

전주월드컵 경기장의 음향특성 평가

연철호*, 한찬훈**

충북대학교 공과대학 건축공학과

Acoustic Properties of the Jeonju World Cup Stadium

Yeon Chul-Ho*, Haan Chan-Hoon**

Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University

E-mail : yeon7520@dreamwiz.com* chhaan@cbucc.chungbuk.ac.kr**

요 약

전주월드컵 경기장은 Fully Digital sidelobe-free array 방식의 음향시스템을 도입한 유일한 경기장으로서 대규모 경기장에 Line Array type의 스피커를 사용한 최초의 예가 된다. 현장음향실험을 통하여 경기장의 주요 음향 파라미터인 음압레벨(SPL), 잔향시간(RT), 음성명료도(D50), 음성이해도(RASTI) 등을 측정함으로써 전주월드컵 경기장의 음향시스템의 특성과 종합적인 음향성능을 알아보려고 한다. 주음원(Messenger)만 사용하여 실험한 결과 음압레벨(SPL)은 관중석의 객석간 위치별 음압레벨 표준편차가 약 2.78dB로 나타났다. 이 값은 당초의 음압레벨분포편차의 목표치인 ± 3 dB의 범위 이내로 나타났다. 또한 최대음압레벨은 평균 100.1dB로 목표치인 96dB을 초과하는 것으로 나타났다. 잔향시간(RT)은 공석시 전체 관중석 평균 2.94초로 나타났으며, 1000Hz에서의 평균 잔향시간은 2.58초로 나타났다. 잔향시간은 실제 경기장의 사용 시 약 0.3-0.4초의 감소가 발생되리라 판단된다. 음성명료도(D50)는 전체 관중석 평균 56.2%로 매우 양호한 상태로 나타났고 음성이해도(RASTI)는 전체 관중석 평균 0.63으로 목표치인 0.5를 상회하는 것으로 나타났다.

이상의 현장음향실험 결과를 분석한 결과 전주월드컵 경기장의 음향성능은 음향설계 요건을 만족하는 것으로 나타났고 야외 경기장 같은 대형공간에서의 음향시스템

에 있어서 Fully Digital sidelobe-free array 방식의 음향시스템의 적용가능성을 보여주고 있는 것으로 나타났다.

1. 서 론

2002년 월드컵 경기의 개최에 따라 신축된 전주월드컵 경기장은 국내의 10개 개최도시에 건설된 경기장 중 축구전용경기장으로 건설되었다. 지상 5층의 철골 및 PC콘크리트 옥외구조물로서 약 42,000명을 수용하는 야외경기장으로 Fully Digital sidelobe-free array 방식의 음향시스템을 도입한 유일한 경기장으로서 대규모 경기장에 Line Array type의 스피커를 사용한 최초의 경기장이다. 경기장의 음향시스템은 관중석의 전면에 설치된 총 14개의 DSP control 방식의 스피커와 별도의 14개의 woofer로 구성되어 있다. 현장음향실험을 통하여 전주월드컵 경기장의 음향시스템의 특성과 종합적인 음향성능을 조사하였다.

2. 전주월드컵 경기장 음향실험

2.1 실험의 개요

전주월드컵 경기장의 음향성능을 평가하기 위하여 음향측정기기를 이용하여 경기장내에 설정된 측정점의 위치별로 음향인자를 측정하였다. 음향실험시 음원은

전주월드컵 경기장에 설치된 기존의 전기음향 스피커를 이용하여 실시하였다.

전주월드컵 경기장의 음향실험을 위하여 실험일시 및 측정기기의 선택, 측정점의 선정 등은 사전에 현장 사정을 감안하여 조사 선택되었으며, 모든 실험은 ISO(International Standards Organization)와 ASTM의 규준에 따라 시행하였다. 현장측정은 경기장의 근무자와 방문객이 없는 오후 4시 이후에 실시하였으며 전주 월드컵경기장의 규모를 고려하여 총 53개의 측정점에서 SPL, RT, D₅₀, RASTI 등 음향인자를 측정하였다. 음향 측정시 현장의 모든 음향시스템을 측정기와 동기화 시켜 측정을 수행하였으며 온도 및 습도는 실험시 별도로 측정하였다. 온도는 평균 19℃로 상온에 가까웠으며 습도 또한 51%로 음향실험에 적절하였다.

