

국내 월드컵경기장 음향설비에 관한 고찰

Consideration for the Sound System of World Cup Stadiums in Korea



글 / 김 일

(Kim, IL)

전자응용기술사 (전자음향),
서울월드컵경기장 기술자문위원,
월드컵조직위원회 시설전문위원,
(주) 아이테크산업 대표이사.

E-mail: itil1161@chollian.net

The goal of sound system for world cup stadium is the clarity of sound, abundant sound level, equalizing of the sound level distribution and the settlement of noise problem(the audience noise, outside noise etc.).

The most important thing of stadium sound system is started from it's designing that is the location of speakers, the finish materials for construction sound etc. The world cup stadiums in Korea have superior sound system

1. 서론

전 세계를 열광하게 했던 2002 FIFA 월드컵이 한 달간의 열전을 끝으로 2006 독일 월드컵 대회를 기약하며 막을 내렸다. 대한민국의 세계 4강 진입과 전 국민의 열광적이고 질서 정연한 응원, 수만 명 자원봉사단의 활동으로 유래 없는 성공 월드컵으로 역사에 길이 남게 되었다.

역사적인 월드컵의 중심에서 경기장의 음향 및 전광판 설비를 설계에서 준공까지 2년여 동안 시설자문 위원으로 활동하면서 경험한 know-how를 기초로 하여 경기장의 음향설비의 과정과 결과를 정리하고자 한다.

월드컵 경기장의 음향설비 목표를 자연스러운 청취감, 우수한 명료도, 풍부한 음압레벨, 균일한음압분포, 소음(관중함성, 외부소음, 환경소음 등)의 극복으로 설정하고 최상의 음향 System을 구축할 수 있도록 설계에서부터 건축 마감자재, 스피커배치 등을 검토하여 우수한 System을 구축한 경기장을 건설할 수 있게 되었다.

2. 설계에서 준공까지 체계적인 관리

(1) 우여곡절이 많았던 설계

음향 System의 우수한 성능을 구축하는 데에는 Speaker배치, 우수한 장비의 기능도 중요하지만, 건축 마감자재의 선정도 아주 중요하다.

설계에서 음향의 주요사항으로 대두된 것이 바로 천장 마감자재와 잔향시간(RT)이다. 마감자재의 대부분을 차지하는 것이 천장이므로 천장의 마감자재에 관심이 쏠리는 것이 당연했다. 경기장의 특성상 용적이 약 1,000,000m³ 이상으로 최적의 음(音) 환경을 구축하기 위해서는 잔향시간을 4.0초 이내로 하는 것이 설계에서의 가장 중요한 사항이다. 그러기 위해서는 흡음재의 사용이 필연적이다. 그러나 Teflon의 흡음율은 500Hz 기준 0.17 정도로 반사성이 강한 자재이기 때문에, 목표한 잔향시간을 확보하기가 어렵다. 결과적으로, 천장이 흡음재로 선정된 구장은 별 문제점 없이 준공되었지만 그렇지 못하고 Teflon이라는 막재로 설치된 경기장은 설계변경,

〈표 1〉 경기장별 천장 마감자재 흡음률

경기장	마감자재	흡음률						비고
		125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	
서울, 대구 부산, 인천, 제주	테프론막	0.37	0.22	0.17	0.15	0.09	0.06	서울기준
대전	타공흡음 지붕패널	0.50	0.97	0.78	0.60	0.65	0.68	시험성적서
광주	타공흡음 지붕패널	0.1	0.31	0.63	0.71	0.70	0.55	시험성적서
수원	ACOUSTIC SHEET	0.50	0.70	0.52	0.65	0.68	0.60	개구율 13%기준
전주	타공 흡음지붕	0.28	0.67	0.74	0.66	0.60	0.65	시험성적서
울산	PE 9mm	0.21	0.27	0.21	0.38	0.81	0.31	시험성적서

스피커위치 변경 등 어려움을 극복해야만 했다. 테프론 막재로 설계된 경기장 중 제주구장은 Back Stand의 천장이 없으므로 아주 유리한 건축구조를 가지고 있으나, 천장면적이 비교적 넓은 구장은 천장의 Truss 하단에 흡음재를 설치하거나 스피커의 위치변경 및 수량변경 등의 과정을 거듭해야만 했다.

