

# 대공간 구조물의 고유진동수와 스패의 상관관계

## A Study on the relationship between natural frequency and span of Spatial Structure

윤 성 원\*  
Yoon, Sung-Won

박 용\*\*  
Park, Yong

### 요 약

대공간구조물의 스패가 장스패가 됨에 따라서 고유진동수가 저진동수 영역으로 감에 따라서 강풍에 대한 동적응답의 증가하고 있다. 그러나 기본계획단계 단계에서 국내 공간구조물에 대한 고유진동수의 스패에 대한 식이 제안되어 있지 않은 관계로 경제적인 구조시스템을 수립하는데 많은 애로 사항이 있다. 따라서 이 논문은 국내에 이미 시공된 대공간건축물 중 월드컵경기장 위주로 각 건축물의 스패에 대한 고유진동수에 관한 논문이다. 수집된 고유진동수에 대한 자료는 하나의 계측치와 6개의 고유치해석 결과에 기초하고 있다. 고유진동수의 스패에 대한 식을 일본의 계측치와 비교하였고, 약산식을 제안하여 기본설계의 기초자료로 제공하고 자 한다.

### Abstract

As the span of spatial structure is getting longer, the low frequency of the structure makes the wind-induced response much increased. However, there are lots of hardships to establish the economical structural systems due to the fact that a relative equation between the frequency and the span of the domestic spatial structures is not existed in the stage of the basic planning design. Therefore, among the large-span structures, this paper focused on the relationship between the frequency and the span of the world-cup stadium built in 2000s. The relative equation between the frequency and span is compared with the data measured in Japan. Moreover, we are willing to provide the basic study by suggesting the summary equation in this paper.

키워드 : 대공간구조, 고유진동수, 경간, 약산식

Keywords : Spatial Structure, Natural frequency, Span, summary equation

## 1. 서 론

현재 고장도 재료의 사용과 시공기술의 발달로 대공간구조물의 지붕이 장스패화 되고 있다. 지붕의 장스패화로 인하여 고유진동수가 작아짐에 따라서 풍하중에 의한 동적응답의 영향이 증대 되고 있다. 따라서 대공간구조물의 예비설계단계에서 고유진동수 값을 비교적 정확히 예측할 수 있다면 경제적인 대공간구조물의 설계가 가능할

것이다. 그러나 국내 대공간 구조물의 고유진동수에 대한 약산식에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 이 논문에서는 6개의 월드컵경기장과 2006년에 개장한 광명돔까지 고유치해석을 수집하여 고유진동수와 스패를 비교하여 수식을 제안하였고, 이 결과를 일본의 대공간구조물의 계측치와 비교하였다.

## 2. 구조시스템 및 구조해석

### 2.1 구조시스템

각 대공간구조물의 구조시스템의 개요는 <표1>과 같다.

\* 정회원, 서울산업대학교 건축학과 부교수, 공학박사

\*\* 학생회원, 서울산업대학교 건축학과 석사과정

E-mail : park820714@hanmail.net

<표1> 대공간구조물의 구조시스템

구조물명	구조시스템
울산 문수 축구경기장	철골Truss+Back Stay Cable+Metal Sheet
전주 월드컵 경기장	철골 Truss + Mast + Suspension Cable + Panel
대전 월드컵 경기장	철골 Girder + Back Stay System+Panel
부산아시아드 주경기장	Cable Truss+막
서울 2002 월드컵경기장	철골 Truss+Cable+막
제주월드컵 경기장	철골 Truss+Cable+막
광명동 (경륜경기장)	철골 Flow Truss

2.2 구조해석

7개 구조물에 대한 고유치해석 결과는 <표2>와 같으며 각 경기장의 구조해석 개요는 다음과 같다. 이 때 스패의 정의는 각 모드가 발생한 지점으로 정의하였다.(그림1 참조)

(1) 울산월드컵경기장

지붕구조물에 대한 구조해석은 Midas를 사용하였으며, 2,3층으로 구성되는 지붕전체 입체모델에 대한 고유치해석을 하였다. 건물전체의 동적 거동으로 최대 경사각 1/79에 대해 검토하였으며, 정점에서 발생하는 휨은 0.29tm, 사용하고 있는 부재가  $Z=219\text{cm}^3$ 이므로  $s=0.132\text{t}/\text{cm}^2$ 으로 장방향의 부재 자체 및 접합부에는 특별한 문제가 발생하지 않았다. 또한 각 방향에서의 수평전단력에 대한 안전성 검토 및 모서리에 관한 합성 수평전단력 검토를 실시한 결과 단면구성이 충분히 안전하다는 것을 확인하였다.<sup>1)</sup>

(2) 전주월드컵경기장

지붕구조물에 해한 구조해석은 Midas Gen이

사용되었다. 지붕을 구성하고 있는 Truss의 상세 모델링으로 메인트러스(Main Truss), 링트러스(Ring Truss), 외부테두리트러스(Perimeter Truss) 등의 정확한 Geometry 구성을 통해 부재설계에 이용되었다. 매스트(Mast)하부의 지점이동에 의한 영향을 고려하기 위하여 매스트 하부의 구조물까지 모델에 포함시켜서 해석하였다.<sup>2)</sup>

