

강당 음향 특성의 컴퓨터 시뮬레이션

김경엽*, 이상희*, 고상철*, 김정호*
삼성종합기술원 CSE center

Computer Simulations for Acoustical Characteristics of an Auditorium

Kyung Yeup Kim, Sang Hee Lee, Sang Chul Ko, Jung Ho Kim
CSE center, Samsung Advanced Institute of Technology

Key Words : 건축음향, 음향평가지수, 잔향 시간, RASTI(Rapid Speech Transmission Index), 명료도(Clarify), 음향레벨

요 약

강당과 같은 실내 음향 문제는 강당의 사용자와 관리자의 주관적인 평가가 배제되기 힘든 것이므로 문제를 개선하기 위해 물리적 측정이나 실험, 해석 등을 통한 다각적인 정량적 분석 자료를 산출하는 과정이 선행되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 기존의 강당에 대한 고유 음향 특성-잔향시간, 명료도, 음압레벨-을 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻어 음향 분포를 파악하고, 현재 설치되어 있는 스피커의 지향성 및 위치 등에 따른 음향 특성을 알아보았다. 대표적인 음향평가 지수인 잔향 시간은 랜덤노이즈를 음원으로 사용하여 음향 측정을 수행하였으며, 이 결과를 시뮬레이션과 비교함으로써 컴퓨터 시뮬레이션의 신뢰성 또한 검토 하였다.

1. 서 론

연구 대상으로 삼은 강당은 이전 여러 차례 시행되었던 보수 공사에도 불구하고 음향 시설에서 문제가 계속적으로 일어나고 있다. 특히 실내 음향 문제는 사용자와 관리자의 주관적인 평가가 배제되기 힘든 것이므로 이러한 문제를 개선하기 위해 선행되어야 하는 것은 물리적 측정이나 실험, 해석 등을 통한 다각적인 정량적 분석 자료를 산출하는

것이다. 이것을 토대로 실내 공간에 대한 음향 개선이 이루어져야 한다.

본 논문에서는 강당의 실내음향설계 보완공사 수행을 보다 효율적으로 하기 위한 방안으로써 강당에 대한 고유 음향 특성-잔향시간, 명료도, 음압레벨-을 측정과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻고 강당 보수 시 음향 성능 개선안을 위한 참고자료로 제공하고자 한다. 이러한 과정은 건축물의 음향학적 개선 필요에 의한 재시공이나 구조변경이 이루어질 경우 중복시공에 의한 추가 비용의 부담을 최소화할 수 있는 방법이 될 것이다.

2. 잔향 실험

2.1 강당의 구조

그림 2.1은 강당의 3차원 CAD 도면이다. 이것은 강당 2차원 평면도를 바탕으로 치수는 실제 측정을 통해 얻은 측정치를 입력으로 하여 작성된 것이다. 강당은 육각형 대칭 형태를 띄고 있으며, 최대 변의 길이 약 9.65m, 최소 변의 길이 약 6m, 높이는 약 4.8m, 부피는 약 1063m³ 이다. 실내 마감재는 많은 면이 흡음률이 높은 재질로 구성되어 있으며, 바닥은 대부분이 카펫으로 덮여져 있고, 직물 의자들이 놓여져 있다. 천정은 격자구조 형태의 나무로 이루어져 있고 벽면은 직물과 커튼으로 구성되어 있다.

2.2 잔향 실험 방법

실험을 통한 잔향시간 측정은 튜이나 대포 등 충격음을 발생시켜 소리가 감쇠하는 시간을 측정하는 방법과 랜덤노이즈를 스피커를 통해 발생시킨 후 갑자기 중단하여 소리가 감쇠하는 시간을 측정하는 방법이 있다. 본 논문에서는 이미 설치되어 있는 스피커를 이용하여 후자의 방법으로 잔향시간을 측정하였다.

