

월드컵 경기장의 전기음향 설계

김 일

(아이테크산업)

1. 머리말

세계속의 한국으로 급부상하게 될 2002 월드컵을 눈앞에 두고 각 시별로 대형 축구경기장건설에 박차를 가하고 있다. 대형 축구경기장과 같이 대형 공간에서는 잔향시간(reverberation time) 및 long pass echo, flutter echo 등 음향장애요인이 발생하여 명료도를 급격히 저하시킬 수 있다. 이런 건축적인 장애요인을 극복하고 전기음향의 설계를 다음의 요구되는 성능에 따라 접근하고자 한다.

- 자연스러운 청취감을 느낄 수 있는 음향공간을 제공하도록 한다.
- 명료도가 우수하고 스탠드(stand)와 필드(field)에 균일한 음압 분포를 제공하도록 한다.
- 고출력시에도 왜곡되지 않으며 질높은 확성이 제공되도록 한다.
- 풍부한 음압레벨을 확보하도록 한다.
- 외부로부터 영향을 받지 않게 하며, 소음에 구애받지 않도록 한다.

건축음향과 연관되는 전기음향에서의 고려사항인 long pass echo와 flutter echo 및 잔향 시간(reverberation time)은 건축음향에서 언급할 것으로 사료되어 풍부한 음압레벨, 스피커 배치, 명료도, 스피커 케이블 등의 적절한 설비에 관하여 언급하고자 한다.

2. 음압레벨(Sound Pressure Level)

2.1 음압레벨이란?

음압의 크기를 데시벨(dB) 단위로 나타낸 것으로 음압의 단위는 마이크로바(μbar) 또는

N/m^2 (뉴턴/평방미터)인데, 음압레벨은 정상적인 청력을 지닌사람의 소리로서, 느끼는 최소의 음압($0.0002\mu\text{bar}$)을 기준으로 이것을 0 dB로 규정하는 것이다.

2.2 음압레벨의 응용

음압과 음압레벨의 관계는 다음 식으로 나타낸다.

$$\text{SPL} = 20 \log \frac{\text{음압}(\mu\text{bar})}{0.0002}$$

스피커에서 음이 자유공간에 방사되면 음압레벨은 음원(音源)으로부터의 거리의 제곱에 역비례한다. 즉 거리가 배가 될 때마다 6 dB씩 음압레벨이 감쇠해 간다.

음압레벨의 감쇠계산식은

$$\text{음압레벨감쇠} = 10 \log \left(\frac{d_1^2}{d_0^2} \right) = 20 \log \left(\frac{d_1}{d_0} \right)$$

d_0 : 기준거리

d_1 : 음압레벨 측정지점

이 역자승 법칙에 의한 계산은 야외의 경우, 온도, 바람, 습도의 영향을 받아 복잡하게 변화해 간다. 그러나 대형 축구경기장의 경우 전기음향시스템 설계시 아주 중요하게 사용되어 진다. 이러한 음압레벨의 감쇠계산식을 사용하여 시스템 설계시 거리에 의해 생기는 음압레벨의 감쇠를 고려한 음향 power level에 의해 적절한 스피커 및 앰프를 선정 할 수 있기 때문이다.

음압 power level (PWL)증가계산식은,

$$\text{PWL} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

P_1 = 기준전력 P_2 = 다른전력

예를들어 P_1 의 W수가 1 W(100 dB)라고 가정하고 P_2 에 2W의 출력이 가해지면, 3dB 증가하여 103 dB가 된다. 따라서 대형경기장의 전기음향

설계시, 감쇠계산식과 증가계산식을 혼용해 사용된 스피커를 선정하게 된다. 대형운동장의 음원과 수음지의 거리가 100 m라고 가정하면 감쇠계산식에 의하여,

$$20 \log_{10}(100 \text{ m}/1 \text{ m}) = 40 \text{ dB}$$

따라서 수음지의 음압레벨을 100 dB이상으로 설계하기 위해서는 음원의 음압레벨이 140 dB 이상은 확보되어야 한다.

3. 대형경기장에 적용하는 특성방식

3.1 집중방식

(1) 장점

- i) 양질의 스피커를 사용함으로써 음질, 명료도 모두에 좋은결과를 얻을 수 있다.
 - ii) 1 point 음원으로 거리에 의한 음의 지연 간섭이 발생하지 않는다.
 - iii) 공사비가 저렴하다.
- 밀폐형 원형 돔 경기장에 유리하다.

(2) 단 점

- i) 음원이 1개소에 집중되어 있기 때문에 음압차가 크며 장외에 대한 음의 누수가 생기기 쉽다.