2.2 측정점의 선정

전주월드컵 경기장은 좌우대칭의 타원형 평면을 갖추고 있어서 중앙선을 기준하여 한쪽을 선택하여 측정점을 선택하였다. 특히, 서측에 부속시설이 위치한 구조물이 관중석 중앙 상단에 있는 관계로 서측과 동측은 별도로 측정하였다. 남측과 북측 관중석은 좌우 대칭인 관계로 평면상 남측 stand에서 측정점을 선정하였다. 각 측정점의 선정은 전주월드컵 경기장 각층의 면적과 거리를 고려하여 고르게 분포하도록 조정하였다. 측정점은 총 53개 point를 설정하였다. 이 중 경기장의 모든 음향인자의 측정을 위하여 관중석에 48개 지점을 선정하였으며, 객석의 위치에 따른 최대음압레벨의 측정을 위하여 남측 관중석에 4개소를 별도로 선정 하였으며, Woofer의 명료도 시험을 위하여 서측에 1개소를 선정하여 측정하였다. 전주월드컵 경기장의 관중석에 따른 측정점의 수는 표1에 나타난 바와 같다.

표 1. 위치별 측정점 수

측정 위치	권역수	권역	측정점수	비고
WEST 관중석	2	A, B	23	Woofer 명료도 시험소 1곳 포함
SOUTH 관중석	2	C, D	22	최대음압레벨, 4point 포함 (M1~M4)
EAST 관중석	1	E	6	
S-W 관중석	1	F	2	
합 계	6		53	

측정점은 관중이 착석시의 평균 귀의 높이인 바닥

로부터 1.1m(ear level) 상부에 설정하였다. 모든 측정점의 Level과 위치에 따라 A부터 F까지 6개의 권역(Zone)으로 나누었다. 전주 월드컵경기장에 설정된 6개의 권역과 권역별 측정점의 위치는 음원의 위치와 함께 그림1에 표시하였다.

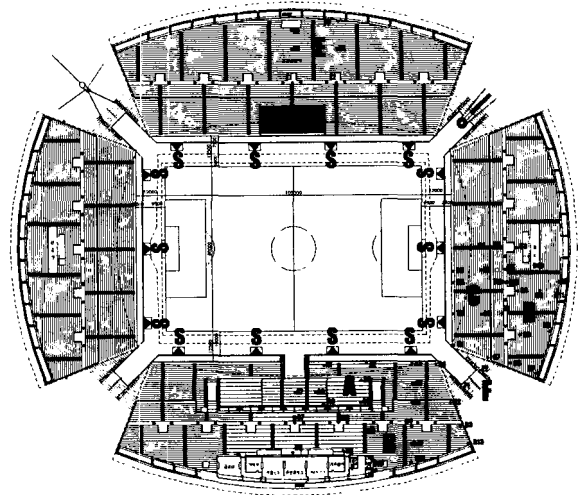


그림 1. 전주월드컵 경기장의 음원, 측정점 및 Zone의 위치

2.3 실험방법

실험시 사용한 음원은 전주월드컵 경기장에 설비된 기존의 PA설비를 이용하였다. 현재 전주월드컵 경기장의 관중석용으로 설비된 음원은 2가지로서 PA용 speaker (Messenger) 14개와 음악용 Woofer 14로 구성되어 있다. 이외에 경기장용으로 2개의 Messenger와 Woofer가 별도로 설치되어 있는 상태이다.

관중석의 총 53개 측정점에서 1/3 혹은, 1 octave 주파수 대역으로 음향인자를 측정하였다. 각 측정점에서 측정된 음향인자는 음압레벨과 잔향시간 그리고 명료도에 관계되는 지수 2가지인데, 명료도 지수 중 D50은 안내방송의 음성명료도를 나타내며, RASTI는 방송의 내용에 대한 이해도로서 백분율로 표시된다.