대형경기장의 경우 Long Path Echo 발생이 우려되므로 가능한 천장은 흡음성이 우수한 자재로 선정하는 것이 아주 유리하다는 평범한 진리가 다시 한번 입증되었다.

(2) 음향 Simulation 예측과 측정결과 Data비교

설계단계에서 10개 구장 모두 음향 Simulation을 수차례 실시하여 음향 Parameter를 분석하여 예측하였다. 사용된 Program에는 다소 차이가

〈표 2〉 측정 Data 비교표 500Hz/공석시기준 (단, 전주는 1KHz)

구분	SimulationData	측정 Data
서울	5.87	4.78
부산	8.17	4.90
대구	3.50	4.0
광주	3.90	2.47
울산	4.10	2.26
대전	2.50	1.37
전주	2.80	2.58
인천	3.57	4.45
제주	2.00	1.97
수원	2.60	2.20
비고		

있으나, 우수한 음질의 경기장을 건설하겠다는 의지는 모두가 똑같았다. 또한, 조직위원회에서 주관하여 2000년 3월30일에는 10개 구장 관계자와 음향전문가, 교수분들이 참석한 가운데 음향분야 세미나도 개최되었다. 음향 Simulation과 측정 Data를 잔향시간을 기준으로 각지에서 제출된 자료를 기준으로 나타내면 다음과 같다.

흡음률 Data나 3D Drawing 과정, 건축구조의 변경으로 인한 오차가 발생되고 있으나, 대부분의 구장에서 설계 Simulation Data보다 우수하게 시공되어 진 것을 알 수 있다. 측정장비, 측정방법에서 다소 차이는 있으나 세계 어디에 내놓아도 인정받을 수 있는 우수한 음향 System을 구축한 경기장임에는 틀림없는 사실이다. 공동개최국 일본 경기장의 System 점검을 위하여 수차례 방일하였지만 이런 Data를 보유하고 있는 경기장은 몇몇 경기장 뿐일 정도로 국내의 음향에 대한 관심이 어느 정도인지 알 수 있었다.

〈표 2〉에서 알 수 있듯이 측정결과가 목표 잔향시간인 4.0초를 초과하는 경기장 모두 Tefron 막재로 천장을 마감한 경기장들이다. 잔향시간이 음향의 전부는 아니지만 음향설비에서는 아주 중요한 Parameter이다. 잔향시간이 비교적 긴 부산구장은 직접음 에너지를 최대로 하기위해 천장에서 20m 아래에 스피커를 설치하였다. 건축의 형, 시각적인 문제가 거론되었지만 우수한 음질을 확보하기위해 스피커의 위치를 변경해 비교적

우수한 명료도를 확보할 수 있었다. 그러나 몇몇 경기장의 경우 건축설계 당시 음향전문가의 철저한 자문이 부족했던 점이 아쉬움으로 남는다.

3. 각 구장별 음향설비

(1) 서울월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 대지위치 : 마포구 상암지구
- 대지면적 : 216,712m²
- 건축면적 : 59,777m²
- 연 면 적 : 155,946m²
- 층 수 : 지하1층, 지상6층
- 수용인원 : 64,677석
- 구 조
- 관람석 : 프리캐스트 콘크리트 (P.C)
- 관람석하부 : 철골구조 (지하층 R.C 구조)
- 지 붓 : 철골 트러스 + Tensile(강선) 구조 + 테프론 Fabric (막)

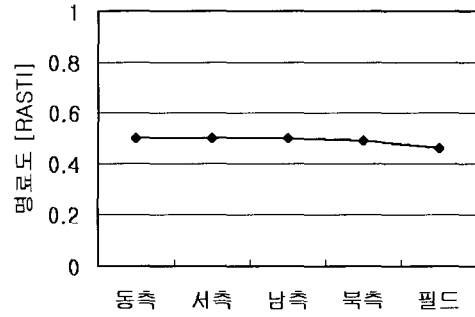
2) Speaker 배치 및 구성

Truss 하단부에 Field를 Cover하는 지향성 스피커가 본부석 쪽에 4Point, Back Stand 쪽에 4Point가 마주보게 설치되어 있으며, 사용된 스피커는 정지향성 Horn과 Woofer 24Set로 구성되어 있다. 객석용 스피커는 Truss 하단부에 East, West, South, North용 스피커를 92Set 설치하였다.

