

# 다목적 야외경기장의 음향특성에 관한 연구 II

-서울월드컵 경기장의 전기음향시스템고찰과 음향측정을 중심으로-

김정중\*, 손장열\*\*

The Properties of Acoustic in Multi-purpose out-door Stadium II-

- a case study of seoul world cup stadium measurement -

Key word : Reverberation time(RT60 : 잔향시간), RASTI (명료도), Sound pressure level

(SPL :음압레벨), Echo time (반향시간), Maximum length sequence (MLS)

## ABSTRACT

recently out door stadiums have been built as multi purpose stadium for athletic sports It hold but also various events and huge concerts. in the past, out-door stadium usually was built. but recently the out-door stadium which of the 50 % of roof covered by doom have been built increasingly. as the result, the sound obstacle is becoming very important. but a design of sound has become unplanned except some of the stadium. also rarely been built by sound-absorption material.

as the result, the purpose of this study is investigating, analyzing the theory for plan of electric acoustic sound, a drawing of acoustic design and measurement a result value, comparison, evaluating a main sound factor with criteria of the Seoul City design. and reservation time, clearness, sound pressure level suitable for using purpose. so the necessary quantities will be added to financial budget of building acoustic design. and For verification, this contains acoustic analyser measurement and computer simulation and this study will find the solution of helping method.

## 1. 서론

### 1.1 음향설계 연구의 목적 및 배경

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

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

\* 한양대학교 대학원 박사과정

\*\* 한양대학교 건축공학부 교수

## 1.2 연구의 범위와 진행

본 서울월드컵경기장의 음향측정 결과보고서는 문헌 및 연구사례를 통한 경기장의 음향 문제를 이론적으로 고찰하고, 건축 설계도면 및 전기음향 설계 자료를 근거로 경기장의 객석과 운동 경기장의 음향시뮬 측정위치를 설정하고 음향학적인 측면에서 측정된 중요 음향 평가 인자의 data들을 computer로 분석한 다음 컴퓨터 Simulation에 의한 분석 예측치와 비교 평가분석 하였다.

### (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 확인 후 주파수 특성과 Equalizer의 조정 특성 측정하고 최대 정상 전송특성 측정하였으며 Channel Dividing Network 배기능 특성을 측정하였다.

### (2) 건축 음향 분야 측정

건축음향 분야의 측정분석은 MLS (Maximum length sequence)에 의한 주파수 대역별(125Hz ~ 4000Hz) 잔향시간 (Rt60), 명료도 (RASTI), 음압 레벨 (SPL) 등 세가지 음향파라메타에 대하여 측정하였다.

(3) 주변의 환경소음은 Leq(등가소음도)에 의한 음압 레벨(SPL)을 측정하였다.

## 1.3 경기장음향설비 설계기준 및 시공지침

### (1) 설계지침(음향성능기준)

실 및 용도별로 적절한 음향조건이 갖추어지도록 필요한 차음흡음 방진조치를 하여야 하며 경기장은 적절한 음향조건이 갖춰지는 구조 및 마감재료를 선택하여야 한다

### (2) 음향설비의 설계목표

잔향시간은 3초이내(500Hz기준)로 명료도 (RASTI)는 0.5이상으로 그리고 음압레벨은 90dB 이상으로 규정하고 있다.

### (3) 건축설계 목표잔향시간(설계지침 기준)

음향설계에서 잔향시간과 에코 및 명료도 문제는 중요한 음향요소로서 잔향시간이 길게 되면 청중이 안내방송을 잘 알아들을 수 없고 echo 현상으로 명료도 저하 현상이 발생한다.

따라서, 잔향시간은 그 경기장의 사용목적에 적합한 것 이어야 하며, 이를 최적잔향시간 이라하며 서울시에서는 이와 같은 설계목표 잔향시간을 설계지침과 특기시방서에서 건축음향의 평균 잔향치를 3초 이내로 규정하고 있다.

