

# 외형에 따른 지붕 막구조물의 풍하중 영향 고찰

## A Study on the Effects of Wind Load of Membrane Roof Structures according to External Form

고 광 응\*                      장 명 호\*\*                      이 장 복\*\*\*                      서 삼 열\*\*\*\*  
Ko, Kwang Woong              Jang, Myung-Ho              Lee, Jang Bog              Sur, Sam-Yeol

### 요 약

대공간 구조는 3차원적인 힘의 흐름과 면내력에 의해 외부하중에 대한 저항능력을 확보하는 형태 저항형 구조로서, 구조물 자체의 곡률을 이용하여 면외방향으로 작용하는 외력을 주로 면내력으로 저항할 수 있게한 구조시스템이다. 그러므로, 연성구조물의 일종인 막 구조물은 대공간 구조물을 보다 효과적으로 구축할 수 있다.

이러한 막구조물은 지진이나 고정하중에 의한 영향보다 바람의 의한 영향이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 또한, 풍하중은 주변 환경 및 구조물의 형태에 따라 그 크기가 매우 다르게 나타난다.

본 논문에서는, 우리나라에서 풍하중의 영향을 가장 많이 받은 지역들 중에 건설된, 2개 경기장의 설계 풍하중과 풍동실험 결과값들을 비교 검토해 보고자 한다.

### Abstract

A Spatial structure, having a curvature with a curved surface, is an extremely efficient mechanical creation considering the external load. It is resisted the out-of-plane direction load by in-plane forces using the structure's curvature. Spatial Structures include many types of structures, such as: space frames or grids; cable-and-strut and tensegrity; air-supported or air-inflated; self-erecting and deployable; cable net; tension membrane; lightweight geodesic domes; folded plates; and thin shells. Membrane structures, a kind of lightweight soft structural system, are used for spatial structures.

It is very important that effects by wind load than seismic and dead load. And, wind load is different by surrounding and shape of building

In this study, we analyze the results of design wind load and wind tunnel tests about the 2 stadiums which are constructed on sensitive sites by effect of wind loads.

키워드 : 막구조물, 건물의 외형, 경계층풍동, 풍압계수

Keywords : Membrane structures, External form of Building, Boundary layer wind tunnel, Wind Pressure Coefficient

## 1. 서 론

막구조는 기하학적으로 발생하는 면내 인장력에 의해 외력에 저항하는 형태 저항형 구조물이며, 케이틀구조와 함께 휨강성이 작은 연성구조에 속한다.

이러한 막구조 시스템을 세분화 하면 크게 골조막 구조, 현수막구조, 공기막구조 3부분으로 나눌 수 있다. 경기장 구조시스템으로 주로 사용되어지는 골조막 구조는, 일반적으로 판넬과 철골조로 이루어진 대공간 건물에 비해 경량이고, 유연성 (flexibility)이 증대된다. 이러한 연성이 큰 구조물은 지진이나 고정하중의 영향보다 바람의 영향이 매우 크다고 볼 수 있다.

본 연구에서는, 첫째로 우리나라에서 바람의 영향을 심하게 받는 2지역에 위치한 경기장의 주변 환경을 검토해보고자 한다. 다음으로, 오픈 형태의

\* 정희원, (주)동아피엔에스 선임연구원, 공학석사  
E-mail : dongapns@dongapns.com

\*\* 정희원, 대림대학 프로젝트 교수, 공학박사  
E-mail : jjang20@empal.com

\*\*\* 정희원, (주)동아피엔에스 대표이사, 공학박사  
E-mail : dongapns@dongapns.com

\*\*\*\* 정희원, 대림대학 건축과 교수, 공학박사  
E-mail : susur@daelim.ac.kr

경기장 2개의 풍동실험을 분석하여 건물 형태변화에 따른 풍하중 크기 및 외압계수를 비교 검토해 보고자 한다.

## 2. 구조시스템의 특징비교

### 2.1 제주 월드컵 경기장 구조개요

2001년에 완공된 제주월드컵 경기장은 제주도 서귀포시에 위치하며, 전체적인 지붕구조 시스템은 철골트러스 (약 2,480톤), 막구조(약 16,000 m<sup>2</sup>)로 구성되어 있으며 형태는 그림 1과 같다. 전체적인 건물의 개요는 아래와 같다.