표 1 자유음장에서의 거리에의한 음압 감쇠표

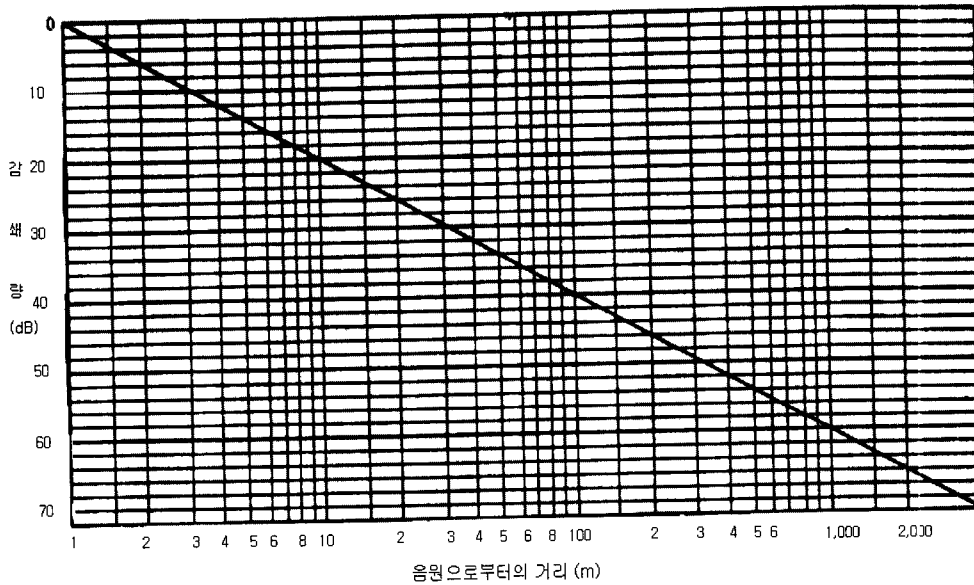
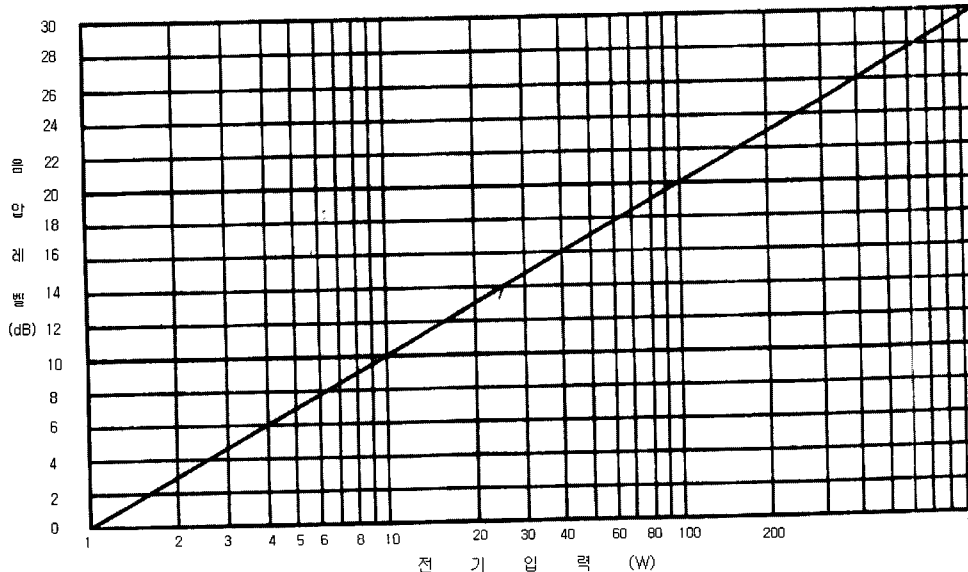


표 2 전기에너지(W)에 의한 음압레벨 증가표



- ii) 반대쪽의 스탠드에서 long pass echo가 발생하기 쉽다.
- iii) 지붕이 있는 반 개방형 경기장에는 적용이 바람직하지 않다.

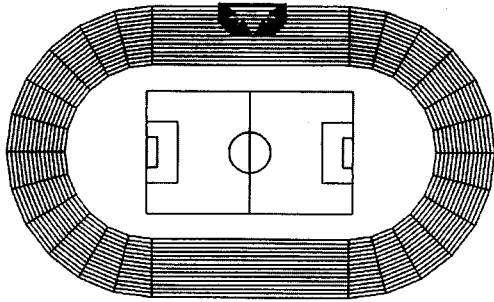


그림 1 집중방식의 스피커 배치

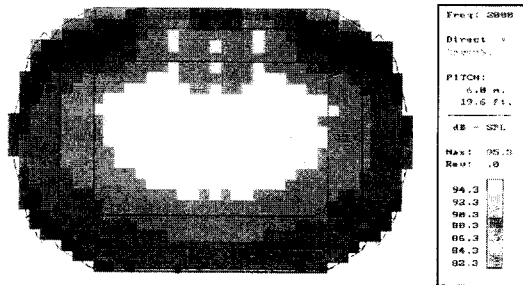
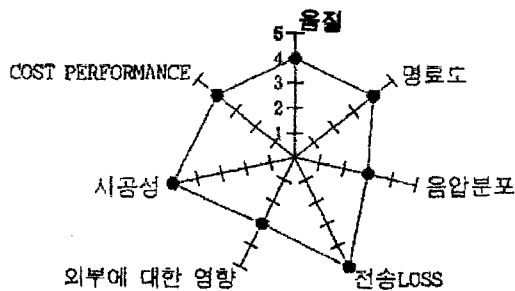


그림 2 집중방식의 시뮬레이션 결과

(3) 평가



3.2 분산방식

(1) 장 점

- i) 관객석에서의 균일한 음압분포를 얻을 수 있고 음질 및 명료도가 우수하다.
- ii) 장외로의 음(音)유실을 비교적 줄일 수 있다.