음원의 신호는 최대음압레벨 측정시에만 Pink Noise를 사용하였고 그외의 음향인자 측정시에는 MLS신호를 사용하였다. 모든 음원은 측정분석기와 동기되어 컴퓨터에 의하여 조정되어진다. 즉, 컴퓨터에서 MLS신호와 Pink Noise를 송출하여 전기음향설비의 각 스피커를 통하여 방사한 후 각 측정점의 바닥에서 1.1m 높이의 지점에 설치된 마이크로폰을 이용하여 음을 수음한 후 음향분석기를 통하여 각 음향인자를 분석하였다. 각

각의 측정점에서 Microphone은 경기장을 지향하여 측정하였다. 실험의 효율을 위하여 음압레벨은 B&K Modular Precision Sound Analyzer로 측정 분석하였으며 나머지 음향인자는 ETANI Audio Sound Analyzer로 측정 분석하였다. 또한 위치별 음압의 편차를 조사하기 위하여 소음분석기를 이용하여 먼저 음원의 Power Level을 측정하였다. 음향출력레벨은 음원스피커에서 약 1m 떨어진 지점에서 측정하였다. 이 값을 이용하여 위치별 음압레벨과 비교분석할 수 있는 기준을 설정함으로써 각 주파수별 음압 감소량을 측정하였다. 또한 전체 주파수에 대한 평균음압레벨을 평가하기 위한 Leq값은 각 측정점에서 10초간 3번씩 측정하여 평균하였다. 음압이외의 음향인자는 각 측정점에서 4초간 2번씩 측정하여 평균하였다.

전주월드컵 경기장에서 실시한 현장음향실험의 실험기기 구성도는 그림2에 나타내었고 실험기기별 위치 및 실험장치의 구성도는 그림 3에 나타난 바와 같다.

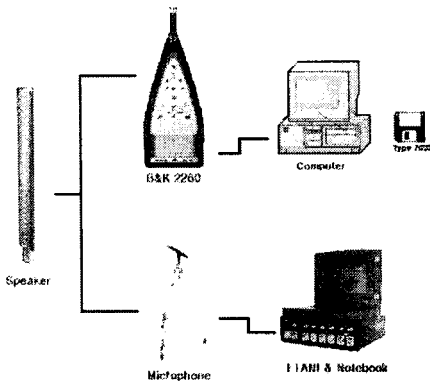


그림 2. 전주월드컵 경기장 실험기기 구성도

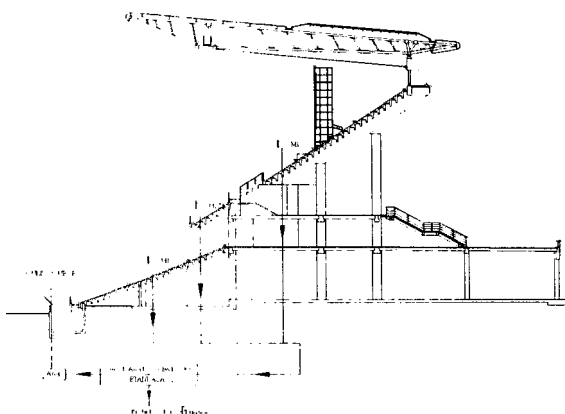


그림 3. 전주월드컵 경기장 음향실험 현장장치도

3. 실험결과

3.1 음압레벨(SPL)

관중석의 위치에 따른 객석의 주파수별 음압레벨을 조사하기 위하여 Messenger speaker를 사용하여 MLS 신호를 약 76dB로 방사하여 측정한 각 관중석별 음압레벨의 평균값을 그림4에 주파수별로 나타내었다.

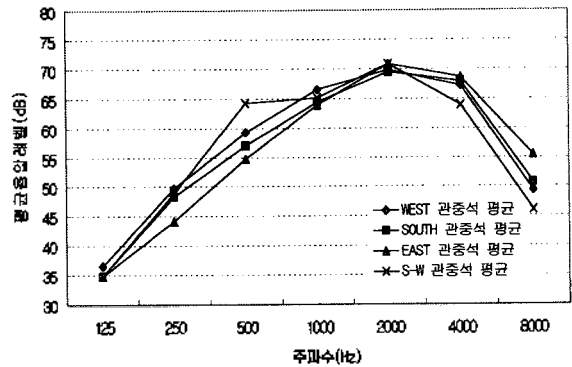


그림 4. 관중석내의 위치별 평균음압레벨 비교

그림4에 나타나고 있듯이 주파수특성은 모든 관중석에서 2000Hz에서 최대치를 보이고 있으며 2000Hz를 기점으로 저주파와 고주파로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다.

관중석의 객석간 음압레벨 분포편차 범위를 조사하기 위하여 관중석별 평균값과 각 관중석의 객석간 음압레벨편차를 주파수별로 조사하여 표2에 나타내었다.