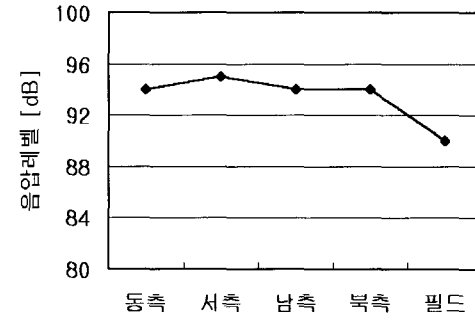
3) 음향 조정 및 성능평가

Field에서 발생하는 반사음을 최대한 억제 하기 위하여 객석 Level보다 약 5dB 낮게 튜닝 하여 객석의 명료도를 확보하였으며, 고른 음압분포를 확보하기 위하여 Speaker 간의 Level을 중점적으로 조정하였다.

음향 성능 평가를 위하여 객석 100지점, 경기장 12개 지점 총 112개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 다음과 같다.



〈표 3〉 명료도 측정결과



〈표 4〉 음압레벨 조정결과

(2) 부산월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 위 치 : 부산광역시 연제구 거제동
- 부지면적 : 총 543,014m² (16만평)
- 주경기장 : 지하1층, 지상4층
연면적92,637m² (28,022평)
- 좌 석 수 : 53,926석
- 구 조

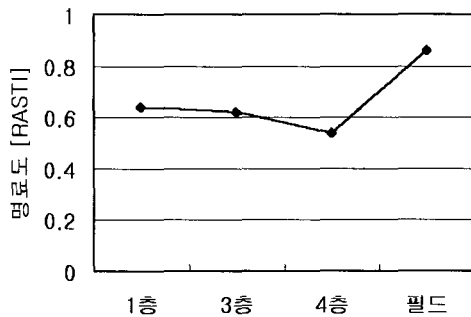
철골 철근 콘크리트조 인장케이블
반개방형 지붕, 흡음 마감재 테프론막

2) Speaker 배치 및 구성

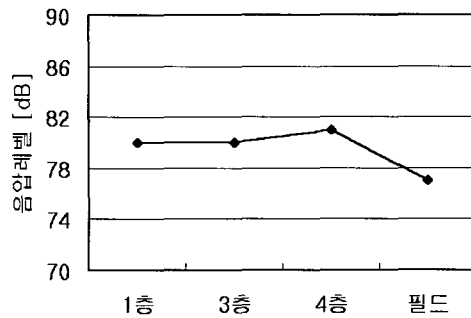
본부석 천장 중앙에 35°×35° 12Set를 Array 하여 1point로 집중 배치하였다. 객석용 스피커는 Truss 하단부 20m 지점에 1, 2, 3층용 스피커를 동, 서, 남, 북으로 18 Point 설치하였으며 4층용 스피커는 본부석과 Back Stand쪽에 10Point 설치하였다.

3) 음향 조정 및 성능평가

Field에서 발생하는 반사음을 최대한 억제하기 위하여 스피커를 집중방식으로 설치하고 객석 Level보다 약 5dB 낮게 튜닝 하여 객석의 명료도를 확보하였으며, 고른 음압분포를 확보하기 위하여 Speaker 간의 Level을 중점적으로 조정하였다. 건축구조가 좌, 우 대칭이므로 객석 18개 지점, FIELD 4개 지점 총 22개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 다음과 같다.