(2) 단 점

- i) 분산된 스피커에서의 음(音)의 간섭으로 명료도가 떨어지는 경우가 있다.
- ii) 경기장에 대한 음의 확성이 어렵다.

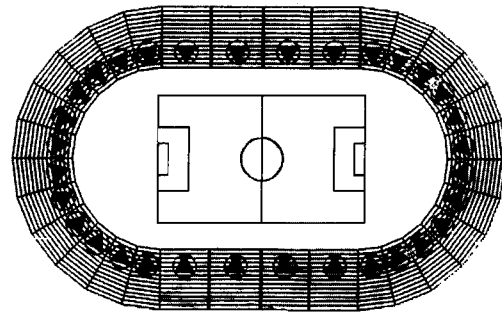


그림 3 분산방식의 스피커 배치

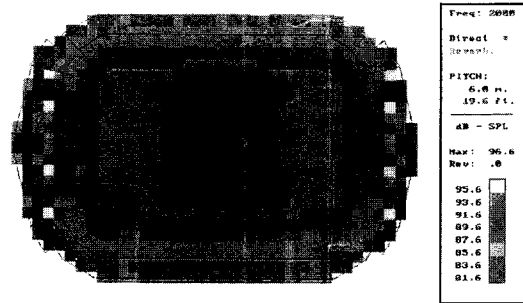
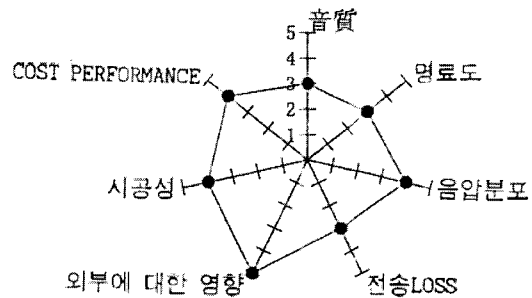


그림 4 분산방식의 시뮬레이션 결과

(3) 평가



3.3 집중분산방식

(1) 장 점

- i) 집중방식과 분산방식의 장점을 모두 확보할 수 있다.
- ii) 양호한 음질 및 균일한 음압분포를 확보할 수 있다.
- iii) 대부분의 객석과 경기장에서 명료도가 높다.

(2) 단 점

- i) 음향 조절시 기술정보가 요구된다.
- ii) 에코(echo)가 발생할 우려가 있다.
- iii) 각 스피커간의 거리에 의한 2중음이 발생할 우려가 있다. (시간지연으로 시차보정)

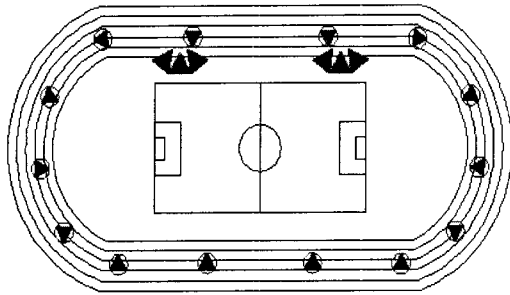


그림 5 집중분산방식의 스피커 배치

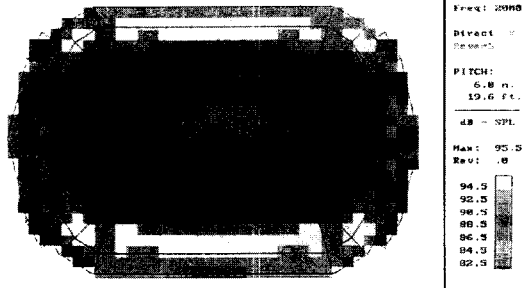
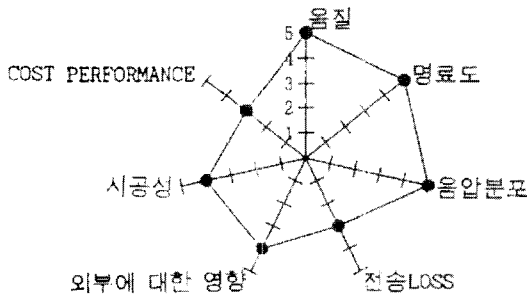


그림 6 집중분산방식의 시뮬레이션 결과

(3) 평가



3.4 확성방식의 선정

명료도 확보와, 균일한 음압분포, 양호한 음질을 확보하기 위해서는 집중방식과 분산방식의 장점을 극대화하고, 단점을 보완할 수 있는 집중분산방식을 선정하는 것이 유리하다.

4. 명료도

4.1 명료도란?

대형공간의 음향 시스템에서 명료도는 가장 중요한 의미를 갖는다. 건축음향이나 전기음향에서의 최종목표는 관객석에게 얼마나 명료한 음(음)을 전달하느냐에 있기 때문이다. 따라서 대형운동

장의 음향 설계시 명료도의 확보를 위해 수많은 검토와 노력을 기울여야 할 것이다.

4.2 명료도에 영향을 미치는 요소

- (1) 명료도에 영향을 미치는 파라미터
 - i) 전송계 : 소음, 시간지연음, 반사음, 잔향음
 - ii) 확성계 : 왜곡, 주파수특성, 하울링
 - iii) 운용상 : 기기 조작과 말하는 사람의 마이크 사용이 적절치 않다. 주위의 소음에 대해 확성레벨이 적절치 않다.