(3) 대전월드컵경기장

지붕구조물에 대한 구조해석에는 하부구조물(스탠드부분)을 포함한 3-D Full Model이 사용되었다. 부재 단면의 최적화를 위해 지붕 Main Frame의 Cantilever Girder 및 Front Support는 변단면 부재를 설계와 해석 모델에 등가강성을 가지는 Non-prismatic Beam Element로 고려되었다. 지붕판넬 개폐에 따른 이동하중 조건은 판넬이 열릴 경우와 닫힐 경우의 두가지 조건에 대해 검토하였으며, 이때에 고정하중 및 0.5×적설하중의 하중조건이 적용되었고 이동 중의 충격력에 대한 영향을 고려하기 위해 각 방향별 충격계수를 포함하고 있다.<sup>3)</sup>

(4) 부산아시아드 주 경기장

지붕구조 해석에는 STAAD III을 사용하였으며, 두단계로 나누어 해석을 하였다. 처음은 상부압축링의 착공전 단계 구조체의 자중 및 기둥상단의 압축링 자중을 적용하고, 강제압축링은 단지 하중으로만 적용하였으며, 두 번째로는 상부 압축링이 완료된 단계 지붕하중 및 모든 하중을 적용하였다. 여기서 압축링은 기둥 상단부를 연결하며 압축링의 역할을 수행한다.<sup>4)</sup>

(5) 서울 2002 월드컵경기장

지붕구조 해석에는 Midas Gen을 사용하였으며, 지붕의 각 절점 및 부재는 Adina data 이용하였고, 지붕트러스는 등가단일재로 변환하여 Adina 해석 결과치와 근사한 결과를 얻기위해 부재비중/탄성계수 수정하였다. 이 후 지붕반력/Mode Shape의 값이 Adina 결과치와 유사함 확인하였으며, 이를 Midas 동적해석에 적용하여 100차 모드까지

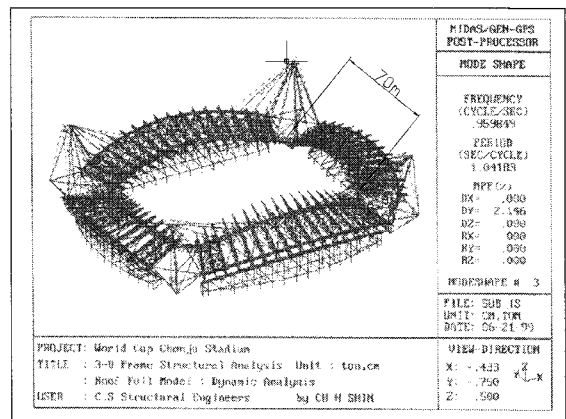
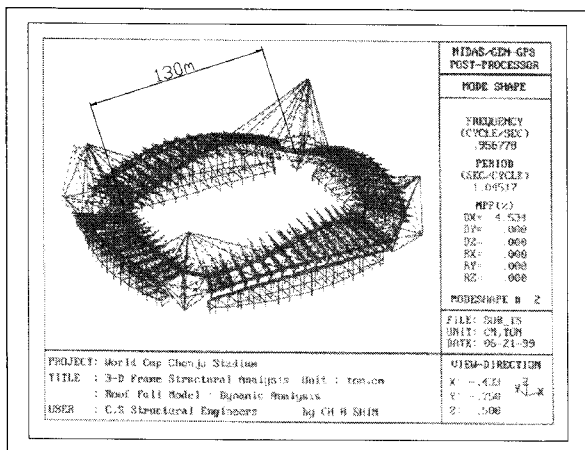
고려하며 실행하였다.<sup>5)</sup>

(6) 제주월드컵경기장

지붕구조 해석은 기본적인 해석, 동적해석 및 설계는 LARSA를 이용하고, 기본적인 설계결과로부터, 등분포의 풍하중을 재하한 1/2모델을 MCM으로 해석하였으며, 트러스와 케이블의 적정 사이즈는 MCM으로 결정하였다. 2단계 설계의 결과를 이용하여 불균등 풍하중을 재하한 본 모델을 BLD3D를 이용하여 최종해석을 하였다. BLD3D로 규준에 대하여 각 부재들을 점검하였다. 지붕구조의 동적거동과약과 풍동실험용 자료를 위해 진동주기와 모드를 30단계 까지 하였는데, X,Y,Z 방향에 대한 전체매스의 배분은 각각 62.89%, 95.63%, 71.4%였다.<sup>6)</sup>

(7) 광명동(경륜경기장)

지붕구조 해석에는 ANSYS가 사용되었으며 지붕 트러스의 각 부재는 보(Beam)요소로 구성되었다. 재료모델은 SS400 탄성강재로 가정되었으며, 풍압의 입력을 위하여 압력전달 매개체인 면(Surface) 요소를 사용하였다. 면 요소는 강성과 질량이 거의 0에 가깝도록 모델링 하였으며 삼각형 형태로 지붕면내 절점에 연결되었다.<sup>7)</sup>