표 2. 관중석내의 위치별 평균음압레벨 및 음압레벨편차(dB)

위 치	주파수(Hz)								Leq
	125	250	500	1K	2K	4K	8K	AP	
WEST 평균음압레벨	36.6	49.8	59.2	66.4	69.8	67.2	49.4	56.9	78.7
WEST 표준편차	3.98	4.37	4.27	3.84	4.15	4.03	6.78	4.49	3.75
SOUTH 평균음압레벨	34.8	48.4	57.0	64.4	69.4	67.9	50.8	56.1	78.4
SOUTH 표준편차	2.78	3.62	2.95	1.98	1.72	3.00	7.57	3.37	2.23
EAST 평균음압레벨	34.8	44.2	54.8	64.0	70.8	68.6	55.5	56.1	79.1
EAST 표준편차	1.79	1.14	1.84	1.52	0.65	1.08	1.22	1.32	0.64
S-W 평균음압레벨	34.9	48.9	64.2	65.2	70.8	64.0	46.1	56.3	79.3
S-W 표준편차	0.42	1.20	1.27	0.85	0.14	0.64	1.06	0.80	0.57
관중석 전체평균	35.6	48.5	58.0	65.3	69.8	67.5	50.5	56.5	78.6
전체관중석간표준편차	3.28	4.07	3.95	3.07	3.01	3.38	6.79	3.94	2.78

주) AP : 125-8KHz까지의 평균음압레벨

Leq : 63-20KHz까지의 평균 Leq값

객석의 위치별 평균 음압레벨을 비교한 결과 저주파 대역에서는 3.28dB, 중간 주파수 대역에서는 3.95dB, 고주파수 대역에서는 평균레벨에서 3.38dB로 나타났다. 이것은 음압레벨의 편차가 모든 주파수대에 걸쳐서 고르게 나타나고 있음을 알 수 있다.

S-W관중석 corner 부분을 제외하고는 서측 관중석의 객석간 음압레벨 평균편차가 4.49dB도 가장 크고, 남측 관중석의 편차가 1.32dB로 가장 작았다. 서측 관중석의 편차가 큰 이유는 4개의 관중석 칸에서 서측에 부속시설이 위치한 관계로 관중석의 중앙부위에 구조물이 돌출되어 있어서 음원으로부터 방사된 음이 구조물에 의하여 반사되어 관중석으로 돌아가기 때문이다.

전체 관중석의 125Hz - 8KHz까지의 음압레벨 편차의 평균값은 3.94dB로 나타났으며 63-20KHz까지의 평균 Leq값의 전체 객석간 최대편차는 2.78dB로 나타났다. 따라서 이 값은 당초의 목표치인 객석간의 편차범위 ± 3 dB 이내에 존재하는 값을 알 수 있다.

관중석의 위치별 음압레벨편차의 평균값을 도식하여 그림5에 나타내었다.

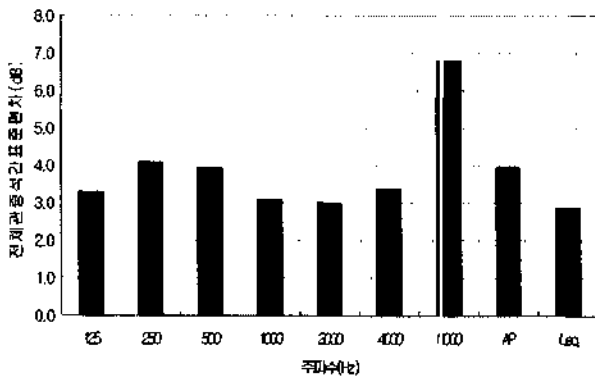


그림 5. 관중석의 전체 객석간 음압레벨 편차 비교

그림5에서 알 수 있듯이 주파수별 음압레벨의 편차는 8000Hz의 주파수 대역에서 가장 크고 1000Hz-2000Hz 주파수 대역에서 상대적으로 낮은 음압레벨의 편차가 형성되고 있음을 알 수 있다. 고주파수 대역의 음압레벨의 편차가 큰 이유는 경기장의 바닥과 벽체 등의 마감이 모두 반사재로 되어 있어서 관중석에 도달한 음이 난 반사되어 객석간의 편차가 커진 것이라 판단된다.