●이중에서도 명료도를 평가하는데 사용하는 것은 전송계로써 건축공간에 전해지는 소리가 어느정도 변화하는가를 평가하는 것을 말한다.

(2) 명료도를 좌우하는 파라미터

●전송명료도는 전송계의 손실을 의미하는 것이지만 건축공간에서 전송계에 존재하는 것은 ① 잔향 ② 에코 ③ 설비잡음 ④ 환경소음 등으로 생각할 수 있다.

i) 잔향시간

일반적으로 용적이 큰 공간에서 말하는 소리는 듣기가 어렵다. 이런 공간에서는 음원에서 멀어질수록 잔향음의 레벨이 커져서 명료도를 저하시키는 요인중의 하나이다.

ii) 에코

직접음이 도달한후 시간차가 크게 나는 반사음은 2중으로 음이 들리기 때문에 일반적으로 명료도를 저하시킨다고 한다. 그러나 초기 반사음의 보강으로 말의 내용을 알아듣기 쉽게 되는 경우도 있다.

iii) 잡음

청중이 모여있는 공간은 통상 환경잡음이 존재한다. 사람들에게서 나는 잡다한 소리, 조명이나, 공기순환 등의 기계소음 등이 있다. 말의 내용이 명확히 이해 되려면 잡음과 말의 강도의 비(S/N 비)를 충분히 확보할 필요가 있다. 이와 같이 명료도는 통상발생하는 잡음이나 시간적으로 생기는 에코 등에 의한 잔향시간에 의해 좌우가 된다.

(3) 명료도를 평가하는 시험방법

i) 청감시험으로 명료도를 평가

●청감시험은 발생자와 청취자(시험자)로 행해진다. 이 시험방법은 공간에 발행하는 음절을 시험자에게 받아 적게 하고 그 정확성으로 평가하는 방법이다. 시험방법은 단음절 음원으로 하는 방법, 음절을 조합한 것을 음원으로 하는 방법이 있다.

① 단음절 명료도 시험

단음절 명료도 시험은 가장 널리 사용되는 방법으로 음절의 수는 직음, 독음 등을 포함한 100음절로 구성된다. 이 100음절을 랜덤으로 제시하여 시험자는 들리는 것을 기록하여 정확히 들었는지를 평가한다. 이 방법은 청감적 인상과 반드시 일치하지는 않기 때문에 문제점이 있다. 따라서 단음절의 전후에 마스카노이즈를 부가한 음원이 고안되어 실내조건에 따라 시험하여 음장의 상위점을 평가하였다.

② 삼련음절명도 시험

이 시험방법은 3개의 음절을 조합시킨후 무의미한 3연음을 음원으로 하여 단음절과 같은 방법으로 평가하는 방법이다. 연속한 음절에 대해서는 그 발생간격을 일정하게 하여 잔향시간과의 상관을 얻을수 있으며 단음절시험에 비해 방의 음향특성에 잘 맞는 방법으로 알려져 있다.

이후에 발생간격을 변화시킨 음원이 고안되어 회화음성의 명료도를 정확히 평가하는 방법으로 검토되고 있다.

ii) 물리지표로 명료도 평가

● 물리 지표로 명료도를 평가하는 것은 신호/잡음비, 직접음/잔향음비, 변조수법의 간이방법으로 크게 분류할 수 있다. 각 물리지표의 특징을 간단히 표시한다.

① AI법(Articulation Index)

AI법은 전화회선의 전송계를 평가할 때 이용된 적이 있으며 청감시험 결과와의 상관관계도 표시한다. AI법은 1969년에 ANSI(American National Standards Institute)에서 표준화되어 산정방법, 보정치 등이 상세히 규정되어 있다. 이 방법은 신호와 잡음의 비로써 평가하는 방법으로 측정 또는 계산되는 스피치의 스펙트럼과 암소음의 레벨로 지표를 산출하는 것이다. 순서로는 대상 주파수의 중심주파수 스피치대 잡음의 비를 산출하여 마스킹, 잔향에 대한 보정치에서 AI로 영향을 각각 환산한다. 이것을 합계한 것이 지표치 AI로 산출된다. AI법의 원리는 스피치와 잡음의 에너지비에서 명료도 평가를 행하기 때문이다. 잔향이 나 에코가 많은 공간, 복수잡음에 대해서는 적절한 평가를 기대할 수 없다.

② %ALCONS법(Articulation Loss Consonants)

자음명료도 손실이라고 불리며 네덜란드의 Peutz가 1971년 고안한 방법이다. 언어를 구성하고 있는 음절구조에서 자음이 정확히 들리는 것이 명료도의 결정적인 요인으로 정의되고 있다.

미국에서는 전기음향설계에서의 가장 일반적인 명료도 예측법이다. 고안자 Peutz는 무지향성 스피커를 음원으로 하는 자음명료도의 실험에서 명료도 손실은 음원스피커에서 거리가 멀수록 증가하는 직접음과 잔향음의 에너지가 같아지는 거리(Dcp)이상에서는 손실이 일정하게 된다는 사실이 도출되었다. 그리고, 음원의 지향성 Q가 포함된 %ALCONS 산출식을 구할 수 있으며 명료도 확보를 위한 스피커의 지향성 Q를 구하는 방법으로도 사용되고 있다.

