

대공간에서 전기음향 시스템에 따른 음향특성 변화

The Effect of Sound Reinforcement Systems on the Acoustics of a Large-Span Spaces

정 대 업*
Jeong, Dae-up

주 현 경**
Joo, Hyun-kyung

최 영 지***
Choi, Young-Ji

요 약

본 연구는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 대공간에서 스피커 시스템의 변화에 따른 음향의 특성 변화를 검토하였다. 실의 음향특성변화는 실의 흡음력과 동시에 스피커 시스템의 지향성, 설치높이 및 개수를 조절하면서 예측·분석하였다. 연구 결과, 명료도 관련 지표인 D50 및 RASTI는 실의 흡음력 증가의 변화를 효과적으로 나타내는 것으로 분석되었다. 또 초기감쇠시간은 흡음력 증가에 따라 선형적으로 감소하였으나 저·고주파수대역에서는 오히려 증가하거나 변화를 보이지 않았으며, 잔향시간은 전체주파수대역에서 실의 흡음력 증가에 따라 감소하였으나 주파수대역별 결과에서는 오히려 증가하거나 비슷한 결과를 보였다. 이는 실의 음향특성이라기 보다는 감쇠구간의 비선형성에 기인한 것으로 판단된다. 스피커 시스템의 적용에 따른 분석결과, D50 및 RASTI는 실의 흡음력 증가에 크게 상관없이 거의 모든 시스템에서 'fair' 이상으로 평가되었으며, 스피커의 설치위치가 높을수록 실의 흡음력 증가보다 스피커 지향특성 변화에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 스피커의 설치위치가 낮을수록 실의 잔향시간은 더 짧은 것으로 분석되었다. 시스템의 적용에 따른 잔향시간은 스피커 설치높이가 높을 경우 실의 흡음력 증가에 비례하여 감소하는 경향을 보였으나 스피커 설치높이가 낮은 경우 흡음력 증가에 의한 영향보다 시스템의 영향을 받는 것으로 나타났다.

Abstract

The present work investigate the effect of sound reinforcement systems on the acoustics of a large dome stadium using a computer simulation. The acoustics of a dome stadium was predicted analyzed by varying room absorption, as well as the configuration of speakers including their directivity, installed height, and numbers. It was found that both D50 and RASTI were improved by increasing room absorption. Larger EDTs were observed according to the increase of room absorption at mid and high frequencies. On the other hand, RT did not show any significant correlation with the changes in room absorption, which might be the effect of a forced linear fitting for non-linear energy decay process. With respect to the speaker configuration, the speech intelligibility of a sound reinforcement system installed at higher placed more relied upon their directivity rather than room absorption. Also, lower placing of speakers was found to be effective in decreasing RTs regardless of room absorption.

키워드 : 대공간, 전기음향, 건축음향, 컴퓨터 시뮬레이션

Keywords : Large-span spaces, Sound reinforcement system, Room acoustics, Computer simulation

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

대규모 체육시설은 수요 및 활용도가 늘어남에 따라 리모델링 및 신축을 통해 지속적으로 건립되고 있다. 해외의 경우 무주공간의 대형 돔경기장은 매우 활발하게 이용되고 있으며, 국내에서도 2005년 완공된 광명 스피돔의 경우, 최대 3만 명(10,863석) 규모로 체육경기 뿐만 아니라 음악공연 등을 비롯한 다중집회시설로서의 기능을 만족할 수 있는 다목적 공간으로 건설되었다. 이와 같은 대형 체육시

* 교신저자, 전북대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Tel: 063-270-2278 Fax:063-270-2285
E-mail : daeupj@jbnu.ac.kr

** 전북대학교 건축공학과 박사과정

*** 전북대학교 건축공학과 연구교수, 공학박사

설은 체육경기 뿐만 아니라 각종 스포츠 이벤트와 더불어 확장 시스템을 활용한 공연, 행사 등 다양한 용도로 활용되고 있어 음향 품질에 대한 요구가 높다. 다양한 활용도를 만족하기 위해서는 설계초기 단계부터 건축음향 및 전기음향 설계에 의한 음향 성능의 피드백이 이루어져야 하나, 현재 대공간의 음향관련 연구는 일회성에 그쳐 장기적인 연구가 미흡한 실정이다. 특히, 전기음향 설계 및 적용, 튜닝에 있어서는 기술력 부족으로 인한 해외 기술자문 및 컨설팅의 의존도가 높다.

이와 관련된 기존연구는 건축음향 조건변화에 대한 음향특성의 검토 없이 최종 선정된 음향시스템 적용에 의한 실내음향특성의 분석, 물리적인 음향 특성 및 청감실험을 통한 주관적인 평가 등에 관한 연구에 국한되어 이뤄져왔다[1-5]. 대공간에서 음향 시스템에 의한 음향특성에 있어서 본 연구에서는 대공간의 건축조건 변화에 따른 음향특성 및 음향 시스템 설계조건에 따른 음향특성을 예측·분석하고자 한다.