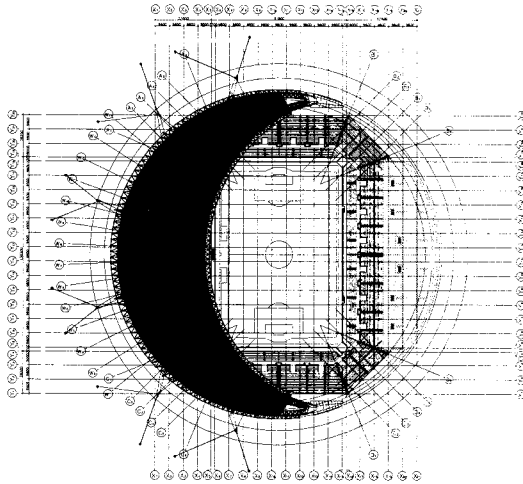


그림 1. 제주월드컵경기장 평면도

- ① 지붕규모 : 273m x 88m (높이:47.6m)
- ② 위치 : 제주도 서귀포시
- ③ 기본 풍속 및 노풍도 : 40 m/s , C

### 2.2 목포 국제 축구장 구조개요

목포 국제 축구센터는 2008년에 준공될 예정이다. <그림 2>는 목포국제축구센터 평면으로, 전체적인 지붕구조 시스템은 철골트러스(약 460톤), 막구조(약 8,500 m<sup>2</sup>)로 구성되어 있으며 형태는 그림 2와 같다. 전체적인 건물의 개요는 아래와 같다.

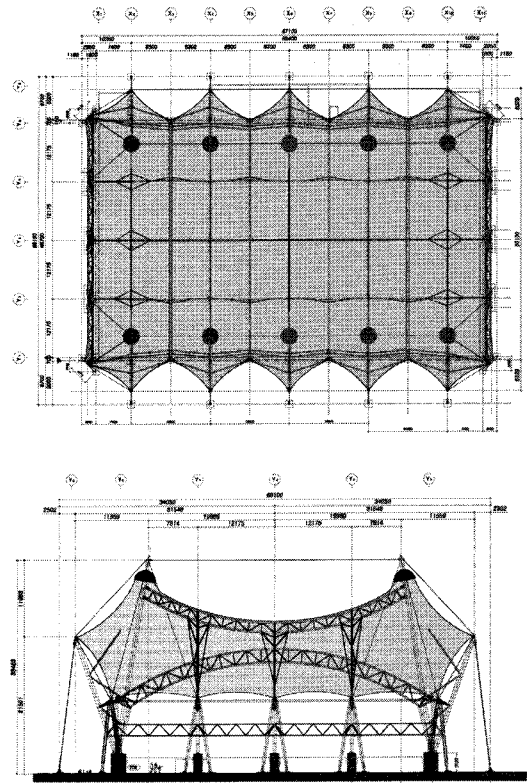


그림 2. 목포 국제하프장 평면도 및 측면도

- ① 지붕규모 : 87.1m x 68.1m (높이:33.3m)
- ② 위치 : 전라남도 목포시
- ③ 기본 풍속 및 노풍도 : 35 m/s , D

## 3. 풍압실험

### 3.1 풍동실험개요

본 실험에서 사용된 풍동 실험은 현대건설기술연구소 소속의 대형 풍동으로 경계층형풍동 (boundary layer wind tunnel, BLWT)이며 측정부의 크기는 폭 4.5m, 높이 2.5m, 길이 25.0m의 개방형(open type)이며 풍속범위는 0.3m/s ~ 17.5m/s이다. 접근류 연직분포는 일양류로 시행하였다.

본 실험에서는 그림 3과 같은 시스템에 의해 평균풍압, 최대풍압, 최소풍압을 계측하였다. 풍압 측정시에는 피토판의 정압과 각 풍압공의 정압차를 계측하여 각 위치에서의 풍압을 계측하였다. 풍압계의 값은 피토판에 의하여 풍향이 변할 때마다 보정하였다.