<그림1> 전주 월드컵경기장의 Mode Shape 및 Span<sup>2)</sup>

<표2> 각 원형경기장의 차수별 고유진동수 및 Span<sup>1)~7)</sup>

구조물명	각 Mode 차수	고유진동수	Span
울산 문수 축구경기장	1차모드	0.84	92.4m
	2차모드	0.86	58.8m
전주 월드컵경기장	1차모드	0.957	130m
	2차모드	0.960	70m
대전 월드컵경기장	1차모드	0.734	126m
부산아시아드 주경기장	1차모드	0.453	180m
	2차모드	0.957	152m
상암 월드컵경기장	1차모드	0.368	162m
	2차모드	0.445	80
제주 월드컵경기장	1차모드	0.664	205.4m
	2차모드	0.765	58.15m
광명동 (경륜경기장)	1차모드	0.277	180m
	2차모드	0.387	132m

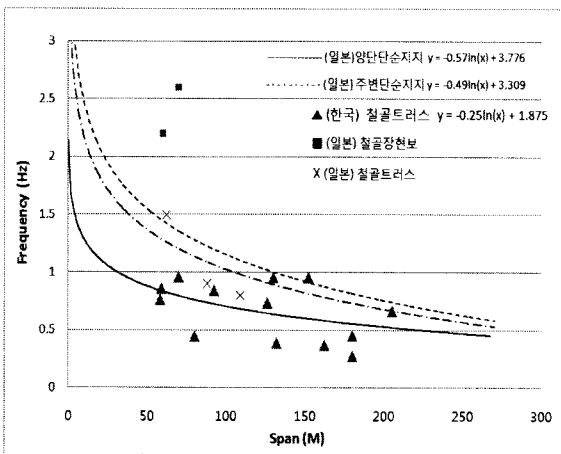
3. 고유진동수와 스펠과의 Data 분석

<그림1> 전주월드컵경기장의 Mode Shape를 나타낸 것이다. 이때 각 차수별 스펠의 기준은 경기장 모서리의 매스트 하단 링트러스의 장변방향을 1차 고유치해석에 대한 스펠으로 결정하였으며, 단변방향을 2차모드의 스펠으로 결정하였다. <표2>는 각 원형경기장의 차수별 고유진동수

및 스패를 나타냈으며, <그림2>은 지금까지 각 경기장의 고유진동수와 스패의 값을 나타낸 것이다. <표1>에서 일본의 양단단순지지와 주변단순지지의 두가지 해석시의 보의 휨강성은 자중에 의한 최대 처짐이 L/300 으로 가정하여 설정하였다.<sup>8)</sup>

<그림2>에 의하면 한국 공간구조물의 스패에 대한 고유진동수는 일본의 구조물의 예측치와 해석치보다 작은 것을 알 수 있다.

따라서 향후에는 공간구조물의 데이터를 더욱 축적하여 고유진동수에 영향을 미치는 Span/rise비 등의 변수를 고려하는 종합적인 예측식의 개발이 필요하다고 생각된다.



<그림2> 각 경기장의 Span에 대한 고유진동수

#### 4. 결 론

국내 원형경기장의 스패와 고유진동수를 일본의 연구와 비교하였다. 한국 공간구조물의 스패에 대한 고유진동수는 일본의 구조물의 예측치와 해석치보다 작은 것을 알 수 있다. 따라서 향후에는 공간구조물의 데이터를 더욱 축적하여 고유진동수에 영향을 미치는 Span/rise비 등의 변수를 고려하는 종합적인 예측식의 개발이 필요하다고 생각된다.

#### 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2006년도 첨단도시개발사업(06 건설핵심 B03)의 지원으로 이루어졌습니다.

#### 참고문헌

1. 이종규, 울산 월드컵 경기장, 한국강구조학회지, v.12 n.4, 2000. 12, pp 87~112
2. (주) C·S구조엔지니어링 편저, 전주 월드컵경기장 구조설계, 태림문화사, 2000. 02, pp 9~72
3. 김석균, 대전 월드컵 경기장, 한국강구조학회지, v.12 n.4, 2000. 12, pp 28~35
4. 전봉수, 이재혁, 부산종합운동장 주경기장 구조설계, 한국강구조학회지, v.12 n.4, 2000. 12, pp 36~46
5. 김상식, 서울 2002 월드컵 경기장 구조해석 및 구조설계, 한국강구조학회 학술발표대회 설계사례집, 2002. 06, pp 29~33
6. 전봉수, 공도환, 제주 월드컵 경기장 구조설계, 한국강구조학회지, v.12 n.4. 2000. 12, pp 134~148
7. 김종수, 김용남, 신창훈, 광명시 경륜동 경기장의 구조설계, 한국강구조학회지, v.15 n.3, 2003. 09, pp 70~81
8. 일본건축학회, 건축물 하중지침·동해설, 1993, pp295~296