이와 같은 배경에서 본 연구는 대공간의 전기음향 스피커 시스템 설계 시 중요하게 고려되는 스피커 시스템의 지향성 및 설치높이 그리고 설치 개수와 동시에 실의 흡음력 변화를 설계변수로 적용하여 실내음장특성의 변화를 분석함으로써 향후 전기음향 시스템 설계 시 기초 자료로 활용하고자 하였다.

1.2 연구범위 및 방법

대공간의 전기음향 스피커 시스템 설계 및 적용성 검토를 위한 본 연구의 수행내용 및 방법은 다음과 같다.

1) 실의 흡음력 변화에 따른 건축음향 특성

폐쇄형 돔경기장을 대상으로 실의 흡음력 변화에 따른 건축음향 특성을 검토하였다. 대규모의 무주공간의 천장은 단일 유효면적으로 객석을 제외하고 흡음력의 조절이 가능한 가장 큰 부위이다. 본 연구에서는 천장 흡음율을 3단계로 변화시켜 실의 흡음력을 조절하였으며, 단계별 변화에 따른 음향 특성

을 분석하였다.

2) 스피커 시스템의 적용성에 따른 음향특성

스피커 시스템은 배치방식에 따라 집중형, 분산형, 혼합형으로 나뉜다. 본 연구에서는 분산배치방식을 그 대상으로 하였다. 분산 배치방식은 국내 외에서 사용빈도가 상대적으로 높은 배치방식으로 잔향시간이 길고 배경소음이 높은 경우 선호하는 방식이다. 스피커 시스템 설계안은 설치높이 및 개수, 지향성을 설계변수로, 6개 설계안을 구성하여 분석하였다.

2. 실험개요

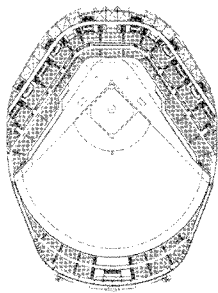
스피커 시스템의 설계 및 적용성 검토는 현재 계획이 진행 중인 22,258석 규모의 폐쇄형 돔구장을 대상으로 하였다. 실내의 37개의 평가지점을 대상으로 스피커의 설치높이 및 개수, 스피커의 지향성을 변화시켜 6개 시스템을 설계하였으며, 동시에 3단계의 실의 흡음력 변화를 고려하여 총 18개 음향조건을 구성하였다. 실의 흡음력 변화는 대규모 체육시설에서 가장 면적이 크고 흡음재의 적용이 가능한 천장면을 대상으로 하였다. 본 연구에서 검토된 음향성능 평가 파라메타는 명료도 및 잔향감과 관련된 변수들로서 잔향시간(T30), 초기감쇠시간(EDT), 초기음에너지비(D50), 언어명료도(RASTI) 그리고 음압레벨 분포(SPL deviation)를 그 대상으로 하였다.

2.1 대상 공간 개요

본 연구의 평가대상 공간은 타원형의 야구전용 돔경기장으로 24,312석(197.8M(W) × 153.1M(L)) 규모이며, 체육활동 및 공연, 행사 등 다목적 경기장으로 계획되었다. 대상공간의 평면과 구체적인 건축제원은 <그림 1>과 같다.

대규모 공간에서 적정 잔향시간 및 명료도 확보를 위한 흡음구조의 선정은 흡음특성 뿐만 아니라 내구성을 포함한 적용성 측면에서 신중하게 검토되어야 한다. 본 연구에서는 이와 같은 측면에서 흡음력이 다양하고 효율적인 루프데크(roof-deck) 흡음구조를 대상으로 아래 <표 1>과 같은 세 가지 구조

를 적용하였다.



구분	내용
체적(m³)	1,005,500
길이(m)	197.8
좌석 수	22,258석(+2,054석)
넓이(m²)	153.1
높이(m)	71.35(FL. +84.95)

〈그림 1〉 평가대상 공간 평면 및 공간개요

〈표 1〉 대상공간 천장의 적용 흡음율

조건	흡음율(absorption coefficient), 1/1옥타브밴드 중심주파수(Hz)						
	125	250	500	1k	2k	4k	NRC
CASE 1	0.36	0.42	0.36	0.22	0.17	0.17	0.29
CASE 2	0.31	0.56	0.67	0.80	0.69	0.54	0.68
CASE 3	0.96	0.99	0.99	0.99	0.95	0.79	0.96

- CASE1: VULCRAFT 1.5BPA DECK (NO INSULATION)
- CASE2: EPIC E750A 1", 3PCF INSULATION
- CASE3: EPIC ESC-2SSA 2", 3PCF INSULATION