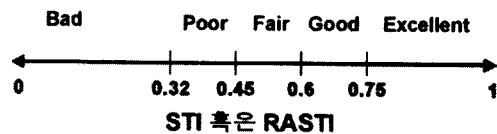
③ MTF-STI법

명료도를 방해하는 요인은 먼저 언급한 잔향, 잡음 등이 있다. 앞에 언급한 2가지 방법은 신호의 잡음, 때로는 직접음과 잔향음의 비로 평가되지만 에코와 같은 시간적 영향은 포함되지 않는다.

여기에 잔향, 에코, 잡음 등의 영향을 복합적으로 계산하여 고안한 방법이 MTF(Modulation Transfer Function)-STI(Speech Transmisson Index)법이다. 이 방법은 네덜란드 Houtgast 와 Steeneken이 제안한 방법으로 말하는 사람에서 청취자에게 전달되는 음성의 변조도의 관수 MTF에서 음성의 명료도에 직접 대응하는 STI의 지표치를 변환 시키는 것이다. MTF는 회화음성의 신호강도의 시간적 변화, 즉 포결선이 청취자의 위치에서 어느 정도 보존되어 있는가를 조사해서 이 변조의 깊이의 감소도를 변조 주파수의 관수로 한 것이다. 이 방법의 매력적인 특징은 잔향, 에코, 잡음의 영향이 1개의 관수 MTF 중에 포함되어 있다.

④ RASTI법

STI를 구하기 위해서는 98개의 MFT를 구하는 것이 필요하다. 이런 복잡한 순서를 간략화한 것이 RASTI(Rapid Sti)으로서 현재 전용측정기가 시판 되고 있다. 이 수법은 대상으로 하는 중심주파수를 500 Hz 때 1dB, 2 kHz 때 10dB 낮은 신호를 사용하고 있다. RASTI법은 IEC에서 11개국어를 대상으로 검토되어져 유럽의 언어에 대해서도 명료도 시험의 결과와 대응이 용이하다.



⑤ C80 RATIO

주로 음압홀의 명료도 평가를 위주로 하는 기법으로 그 단위 기준은 다음과 같다.

- 0 dB : 오르간음악, Romantic Music
- +2 dB : Classic Music, 합창 등
- +4 dB : Pop Music
- +6 dB : Rock And Roll Music

4.3 대형 운동장의 명료도 확보 방안

- (1) 지향성이 예민한 Horn 스피커를 사용한다.
- (2) 대형공간에 적합한 최적 잔향시간(reverberation time)을 확보한다.
- (3) 에코와 Howling 발생을 최소화 한다.
- (4) S/N(Signal/Noise) 비가 25 dB 이상 충분히 확보되어야 한다.

5. 대형 운동장의 스피커 케이블 선정

5.1 앰프에서 스피커까지의 케이블 선정

그림 7과 같이 케이블 굵기와 거리에 의해 전송손실이 발생하게 된다. 대형 운동장과 같이 전송거리가 먼 경우에는 스피커 전용의 저손실 케이블을 사용하거나 적당한 굵기의 케이블을 선정하여 전송손실을 최소화 하여야 한다.

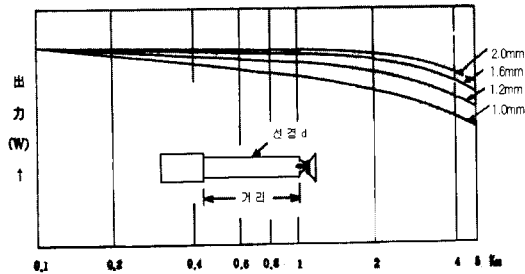


그림 7 케이블 굵기와 거리에 따른 출력감소

표 3 전송거리에 의한 케이블 굵기

전송 전력	전송거리에 따른 케이블규격 mm					
	100 m	200 m	500 m	800 m	1 km	2 km
30 W	0.4 mm	0.55 mm	0.9 mm	1.2 mm	1.4 mm	1.8 mm
60 W	0.65 mm	0.9 mm	1.4 mm	1.8 mm	2.0 mm	2.9 mm
90 W	0.8 mm	1.2 mm	1.8 mm	2.3 mm	2.6 mm	3.5 mm
120 W	0.9 mm	1.4 mm	2.0 mm	2.6 mm	2.9 mm	4.0 mm
150 W	1.0 mm	1.4 mm	2.3 mm	2.9 mm	3.2 mm	4.5 mm

[註1] 앰프(amplifier)의 스피커 단자는 70V 정전압 단자를 사용하여야 한다.

[註2] 선의 굵기는 정격출력을 10%이내에서 정지 시킨 값을 말한다.

5.2 계산방법

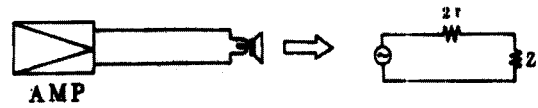


그림 8 선의 저항을 나타내는 등가회로

$$PZ = \frac{P \cdot Z}{2r + Z}$$

PZ : 출력, r : 선로저항 Z : Impedance

100 W 앰프의 8 Ω 단자에 케이블의 굵기가 3.0 mm(100 m/0.333 Ω, 20 °C)

$$PZ = \frac{100 \cdot 8}{2 \cdot 0.333 + 8} \approx 92.3 \text{ W}$$

따라서 굵기가 3.0 mm인 케이블에 100 W 출력을 전송할 때 100 m 떨어진 지점의 스피커 출력은 92.3 W이다. 일반적으로 파워 손실 허용 범위는 약 10% 정도로 억제하는 것이 적절하다.