3.2 최대음압레벨(Maximum Sound Level)

관중석의 음압레벨의 분포 이외에 전주월드컵 경기

장의 음향시스템의 성능을 파악하기 위하여 음향출력을 허용하는 최대치로 높은 가운데 남측 관중석의 5개 지점에서 음압레벨을 측정하였다. 음원의 신호로는 Pink Noise를 사용하였으며 주음원인 Messenger speaker만을 사용한 경우와 보조음원(Woofers)을 함께 사용한 경우를 포함하여 측정하였다.

분석결과 주음원인 Messenger speaker만을 사용한 경우에는 최대음압레벨이 100.1dB(A)로 나타났으며 보조음원(Woofers)을 함께 사용한 경우에는 그보다 약간 상승한 101.4 dB(A)로 측정되었다. 그림6은 음원의 종류에 따른 최대음압레벨의 주파수별 평균값과 전체 최대음압레벨을 보여주고 있다.

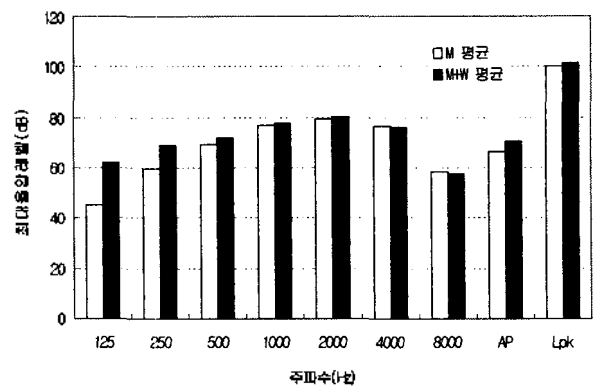


그림 6. 음원의 종류에 따른 최대음압레벨의 비교

3.3 잔향시간(RT)

잔향시간은 위치별로 평균잔향시간 분포를 주파수별로 정리하여 표3에 나타내었다. 표의 오른쪽 칸에는 중간주파수 대역인 500-1000Hz의 잔향시간 평균을 표시하였다.

표 3. 관중석내의 위치별 평균잔향시간(초)

주파수(Hz)	125	250	500	1K	2K	4K	8K	T ₅₀₀₋₁₀₀₀
WEST 평균	5.69	4.05	3.54	2.78	1.75	1.37	0.89	3.16
SOUTH 평균	4.22	3.80	2.95	2.27	1.48	1.65	1.42	2.61
EAST 평균	4.99	3.84	3.78	2.77	1.38	1.73	1.26	3.27
S-W 평균	3.83	3.51	2.48	2.71	1.63	1.36	1.05	2.59
전체평균	4.85	4.16	3.42	2.58	1.60	1.52	1.14	3.00

주) T₅₀₀₋₁₀₀₀ : 중간주파수대(500-1000Hz)의 평균잔향시간

표3에서 나타나고 있듯이 중간주파수 대역에서 동서

측 관중석의 잔향시간이 평균 3.16-3.27초로서 남측관중석의 2.6초대 보다 높았다. 그 이유는 동서측 관중석이 보다 넓고 큰 관개로 지붕으로 덮인 부분의 체적이 크기 때문이다. 명기할 것은 경기장의 관중석의 위치에 관계없이 모든 객석에서 유사한 잔향시간이 측정되었다는 점이다. 중간주파수 대역에서의 관중석 전체의 평균 잔향시간은 3.0초로 분석되었다. 또한 저주파에서 가장 높고 고주파로 갈수록 낮아지는 특성을 보이고 있다. 이것은 자유음장이나 경기장과 같은 공간에서 보이는 일반적인 현상으로서 고주파의 잔향이 짧은 이유는 공기의 흡음에 의한 이유에서 비롯된다.

음원의 종류에 따른 잔향시간의 차이를 조사하기 위하여 주음원(Messenger speaker)과 보조음원(Woofers)을 각각 사용하여 잔향시간을 측정하였다. 측정은 서측 관중석 1층의 한 지점(AA1)에서 측정하였고 각각의 음원을 사용하였을 때의 주파수별 잔향시간은 표4에 나타내었다.