실험을 위해 강당 내 충분한 음향 파워를 발생시킬 수 있도록 랜덤노이즈의 음원을 준비하였다. 이 음원은 10초 동안 발생하고 10초 동안 중지하도록 미리 녹음하여 별도의 기기 조작 없이 여러 차례 반복 실험이 가능하도록 하였다. 강당 내 스피커를 통해 랜덤노이즈를 발생시키고 DAT tape로 강당 내 발생된 소리를 채집하였다. 녹음된 소리를 1/3 옥타브필터를 이용해 관심주파수별로 음감쇠곡선을 구하고 이 기울기로부터 잔향시간을 계산하였다. 측정 위치에 따라 잔향시간이 다소 차이가 있을 수 있고, 보다 정확한 결과를 얻기 위해 여러 차례 반복하여 실험하였다. 강당의 앞쪽과 중앙 그리고 오른쪽 구석을 측정 위치로 하여 각각 10회 이상 반복 실험하였으며 그림 2.2는 실험 과정을 나타낸 것이다

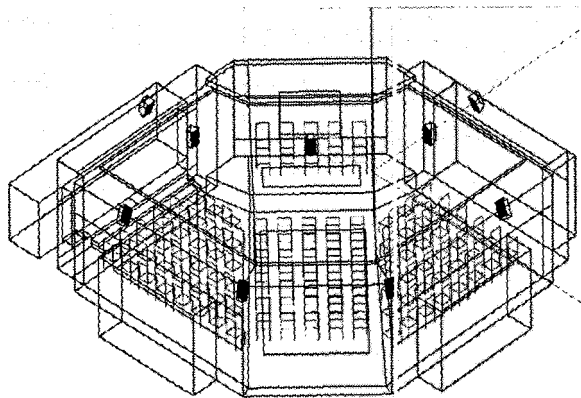


그림 2.1 강당 3차원 CAD 도면

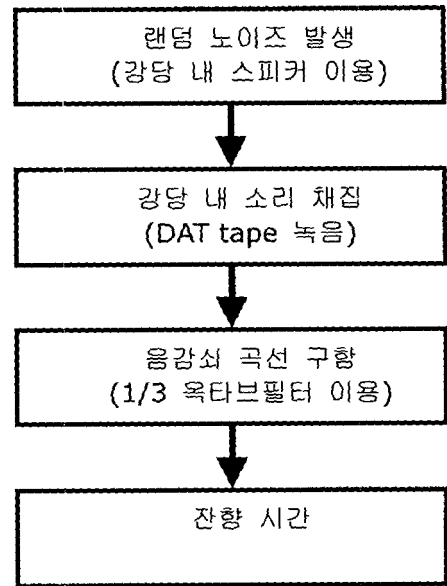


그림 2.2 잔향 실험 과정

2.3 잔향 실험 결과

일반적으로 강연과 음악을 함께 고려해야 하는 다목적 대강당인 경우 적당한 잔향시간이 대략 1.5초~2.0초이다. 본 강당의 용적은 약 1063m³으로 규모가 작고, 주 사용목적이 강연이므로 그림 2.3을 통해 최적 잔향시간은 약 0.8초~1초 정도로 볼 수 있다. 그림 2.4는 랜덤노이즈를 이용한 잔향시간 결과를 나타낸 것으로, 사람의 청각이 예민하게 반응하는 1kHz ~ 4kHz에서 결과 값들이 0.54초 ~ 0.76초로 최적 잔향시간보다 다소 짧게 나타나고 있다. 이로 인해 청중들은 건조함이 느껴지는 소리를 듣게 된다. 즉 풍부한 음량이 청중들에게 제대로 전달되지 못하고 있는 것이다.

