『다목적 야외경기장의 음향특성에 관한 연구 II』

-서울월드컵 경기장의 전기음향시스템고찰과 음향측정을 중심으로-

김정중*, 김용국**

A Study on the Properties of Acoustic in Multi-purpose out-door Stadium II

- a case study of seoul world cup stadium measurement -

ABSTRACT

최근의 야외경기장의 설계는 운동 경기 뿐만 아니라 각종이벤트 및 대형콘서트를 수용하는 다목적경기장으로 건설되어지고 있으며 지붕의 50%이상이 천장으로 덮히는 야외경기장의 건설이 증가하는 추세로 변화되고 있으며 이에 대한 음향장해 현상이 심각한 실정이나 이에 대한 건축음향적인 대책은 미미한 실정이다.

본 연구는 서울월드컵경기장을 중심으로 경기장의 음향시스템을 고찰하고 과 측정결과치와 음향시뮬레이션 결과치를 음향인자 (잔향시간, 명료도, 음압레벨)들을 서울시의 설계기준과 비교분석평가고찰하는데 있다.

I 장. 서 론

1. 음향설계 연구의 목적 및 배경

서울월드컵경기장은 6만 5천여 관중을 수용하는 세계적 규모의 경기장으로 축구경기뿐만 아니라 각종 문화행사와 이벤트행사를 할수있는 다목적 공간으로 사용되도록 첨단의 음향, 정보통신설비가 설치되었으며, 특히 음향설비는 사용 목적에 적합한 최적의 시스템으로 조정될 수 있도록 하였다.

이를 검증하기 위하여 건축설계도면과 전기음향설계를 중심으로 건립된 서울월드컵경기장에서의 잔향시간, 명료도 및 고른 음압분포 유지를 위한 중요음향인자들의 data를 측정분석하고 그 결과를 서울시 설계기준과 비교 평가하고 최적의 음향 기기 운용조건을 제시하고자 한다..

* 환경음향연구소 실장
세명대학교 건축설비공학과

** 환경음향연구소 소장
경희대학교 환경공학과

2 연구의 범위와 진행

본 서울월드컵경기장의 음향측정 결과보고서는 문헌 및 연구사례를 통한 경기장의 음향 문제를 이론적으로 고찰하고, 건축 설계도면 및 전기음향 설계자료를 근거로 경기장의 객석과 운동 경기장의 음향시험 측정위치를 설정하고 음향학적인 측면에서 측정된 중요 음향 평가 인자의 data들을 computer로 분석한 다음 서울시 설계 기준들과 다음과 같이 비교 평가한다.

1) 전기 음향 분야 측정

음향조정실에 시설된 Console 및 Equalizer Amp, Channel Dividing Network등의 조정상태와 speaker system의 Impedance Time Delay의 조정상태 점검과 Audio system의 Signal Line Diagram을 확인후

① 주파수 특성과 Equalizer의 조정 특성 측정

② Sound Pressure 레벨(SPL)측정
(최대와 정상전송특성)

③ HF, MF, LF의 Channel Dividing Network 분배기능 특성

④ 관객석의 음압 레벨(SPL)분포와 주파수 특성

2) 건축 음향 분야 측정

① 주파수 Band별 잔향시간 측정

② 명료도 RASTI값 측정

③ Impulse에 의한 Echo Time 측정

3) 주변의 환경소음 측정

① Sound Pressure 레벨(SPL)측정

3. 경기장음향설비 설계기준 및 시공지침

1) 설계지침(음향성능기준)

① 실 및 용도별로 적절한 음향조건이 갖추어지도록 필요한 차음·흡음 방진조치를 하여야 한다.