## 2. 음향성능 측정개요

### 2.1 측정개요

문헌 및 연구사례를 통한 경기장 음향문제를 이론적으로 고찰하고 건축설계도면 및 전기음향 설계자료를 근거로 경기장의 객석과 그라운드 음향시뮬 측정 위치 기준점 112개소 설정하여 현재의 음향 기기 조정상태 적정여부 확인하고 음향학적으로 측정된 중요 음향 평가 인자 (RT60, RASTI, SPL)의 데이터를 Computer Simulation 예측값과 서울시 설계기준과 비교평가 하였다.

### 2.2 측정 위치

관객석과 그라운드로 구분하여 측정지점의 마이크로폰의 위치를 바닥에서 1.2m위치에서 측정하였으며 측정 마이크로폰의 설치모습을 fig 1에 나타내었으며 측정 개소를 table 1에 나타내었다. 그리고 동서남북의 각 층별로 세분하여 112개소의 측정위치를 fig 2에 나타내었다.

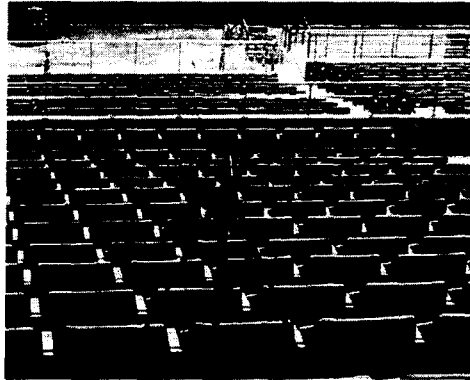


fig 1 Stadium measurement microphone indicate  
table 1 measurement point

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

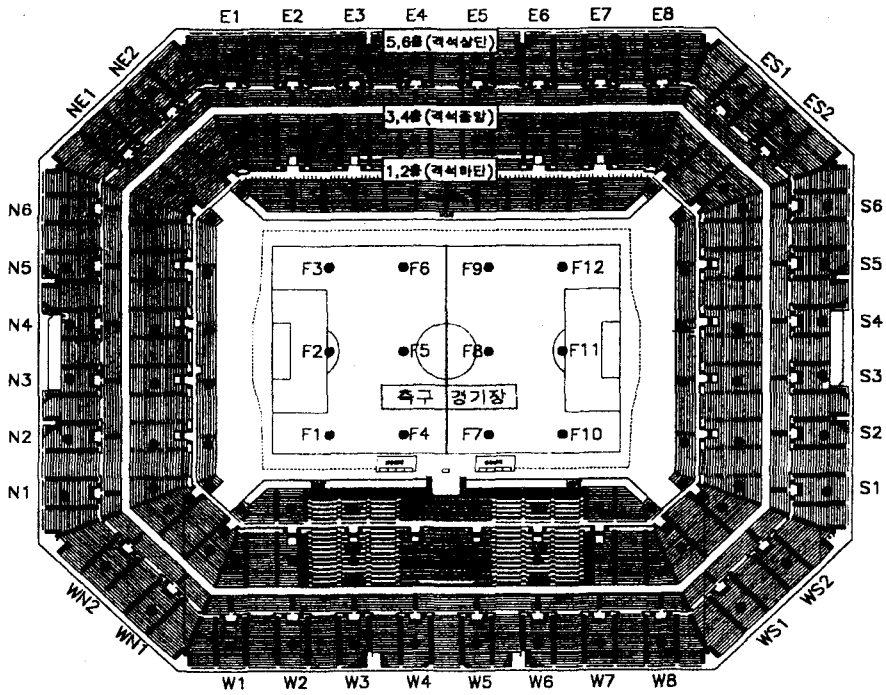


fig 2 architecture acoustic measurement position

fig 3 은 측정기기의 Block diagram을 나타낸 것이다.