2.2 스피커 시스템 개요

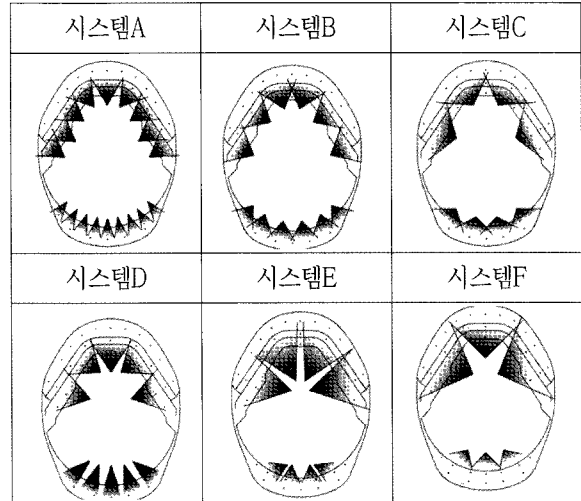
본 연구에서는 6개 시스템 설계안을 검토하였다 (표 2).

〈표 2〉 적용된 스피커 시스템의 내용

시스템 별	설치 높이	스피커 빔폭	스피커 개수
A	45	45	18
B	45	60	12
C	45	90	8
D	60	45	10
E	60	60	8
F	60	90	6

음향시스템 중 설계변수가 가장 많고 설계변수 조절에 따른 음향성능의 차이가 비교적 뚜렷한 스피커 시스템의 설치높이 및 개수, 지향성, 주파수특성을 설계변수로 검토하였다. 〈표 3〉은 검토대상 스피커 시스템 A-F의 커버리지를 도식화하여 나타낸 것이다.

〈표 3〉 검토대상 스피커 시스템의 커버리지

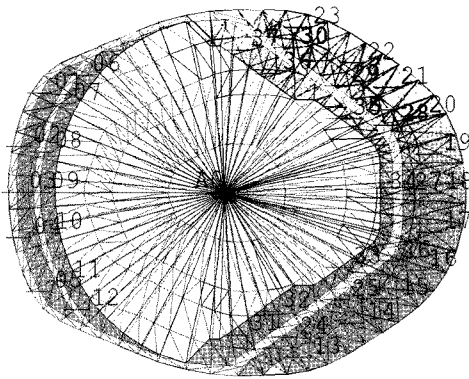


2.3 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 실내공간의 음향특성 예측방법은 꾸준히 연구되어 왔다. 음향성능 예측은 대상공간을 Auto CAD를 이용해 3D 모델링으로 구성한 후, 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 Catt-Acoustics V8.0을 이용하여 분석하였다.

〈표 4〉 컴퓨터 시뮬레이션에 적용된 조건

항목별	내용
온도(°C)	20
상대습도(%)	50
밀도(kg/m³)	1.2
임피던스(kgs/m²)	412
사용 음선 수	209,866
확산방법	Lambert model (1차 확산반사 고려)
암소음 레벨 (dB, 1/1옥타브밴드 중심주파수별)	45 38 32 28 25 23



〈그림 2〉 평가 대상공간의 음원 및 수음점 위치

이 프로그램은 음선추적법 (ray-tracing) 및 허상 음원법(image source method) 그리고 RTC (randomized tail correction) 기법을 활용한 시뮬레이션 프로그램으로서 상용프로그램 중 3차원 확산 음장에 대해서 가장 정확한 예측결과를 도출하는 프로그램 중 하나로 평가되고 있다[6-9].

3. 시뮬레이션 결과

3.1 건축음향 예측결과

3.1.1 초기음에너지비(D50)

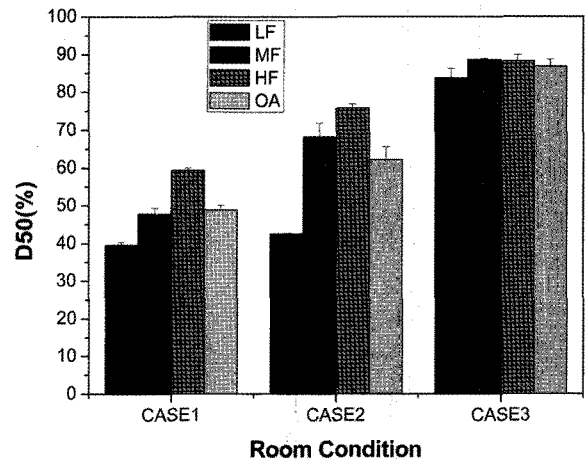
초기음에너지비(D50)는 전체에너지 대비 초기음 에너지의 비율 즉, 초기 50ms 이내에 도달하는 음 에너지의 비로 이 값이 크면 요해도가 좋음을 의미한다. 초기음에너지비는 (1)식을 적용하여 산출하였다.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0.050s} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (1)$$

단, 여기서 p(t)는 음압

실의 흡음력 변화에 따른 전체 객석에서의 평균 초기음에너지비 변화를 1/1 옥타브밴드의 중심주파수별로 분석한 결과를 주파수대역별로 나누어 살펴 보았다. 주파수대역별 검토는 저주파수대역(LF, 125 Hz 및 250Hz 산술평균), 중주파수대역(MF, 500Hz 및