표 4. 관중석내(AA1)의 음원의 종류에 따른 잔향시간(초)

위 치	음원의 종류	주파수(Hz)							
		125	250	500	1K	2K	4K	8K	T ₅₀₀₋₁₀₀₀
W E S T 석	M	2.40	2.76	2.73	2.99	1.59	1.30	0.25	2.86
	W	2.38	4.17	4.00	3.70	2.00	1.55	6.38	3.85
	M+W	3.03	3.99	2.98	2.84	1.52	1.20	0.25	2.91

주) M : Messenger, W : Woofers

표4에 나타난 바와 같이 Line Array type의 Messenger speaker만을 사용하였을 때 중간주파수 대역의 잔향시간이 2.86초로 가장 짧았으며 Woofers만을 사용한 경우는 3.85초로 긴 잔향시간이 측정되었다. 주음원과 보조음원을 동시에 사용한 경우는 2.91초로서 주음원을 사용한 경우보다 약간 높은 잔향시간이 측정되었다. Woofers는 음악사용시 보조음원의 수단으로 사용자 설치한 것이므로 주음원의 잔향시간이 짧은 것은 명료도 제고에 바람직한 결과이다.

3.4 음성명료도(D50)

음성명료도(D50)는 경기장의 권역별 평균 음성명료도값을 위치별로 정리하여 표4에 나타내었다.

분석결과 남서측의 모서리 부분에 위치한 노출된 객석에서 가장 높은 음성명료도 61.5%로 나타났고 나머지 관중석의 음성명료도는 53-56%로 양호한 편으로 나

타났다. 전주 월드컵 경기장 전체 관중석의 평균 음성명료도는 56.2 %로 나타났다. 또한 주파수특성을 분석하여보면 2KHz대까지는 상승하다가 4KHz를 기점으로 8KHz대까지 약간씩 감소하는 경향을 나타내고 있다. 관중석의 평균 음성명료도는 4KHz에서 71.6%로 제일 큰 값을 보이고 있다.

표 4. 관중석내의 위치별 평균음성명료도(%)

주파수(Hz) 위 치	125	250	500	1K	2K	4K	8K	AP
WEST 평균	29.5	43.4	52.1	65.4	66.9	70.7	67.3	56.5
SOUTH 평균	25.2	39.0	55.1	66.3	71.0	71.9	65.6	56.3
EAST 평균	5.2	21.8	52.6	76.3	82.3	74.5	60.1	53.3
S-W 평균	29.8	45.7	78.3	66.1	77.7	69.9	63.2	61.5
전체평균	24.9	39.2	54.4	67.1	70.8	71.6	65.6	56.2

주) AP : 125Hz-8KHz까지의 평균음성명료도(%)

또한 음원의 종류에 따른 음성명료도의 차이를 측정 한 결과를 주파수별로 표5에 나타내었다. 분석결과 잔향시간의 결과에서 나타나고 있듯이 보조음원인 Woofers를 사용하였을 때 음성명료도가 현저하게 떨어지고 있음을 알 수 있다. 그러나 보조음원은 음악보정용으로 설치한 관개로 경기시 방송을 담당하는 주음원의 경우 69.7%의 높은 음성명료도를 보이고 있다.

표 5. 관중석내(AA1)의 음원의 종류에 따른 음성명료도(%)

위 치	음원의 종류	주파수(Hz)							
		125	250	500	1K	2K	4K	8K	AP
W E S T 석	M	52.6	66.4	76.9	54.2	63.1	76.4	98.8	69.7
	W	64.4	67.7	11.9	6.7	2.2	2.0	1.8	22.3
	M+W	48.3	58.2	76.5	55.2	63.4	74.4	98.7	67.8

주) M : Messenger, W : Woofers

3.5 음이해도(RASTI)

위치에 따른 관중석의 음이해도는 분석결과 모든 관중석이 평균 0.63 이상의 RASTI 값을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이것은 상대적으로 낮은 잔향시간과 높은 음성명료도에 기인하는 것으로서 주음원의 기능과 성능이 당초의 음향요건을 충족하고 있는 것으로 나타났다. 그림8은 관중석내의 위치별 음이해도를 나타내고 있다.