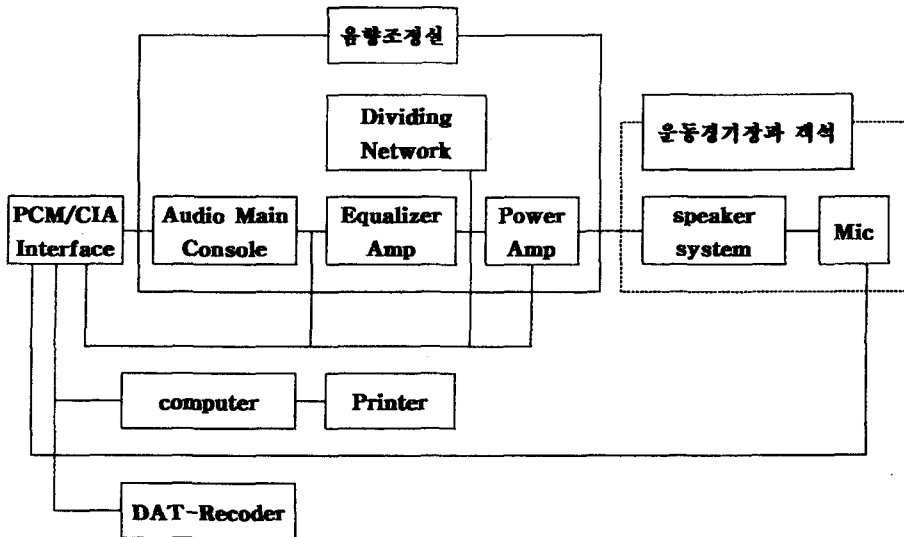


fig 3 measurement block diagram

### 2.3 음향성능 측정항목별 결과

#### (1). 전기음향분야

- ① 음향조정실에 시설된 콘솔, 앰프 및 스피커시스템 Time Delay 및 밀어메트릭스 네트워크장비 등을 종합적으로 측정한 결과 튜닝상태가 최적인 것으로 판단되었으며 fig 2.4에 음향 조정실 기기의 측정 Block diagram 을 나타내었다

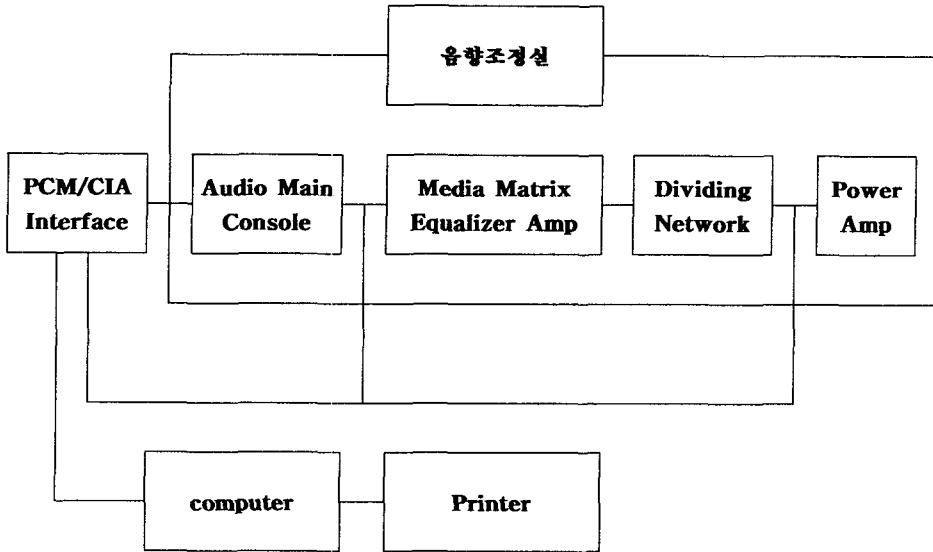


fig 4 Acoustic Control measurement Block diagram

#### ② 관객석의 음압레벨 분포 측정 평가

음향조정실의 각종 장비에서 스피커를 통하여 관객석으로 전달되는 음압레벨의 주파수 전송 특성을 측정 한 결과 음압레벨은 객석 하단부 (1, 2층)에서 90~92dB, 객석 중앙, 상단부 (3,4,5,6층)에서 92~95dB,그라운드 음압레벨 90~ 91dB를 나타내었으며 관중의 소음을 고려하여 최대 102dB까지 자유로이 증폭 가능하도록 되어져 있으며 fig 5 에 주파수 전송특성을 나타내었다.