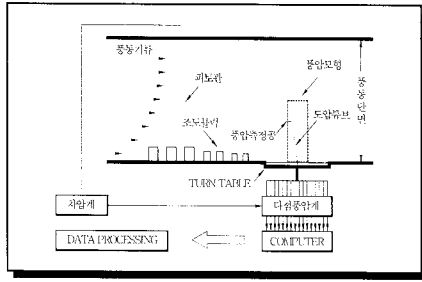


그림 3 풍압측정 시스템 개요도

### 3.2 제주 월드컵 경기장 풍압실험

일반적으로, 풍동실험에서 지표면상태를 결정하는 방법은 건물높이의 30배 범위내의 주변건물상황으로 판단하고 있다. 실험대상 지점의 동쪽은 5 ~ 10 m 정도 높이의 수목이 산재해 있는 평탄지이고, 남쪽은 수목이 산재해 있고 대상지점으로부터 1.6 km 정도의 거리에 해안이 펼쳐져 있으며, 서쪽은 주택 및 수목이 산재해 있는 평탄지이고, 북쪽은 완만한 경사지에 저층아파트 및 주택이 산재해 있고 대상지점으로부터 2 km 정도의 거리에 해발 396 m 의 고근산이 위치하고 있다. 따라서, 현행 「건축물 하중기준」에 의하여 이러한 주변상황은 노풍도 C로 평가한다.

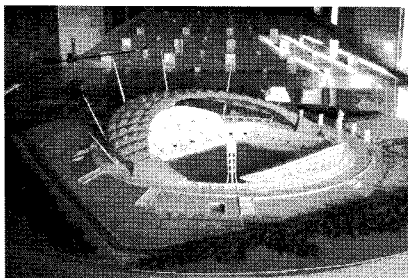


그림 4 Wind Tunnel Test Model

- ① 모형 Scale : 1/400
- ② 풍속 Scale : 1/6  
→ 설계풍속 : 50.7 m/s, 풍동풍속 : 8.45 m/s
- ③ 시간 Scale : 1/66.667 (측정시간 : 6초)
- ④ Sampling Frequency : 200Hz
- ⑤ 이동평균 : 3개 Data(0.015초 평균)  
→ 실제시간 : 1.0초 평균
- ⑥ 계측횟수 : 5회

그림 5는 풍압실험결과에 의한 설계용 풍압계수 분포도를 보여주고 있다.

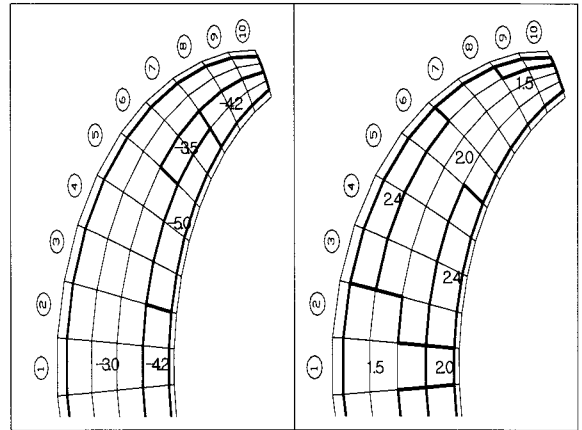


그림 5 설계용 풍압계수 분포도(좌:상향, 우:하향)

### 3.3 목포국제축구장 풍압실험

실험대상 건물 주변상황을 보면 낮은 언덕과 완만한 산지가 있으며 남동쪽에서 남서쪽은 해안을 면하고 있다. 현행 건축구조설계기준에 의하면 이러한 주변상황은 노풍도 C와 D로 평가할 수 있으나 설계를 위한 자료는 노풍도 D를 적용한다.

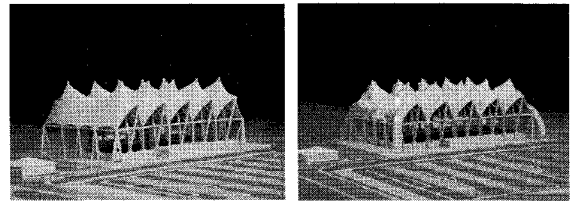


그림 6 Wind Tunnel Test Model

- ① 모형 Scale : 1/200
- ② 풍속 Scale : 1/6  
→ 풍동풍속 : 6.88 m/s, 7.94 m/s
- ③ 시간 Scale : 1/33.3 ( 측정시간 : 24초)
- ④ Sampling Frequency : 200Hz
- ⑤ 이동평균 : 6개 Data(0.03초 평균)
- ⑥ 계측횟수 : 5회

구역별 거시적인 구조골조 설계용 구조골조용 풍하중 분포는 그림7과 같다.