〈표 5〉 명료도 측정결과



〈표 6〉 음압레벨 조정결과

(3) 대구월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 위치 : 대구광역시 수성구
- 대지면적 : 512,479m² (155,024.90평)
- 건축면적 : 47,406.76m²
- 연 면 적 : 141,578m²
- 규 모 : 지하3층, 지상3층

- 좌 석 수 : 65,857석
- 외부마감
 - 외 벽 : 제물치장 콘크리트
 - 내 벽 : 경량 칸막이
 - 지 붕 : 테프론코팅막 (Ptfе Fabric)
- 구 조
 - 골 조 : 철골철근 콘크리트
 - 스 텐 드 : PC
 - 지 붕 : 철골트러스 + Ptfе Fabric

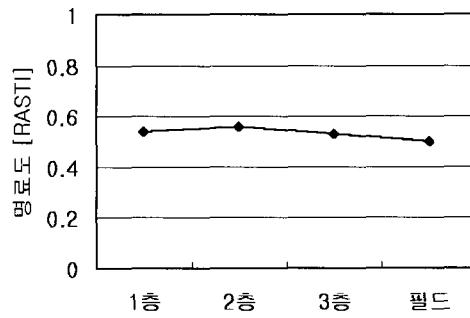
2) Speaker 배치 및 구성

Truss 하단부에 Field와 Side Stand를 Cover하는 지향성 스피커가 본부석 쪽에 5Point 설치되어 있으며, 사용된 스피커는 정지향성 Horn과 Woofer 32Set로 구성되어 있다. 객석용 스피커는 Truss 하단부에 본부석과 Back Stand용 스피커를 32Point 51Set 설치하였다.

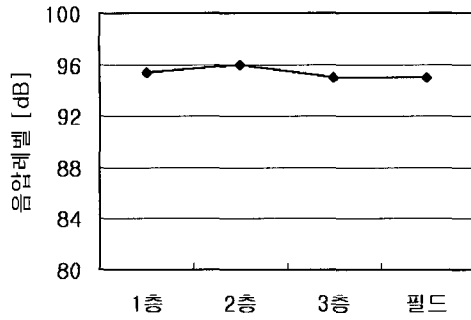
3) 음향 조정 및 성능평가

Field나 Stand에서 발생하는 반사음과 Long Path Echo를 최대한 억제하기 위하여 전 스피커를 지향성이 예민한 Horn Speaker를 설치하여 명료도를 확보하였으며, 고른 음압분포를 확보하기 위하여 Speaker 간의 Level을 중심으로 조정하였다.

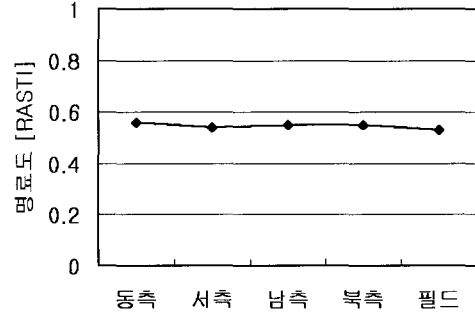
음향성능 평가를 위하여 객석 68지점 경기장 9개 지점 총 77개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 다음과 같다.



〈표 7〉 명료도 측정결과



〈표 8〉 음압레벨 조정결과



〈표 9〉 명료도 측정결과

(4) 광주월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 대지위치 : 광주광역시 서구
- 부지면적 : 327,391m²
- 건축면적 : 87,436m²
- 관람석수 : 44,118석
- 마감자재 : 타공흡음 지붕패널

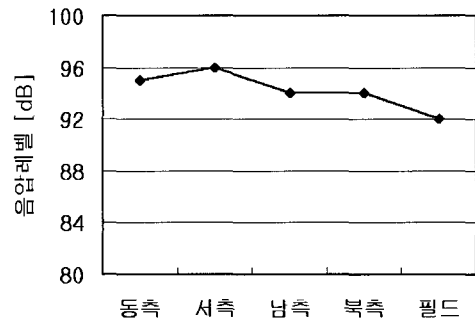
2) Speaker 배치 및 구성

Truss 하단부에 Field 및 Side Speaker를 Cover하는 지향성 스피커가 본부석 쪽에 4Point 설치되어 있으며, 사용된 스피커는 정지향성 Horn과 Woofer 20Set로 구성되어 있다. 객석용 스피커는 Amp가 내장된 Self-Powered Type으로 Truss 하단부에 본부석 Stand 6Point, Back Stand 6Point 총 24Set 설치하였다.