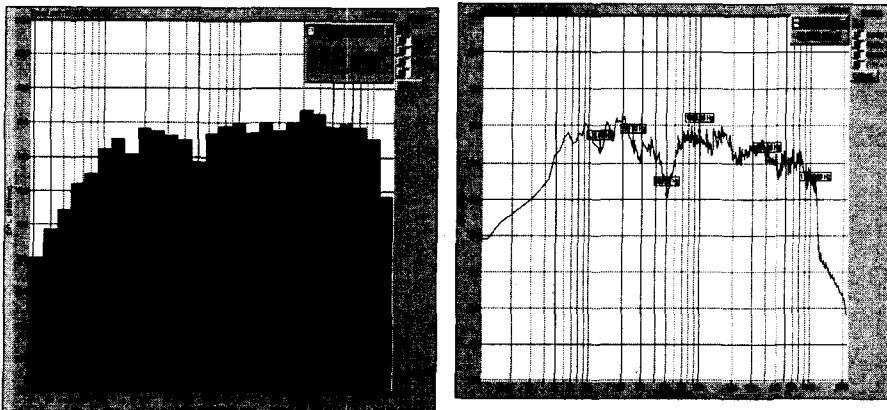


fig 5 stadium speaker's frequency response peculiar

③ 파워앰프의 채널 분배기능 특성 평가

스피커의 특성을 고려하여 경기장과 관객석의 파워앰프의 전기음향특성의 분배기능이 다음 fig 6 에서는 주로 경기장의 스탠드중 남쪽과 북쪽에 사용하는 저음과 고음의 클러스타 스피커의 특성곡선을 나타낸 것이고 그림 fig 7은 경기장의 동서쪽의 스탠드에 사용하는 저음,중음,고음의 클러스타 스피커의 전승특성으로 나타낸것이 다.

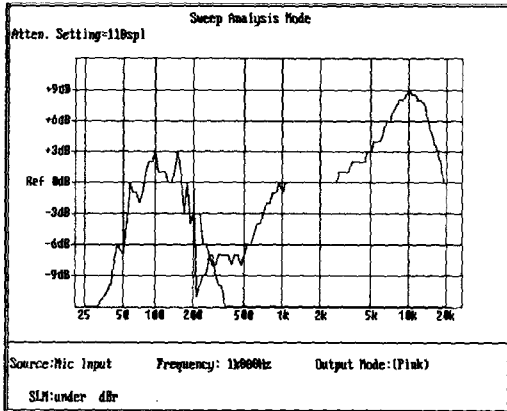


fig 6 2 way cluster speakers OUTPUT  
(Low and High) frequency Response

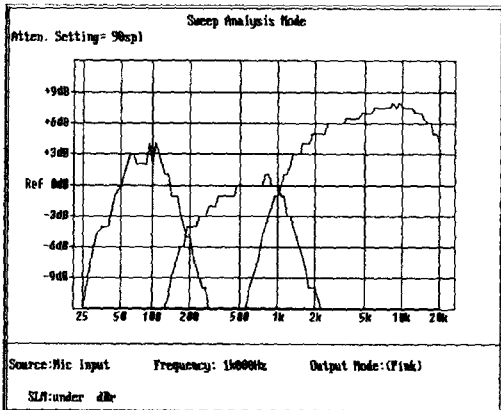


fig 7 3 way cluster speakers OUTPUT  
(Low & Mid & High) frequency Response

(2) 건축음향분야

① Impulse(충격음)에 의한 에코시간 측정 평가

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

따라서 월드컵경기장의 동,서,남,북의 부위별 공석시 충격음의 응답특성을 분석하면, fig 8 에서 보는 바와 같이 경기장과 1,2층(객석 하단부)에서 약한 반사음 성분이 감지되지만 잔향시간과 명료도에는 지장을 주지않는 것으로 평가되었다. fig 9 에서 보는 바와 같이 3,4층(객석중앙부)과 5,6층(객석상부)에서는 Truss 흡음대책으로 인하여 반사음 성분이 거의 발생하지 않는 우수한 특성을 보이고 있는 것으로 평가되었다.

