu Dome (Komarsu)	Ø-144x16 2 (55x70)	1997	
	Shintenjiro Dome (Shintenjiro)	88x86 (29x36)	1997	
	Kyushu Oil Dome (Oita)	Ø-274 (Ø-130x2 10)	1998	
	Ocean Dome (Mijasaki)	109x300 (109x206)	1993	
	Wing Dome (Kobe)	220	2002	
	Ariake Colosseum (Tokyo)	125x136 (74x136)	1991	
	SoftBank Hawks (Fukouka)	Ø-218 1/3 Ø-218	1993	
	Shellcom (Sendai)	Ø-137	2000	
	Ball Dome (Toyama)	Ø-38 (Ø-38)	1991	
	Tajima (Hyogo)	Ø-150	1998	
Toyota Stadium (Toyota City)	Ø-175 (92x175)	2001		
중국	Qi-Zhong Stadium (Shanghai)	Ø-123 (Ø-123)	2006	
한국	Bull Fighting Arena(Chongdo)	Ø-110 (Ø-30)	2003	

〈그림 01〉 아시아에서 돔 구조물 사례

본인의 사례조사에 의하면 아시아의 여러 나라 중에 대형 개폐식 돔은 일본에 11개로 편중되어

있다. 일본과 한국에서 만 각각 1개씩 찾아 볼 수 있어 앞으로 경제수준이 높아감에 따라 개폐식 대형 공간 구조물의 전망이 밝다고 할 수 있다.

주로 1990년부터 개폐식 돔 야구장(후쿠오카 돔)으로 건설하기 시작한 돔들은 2002년 한일 월드컵 대회를 전후로 개폐식 돔 축구장(큐슈 석유 돔/ 오이타 돔)들이 전국적으로 건설되었다. 대부분의 슬라이딩 구동방식에 수평이동 또는 선회 오버랩 형식이 주류가 되고 있다<그림 01>.





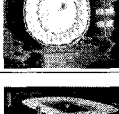






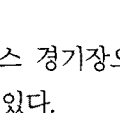
코마츠 돔, 신테지로, 큐슈 석유돔, wing 돔은 개폐면이 주 구조물을 이용한 슬라이딩으로 수평이동 오버랩 개폐방식을 채택하고 있다. 오션돔과 아리아케 돔은 슬라이딩을 이용한 수평이동 개폐방식을 이용하고 있다. 슬라이딩 선회 오버랩 방식으로는 소프트뱅크 호크 돔(후쿠오카 돔), 타지마 돔과 셸콤 돔(센다이 돔)이 있다.

규모면에서 그리 크지 않지만 볼 돔의 개폐 방식을 주목해 볼 필요가 있다. 개폐방식이 토론토 로저 센타 돔(스카이 돔)과 유사한 방법이다. 슬라이딩 수평 이동 후에 거의 절반이 다시 레일을 타고 90도 회전하여 개폐된다. 토요타 시티 돔은 다른 개폐방법을 택하고 있다. 한 변에 접혀진 개폐면은 공기의 흡입과 배기로 열리고 닫히는 독특한 방법을 택하고 있다. 얼마 전에 타계한 쿠로카와 기쇼가 디자인 하였다.

한국에서는 초기 단계인 돔 구조물은 청도 소싸움장에서 볼 수 있다. 개폐방식은 슬라이딩 수평 오버랩 방식을 택하고 있다. 중국에서도 중국 테니스 경기대회를 위해 건설된 큐중(Qi-zhong) 경기장은 개폐방법이 다른 곳에 찾아 볼 수 없다. 평면 지붕면이 8개로 분할되어 한부분의 구동으로 전체 지붕면이 개폐된다. 단 한 가지 단점은 개폐하는데 많은 동력이 필요하고 소음이 발생할 소지가 있다는 것이다.