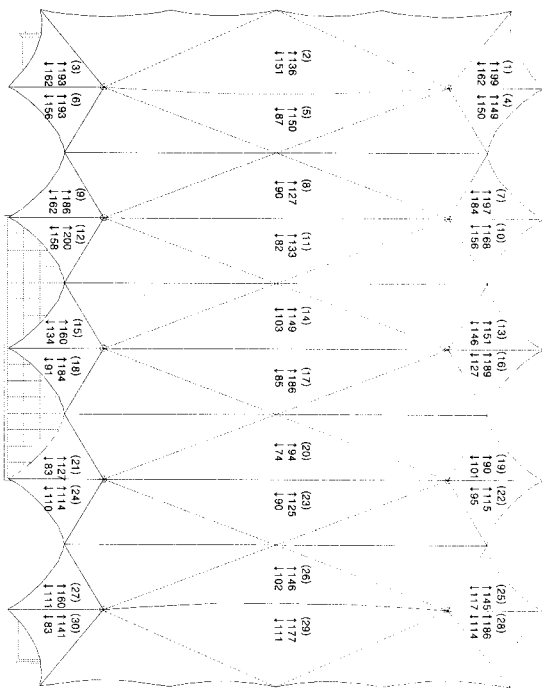


그림 7 구조골조 설계용 최대풍하중 (단위: kgf/m<sup>2</sup>)

### 3.4 풍압 실험결과 비교

국내 풍하중 설계 기준을 보면 제주 지역의 기본 풍속은 40 m/s 이고, 목포 지역은 기본 풍속이 35 m/s로 나타나 있다. 각 주변 환경에 따라 구조 설계시 설계 풍속과 설계 속도압을 비교 산정하였다. 건축구조설계기준에 의한 제주경기장과 목포 경기장의 설계 속도압은 각각 160.7kgf/m<sup>2</sup>과 141.7 kgf/m<sup>2</sup>로 산정되었고, 속도압의 크기 비는 1.13배 차이가 발생되었다. 결과 값은 표1에 제시되었다.

표 1 풍동실험시 주요 조건비교

지 역	노풍도 구분	기 본 풍 속	설 계 풍 속	설 계 속도압	속도압 비교
제 주	C( $\alpha=0.15$ )	40m/s	50.7m/s	160.7kgf/m <sup>2</sup>	1.13
목 포	D( $\alpha=0.10$ )	35m/s	47.6m/s	141.7kgf/m <sup>2</sup>	1

풍동실험을 통해 2개 경기장의 설계 풍하중의 크기를 비교해 보면 표2와 같다. 해안가 지역에 시공된 제주 경기장은 개방형 구조물로 바람을 맞는 형태가 이루어졌다. 목포 하프돔 경기장 또한 개방형 구조물이지만 제주 월드컵 경기장에 비하여 상당히 폐쇄적인 형태를 취하고 있다. 2개 경기장의 풍압계

수를 비교해 보면, 상향에서 목포 경기장과 제주 경기장의 풍압계수비는 2.62로 차이가 발생하였고, 하향에 대한 풍압계수비는 1.84로 많은 차이가 발생하였다.

표 2 외장재용 설계풍압계수 및 설계풍하중 비교

지 역	하중 작용방향	설 계 풍압계수	설 계 풍하중 kgf/m <sup>2</sup>	풍하중 비교
제 주	상향	-5.47	-879.0	상향 2.62
	하향	2.74	440.3	하향 1.84
목 포	상향	-2.36	-335.0	상향 1.0
	하향	1.69	239.0	하향 1.0

### 4. 결론

1) 본 연구는 강제모형에 의한 정적인 결과를 반영한 것으로, 막지붕면 내부에 유입된 압축측에 의해 상향 방향 풍압이 크게 나타난 것으로 나타났다.

2) 산악지, 해안가와 같은 지형적인 특성이 강한 지역에 대형 구조물을 건설하기 위해서는 설계단계에서 건축물의 형태 및 기류특성을 사전에 파악하여 설계풍하중을 저감시킬 수 있는 계획단계가 무엇보다도 중요하다고 판단된다.

### 감사의 글

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

### 참고문헌

1. 김영문, 윤성원, 정영배, "건축물의 내풍설계", 도서출판 한림원, 2002
2. "목포 FC 하프돔 풍동실험 연구-최종 결과 보고서-", (사)한국풍공학회, 2007.9
3. "서귀포 월드컵 경기장 풍동실험 연구 결과보고서", 현대건설주식회사 기술연구소, 1999.9
4. "제주 월드컵 경기장의 막 구조 파손 사고 원인 규명에 관한 연구", 대한건축학회, 2002.
5. 건축구조설계기준(KBC-S 2005), 대한건축학회