3) 음향 조정 및 성능평가

Field에서 발생하는 반사음을 최대한 억제하기 위하여 객석 Level보다 약 2-3dB 낮게 튜닝 하여 객석의 명료도를 확보하였으며, 고른 음압분포를 확보하기 위하여 Speaker 간의 Level을 중점적으로 조정하였다.

음향 성능 평가를 위하여 객석 54지점 경기장 6개 지점 총 60개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 다음과 같다.



〈표 10〉 음압레벨 조정결과

(5) 울산월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 대지위치 : 울산광역시 남구
- 부지면적 : 912,310m²
- 건축면적 : 82,781m² (25,041평)
- 층 수 : 지하2층, 지상3층
- 수용인원 : 44,474석
- 구조

철근 콘크리트조, PC조, 철골조 및 인장 케이블 지지방식, PE 9mm 마감자재사용

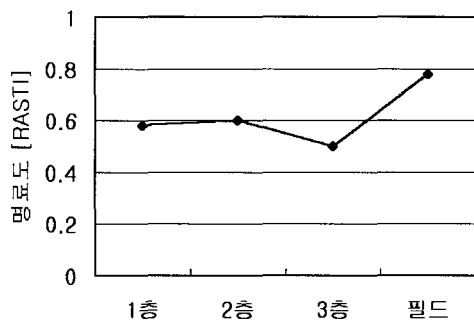
2) Speaker 배치 및 구성

Truss 하단부에 Field를 Cover하는 지향성 스피커가 본부석 쪽에 1Point 설치되어 있으며, 사용된 스피커는 정지향성 Horn과 Woofer 14Set로 구성되어 있다. 객석용 스피커는 Truss 하단부에 East, West, South, North용 스피커를 24Point 120Set 설치하였다.

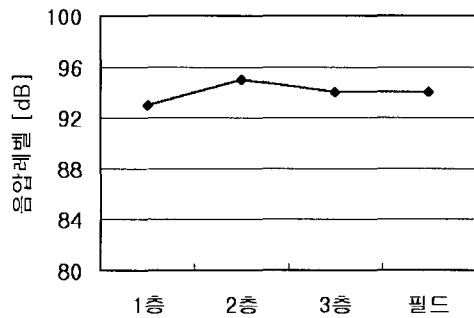
3) 음향 조정 및 성능평가

Field나 Stand에서 발생하는 반사음과 Long Path Echo를 최대한 억제하기 위하여 전 스피커를 지향성이 예민한 Horn Speaker를 설치하여 명료도를 확보하였으며, 고른 음압분포를 확보하기 위하여 Speaker 간의 Level을 중점적으로 조정하였다.

음향성능 평가를 위하여 객석 28지점 경기장 6개 지점 총 34개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 다음과 같다.



〈표 11〉 명료도 측정결과



〈표 12〉 음압레벨 조정결과

(6) 대전월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 대지위치 : 대전광역시 유성구
- 부지면적 : 172,378m²
- 층 수 : 지하1층, 지상5층
- 수용인원 : 41,000석

- 구 조

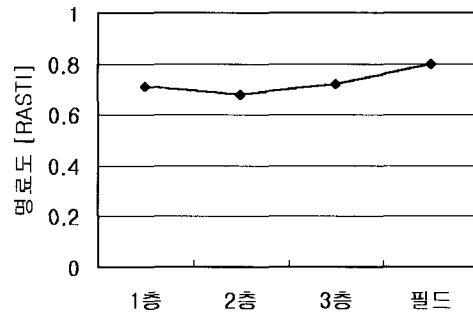
- 기초구조 : 철근 콘크리트 독립기초
- 스탠드 : P.C 구조
- 지붕구조 : 반개폐식 철골 캔틸레버 구조
- 지붕재료 : 금속재 쉬트
- 외부마감 : 외장코트