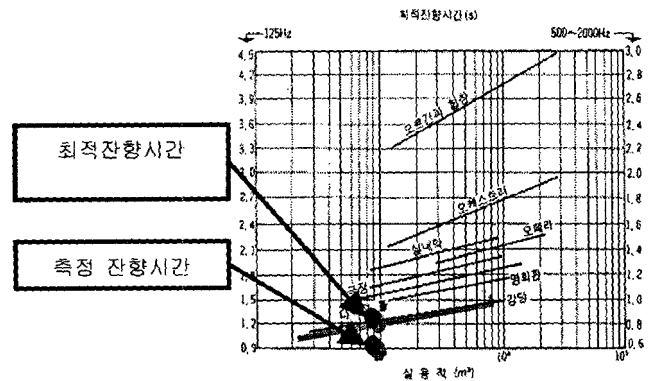


그림 2.3 잔향시간 실험값과 강당의 용적과 용도에 따른 최적잔향시간과의 비교

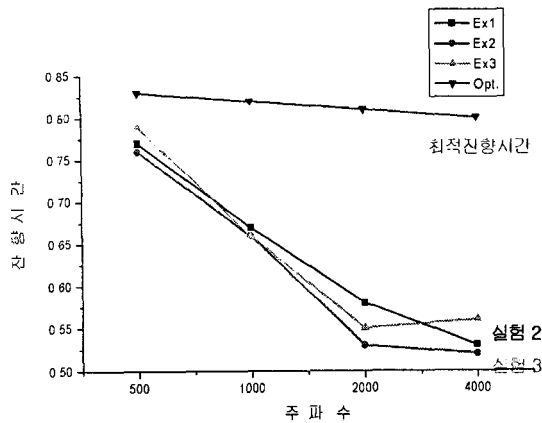


그림 2.4 현재 강당의 잔향시간 실험 결과

여기서 강당은 강연이 주목적이므로 좋지 않은 잔향시간이라 볼 수는 없으나 소리의 음량감과 풍부함이 떨어져 음악을 듣기에는 부족한 편이라 할 수 있다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

3.1 해석 모델

해석은 상용 실내 음향 해석 프로그램인 EASE를 사용하였으며, 강당의 3차원 모델은 CAD를 이용하였고, 사용된 모델은 그림 3.1과 같다. 실내 마감재에 따라 면의 색깔을 각각 다르게 나타냈고, 빨간 의자가 설치된 녹색 영역은 청중과 강연자가 위치한 곳을 나타낸 것이다. 녹색 영역의 높이는 사람의 귀 높이에 준한 것이며, 이 영역에 대해 음향지수를 계산하였다. 청중의 귀 높이는 바닥에서 1.2m에, 강연자의 귀 높이는 바닥에서 2.3m(강단 높이 고려)에 위치하는 것으로 정하였다.

그림 3.2는 해석에 쓰인 마감재 재질에 따른 흡음율을 주파수별로 나타낸 것이다. 현재 마감재로 사용되고 있는 재질의 흡음율을 알기 위해서는 해당 재질의 시편을 구하여 직접 측정하여야 하나 현재 여건상 측정하기가 힘들며, 일반적으로는 해당 재질별에 따라 흡음율이 크게 차이가 있지 않으므로 이와 가장 유사한 재질을 사용하여 계산하였다. 그림 3.2를 통해 여러 재질 중 커튼과 카펫이 1kHz ~ 4kHz 대역에서 높은 흡음