1kHz 산술평균), 고주파수대역(HF, 2kHz 및 4kHz 산술 평균), 전체주파수대역(OA, 125Hz~4kHz 산술평균)을 대상으로 하였다. 분석 결과, 전반적으로 천장의 흡음을 증가가 초기음에너지의 비율을 높인데 기여 하는 것으로 분석되었다. 이는 지향성 음원으로부터 오는 직접음에는 영향을 주지 않으나 반사되어 도달하는 후기음에너지의 약화를 통해 전체음에너지 중에서 초기음에너지의 상대적 비율을 높여주었기 때문에 중·고주파수대역(MF·HF) 및 전체주파수 대역(OA)에서 실의 흡음력 증가에 따라 거의 선형적으로 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 반면 저주파수대역(LF)에서는 CASE 1과 CASE 2에서 약간의 증가를 나타내는데 그치고 있으며 이는 천장면에 사용된 흡음구조의 특성에 기인한 것으로 판단된다.



〈그림 3〉 초기음에너지비 평가결과

3.1.2 언어명료도(RASTI)

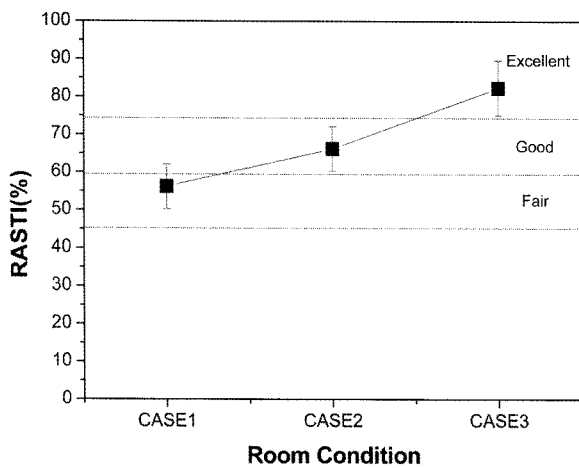
언어명료도(RASTI)는 언어의 이해 정도를 나타내는 지표로 Modulation Transfer Function(MTF)를 이용한 지표이다.

$$RASTI = \left[\left(\frac{S}{N} \right)_{app} + 15 \right] / 30 \quad (2)$$

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{app} = 10 \log \left[\frac{m}{(1-m)} \right]$$

언어명료도가 높을수록 언어의 이해가 용이한 공간으로 음향상태가 양호한 공간으로 평가할 수

있으며 언어명료도 관련 식은 (2)식과 같이 정의된다. <그림 4>는 대상공간의 실의 흡음력 증가에 따른 언어명료도 평가 결과를 표준편차와 함께 나타낸 것이다. 결과를 보면, 음성전달지수는 CASE 1에서 CASE 3으로 실의 흡음력이 증가할수록 선형적으로 비례하여 개선되는 것으로 나타났으며, 수음점별 편차도 감소한 것을 알 수 있었다. 천장 흡음을 조건에 따라 CASE 1은 56.19%로 'fair'로 평가되었으며, CASE 2는 66.21%, CASE 3은 82.35%로 각각 'good', 'excellent'로 평가되었다.



<그림 4> 언어명료도 평가결과

<표 5> 언어명료도 평가결과 및 설명

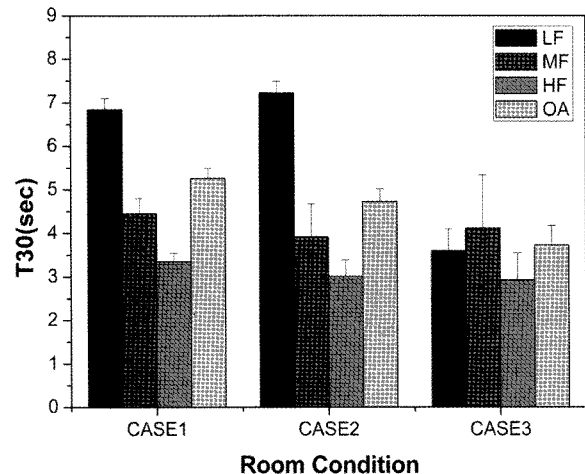
RASTI(%)	평가 및 설명
0 - 0.30	Unintelligible (전혀 알아듣지 못함)
0.30 - 0.45	Poor (잘 알아듣지 못함)
0.45 - 0.60	Fair (노력하면 들을 수 있음)
0.60 - 0.75	Good (잘 들림)
0.75 - 1.0	Excellent (아주 편하게 들을 수 있음)

3.1.3 잔향시간(T30)