5.3 대형 운동장의 전송방식

(1) Hi Impedance Transmission 방식

● 스피커와 앰프 사이에 matching trans를 사용하여 impedance를 70 V, 100 V로 높게 변환하여 앰프의 출력을 전력이 아닌, 전압으로서 전송하는 방식이다. 대형 운동장과 같이 전송거리가 먼 경우에 주로 사용하는 방법이나, 음질면이나 모든 특성에서 low impedance 방식보다 떨어진다. 전송거리가 먼 경우 발생하는 low impedance의 고역의 감쇠 및 파워 손실을 막을 수 있다.

(2) Low impedance를 앰프의 출력과 동일한 8Ω으로 전송하는 방법으로 전송거리가 먼 경우 케이블이 굵어지는 단점과 파워손실 및 고역의 감쇠가 발생할 수 있다. 그러나 음질면이나 모든 음향학적 특성에서 hi impedance 방식보다 뛰어나다.

(3) 대형운동장의 선로손실의 최적화

가) 앰프를 분산 설치하여 스피커와의 거리를 최소화 한다.

나) 전송거리에 따른 적절한 굵기의 케이블을 선정하여 선로손실을 최소화 한다.

다) 가급적 저손실 케이블인 전용 케이블을 사용한다.

6. 음향 시뮬레이션 프로그램

6.1 컴퓨터 시뮬레이션

●최근에는 음향 시스템 설계에도 컴퓨터 프로그램을 사용하여 설계시 목표에 어느정도 만족하는지 예측하여 볼 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션을 많이 실행하고 있다. 스피커 유니트의 종류와 cover area, 설치위치, 명료도, 음압레벨, 잔향시간 등을 예측하여 보다 효율적인 설계가 이루어지기 위한 파라미터로 사용되고 있다.

6.2 시뮬레이션의 한계

(1) 3D-Drawing 과정에서의 오차

컴퓨터 상에서 건축물을 각 시뮬레이션 프로그램에 따라, soft 내에서 drawing 하거나 auto-CAD를 사용하여 drawing을 한다. 이때, 실제 건물의 특성과의 오차범위를 얼마만큼 최소화 하느냐가 simulation의 예측결과를 판가름한다. 실제로 10개 구장 중 drawing 작업시 오차가 발생되어 예측된 데이터에 전혀 다르게 나타난 경우가 있다.

(2) 마감재료의 흡음률 입력

3D-Drawing된 건축물의 마감재료의 흡음률 적용시 실제자재의 흡음률을 인증된 기관에서 잔향 실험으로 측정하여 데이터를 적용하기가 어렵다.

현재 기존에 측정된 데이터에 의존하고 있으나, 같은 자재로 천장에 설치시와 벽체에 설치시가 다르게 나타남으로 유의해야 한다. 현재, 10개 구장의 천장 마감자재는 각 시별로 인증된 기관에 의뢰하여 최종 데이터로 제출된 상태이다.

(3) 시뮬레이션의 활용도

현재 컴퓨터 기술의 발달로 시뮬레이션이 대중화되어 있지만 이것은 설계를 하기위한 도구이다. 시뮬레이션은 어디까지나 고급 기술자에게는 훌륭한 도움을 줄 수 있으나, 초보자에게는 크게 도움이 되지 않는다. 데이터를 입력하면 컴퓨터는 계산을 신속히 하여 결과를 표출시키지만 그 결과를 최종 판단하는 것은 설계자의 경험과 지식, 노하우의 바탕이 되어야 한다.

6. 결 론

대형 운동장의 전기음향 설계시 고려해야 할

사항을 전기음향 측면에서 중요 사항만을 위주로 언급하였다. 현재 국내 10개구장의 전기음향 설계는 전반적으로 이상적인 시스템으로 구축되어 있다고 생각되나, 일부 구장에서는 외국의 사례에서 실패했던 시스템을 그대로 반영해 어려움을 가중시키고 있다.

필자가 2002년 월드컵 조직위원회 시설전문위원으로 활동하며 국내 신축 10개 구장의 음향설계를 검토할 수 있는 기회가 있었다.

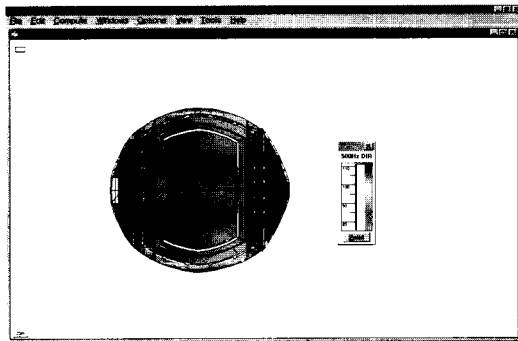
P 경기장은 아직도 시스템확정이 되지 않고 표류하고 있으며, I 경기장과 T 경기장은 관람석은 분산방식, 경기장은 I point 집중방식으로 설계되어 명료도 확보에 다소 어려움이 있으리라 예측된다. S 경기장은 관람석은 분산방식이나, 경기장은 서로 대칭으로 마주보는 방식으로 설계되어 인위적으로 발생하는 2중음을 어떻게 제어할지 의문이다. 또한, J 경기장은 무지향성 스피커를 권장하는 경우도 있었다. 어떤 분은 21세기에는 전기음향 과학이 발달하여 건축음향 이론은 완전히 무시하고, 전기음향 기기만으로 long pass echo 와 flutter echo 등 음향장애 요인을 완벽히 해결할 수 있다고 하여 안타까움을 금할 수 없다.