2.2 유럽

유럽에서 개폐식 돔이 건설된 나라들은 주로 독일, 영국, 스페인, 덴마크 들이고 그 밖의 나라에서는 사례를 찾아 볼 수 없다. 주로 축구장으로

국가	건물명	스팬(m) (개폐면)	건립 시기	돔 사진
독일	Veltin Stadium (Gelsenkirchen)	187x225 (68x105)	2008	
	LTU Arena (Dusseldorf)	180x230	2004	
	Gerry Weber Stadion (Halle)	84x96.5 (Ø-84)	1995	
	Tropical Island (Berlin)	220x306 (Ø-220)	1999	
	Rothenbaum Tennis Court (Hamburg)	Ø-102 (Ø-83)	1997	
	Commerzbank Arena (Frankfurt)	200x230 (79x123)	2006	
영국	Millenium Stadium (Cardiff)	220x240 (90x120)	1999	
	Wembley Park Stadion (London)	315	2007	
네덜란드	Ajax Stadium (Amsterdam)	180x250 (72x105)	1996	
스페인	Zaragosa Arena (Zaragosa)	Ø-82.7 (Ø-36)	1988	
	Vista Alegre (Madrid)	Ø-100 (Ø-50)	2000	
덴마크	Park Stadion (Copenhagen)		2001	

<그림 02> 유럽의 대형 개폐식 구조물

목적으로 건립되었고, 또한 테니스 경기장으로 지어져 독특한 개폐구조물을 하고 있다.

독일에서 축구장으로는 펠틴 스타디움과 LTU 아레나가 있고 개폐방식은 슬라이딩 수평 오버랩 방식을 채택하고 있다. 코메르츠뱅크 아레나는 막재와 케이블과 같은 연성재료를 이용한 초경량 지붕구조로 집중 폴딩 방식을 택하고 있다. 2006년 월드컵에서 한국 국가팀이 경기가 열린 적이 있어

한국 사람에게서는 익숙한 경기장이다. 테니스 전용 경기장으로 건설된 게리 스타디움과 로텐바움 테니스 코트와 유사한 개폐방식으로 이것을 바탕으로 기술적으로 진일보에 하여 보다 대형화하여 적용되었다. 베를린 근처 있는 트로피칼 아이스랜드는 본래 커고 리프트로 건설되었는데 후에 용도를 변경하여 부분적으로 ETFE를 사용하여 식물원과 리조트 시설로 이용된다.

영국에는 2개의 대형 개폐식 구조물을 찾아 볼 수 있다. 서도 사례를 2가지로 찾아 많이 건설되었다. 웨일즈 지방의 카디프 밀레니엄 스타디움은 세계 럭비 선수권 대회를 위해 건축되었다. 개폐방식으로 슬라이딩 수평 오버랩 방식을 택하고 있다. 그리고 최근에 완성된 런던의 웹블리 스타디움은 축구의 메카 탈바꿈하려는 야심찬 프로젝트다. 포스터 설계한 세계 최대 전용구장은 중앙에 스팬이 315m의 거대한 아치를 이용하여 중앙에 슬라이딩 수평 오버랩 개폐방식을 채택하고 있다. 규모나 기술적면에서 최첨단이 적용된 대형 개폐 구조물이다.

네덜란드 아약스 축구 경기장은 중앙에 단변 방향으로 공간 트러스를 설치하여 슬라이딩 수평 오버랩 개폐방식으로 택하고 있다.






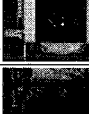

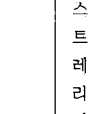
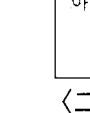
스페인에 규모면에서는 크지 않지만 건축 구조 역사에 중요한 사라고사 아레나는 중앙에 스포크 휠을 인장링으로 이용하여 인장구조물로 계획되었다. 이러한 형태의 인장 구조물에서 최계 최초로 건립되었다. 중앙링은 개폐되고 주변의 구조물은 고정식으로 계획되었다.