2) Speaker 배치 및 구성

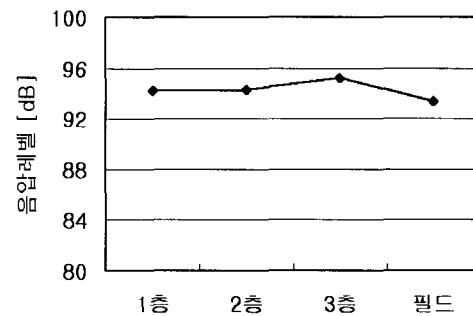
Truss 하단부에 Field와 Side 객석을 Cover 하는 지향성 스피커가 본부석 쪽에 8Point 설치되어 있으며, 사용된 스피커는 정지향성 Horn과 Woofer 22Set로 구성되어 있다. 객석용 스피커는 Truss 하단부에 본부석 객석, Back Stand 객석용 스피커를 정지향성 Horn과 Woofer 20Point 80Set를 설치하였다.

3) 음향 조정 및 성능평가

Field나 Stand에서 발생하는 반사음과 Long Path Echo를 최대한 억제하기 위하여 전 스피커를 지향성이 예민한 Horn Speaker를 설치하



〈표 13〉 명료도 측정결과



〈표 14〉 음압레벨 조정결과

여 명료도를 확보하였으며, 고른 음압분포를 확보하기 위하여 Speaker 간의 Level을 중점적으로 조정하였다.

음향성능 평가를 위하여 객석 33지점 경기장 6개 지점 총 39개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 <표 13> <표 14>와 같다.

(7) 인천월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 대지위치 : 인천광역시 남구
- 연 면 적 : 95,226.06m²
- 층 수 : 지하1층, 지상5층
- 수용인원 : 51,237석
- 구 조
- 관 랑 석 : 철근 콘크리트 + PC
- 지 붕 : Cable구조 + Membrane구조
- 마감자재 : 테크론막

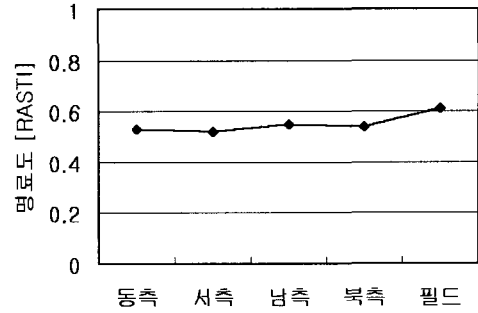
2) Speaker 배치 및 구성

Truss 하단부에 Field를 Cover하는 지향성 스피커가 본부석 쪽에 2Point 설치되어 있으며, 사용된 스피커는 정지향성 Horn과 Woofer 24Set로 구성되어 있다. 객석용 스피커는 Truss 하단부에 East, West, South, North용 스피커를 38Point 148Set 설치하였다.

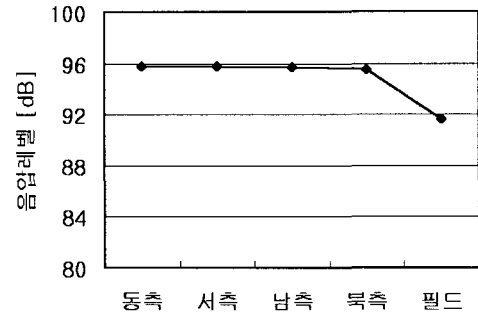
3) 음향 조정 및 성능평가

Field나 Stand에서 발생되는 반사음과 Long Path Echo를 최대한 억제하기 위하여 전 스피커를 지향성이 예민한 Horn Speaker를 설치하여 명료도를 확보하였으며, 고른 음압분포를 확보하기 위하여 Speaker 간의 Level을 중점적으로 조정하였다.

음향성능 평가를 위하여 객석 62지점 경기장 9개 지점 총 71개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 다음과 같다.