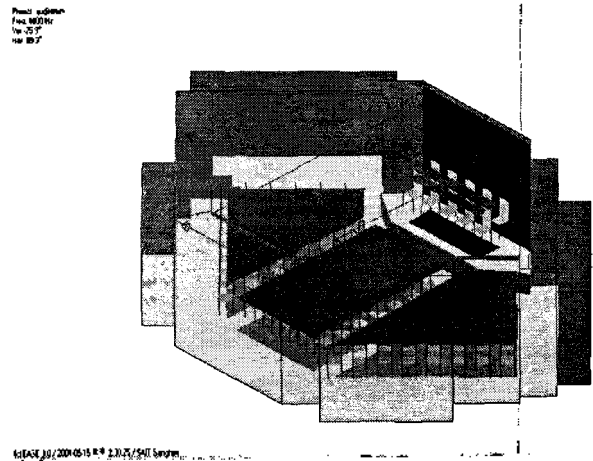


그림 3.1 컴퓨터 시뮬레이션 해석 모델

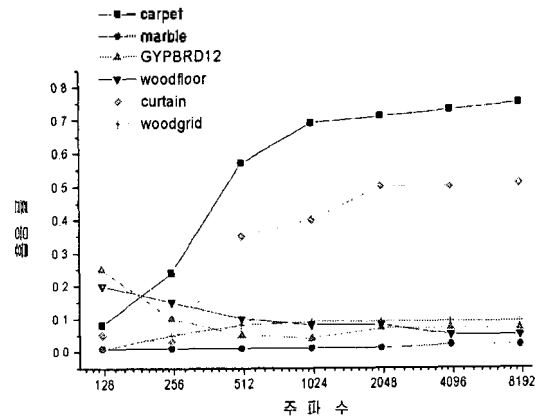


그림 3.2 주요 마감재 흡음율

율을 가지고 있음을 알 수 있다. 실험으로 구한 잔향시간 중 1kHz~4kHz 대역에서의 짧은 잔향시간은 커튼과 카펫에 의해 많은 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

3.2 잔향 시간 해석

잔향시간을 음향 상용소프트웨어 EASE를 사용하여 해석하였다. 마감재의 흡음율은 EASE의 마감재 데이터베이스를 이용하였으며, 잔향 공식 중 흡음율이 클 때도 사용 가능한 Eyring식을 선택하였다¹¹⁾

표 3.1은 실험을 통해 구한 잔향시간과 해석을 통해 예측한 잔향시간을 비교한 것이다. 주파수가 높아질수록 실험, 해석에서 잔향시간은 짧게 나타나고 있으며, 적정 잔향시간인 0.8초와 비교할 때 짧은 편임을 알 수 있었다. 그리고 두 가지

표 3.1 실험과 해석의 잔향시간 비교

(단위 : 초)

주파수(Hz)	잔향시간	
	실험	해석
500	0.77	0.76
1000	0.66	0.62
2000	0.55	0.55
4000	0.53	0.54

방법을 통해 구한 결과가 거의 일치하였으므로, 해석에 사용된 모델이 타당함을 확인할 수 있었다. 이것은 해석을 통해 여러 음향지수를 예측하고 그 값을 이용하여 음향설계 방향을 제안할 수 있음을 보여 주는 것이다.

3.3 음성전달지수(Rapid Speech Transmission Index) 해석

음성전달지수(RASTI)는 실내에서 음성의 전달에 따른 이해도를 나타내는 지수로서 단어전달에 관한 평가지수이다. 이해도는 듣는 사람에 따라 주관적인 평가가 이루어지는 것이긴 하나 실험에 의해 얻어진 결과를 토대로 일반적으로 효용될 수 있는 정도를 나타낸 것이다. RASTI는 잔향시간과 주변소음, 교란 등에 의해 값이 달라진다. 즉 듣기를 원하는 소리가 주변소음과 비슷한 음색이나 크기를 가지게 되면 음성전달지수가 낮아지게 된다. 일반적으로 이 값은 0과 1사이의 값으로 표시되며, 1에 가까울수록 언어소통이 수월함을 뜻한다. 표 3.2는 RASTI의 평가표를 나타내고 있다.

스피커를 통해 나오는 출력음을 기준으로 하여 청중의 RASTI값을 알아보았다. 출력음의 크기는 80dB로 설정했는데, 이것은 강당 내에서 음향지수 분포를 보다 쉽게 보기 위한 임의의 값이다. 주변소음 즉 스피커의 출력이 있지 않을 경우 강당 내에 존재하는 소음으로 일반적으로 실내에서의 주변소음값인 40dB를 이용하였다. 해석 결과 RASTI는 0.64 ~ 0.70의 값을 가지는데, 이 값은 청중이 강연을 이해하는데 별 무리가 없음을 말해준다.