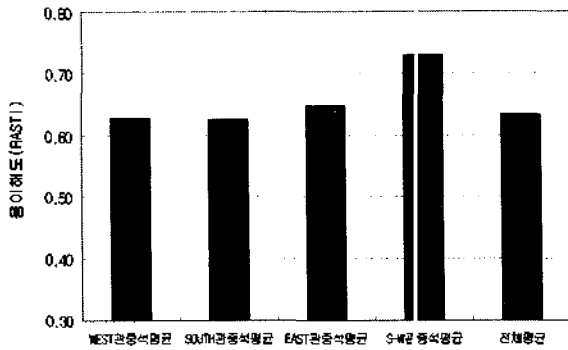


그림 8. 관중석내의 위치별 음이해도 비교

또한 음원의 종류에 따른 음이해도 값을 비교 분석하였다. 표7은 서측의 관중석 1층에서 측정된 RASTI 지수를 음원의 종류에 따라 나타내고 있다.

표 7. 음원의 종류에 따른 음이해도 (RASTI)

위 차	음원의 종류	측정점	음이해도
WEST 관중석	M	AA1	0.66
	W	AA1	0.24
	M+W	AA1	0.66

주) M : Messenger, W : Woofer

분석결과 보조음원(Woofer)의 음이해도는 0.24로 매우 낮았으나 주음원인 Messenger speaker의 음이해도는 0.66으로 매우 높게 나타났다. 따라서 음악위주의 Event성 행사를 하는 경우를 제외하고는 경기시에 주음원을 중심으로 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구는 전주월드컵 경기장의 음향성능평가를 목적으로 전주월드컵 경기장의 관중석에서 음향을 측정하여 현재의 음향상태를 조사하고 객석의 위치별 음향지수의 분포를 분석하고자 하였다. 음향실험 결과는 125Hz부터 8KHz까지 조사분석 되었으며 결과를 정리하여 요약하면 다음과 같다.

1) 전주월드컵 경기장의 음압레벨 측정결과 관중석의 객석간 위치별 음압레벨 표준편차 약 2.78 dB로 나타났다. 이 값은 당초의 음압레벨분포편차의 목표치인 ±3

dB의 범위 이내로 나타났다.

2) 관중석에서의 최대음압레벨 측정결과 평균 100.1dB로 나타났다. 이 값은 최대음압레벨 목표치인 96dB을 초과하는 값이다.

3) 공석시 잔향시간 측정결과 전체 관중석의 평균 잔향시간은 2.94초로 나타났으며 1000Hz에서의 평균 잔향시간은 2.58초로 측정되었다.

4) 음성명료도(D50) 측정결과 전체 관중석의 평균 음성명료도는 56.2%로 매우 양호한 상태로 판명되었다.

5) 음성이해도(RASTI)의 측정결과 전체 관중석의 평균 RASTI 지수는 0.63으로서 당초의 목표치인 0.5를 상회하고 있는 것으로 나타났다.

6) 전주 월드컵 경기장에 설치되어 있는 보조음원(Woofer)만을 사용하는 경우에는 음성명료도와 음이해도가 매우 떨어지게 됨으로 주음원을 항상 같이 사용하기를 권장하며 음악위주의 행사이외에 경기시나 음성정보의 전달을 목적으로 하는 경우에는 주음원을 주로 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

이상의 현장실험결과를 분석한 결과 전주월드컵 경기장의 음향성능은 당초의 음향설계 요건을 만족하는 것으로 나타났고, 야외 경기장 같은 대형공간에서의 음향시스템에 있어서 Fully Digital sidelobe-free array 방식의 Line Array type의 스피커 음향시스템의 적용가능성을 보여주고 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Werff, J., Electronically controlled loudspeaker arrays without side lobes, Proc. of 110th Audio Eng. Soc., 2001.
2. 한찬훈, "예술의 전당 음악당 음향성능 평가보고서," 연세대학교 산업기술연구소, p.76, 1987.
3. 한찬훈, "대구시 종합경기장 음향설계보고서," 충북대학교 건설기술연구소, p.49, 1999.
4. 한찬훈, "대구시 World-Cup 종합경기장 음향측정 평가보고서," 충북대학교 건설기술연구소, 2000.
5. 한찬훈, "인천국제공항 교통센터 Great Hall 실내 음향실험 평가보고서" 충북대학교 건기연, p.54, 2001.
6. 한찬훈, "영락교회 50주년 기념관 음향실험 보고서," 충북대학교 건설기술연구소, p.62, 2001.
7. 한찬훈, "전주 월드컵경기장 음향실험 보고서" 충북대학교 건축공학과, p.56, 2002.
8. Templeton, D., edit., "Acoustics in the Built Environment," Butterworth Architecture, 1993.