필자가 수 차례에 걸쳐 일본의 10개 구장을 방문하여 음향분야의 자료를 수집해 정밀 검토한 결과, 음향에 관한 한 엔지니어링, 시뮬레이션, 설비장치 등 모든 분야에서 일본보다는 앞서 있다는 자부심을 갖게 되었으며, 프로용 스피커와 디지털 processor, 마이크 등과 같은 하드웨어의 국내 생산이 미진하다는 점이 한가지 아쉬움으로 남는다.

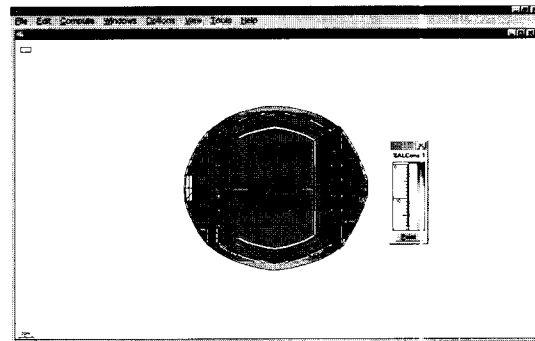
끝으로 음향이야말로 눈에 보이지 않는 예술이며 작품이다. 그만큼 음향평가는 주관적일 수밖에 없는 것이 현실이므로, 해박한 지식과 수많은 경험이 바탕이 된 고급기술자의 의견을 충분히 수렴하여 진행하는 것이 바람직하다. 다시 한번 강조하지만 필자는 공간음향은 어디까지나 건축음향이 전제된 전기음향 이어야 한다고 생각한다. 건축음향을 고려하지 않은 전기음향 시스템은 해결할 수 없는 문제점을 야기시킬 수 있다.

국내 10개 구장의 음향 시뮬레이션 결과와 10개 구장 중 환경 음(音)환경이 양호한 K경기장의 시뮬레이션 결과 및 계통도를 다음과 같이 첨부한다.

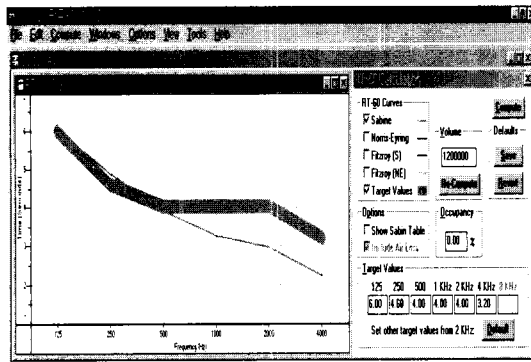
구 장	최종 시뮬레이션 결과				음압레벨	비 고
	잔 향 시 간(500 Hz)		명료도			
	공석시	만석시	%Alcons	Rasti		
서울구장	5.87	3.96	15~8%	0.45~0.55	98 dB이상	RAY NOISE
광주구장	3.90	2.50	5%	0.65	97 dB이상	CADP2
		3.53	9%~4.8%	0.55~0.66	100 dB이상	RAY NOISE
대구구장	3.50	2.70	5%	0.65	95 dB이상	CADP2
	3.42	2.62	6.6%	0.60		ODEON
전주구장	2.80(1 kHz)	1.90(1 kHz)	7%	0.59	98 dB이상	CADP2
		2.1(500 Hz)	9%	0.55	96 dB이상	RAY NOISE
		1.50(1 kHz)	8%	0.57	100 dB이상	EASE 30
인천구장	3.57	2.83	19.5~12.7	0.4~0.48	96 dB이상	RAY NOISE
울산구장	4.10	3.00	5%	0.65	98 dB이상	CADP2
	미반영	미반영	미반영	미반영	96 dB이상	EASE 21
수원구장	2.60	2.10	5%	0.65	100 dB이상	CADP2
	3.72	2.11	3%	0.75	96 dB이상	EASE21
제주구장	2.00	1.70	7%	0.59	95 dB이상	CADP2
	미반영	미반영	6.6%	0.60	99 dB이상	RAY NOISE
대전구장	2.50	2.00	7%	0.59	96 dB이상	CADP2
	4.74	3.98	※ 지붕구조 변경전 데이터임.			RAY NOISE
부산구장	현재 지붕구조 설계 변경중					