② 경기장은 적정한 음향조건이 갖춰지는 구조 및 마감재료를 선택하여야 한다

2) 음향설비의 설계목표

① 잔 향 시 간 : 3초이내(500Hz 기준)

② 명 료 도 : 0.5이상

③ 음 압 레 벨 : 90dB 이상

3) 건축설계 목표잔향시간(설계지침 기준)

음향설계에서 잔향시간과 에코 및 명료도 문제는 중요한 음향요소로서 잔향시간이 길게되면 청취이 안내방송을 잘 알아 들을 수 없고 echo 현상 으로 인한 명료도 저하 현상 등이 발생한다. 따라서, 잔향시간은 그 경기장의 사용목적에 적합한 것이어야 하며, 이를 최적잔향시간이라하여 서울시에서는 이와 같은 설계목표 잔향시간을 설계지침과 특기시방서에서 건축음향의 평균잔향차를 3초 이내로 규정하고 있다.

II장. 음향성능 측정개요

1) 측정개요

① 문헌및 연구사례를 통한 경기장 음향문제를 이론적으로 고찰

② 건축설계도면 및 전기음향 설계자료를 근거로 경기장의 객석과 그라운드의 음향시험 측정 위치 기준점 112개소 설정

③ 현재의 음향기기 조정상태 적정여부 확인

④ 음향학적으로 측정된 중요 음향 평가 인자의 데이타를 만석시 Simulation 예측값으로 환산 서울시 설계기준과 비교평가

2) 측정 위치

관객석과 그라운드로 구분하여 동서남북의 각 층별로 세분하여 선정

측정위치	측정지점	비 고
계	112개소	
객석하부 (1~2층)	28개소	
객석중앙부 (3~4층)	36개소	
객석상부 (5~6층)	36개소	
그라운드	12개소	