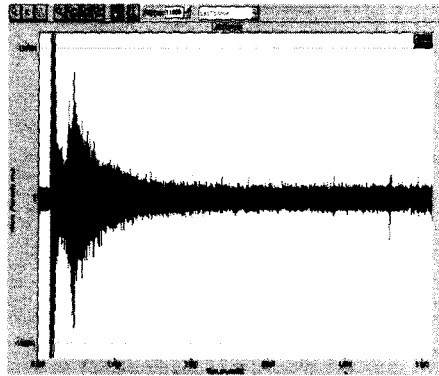


fig 8 1Floor IMPULSE DATA

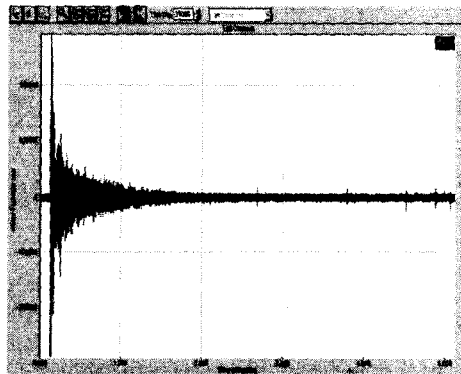


fig 2.10 3 Floor IMPULSE DATA

② 잔향시간, 명료도 측정 평가

건축음향측정에 사용된 기기는 독일 SINUS사의 음 측정분석기 사용하였으며 DAT로 측정지점별로 일일이 녹음을 하였으며 측정은 한번에 4지점씩 작업소음 및 주변 환경 소음으로 주간측정이 불가하여 심야에 측정였다. 그리고 측정분석 장비의 사진과 측정분석된 데이터를 fig 10에 나타내었다.



fig 10 acoustic measurement analysis (RT60, RASTI)

(3) 컴퓨터 시뮬레이션의 예측치와 측정치와의 위치별 비교평가

① fig 11은 시뮬레이션에서 예측한 모델과 실제시공 모델링 도면을 나타낸 것이며 fig 12에 지금현재 시공되어있는 사진과 fig 13에 트러스부분의 시공도면을 나타낸 것이다.

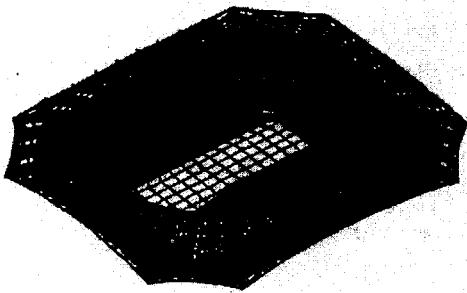


fig 11 seoul world cup stadium 3D Wire frame model

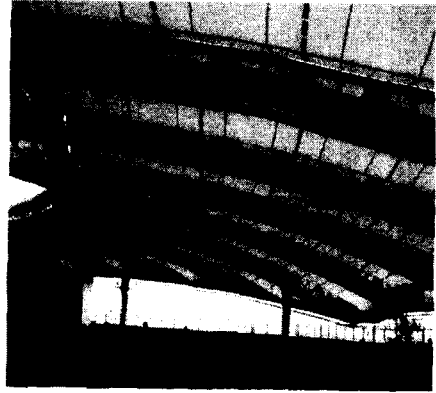
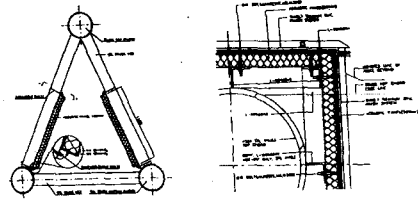
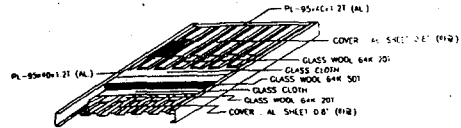