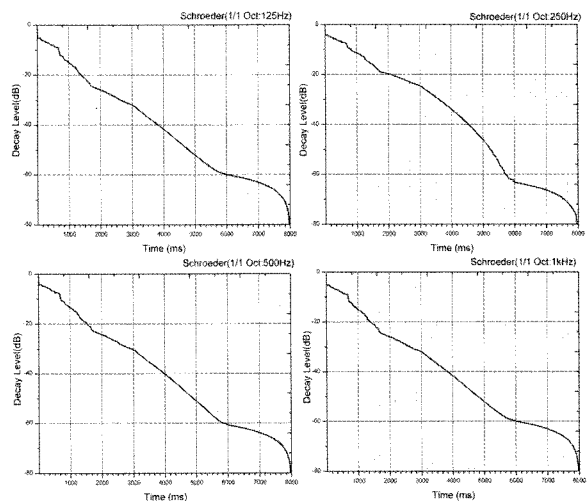
<그림 5>는 천장의 흡음율을 NRC 0.29, 0.68, 0.98로 변화시키며 각 수음점에서 얻은 주파수대역별 분석 시의 잔향시간을 표준편차와 함께 나타낸 것이다.

전체 수음점에서의 1/1옥타브밴드의 중심주파수 값은 저주파대역(LF), 중주파수대역(MF), 고주파수

대역(HF), 전체주파수대역(OA)으로 나누어 분석하였다. 분석 결과, 객석 전체의 평균 잔향시간은 <그림 5>에서와 같이 주파수별로 실의 흡음력 증가와 다른 특성을 나타내었다. 전체주파수대역(OA) 잔향시간은 실의 흡음력 변화에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 주파수대역별 분석결과를 살펴보면, 고주파수대역(HF) 과 전체주파수대역(OA) 잔향시간은 흡음율의 증가에 따라 오히려 감소하는 경향을 보였다. 실의 흡음력이 가장 높은 CASE 3은 모든 주파수대역에서 좌석별로 높은 편차를 보이고 있다. 그러나 저주파수대역(LF) 잔향시간은 흡음력의 증가에도 불구하고, 흡음력이 적은 CASE 1보다 CASE 2가 더 길게 나타났다.



<그림 5> 잔향시간 평가결과



<그림 6> 저·중주파수 대역에서 나타나는 비선형 감쇠패턴

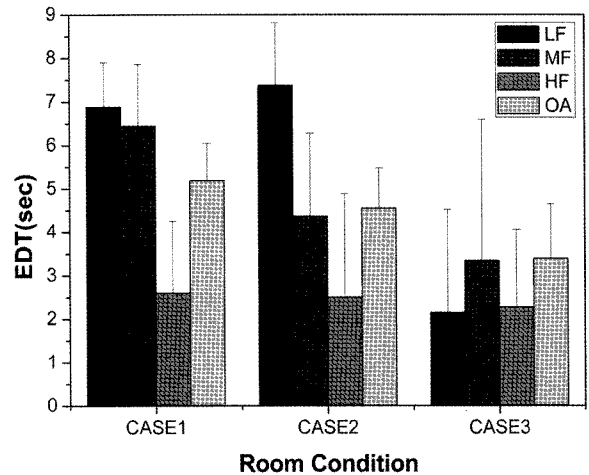
또한 중주파수대역(MF) 잔향시간은 CASE 1, 2보다 흡음력이 가장 높은 조건인 CASE 3의 결과에서 더 길게 나타났다. 중주파수대역(MF) 및 저주파수대역(LF) 잔향시간은 실의 흡음력 증가에 관계없이 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않고 있다. 일반적으로 확산성이 확보된 확산음장의 경우, 잔향시간은 실의 흡음력 변화에 선형적으로 비례한다. 그러나 본 연구의 결과는 이와 상반된 것으로 실의 확산성 확보가 어려운 대공간의 음향적 특성에 따른 것으로 판단된다. <그림 6>은 CASE 1의 수음점 8번 위치에서의 저주파수대역(125Hz 및 250Hz), 중주파수대역(500Hz 및 1kHz)의 임펄스응답을 Schroeder 적분한 결과를 나타낸 것이다. ISO3382에 의해 산출되는 잔향시간은 선형적인 단일감쇠를 가정한 것으로 <그림 6>에서와 같은 비선형패턴의 감쇠곡선의 특성을 반영할 수 없다[10-12]. 본 연구에서의 저주파수대역 및 중주파수대역 비정상적인 잔향시간 평가결과는 비선형적인 음에너지 감쇠를 선형적으로 fitting하는데 따른 오류인 것으로 분석되었다.