그림 2.1 관객석의 측정 마이크로폰

① 측정 위치도

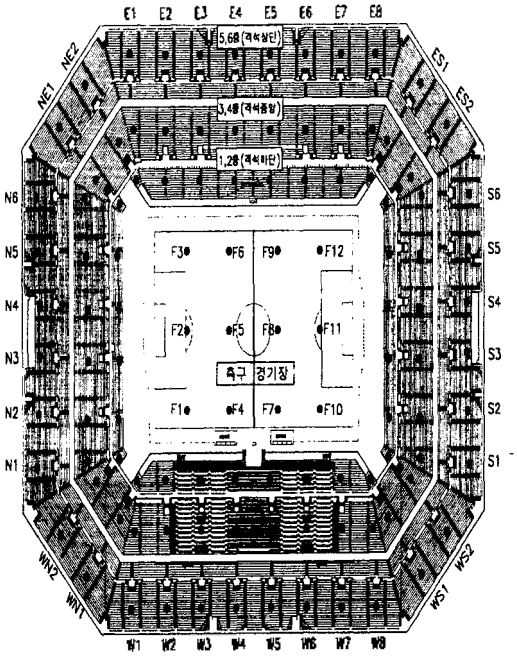


그림 2.2 건축음향측정위치도

② 측정기기의 계통도

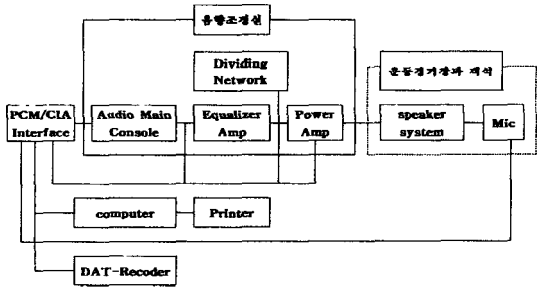


그림 2.3 측정기기의 계통도

3) 음향성능 측정항목별 결과

1. 전기음향분야

① 음향조정실에 시설된 콘솔, 앰프 및 스피커시스템 Time Delay 조정상태 등 종합적인 오디오시스템을 확인 점검

- 콘솔
- 미디어메트릭스, 이퀄라이저 앰프
- 스피커의 고음, 중음, 저음 채널

-네트워크장비 등을 종합적으로 측정한 결과 SPL사의 튜닝상태가 최적인 것으로 판단

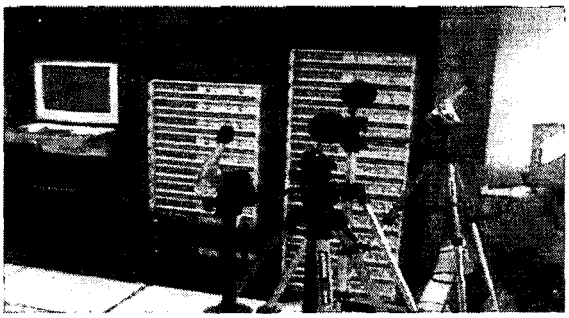


그림 2.4 측정기기의 장비

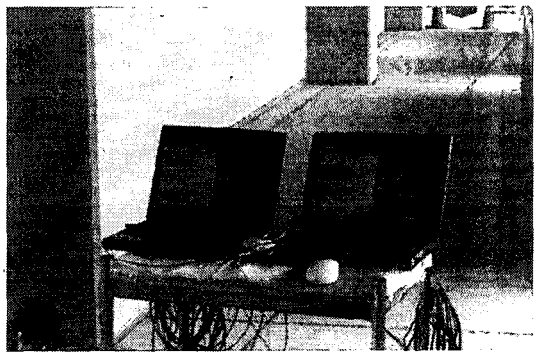


그림 2.5 측정장비

② 관객석의 음압레벨 분포 측정 평가

○음향조정실의 각종 장비에서 스피커를 통하여 관객석으로 전달되는 음압레벨의 주파수 전송 특성을 측정한 결과 음압레벨은

- 객석 하단부 (1, 2층) : 90 ~ 92dB
- 객석 중앙, 상단부 (3,4,5,6층) : 92 ~ 95dB
- 그라운드 음압레벨 90~ 91dB

○관중의 소음을 고려하여 최대 102dB까지 자유로이 증폭 가능

③ 파워엠프의 고음, 중음, 저음 채널 분배기능 특성 평가

○ 스피커의 특성을 고려하여 경기장과 관객석의 파워엠프의 전기음향특성의 분배기능이 다음그림과 같이 평탄한 전송특성으로 우수하게 조정 되어져 있다.

③ cluster speaker의 Response 특성

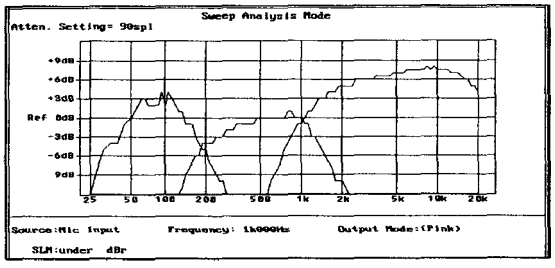


그림 2.6 BOB-04 OUT INPUT 주파수 Response특성

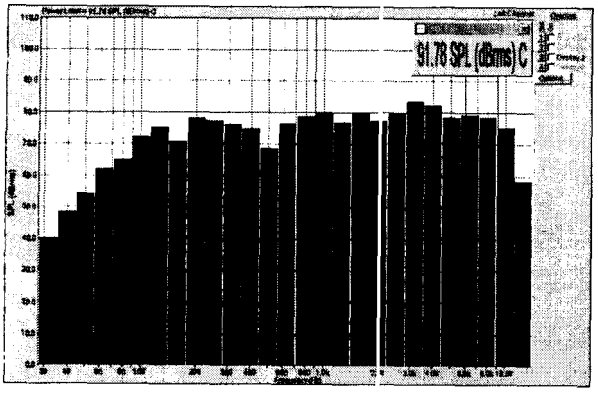


그림 2.7 관객석 스피커의 전송 주파수특성

2. 건축음향분야

① 충격음에 의한 에코시간 측정 평가

서울월드컵경기장의 임펄스(충격음)응답 반향시간패턴의 특성은 경기장과 관객석의 음향평가의 척도가 되는 중요 평가 인자이다.