표 3.2 RASTI 평가표

RASTI	평가
0.75 ~ 1.00	아주 좋음
0.60 ~ 0.75	우수
0.45 ~ 0.60	보통
0.30 ~ 0.45	나쁨
0.00 ~ 0.30	아주 나쁨

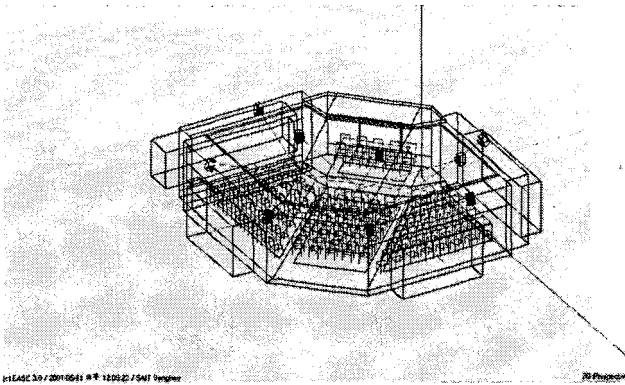
3.4 명료도(Clarify) 해석

명료도는 각각의 독립된 음들이 서로 분리되어 들릴 수 있는 정도로 소리가 뭉치지 않고 분명히 들리는 것을 판단하는 음향지수이다. 음원의 성격에 따라 판별하는 정도는 조금씩 다르다. 명료도는 이론적으로 소리 발생 일정 시간후의 에너지에 대해 소리발생에서 그 일정 시간까지의 에너지의 비율을 dB로 나타낸다. 명료도 평가지수의 종류로는 음원의 성격에 따라 C7(7ms 기준), C50(50ms 기준), C80(80ms 기준)이 있다. C7의 경우는 음원의 직접음에 대한 지표로서 -15dB이상일 때 좋은 위치에 있다라고 본다. 또한 C50의 경우는 강연에 대한 이해도의 효과를 보기 위해 쓰이는 지표이다. 보통 음악에 관련된 콘서트의 경우는 C80을 쓴다. 여기서는 C50을 사용했다. 명료도가 우수하다고 보는 값은 일반적으로 0dB 이상이며, 잔향시간이 긴 공간의 경우는 -5dB 이상이다.

본 강당의 경우 강연이 주 목적이므로 양의 값이 나오는 것이 좋다. 해석 결과 강당의 가운데 영역은 0dB 이상으로 좋은 값을 나타내고 있으나 가장자리는 0dB이하로 다소 떨어지고 있다. 이는 강연을 듣기에 가장자리가 적합하지 않은 자리임을 말해 주는 것이다.

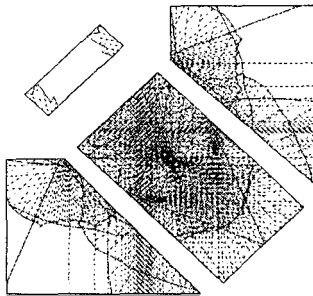
3.5 음압레벨 해석

청중 위치에서 음압의 크기는 직접음압과 전체 음압, 두 가지로 나누어 살펴볼 수 있다. 직접음압은 스피커로부터 발생한 소리 중 청중 위치에



(a) 스피커 위치 및 지향성

Call 2
Area
200Hz
Unit
L: 51 52 53 54 55 56 57 58 59
Reference
Reference Sum
Bandwidth



(b) 스피커의 지향 곡선 분포

그림 3.3 현 강당의 스피커 위치 및 지향 곡선 분포

직접 전달된 소리 에너지만을 dB로 나타낸 것으로, 스피커의 감도, 음향파워, 스피커와 청중의 거리, 스피커의 지향 각도 등에 영향을 받는다. 직접음압의 크기와 분포도를 통해 스피커에서 발생한 소리에너지가 균일한 정도를 알아 볼 수 있다. 음압레벨의 분포를 살펴 보기 전에 스피커의 위치와 지향성을 살펴 보면 그림 3.3과 같다. 그림 3.3(a)에서 스피커의 지향성이 강당의 중심부로 일정하게 향해 있음을 알 수 있다. 그림 3.3(b)은 스피커의 지향성의 분포곡선을 나타낸 것으로 곡선의 분포가 밀한 곳이 많은 스피커의 출력과 개수에 의해 음압의 영향을 받는 영역이라 할 수 있다.