덴마크의 파크 스타디움은 이미 설명한 일본 토요타 시티 돔과 동일한 폴딩 수평이동 개폐방식이다. 자세한 설명은 여기 약하기로 한다<그림 02>.

2.3 아메리카

아메리카에서 주로 미국과 캐나다에서 사례를 찾아 볼 수 있다. 주로 야구장과 미식 축구장으로 건립되었다. 아메리카에서 개폐식 돔의 효시는 1961년에 지어진 피츠버그에 세워진 멜론 아레나로 생각된다. 구조 형식은 슬라이딩 선회 오버랩

〈그림 03〉 개폐방식이다<그림 03>.

국가	건물명	스팬(m) (개폐면적)	건설 시기	돔 사진
미국	Melon Stadium (Pittsburgh)	Ø-127 (Ø-127)	1961	
	Minute Maid Park Arena (Houston)		2000	
	Reliant Stadium (Houston)	290 (115x144)	2002	
	Miller Park (Milwaukee)	183	2001	
	University of Phoenix Stadium (Phoenix)	213 (70x120)	2006	
	Bank One Ballpark (Phoenix)	228x228	1998	
	Safeco Field (Seattle)		2001	
캐나다	Roger Center (Toronto)	Ø-127	1989	
	Olympic Stadium (Montreal)	240x350 (120x180)	1987	

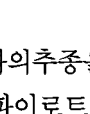
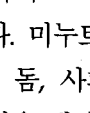
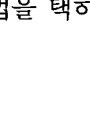
〈그림 03〉 아메리카 대형 개폐식 돔

세계 최초 개폐식 대형 돔구조는 캐나다 토론토 중심부에 위치하는 로저 센터(옛 스카이 돔)다. 개폐방식은 슬라이딩 수평이동 오버랩과 선회 오버랩이 혼합되었다. 이와는 대조적으로 몬트리올 올림픽을 위해 지어진 올림픽 스타디움은 우여곡절 끝에 10여년 후에 지붕이 덮혀 졌는데 이것 또한 구조적인 결함으로 후에 재시공되어 현재에 이르고 있다. 거대한 주탑을 이용한 집중 폴딩의 개폐 방식을 택하고 있다.

미국의 규모면에서 가히 타의추종을 불허한다. 우리가 지금 진행하고 있는 파이로트 프로젝트에서 벤치마킹이 필요할 것 같다. 미누트 매이트 파크 아레나는 벙크 원 볼파크 돔, 사페코 센타는 슬라이딩 수평이동의 개폐방법을 택하고 있다. 거

대한 아스트로 돔과 대조를 이루고 있는 릴리언트 스타디움과 피니스 대학 스타디움의 개폐방식은 독립 구조물을 이용하는 슬라이딩 수평이동 방식이다. 슬라이딩 선회 오버랩 방식으로 세계 최대 규모를 자랑하는 밀러 파크 돔은 아메리카에서 유일하다.