3.1.4 초기감쇠시간(EDT)

초기감쇠시간은 잔향시간과 같이 감쇠 곡선에서 구하는데 초기 음압이 10dB 떨어지는데 걸린 시간에서 산출되며, 단일 값으로 산출 시 500Hz 및 1kHz 대역의 산술 평균 값으로 한다. 잔향시간은 물리적 특성을 나타내는 반면, 초기감쇠시간은 잔향을 주관적으로 인식하는 것과 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

<그림 7>은 흡음력 변화에 따른 초기감쇠시간의 변화를 주파수대역별 평균하여 표준편차와 함께 나타낸 것이다. 주파수대역별 초기감쇠시간은 저주파대역(LF), 중주파수대역(MF), 고주파수대역(HF), 전체주파수대역(OA)으로 나누어 검토하였다. 흡음력 증가에 따른 초기감쇠시간의 변화는 중주파수대역(MF) 및 전체주파수대역(OA)에서 감소하는 경향을 보였다. 그러나 저주파수대역(LF) 초기감쇠시간은 CASE1 보다 CASE2에서 증가했으며, 고주파수대역(HF)에서는 흡음력 증가에 관계없이 거의 유사한 결과를 보였으며 전체 주파수대역(OA)에서 표준편차

가 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 전술한 바와 같이 실의 음향특성이라기 보다는 감쇠구간의 비선형성에 기인한 것으로 판단된다.



<그림 7> 초기감쇠시간 평가결과

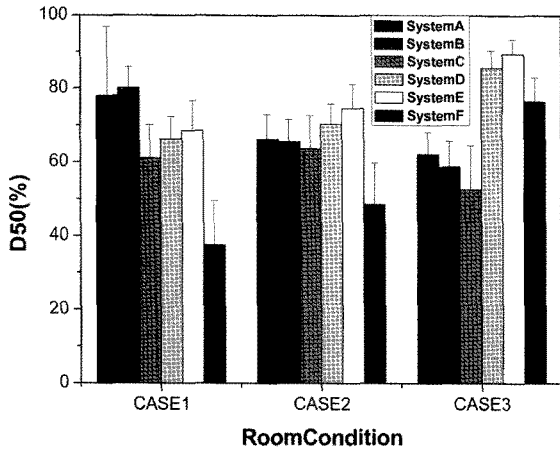
3.2 전기음향 예측결과

3.2.1 초기음에너지비(D50)

<그림 8>은 전기음향 스피커 시스템 및 실의 흡음율 변화에 따른 수음점에서의 초기음에너지비를 시스템별로 주파수대역을 평균하여 표준편차와 함께 나타낸 것이다.

전체시스템별 초기음에너지비는 40~90% 범위로서 적용된 시스템 및 실의 흡음력 변화에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 설치높이가 낮은 시스템 A, B 그리고 C의 초기음에너지비는 실의 흡음력 증가와 무관한 결과를 보였으며 설치높이가 높은 시스템 D, E, F의 경우, 실의 흡음력 증가가 초기음에너지 비율의 증가에 기여하는 것으로 나타났다. 시스템의 설치높이가 낮을 경우 실의 흡음력의 영향보다 스피커 시스템의 지향특성이 초기음에너지비에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 초기음에너지비는 실의 흡음력이 낮은 시스템 F를 제외한 모든 시스템에서 50%이상으로 나타났다. 특히 시스템 A, D, E는 실의 흡음력이 가장 낮은 CASE 1의 결과에서도 60%이상으로 나타나 실의 흡음력 조건보다는 시스템의 음향적 특성이 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 낮게 설치된 스피커 시스템의 경우,

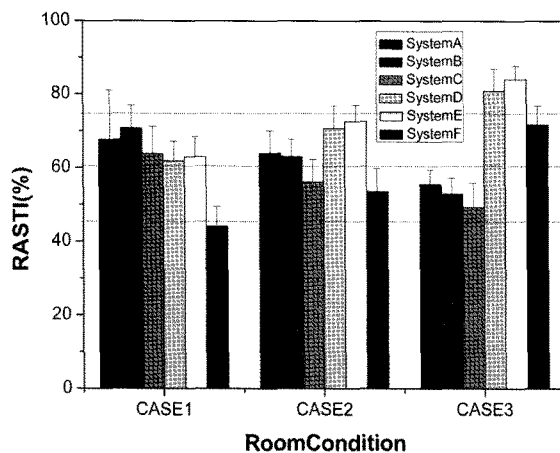
스피커 빔폭이 좁고 개수가 많을수록 초기음에너지비는 높게 나타났으며, 흡음력 증가에 따라 초기음 에너지비는 낮아지는 경향을 보였다.



〈그림 8〉 스피커 시스템 적용에 따른 실의 흡음력 조건별 초기음에너지비

3.2.2 언어명료도(RASTI)

〈그림 9〉는 실의 흡음력 증가에 따른 언어명료도 평가 결과를 시스템별로 나타낸 것이다.