fig 12 seoul world cup stadium



(그림 2-3) Radial Truss Panel의 설치상세도 (그림 2-4) Ring Truss Panel의 설치상세도



(그림 2-5) Truss panel의 입체상세도

fig 13 sound absorption truss a complete view detail drawing

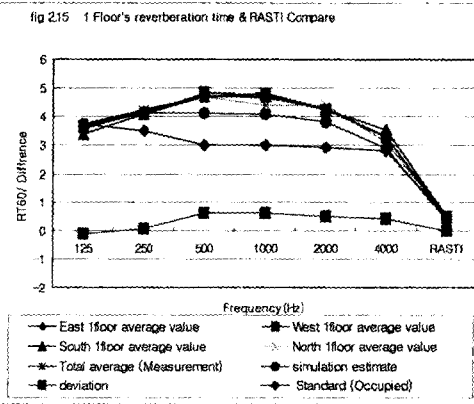
② 시뮬레이션의 예측과 실측치와의 위치별 잔향시간 명료도 평가

서울월드컵경기장의 건축물의 형태는 동서와 남북이 상호, 대칭을 이루고 있으나 측정오차를 적게 하기 위하여 같은 조건이지만 전 측정지점에서 공석시의 잔향시간, 명료도들의 측정 data를 수집하여 경기장(필드), 1,2층(객석하단부), 3,4층(객석중앙부), 5,6층(객석상단부) 등으로 구분하여 잔향시간과 명료도 측정 평균치와 설계 simulation 예측치를 서울시의 설계기준과 비교 평가한 도표는 다음 table 2부터 table 6에 나타내었다..

가) 관객석 1,2층(객석하단) 28개 지점의 잔향시간과 명료도 평균치의 비교평가

Table 2 1,2floor Reverberation time & RASTI compare (Unoccupied)

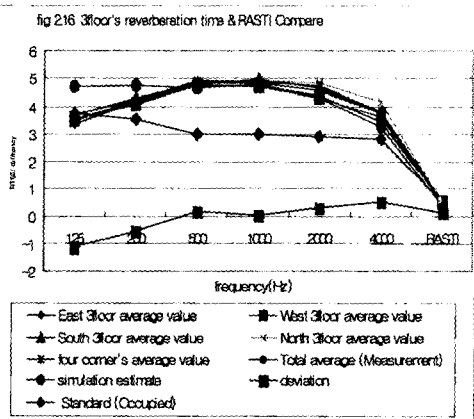
측정위치	주파수						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	
동측의 1층 평균값	3.73	4.24	4.72	4.81	4.30	3.26	0.47
서측의 1층 평균값	3.63	4.11	4.82	4.78	4.26	3.26	0.48
남측의 1층 평균값	3.40	4.10	4.72	4.71	4.26	3.56	0.48
북측의 1층 평균값	3.64	4.21	4.72	4.40	4.40	3.13	0.47
전체 평균값 (측정값)	3.6	4.16	4.74	4.67	4.30	3.30	0.47
simulation 예측값	3.73	4.11	4.12	4.07	3.81	2.89	0.40
편차	-0.13	+0.05	+0.62	+0.6	+0.49	+0.41	+0.07
서울시설계기준 (만석시)	3.75	3.51	3.00	3.00	2.90	2.80	0.50



나) 관객석 3,4층(객석중앙부) 36개 지점의 평균치 비교 평가

table 3 3,4floor reverberation time & RASTI compare (Unoccupied)