따라서 월드컵경기장의 동,서,남,북의 부위별 공석시 충격음의 응답특성을 분석하면, 경기장과 1,2층(객석 하단부)에서 약한 반사음 성분이 감지되지만 잔향시간과 명료도에는 지장을 주지않는 것으로 평가되었다. 3,4층(객석중앙부)과 5,6층(객석상부)에서는 Truss 흡음대책으로 인하여 반사음 성분이 거의 발생하지 않는 우수한 특성을 보이고 있는 것으로 평가되었다.

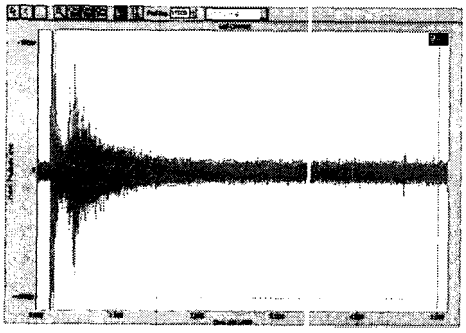


그림 2.8 1층 IMPULSE DATA

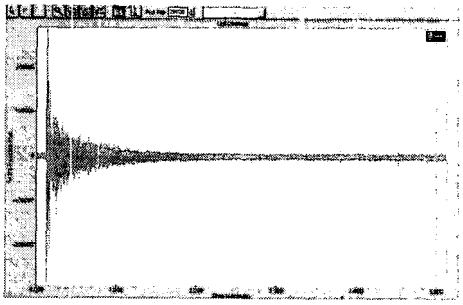
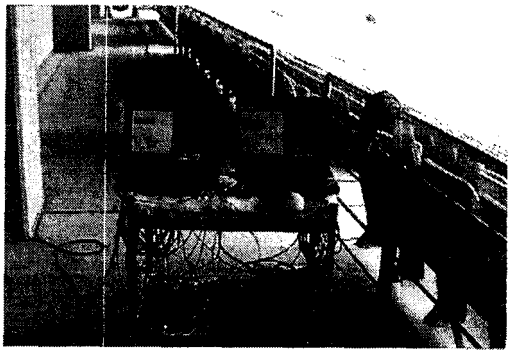


그림 2.9 3층 IMPULSE DATA

② 잔향시간, 명료도 측정 평가

- 측정진행
  - 독일 SINUS사의 음 측정분석기 사용
  - 작업소음 및 주변환경소음으로 주간 측정이 불가능하여 야간에 측정



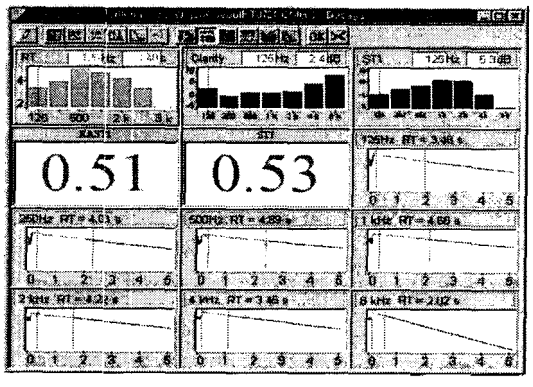


그림 2.10 측정위치 W1-2 잔향시간, 명료도 DATA

Ⅲ. 장 장외 음압레벨 측정

경기장내의 전기음향설비의 확성음의 음압레벨이 주변지역에 어떻게 분포를 이루는가를 측정하여 보는 것을 말한다.

측정방법은 Pinknoise로 경기장의 Speaker System의 음압레벨을 (관객석의 대표점에서 92dB) 발생한 상태에서 주변지역의 장외 6개 지점에서 A특성으로 음압레벨을 측정한 결과 확성 정상임으로, KS규정에 따라 소음계 Leq의 평균치로 측정하고 장내의 확성음을 정지한 상태에서 환경소음(암소음)을 측정하고 다음 측정위치도 에서 확성음을 측정한 결과는 다음 표와 같다.