(표 15) 명료도 측정결과



(표 16) 음압레벨 조정결과

(8) 수원월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 대지위치 : 수원시 팔달구
- 부지면적 : 425,000m² (128,560평)
- 경 기 장 : 215,267m² (65,118평)
- 층 수 : 지하2층, 지상4층
- 수용인원 : 43,288석
- 구 조
- 마감자재 : Acoustic Sheet

2) Speaker 배치 및 구성

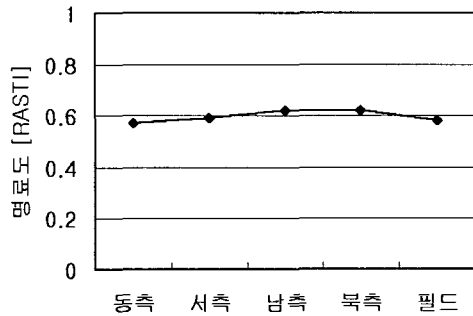
Truss 하단부에 Field와 Side 객석을 Cover하는 지향성 스피커가 본부석 쪽에 6Point 설치되어 있으며, 사용된 스피커는 정지향성 Horn과 Woofer 34Set로 구성되어 있다. 객석용 스피커는 Truss 하단부에 본부석 객석, Back Stand 객석용 스피커를 10Point 20Set를 설치하였다.

3) 음향 조정 및 성능평가

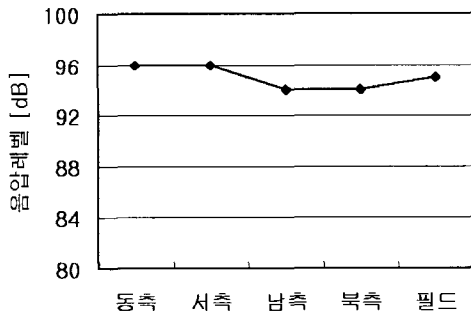
Field에서 발생되는 반사음과 Long Path

Echo를 최대한 억제하기 위하여 지향성이 예민한 Horn Speaker를 설치하여 명료도를 확보하였으며, 고른 음압분포를 확보하기 위하여 Speaker 간의 Level을 중점적으로 조정하였다.

음향성능 평가를 위하여 객석 32지점 경기장 6개 지점 총 38개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 다음과 같다.



〈표 17〉 명료도 측정결과



〈표 18〉 음압레벨 조정결과

(9) 제주월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

- 대지위치 : 제주도 서귀포시 법환동
- 부지면적 : 134,122m²
- 건축면적 : 22,198m² (연면적 75,967m²)
- 층 수 : 지하2층, 지상4층
- 수용인원 : 42,256석
- 구조
- 지 붕 : 케이블 및 철골트러스

현수구조, 테프론코팅막

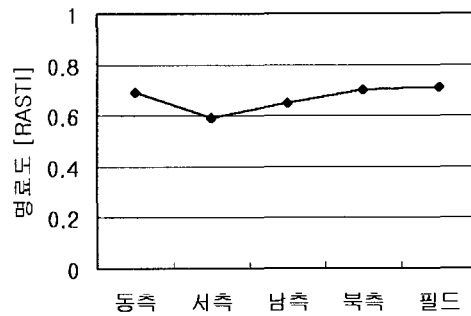
2) Speaker 배치 및 구성

본부석만 천장이 있는 건축구조를 가지고 있어 Back Stand 까지 본부석 천장에서 Cover 해야 한다. 본부석 천장에 Field 및 Back Stand, Side Stand를 Cover하는 정지향성 스피커와 Woofer가 4Point 24Set 설치되어 있으며 본부석 객석용 스피커 4Point 8Set가 구성되어 있다.

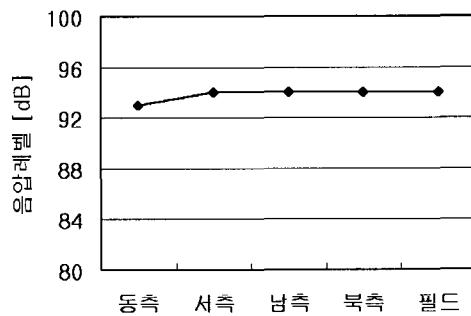
3) 음향 조정 및 성능평가

경기장의 특성상 Back Stand에 부족하지 않은 음압레벨을 확보하는 것을 가장 중요한 사항으로 조정하였다. 본부석에서 발생하는 반사음을 최대한 억제시켜 스피커간의 Level을 중점적으로 조정하였다.