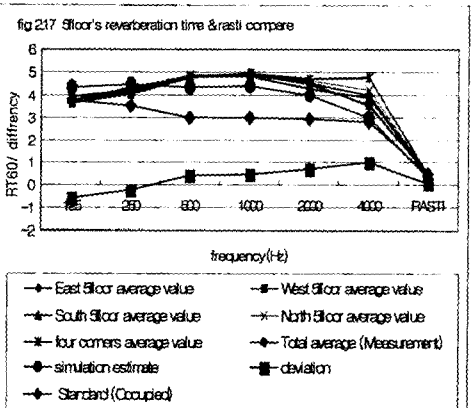
측정위치	주파수						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	
동측의 3층 평균값	3.36	4.14	4.74	4.74	4.38	3.46	0.50
서측의 3층 평균값	3.50	4.07	4.76	4.70	4.29	3.63	0.50
남측의 3층 평균값	3.67	4.29	4.77	4.96	4.68	3.79	0.50
북측의 3층 평균값	3.45	4.20	4.88	4.92	4.85	4.17	0.49
모서리4면의 평균값	3.72	4.18	4.92	4.87	4.73	3.81	0.48
전체 평균값 (측정값)	3.54	4.17	4.81	4.83	4.58	3.77	0.50
simulation 예측값	4.68	4.75	4.66	4.78	4.31	3.25	0.40
편차	-1.14	-0.58	+0.15	+0.04	+0.27	+0.52	+0.10
서울시설계기준 (만석시)	3.75	3.51	3.00	3.00	2.90	2.80	0.50



다) 관객석 5,6층(객석상부)의 36개지점 잔향시간과 명료도 평균치의 비교 평가

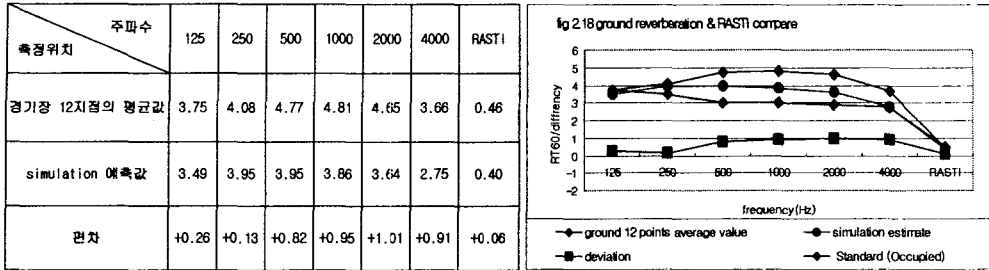
Table 4 5,6 Floor reverberation time & RASTI compare (Unoccupied)

측정위치	주파수						RASTI
	125	250	500	1000	2000	4000	
동측의 5층 평균값	3.92	4.20	4.82	4.91	4.54	3.52	0.49
서측의 5층 평균값	3.90	4.16	4.73	4.94	4.47	3.57	0.48
남측의 5층 평균값	3.83	4.07	4.73	4.80	4.31	3.84	0.50
북측의 5층 평균값	3.61	4.16	4.89	4.86	4.65	4.24	0.50
모서리4면의 평균값	3.73	4.35	4.84	4.95	4.88	4.77	0.50
전체 평균값 (측정값)	3.75	4.18	4.80	4.89	4.53	3.98	0.49
simulation 예측값	4.32	4.43	4.35	4.39	3.97	2.97	0.40
편차	-0.57	-0.25	+0.45	+0.5	+0.74	+1.01	+0.09
서울시설계기준 (만석시)	3.75	3.51	0.30	0.30	2.90	2.80	0.50



라) 경기장의 12개 지점의 잔향시간과 명료도 평균치의 비교 평가

Table 5 Stadium ground reverberation time & RASTI compare (Unoccupied)



(4) 측정결과 (총괄표)

Table 6 Reverberation time and RASTI compare with seoul city plan basic

항 목	구 분	1/1 옥타아브 대역별 잔향시간 (초)						명료도 (RASTI)
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	
① 현장측정치 (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 예측값과의 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 서울월드컵경기장의 측정 만석시 예측값 ① - ⑤		3.47	3.61	3.89	3.86	3.62	3.15	0.63
⑦ 서울시 계기준 (만석시) 설계기준과의차 ⑥ - ⑦ (만석시 기준)		-0.28	+0.10	+0.89	+0.86	+0.72	+0.35	+0.13



#### 4. 종합결과

다목적야외경기장에서 설계당시에 예측하였던 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 건축음향의 음향파라메타 (잔향시간(RT60), 명료도(RASTI), 음압레벨(SPL))로 분석예측되었던 데이터를 실제적으로 경기장이 완성된 다음에 현장측정을 통하여 시뮬레이션 예측치와 측정치와를 비교하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

##### (1) 관객석의 음압레벨 특성 평가

음압분포편차가  $\pm 3\text{dB}$ 안에 들었으며 최대음압레벨 102dB 까지 Gain UP 할수있었으며 설계기준에 (음압분포편차  $\pm 10\text{dB}$ 이내, 최대음압레벨 90dB이상) 양호한 상태로 평가 되었다.