<표3.1>서울월드컵경기장 주변의장외 음압레벨분포

(단위: dB(A)

측정지점	①	②	③	④	⑤	⑥
	수산시장 입구	성 산 26동	성 산 23동	성 산 22동	17동 높이터	12동 주차장
확성음 음압레벨	75	75	74	70	69	75
암소음 레벨	63	68	68	63	62	63

※ 측정DATA는 지상 1.2m에서 측정 된 것이나 측정위치가 높아지면 확성음의 음압레벨은 높아 질 것으로 판단된다.

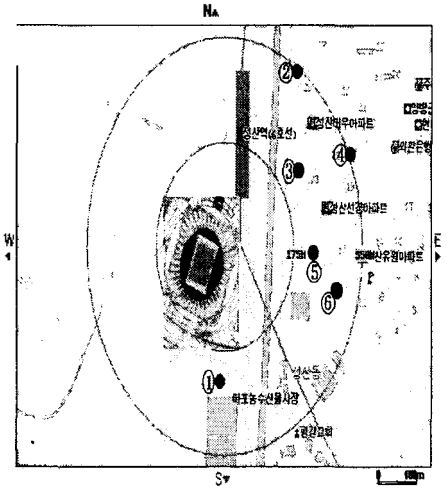


그림3.1 장외 음압레벨 측정지점 위치도

Ⅳ. 종합평가

① 측정결과 (총괄표)

<표 3.2 > 잔향시간과 명료도에 대한 서울시 설계기준과의 비교표

구분 / 항목	1/1 옥타아브 대역별 잔향시간 (초)						명료도 (RASTI)
	125	250	500	1,000	2,000	4,000	
①현장 측정치(112개소) 공석시 평균값 (2001. 8.)	3.66	4.14	4.78	4.80	4.51	3.67	0.48
② simulation 예측치 공석시 평균값 (2000. 3.)	4.05	4.31	4.27	4.27	3.93	2.96	0.40
③ 측정치 평균값과 simulation 예측과의 차 ①-②	-0.39	-0.17	+0.51	+0.53	+0.58	+0.71	+0.08
④ simulation 예측치 만석시 평균값 (2000. 3.)	3.86	3.78	3.38	3.33	3.04	2.44	0.55
⑤ simulation 예측치 공석시와 만석시차 ②-④	0.19	0.53	0.89	0.94	0.89	0.52	0.15
⑥ 월드컵경기장의 측정 만석시 예측값 ①-⑤	3.47	3.61	3.89	3.86	3.62	3.15	0.63
⑦ 설계기준(만석시)	3.75	3.51	3.00	3.00	2.90	2.80	0.50
설계기준과의차 ⑥-⑦ (만석시 기준)	-0.28	+0.10	+0.89	+0.86	+0.72	+0.35	+0.13

※ 잔향시간은 500Hz에서 초과되나 만석이 되면 명료도값이 높아 청감특성은 아주좋은 수준이 된다.

② 관객석의 음압레벨 특성 평가

○ 음압분포편차 : ± 3dB, 최대음압레벨 : 102dB

- 설계기준 : 음압분포편차 ± 10dB이내, 최대음압레벨 90dB이상

※ 서울시 설계기준보다 상당히 양호한 상태임

③ 충격음 응답특성 평가

○ 경기장의 동,서,남,북 구역별 충격음 응답특성을 분석결과 객석하부에서 약한 반사음 성분이 감지되나 명료도에 지장을 주지 않음

○ 객석중앙부, 상부는 지붕 트러스에 흡음판 설치로 회절음이 흡수되어 반사음성분이 거의 발생하지 않는 우수한 특성을 보이는 것으로 평가

④ 잔향시간과 명료도 평가

○ 잔향시간은 공석시 실측값을 근거로 시뮬레이션 예측값으로 환산하여 만석시를 분석하면 평균치가 3.89초(500㎐ 기준)로 서울시 기준치보다 대략 0.89초 초과되나 외국 주요경기장과 비교하여 우수한 수준임.