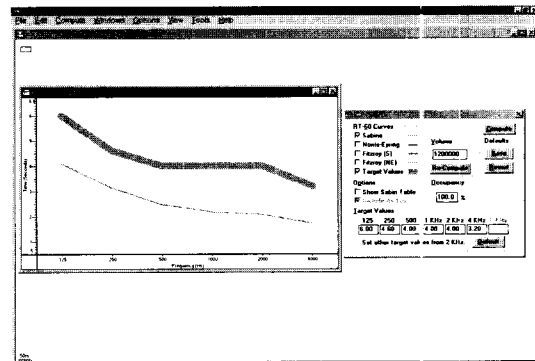
500 Hz 음압레벨 분포도



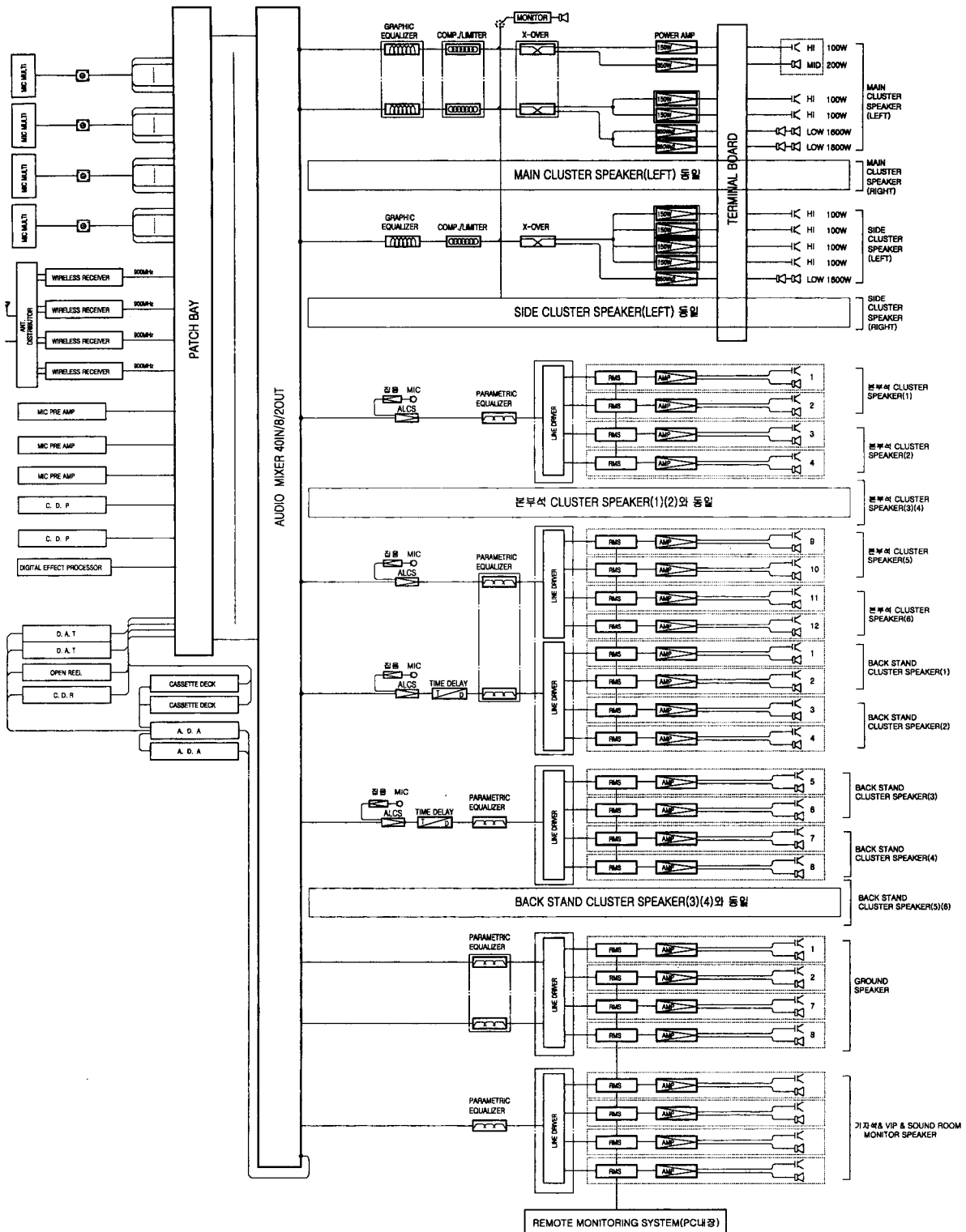
%ALCONS 명료도 예측



공석시 reverberation time 예측



만석시 reverberation time 예측



경기장 SOUND SYSTEM BLOCK DIAGRAM

참 고 문 헌

- (1) 강성훈, 1999, "음향시스템 이론 및 설계", 제 1장 음향의 기초, pp. 28~36.
- (2) 藤岡繁夫, 1996, "PA音響システム", 제 2장 음について, pp. 6~7.
- (3) 강성훈, 1999, "음향시스템 이론 및 설계", 제 13장 음향시스템의 기초, pp. 460~462.
- (4) 藤岡繁夫, 1996, "PA音響システム", 제 8장 PAの設計例, pp. 274~278.
- (5) 강성훈, 1999, "음향시스템 이론 및 설계", 제 14장 음향시스템의 설계, pp. 529~530.
- (6) 日本ビクター株式會社, 1973, "アンプからスピーカまでの線徑の決定法", pp. 7~8.
- (7) 강성훈, 1999, "음향시스템 이론 및 설계", 제 16장 음향 시뮬레이션과 가청화, pp. 569~581.