##### (2) Impulse(충격음) 응답특성 평가

경기장의 동,서,남,북 구역별 Impulse(충격음) 응답특성을 분석결과 객석하부에서 약한 반사음 성분이 감지되나 명료도에 지장을 주지 않았으며 객석중앙부, 상부는 지붕 트러스에 흡음판 설치로 회절음이 흡수되어 반사음성분이 거의 발생하지 않는 우수한 특성을 보이는 것으로 평가되었다.

##### (3) 잔향시간과 명료도 평가

잔향시간은 공석시 실측값을 근거로 시뮬레이션 예측값으로 분석하면 평균치가 3.89초(500Hz 기준)로 서울시 기준치보다 대략 0.89초 초과되나 이것은 경기장과 객석하부에서 오는 반사음의 영향으로 판단되며 전체적으로는 외국 주요경기장과 비교하여 우수한 수준이었으며 시뮬레이션 예측치와 비교하여도 500Hz 기준으로 0.5초 정도의 오차가 나타나고 있으며 이를 측정위치별로 분석하여 보면 하부 1,2층의 객석의 잔향시간 측정치가 시뮬레이션 예측치보다 높게 나타난 것으로 사료되며 시뮬레이션에서는 나타나지 않았던 에코현상이 나타난 것으로 판단되며 시뮬레이션 예측시 이부분에 대한 보정값을 계산해 중 필요가 있다고 생각되었다.

명료도는 공석시 측정된 평균치가 0.48이 되어 장애가 없는 정도이며 만석시 에는 0.60이상 될 것

으로 예측되어 알아듯기 쉬운 수준으로 평가되었으며 시뮬레이션 결과치와도 거의 같았다.

#### 5. 결론

이 연구에서는 다목적야외경기장의 음향평가 하는 방법에 있어서 Simulation에 의한 예측과 실제현장 측정을 통하여 양자간의 부합성을 비교하였다. 그 결과 음향시뮬레이션 기법을 적용하여 예측하였을 경우 문제가 없을 것으로 확인되었으며 앞으로 대중이 많이 모이는 다목적 야외경기장의 예측평가에 있어서 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 예측으로 음향적인 문제에 대한 대책수립에 있어서 유용하게 이용 될 수 있다고 판단되며 음향측정평가 방법에 있어서 자료로 활용 될 수 있다고 생각하며 향후 경기장의 측정평가에 있어서 실제로 경기장에 관중이 모였을때 모니터링을 하여 실제로 공석시와 만석시의 음의 파라메타분석을 행하여야 할 것이다. .

#### 참 고 문 헌

1. Beranek, Leo.: Concert and Opera Halls, How They Sound. Acoustical Society of America, Woodbury NY, 1996.
2. E. M. David : Concepts in Architectural Acoustics, McGraw Hill, New York, 1972.
3. V.D Knudsen and C. M. Harris : Architectural Acoustics, John Wiley & Sons, New York, 1932.
4. Don and Carolyn Davis Sound System Engineering, Howard W. Sams
5. Raynoise Rev 3.0 Theoretical Manual " Building Acoustics & Industrial Noise Simulation "
6. 음향학회 : "서울월드컵 경기장의 음향측정 평가 보고서" , , 2001 .9.
7. 음향학회 : "서울월드컵 경기장의 음향 시뮬레이션 보고서" , , 1999.
8. 木村翔 ,關口克明 : "ホルの音響設計" , 建築設備, Vol.23, No.26, 1972.
9. Terujc Yamamoto : "室内音響設計の 理論と實際" , 建築音響, Vol.4, No.20, 1975.