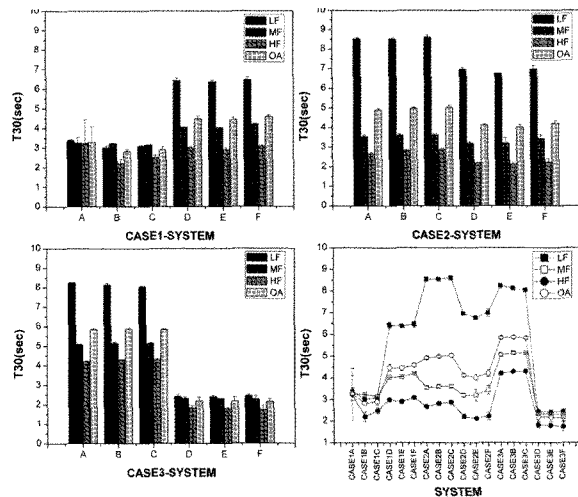
〈그림 9〉 스피커 시스템 적용에 따른 실의 흡음력 조건별 명료도

언어명료도는 적용된 시스템 및 실의 흡음력 변화에 크게 상관없이 거의 모든 시스템에서 0.5 이상의 분포를 나타내어 ‘fair’로 평가되었다. 초기음에너지비와 마찬가지로 시스템 설치높이가 낮은 시스템 A, B, C는 실의 흡음력 변화보다 스피커 시스템의 특성에 의한 영향을 더 받는 것으로 분석되었

다. 반면 시스템 D, E, F와 같이 상대적으로 높게 설치된 경우 실의 스피커시스템 조건보다 실의 흡음력 조건의 영향을 더 받는 것으로 분석되었다. 분석 결과, 시스템 D, E, F는 흡음력이 증가할수록 언어명료도 결과는 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며 시스템 E는 모든 조건 하에서 60% 이상으로 높게 나타났다.

3.2.3 잔향시간(T30)

〈그림 10〉은 실의 흡음력 변화에 따라 시스템의 주파수대역별 평균 잔향시간을 표준편차와 함께 나타낸 것이다. 실의 흡음력 조건에 따른 주파수대역별 분석은 저주파대역(LF), 중주파수대역(MF), 고주파수대역(HF), 전체주파수대역(OA)으로 나누어 검토하였다.



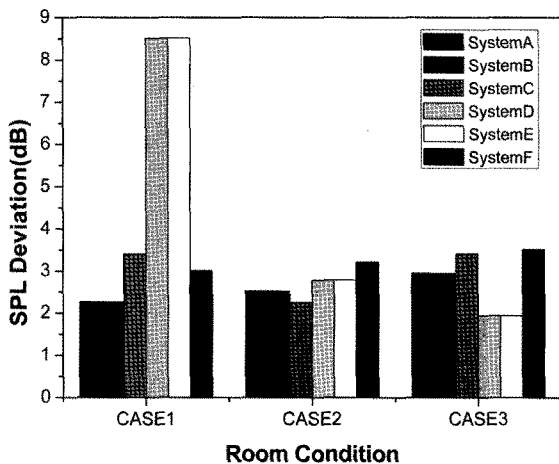
〈그림 10〉 스피커 시스템 적용에 따른 실의 흡음력 조건별 잔향시간

검토 결과, 실의 흡음력 변화에 의한 잔향시간 변화보다는 적용된 시스템에 따른 변화가 더 크게 영향을 미치고 있으며, 시스템에 따라 실 전체의 편차 또한 다르게 나타났다. 스피커 설치위치가 낮은 시스템 A, B, C는 실의 흡음력 증가에 따라 잔향시간은 감소하였으며, 스피커 설치 높이가 높은 시스템 D, E, F는 실의 흡음력 증가와 무관한 결과를 보였다. 특히, 시스템 D, E, F의 경우 CASE 1에서도 짧은 잔향시간을 나타내고 있어 실의 흡음력보다 상대적으로 스피커의 설치위치가 낮은 스피커 시스템

이 잔향시간을 더 짧게 확보할 수 있는 것을 확인하였다. 그러나 건축음향 평가결과에서도 나타났듯이 스피커 시스템을 적용한 경우에도 음에너지의 비선형 감쇠현상이 나타나고 있어, 잔향시간을 토대로 한 스피커 시스템의 적용성 검토 시 신중한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.4 음압레벨 편차(SPL deviation)

〈그림 11〉은 시스템별 실내 음압레벨 분포를 음압레벨 편차로 분석하여 나타낸 것이다. 분석결과 음압레벨 편차는 거의 모든 시스템에서 $\pm 2\text{dB} \sim \pm 3.5\text{dB}$ 범위로 나타났다. CASE 1에서 시스템 D, E는 위치별 편차가 $\pm 8\text{dB}$ 로 상대적으로 크게 나타나 실의 흡음력이 클수록 좌석별 편차가 큰 것으로 나타났다.