음향성능 평가를 위하여 객석 63지점 경기장 7개 지점 총 70개 지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 다음과 같다.



〈표 19〉 명료도 측정결과



〈표 20〉 음압레벨 조정결과

(10) 전주월드컵 경기장

1) 경기장 시설개요

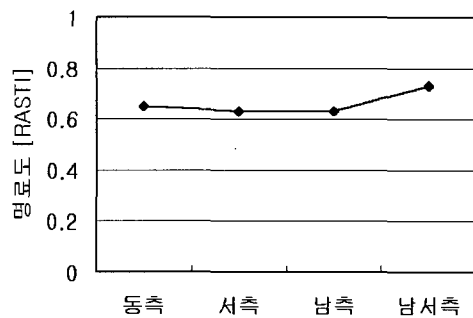
- 대지위치 : 전주시 덕진구
- 대지면적 : 627,929m²
- 건축면적 : 52,249m²
- 연 면 적 : 90,667m²
- 층 수 : 관중석층수 2개층 (5개층수)
- 수용인원 : 42,477석
- 구 조
- 관 랑 석 : PC 구조
- 지 붕 : 철골 Frame 위 갈바륨 판넬

2) Speaker 배치 및 구성

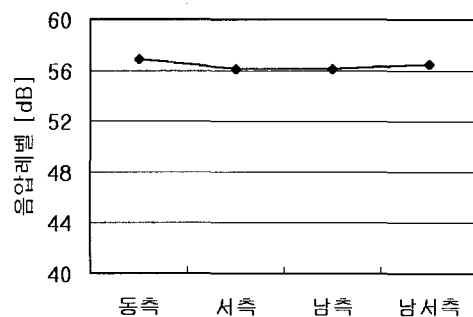
Field의 Moat 부분에 Messenger Type의 스피커와 Woofer를 동쪽 4개소, 서쪽 4개소 남, 북측 각각 3개소, Field를 2개소 설치하였다.

3) 음향 조정 및 성능평가

균일한 음압분포와 풍부한 음압레벨을 확보할 수 있도록 정밀 조정하였다. 음향성능 평가를 위



〈표 21〉 명료도 측정결과



〈표 22〉 125Hz~800Hz의 평균음압레벨 기준

하여 객석 53지점을 선정하여 음향측정을 실시하였다. 그 결과를 명료도와 음압레벨을 기준으로 종합해보면 〈표 21〉 〈표 22〉와 같다.

4. 유지관리 및 결론

경기장의 대형 음향 System은 설치도 중요하지만 앞으로 유지관리를 어떻게 할 것인가가 가장 큰 관건으로 남는다.

경기장마다 배치된 운영요원으로는 전 System의 점검 및 관리가 어려운 것이 현실이므로 전문업체와 유지관리 계약을 체결하여 장비의 수명 및 운영을 극대화 하는 것이 바람직하리라 사료된다. 대형 경기장의 음향 System은 Speaker 배치와 마감자재, 건축 외형과의 적절한 조화로 우수한 System을 구축할 수 있다.

국내 월드컵경기장은 조직위원회에 건축, 설비, 전기, 음향, 조명, 전광판 등의 전문가로 구성된 시설 자문위원을 구성하고 설계부터 자문을 하여 일본 경기장보다 아주 우수한 경기장으로 완성될 수 있었던 것 같다.

앞에서 언급한 경기장별 System 및 결과를 바탕으로 경기장의 음향 System을 구축하는데 도움이 되었으면 한다.

(원고 접수일 2002. 8. 19)

참고문헌

- [1] 10개구장 음향 Simulation 보고서
- [2] 10개구장 음향 성능 측정 보고서