○ 명료도는 공석시 평균치가 0.48이 되어 장애가 없는 정도이며 만석시에는 0.63이상 될 것으로 예측되어 알아듣기 쉬운 수준으로 서울시 기준을 충족하는 것으로 평가

⑤ 종합의견

○ 스피치와 음악의 장내 확성에 대하여

- 스피커 및 앰프 등 음향시스템 장비가 우수한 기기로 구성
- 주파수특성, 음압레벨분포, 스피커 지향각 등이 정밀하게 조정되어
- 음향상태는 맑고, 깨끗한 음을 갖고 있으며
- 스피치와 음악의 장내 확성에 최적인 상태임

○ 음향상태의 예측과 관련하여

- 관객석이 공석인 상태에서 1층 객석의 반사음 때문에 약간의 잔향음은 감지도나 청감상 의미를 충분히 알아 들을 수 있는 수준
- 관객석이 만석인 경우 잔향음이 감소되면서 명료도 값이 훨씬 높아져 2002년 월드컵 개막식 행사를 개최하는 데에는 문제가 없을 것으로 판단

○ 현재 음향 환경에 대한 추가 보완과 관련하여

- 관객석의 만석시 잔향시간이 서울시 기준보다 다소 초과되나 본 수치는 공석시 측정한 실측치와 시뮬레이션 데이터를 참조하여 추정한 예측치임
- 서울월드컵경기장은 명료도가 당초 예측보다 높게 나타나 양호한 상태임
- 지붕막 구조의 특성상 현재의 환경에서 잔향시간을 줄이기 위한 더 이상의 보완 대책은 한계가 있다고 판단 됨

참 고 문 헌

1. Beranek, Leo.: Concert and Opera Halls, How They Sound. Acoustical Society of America, Woodbury NY, 1996.
2. Burroughs, Courtney.: Classnotes for Room Acoustics, ACS597E. The Pennsylvania state University, University Park, PA., Unpublished, Fall Semester, 1997.
3. Egan, M. David.: Architectural Acoustics McGraw Hill, NY, NY, 1988 Everest, F. Alton Master Handbook of Acoustics McGrawHill, NY, NY, 1994
4. E. M. David : Concepts in Architectural Acoustics, McGraw Hill, New York, 1972.
5. V.D Knudsen and C. M. Harris : Architectural Acoustics, John Wiley & Sons, New York, 1932.
6. H. Kuttruff : Room Acoustics, Applied Science Publishers, London, 1973.
7. S. I. Thomason : "On the Absorption Coefficient" , Acustica, Vol.44, 1980.
8. Leo L. Beranek: "Audience and Chair Absorption in Large Halls", J. A. S.A., Vol.47, No.2, 1969.
9. W. B. Joice : "Sabines Reverberation time and Ergodic Auditoriums", J. A. S. A., Vol.58, No.3, 1975.
10. S. V. Szokolay : Environmental Science Handbook for Architects and Builders, the Construction Press, 1979.
11. Don and Carolyn Davis : Sound System Engineering, Howard W. Sams
12. F. Alton Everest : The Master Handbook of Acoustics
13. noise Rev 3.0 Theoretical Manual " Building Acoustics & Industrial Noise Simulation
14. 松井昌幸 : "オーディトリアムの 音響設計" , 材料と設計 , Vol.4, No.3, 1958.
15. 船越義房 : "多目的 ホールの音響設計概要" , 建築設備, Vol.23, No.26, 1972.
16. 木村翔 ,關口克明 : "ホルの音響設計", 建築設備, Vol.23, No.26, 1972.
17. 前川純一 : 建築音響, 共立出版株式會社, 1978.
18. 子安勝 : 吸音材料, 日本音響材料協會, 1976.
19. 內藤三郎 : "吸音材・遮音材の 種類と特徵", 衛生工學, Vol.49, No.10, 1975.
20. Terujc Yamamoto : "室內音響設計の 理論と實際", 建築音響, Vol.4, No.20, 1975.