음압레벨의 해석 시 스피커의 출력음 크기는 전주파수대역에서 80dB로 설정했다. 이 값은 3.3절에서 기술한 바와 같이 음압레벨의 분포를 살펴볼 수 있는 충분한 크기로서 전반적인 강당 내의 음압분포를 가시적으로 나타내기 위해 선택한 것이다. 그러므로 이 값은 임의로 설정된 값으로

음압레벨의 분포에 영향을 주는 값이 아닌 독립변수로 볼 수 있다.

해석 결과 직접음압은 최소 60dB, 최고 72dB의 값을 나타내며 강당의 중앙부로 갈수록 높은 값을 보이고 있다. 이것으로 강당 내에 음압에너지가 균일하게 분포되고 있지 못함을 알 수 있다.

전체음압은 스피커의 출력에 의해 발생하는 직접음과 반사음의 합을 dB로 나타낸 것이다. 전체음압은 2kHz 기준으로 최저 68dB, 최고 72dB로 4dB의 편차를 나타내고 있으며, 강당의 중앙부를 중심으로 동심원 형태를 띤다. 직접음압과 비교해 전체음압은 편차가 줄어들었다. 이는 직접음압의 경우 지향성에 강한 의존성을 띄고 있으나 전체음압의 경우는 벽면에 의한 반사음 등으로 인해 가장자리 부분의 음압이 높아져 전체음압의 편차가 줄어드는 것을 알 수 있다. 일반적으로 공간내의 음압레벨은 전체음압으로 표시 되는데, 이는 실질적인 공간 내의 구조물의 형태 등이 반영된 값이기 때문이다. 강당 내의 음압레벨은 직접음압의 편차가 큰 편이므로 편차를 줄이고 전체음압은 더 높임으로써 효율적인 음압 분포를 꾀할 수 있도록 해야 할 것이다. 그러기 위해서는 스피커의 지향곡선을 분산시키고 소리 에너지가 균일하게 분포하도록 스피커의 위치 조정이 필요하다.

4. 고찰 및 결론

강당의 고유 음향 특성 파악을 하기 위해 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 객관적인 평가자료인 음향평가지수를 구하였다. 강당의 음향 특성은 다음과 같다.

1. 잔향시간은 강당의 용적과 용도에 비해 다소 짧아서 소리가 건조하고 활기찬 느낌과 음량의 풍부함이 떨어진다. 이것은 마감재들이 대부분 흡음율이 높아 발생하는 것으로 판단된다.
2. RASTI의 값과 명료도 값이 양호한 특성치를 가지고 있다.
3. 음압분포가 중앙부에서 높은 값을 가지고 있다.

위의 결과를 통해 현 강당의 마감재를 흡음률이 낮은 것으로 변경하면 최적의 잔향시간을 얻을 수 있고, 스피커의 지향성을 변경하여 음압분포의 불균일함을 보완할 수 있음을 알았다.

참고문헌

- (1) C.F.Eyring, "Reverberation time in dead rooms", J. Acoust. Soc. Am., 1930
- (2) Heinrich Kuttruff, "Room Acoustic:", ELSEVIER, 1991
- (3) 김선우, "음환경기술과 건축", 대한건축학회지, 21 세기의 친환경기술, pp.45~49
- (4) 손장열 외 1 명, "다목적 오디토리움의 실내음향특성에 관한 연구", 대한건축학회지, 1983.6. v.27.,n.112., pp.38~45
- (5) 양만우 외 1 명, "대형 실내체육관의 음향특성과 시뮬레이션에 관한 연구", 대한건축학회, 2001.4. v.21., n.1.
- (6) Donald E.Hall(박관우,안정모 옮김), "Musical Acoustics(음악을 위한 음향학)", 삼호출판사, 1989
- (7) Michael Barron, "Auditorium Acoustics and Architectural Design", E & FN SPON., 1993