2.4 오세아니아

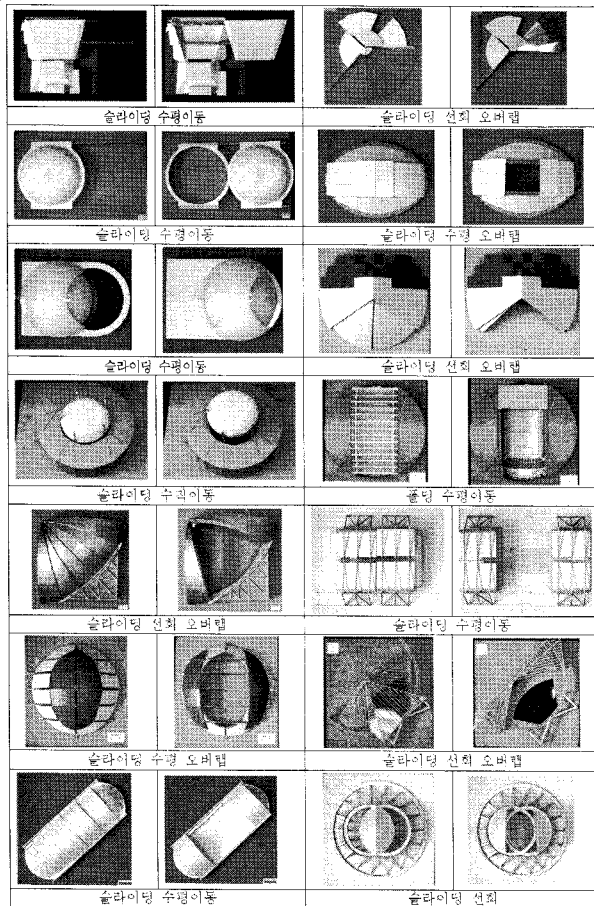
국가	건물명	스팬(m) (개폐면적)	건설 시기	돔 사진
오스트레리아	Telstra Stadium (Melbourne)	140x170	2000	
	Rod Laver Arena (Melbourne)	111x127 (61x73)	1988	
	Vodafone Arena (Melbourne)		2000	

〈그림 04〉 오세아니아 개폐식 돔 구조물

오세아니아 대륙에서는 모두 호주 멜버른에서 3개의 개폐식 구조물이 나타나는 데 거의 동일한 슬라이딩 수평 오버랩의 개폐방식을 택하고 있다. 종합경기장으로 텔스트라 스타디움이고, 로드 레버와 보다폰 아레나는 규모면에서 그리 크지 않으며 테니스 전용 체육관으로 이용되고 있다<그림 04>.

4. 모델을 이용한 개폐방식 스타디

이제까지 조사한 대형 개폐식 구조물들의 사례를 바탕으로 여러 가지의 개폐방식에 대해서 14개의 스타디 모델을 채택하여 작업을 하였다<그림 05>. 이것을 다시 파이로트 프로젝트가 될 수 있는 5개의 개폐방식을 선정하여 심층된 모델로 실제로 구동 방식을 재현하였다.



〈그림 05〉 다양한 개폐방식의 스테디 모델

5. 결론

앞으로의 한국에서 개발해야 할 스펠이 300m 이상의 대형 개폐식 구조물의 진행방향에 대해 알아보자.

- 계획상에서 단일용도의 건축물 보다는 복합적인 용도(체육, 쇼핑, 물, 레저문화)로 바람직한 것으로 사료된다.
- 개폐방식으로는 슬라이딩 수평 오버랩 또는 이동 또는 선회 오버랩 형식을 제안해 보고 싶다.
- 주 구조물은 강성 구조물로, 움직이는 개폐 지붕은 연성 막재료가 자중과 여름과 겨울의 기온차가 심한 한국에 적절할 것 같다.

대형 개폐식 돔을 계획하는데 어느 특정된 개폐방법과 구조형식이 적절하다고 판단할 수 없다. 계획하는데 다양한 결정요소들이 있기 때문에 모든 것을 고려하려 채택하는 것이 최상의 방법이

될 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 연구개발사업의 연구비 지원 (과제번호# 06 건설핵심B03)에 의해 수행되었습니다.

〈참고문헌〉

1. F. Candela, E. Pinero, S. Calatrava, F. Escrig and J. Valcarcel, "Arquitectura Transformable", Arquitectural, Publicacion dela E.T.S de Arquitectura de Sevilla, 1993
2. J. Valcarcel, F. Escrig and E. Martin, "Expandable Domes with Incorporated Roofing Elements", Proc. 4th Int. Conference on Space Structures, Guilford, UK, 1993
3. K. Ishii, et al., "Structural Design of Retractable Roof Structures", IASS Working Group No. 16, WIT Press, UK, 1998
4. L. Laney, "Montreal Olympic Stadium", Proc. of the IASS and CSCE Int. Congress on Innovative Large Span Structures, 1992, Toronto, Canada.