〈그림 11〉 전기음향시스템 적용에 따른 실의 흡음력 조건별 실내 음압레벨 편차

4. 결론 및 종합토의

본 연구에서는 대공간에서 스피커 시스템 변화에 따른 실내음장 특성 변화를 파악하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 예측·분석하였다. 스피커 시스템의 지향성, 설치위치 및 개수를 변화시켜 6개 시스템을 설계함과 동시에 실의 흡음력을 3단계로 고려하여 총 18개의 음향 조건을 검토대상으로 하였다. 실내음장 특성 변화는 잔향시간(T30), 초기감쇠시간(EDT), 초기음에너지비(D50), 언어명료도

(RASTI) 그리고 음압레벨 분포(SPL deviation)를 대상으로 분석하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실의 흡음력 변화에 따른 건축음향 특성

- 건축음향 평가 결과, 전반적으로 실의 흡음력 증가는 전반적으로 초기음에너지의 비율을 높이는 것으로 분석되었다. 특히, 흡음력 증가의 영향은 중간주파수대역(MF), 고주파수대역(HF), 전체주파수대역(OA)에서 두드러지게 나타났으며 해당 주파수대역에서는 흡음력 증가에 따라 초기음에너지비는 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

- 음성전달지수는 실의 흡음력이 가장 낮은 조건에서도 56.19%이상으로 나타났으며, 흡음력의 증가에 따라 66.21%, 82.35%로 높게 나타났다.

- 잔향시간 평가 결과를 살펴보면, 실의 흡음력 증가에 따라 고주파수대역(HF) 및 중주파수대역(MF)에서는 오히려 감소하는 것으로 분석되었다.

- 실의 흡음력 증가에 따른 전체주파수대역(OA) 잔향시간은 실의 흡음력 증가에 따라 선형적으로 감소하는 것으로 나타났으나 중·고주파수대역에서는 오히려 증가하거나 변화를 보이지 않았다. 일반적으로 확산성이 확보된 일반실의 잔향시간은 실의 흡음력 증가에 따라 선형적으로 감소하나 본 연구의 결과는 이와 상반된 결과로 나타났으며, 이는 대공간과 같이 실의 확산성 확보가 어려운 공간에서의 음향적 특성에서 기인하는 것으로 비선형성의 감쇠구간을 fitting하는 과정에서 나타나는 오류로 사료된다.

2) 스피커 시스템의 적용성에 따른 음향특성

- 스피커 시스템 적용에 따른 평가 결과, 음성전달지수 및 초기음에너지비는 적용된 시스템 및 실의 흡음력 증가와 상관없이 거의 모든 시스템에서 50% 이상으로 나타났다. 시스템 설치높이가 높은 시스템의 경우 실의 흡음력 조건보다 스피커 시스템의 영향을 더 받는 것으로 분석되었다. 특히, 스피커 시스템의 설치 높이가 높을 경우 실의 흡음력 증가에 따라 명료도 관련 지표인 초기음에너지비 및 음성전달지수는 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

- 잔향시간 평가 결과, 스피커 시스템의 설치위치가 낮을 경우 실의 흡음력 증가에 따라 잔향시간은 감소는 것으로 나타났으나 스피커 설치 높이가 높은 시스템은 실의 흡음력 증가와 무관한 결과를 보였다. 즉, 실의 흡음력 변화에 의한 잔향시간 변화보다 적용 시스템에 따른 변화에 더 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다.

대공간에서 실의 흡음력 및 시스템 변화에 따른 음장 변화 특성을 잔향감과 명료도 관련 음향지표를 중심으로 살펴보았다. 본 연구결과를 바탕으로 스피커 배치방식의 음향성능에 대한 물리적 평가 외에 청취실험에 의한 주관적 평가가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 이주엽 외 2인, 학교체육관에서 스피커 배치방식에 따른 실내음향특성에 관한 연구, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, 2000 Nov, pp.462-467
2. 연철호, 한찬훈, 전주월드컵 경기장의 음향특성 평가, 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제21권 제1(s)호, pp.495-500
3. Cabrera, Denis; Willsallen, Scott, Assessment of Music Audio Quality in a Sports Stadium, Audio Engineering society, 2004, pp. 6273
4. Korenaga Yuji, Ando Yoichi, A Sound-Field simulation system and its application to a seat-selection system, Journal of the Audio Engineering Society, V41, no.11, 1993, pp. 920-930
5. Barker Ron, The New Hong Kong Stadium, Audio Engineering Society Convention 13, 1983, pp. 318-325
6. Vorländer, M., International Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation, 15th International Congress on Acoustics Proceedings, Trondheim, Norway, 1995.
7. Bork, L., A Comparison of Room Simulation Software - The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation, Acustica, 2000, 96, pp. 943-956
8. Bork, L., Report on the 3rd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation- Part I : Measurements, Acustica, 2005, 91, pp. 740-752
9. Bork, L., Report on the 3rd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation- Part II : Conculations, Acustica, 2005, 91, pp. 753-763
10. ISO 3382 Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameter, International Organization for Standardization. 1997
11. Eyring, C. F., Reverberation time measurements in coupled rooms, J. Acoust. Soc. Am. 1931; 3: pp. 181-206.
12. Cremer, L. and Muller, H.A., Principles and Application of room Acoustics, Applied Science Publishers, 1978.

- ▶ 접수일자 : 2010년 5월 13일
- ▶ 심사 완료일자 : 2010년 11월 12일
- ▶ 게재 확정일자 : 2011년 2월 16일