



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

내부마감재 변화가 공연장 음향개선에
미치는 효과



2007年 8月

釜慶大學校 産業大學院

建築工學科

吳松勳

工學碩士學位論文

내부마감재 변화가 공연장 음향개선에
미치는 효과

指導教授 任 英 彬

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 제출함

2007年 8月

釜慶大學校 産業大學院

建築工學科

吳 松 勳

吳松勳의 工學碩士 學位論文을 認准함

2007年 5月 22日



主 審 工學博士 李 守 用 (印)

委 員 工學博士 朴 千 石 (印)

委 員 工學博士 任 英 彬 (印)

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	2
2. 실내음향 평가인자 및 기준	4
2.1 실내음향 평가인자	4
2.1.1 음의 물리적 성질	4
1) 주파수와 파장	5
2) 소리의 전파속도	5
3) 소리의 강도와 음압레벨	5
2.1.2 실내 음향 특성	7
1) 음의 반사와 확산	7
2) 음의 회절	9
3) 음의 흡음과 잔향	10
4) 실의 공명	11
5) 음상 (Acoustical Image)	11
2.1.3 연구 동향	12
2.1.4 실내 음향 평가인자	14
1) 음선거리(Sound Path)	14
2) 잔향시간 (Reverberation Time)	17

3) 잔향감(Reverberance)	19
4) 음성적 명료도 (C_{50} : Definition)	20
5) 음악적 명료도 (C_{80} : Clarity)	21
6) 음의 이해도 (RASTI)	22
7) 국외 홀의 각종 음향 평가 지수 실측자료	23
2.2 실내 음향 기준	24
2.2.1 공연 기능	24
2.2.2 회의, 연회 등의 집회기능	25
2.2.3 최적잔향시간	27
2.2.4 실내 흡음력	29
3. 사례 공연장의 음향개선 효과 측정 및 분석	30
3.1 측정방법 및 개요	30
3.1.1 측정 대상의 개요	30
3.1.2 시공전·후 마감재료	31
3.1.3 측정장비 및 측정방법	35
3.1.4 Computer Simulation 개요	37
3.2 측정 결과	38
3.2.1 잔향시간(Reverberation time)	38
1) 설계기준	38
2) 시공 전 잔향시간(RT)	39
3) 시공 후 잔향시간(RT)	41

4) 결과 비교	43
3.2.2 C_{80} (음악적 명료도)	44
1) 설계기준	44
2) 시공 전 (음악적 명료도)	45
3) 시공 후 (음악적 명료도)	47
4) 결과 비교	49
3.2.3 C_{50} (음성적 명료도)	50
1) 설계기준	50
2) 시공 전 (음성 명료도)	51
3) 시공 후 (음성 명료도)	53
4) 결과 비교	55
3.2.4 분석결과	56
4. 결론	57
참고문헌	59
<i>Abstract</i>	61
감사의 글	63

표 목 차

표 2.1 건축·음향적 특성 분류	13
표 2.2 음전달성능과 RASTI와의 관계	22
표 2.3 국외 홀의 각종 음향 평가 지수	23
표 2.4 용도별 권장 잔향시간	28
표 2.5 국내 주요 홀의 잔향시간	28
표 2.6 청중의 변화에 의한 청중과 객석간의 흡음력	29
표 3.1 측정 대상의 건축적 개요	30
표 3.2 시공 전 마감재료의 구성	32
표 3.3 시공 후 마감재료의 구성	33
표 3.4 측정 대상의 마감 재료와 흡음률	34
표 3.5 측정 장비	35
표 3.6 실내음향특성 측정 결과	56

그림 목 차

그림 1.1 연구의 흐름도	3
그림 2.1 음의 전파	4
그림 2.2 주파수와 파장과의 관계	5
그림 2.3 오목면에서의 음의 집점 (Sound Spot)	7
그림 2.4 볼록면에서의 음의 반사	7
그림 2.5 실의 형태와 음의 확산	8
그림 2.6 실내음향 특성	8
그림 2.7 음의 회절 현상-1	9
그림 2.8 음의 회절 현상-2	10
그림 2.9 컴퓨터 프로그램상의 음상	11
그림 2.10 반사음의 지연현상	15
그림 2.11 잔향시간 (Reverberation Time; RT60)	18
그림 2.12 실내에서의 음의 감쇠특성	20
그림 2.13 실의 용적과 잔향시간	27
그림 3.1 측정기기의 구성	36
그림 3.2 측정 현장 모습	36
그림 3.3 프로그램 분석결과(잔향시간)	38
그림 3.4 시공 전 주파수별 잔향시간	39
그림 3.5 주파수별 잔향시간(시공 전)	40
그림 3.6 시공 후 주파수별 잔향시간	41

그림 3.7 주파수별 잔향시간(시공 후)	42
그림 3.8 잔향시간 결과 비교	43
그림 3.9 프로그램 분석결과(음악적 명료도)	44
그림 3.10 시공 전 주파수별 음악적 명료도	45
그림 3.11 주파수별 음악적 명료도(시공 전)	46
그림 3.12 시공 후 주파수별 음악적 명료도	47
그림 3.13 주파수별 음악적 명료도(시공 후)	48
그림 3.14 음악적 명료도 결과 비교	49
그림 3.15 프로그램 분석결과(음성적 명료도)	50
그림 3.16 시공 전 주파수별 음성적 명료도	51
그림 3.17 주파수별 음성적 명료도(시공 전)	52
그림 3.18 시공 후 주파수별 음성적 명료도	53
그림 3.19 주파수별 음성적 명료도(시공 후)	54
그림 3.20 음성적 명료도 결과 비교	55

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

공연예술문화는 대표적인 문화 사업으로 국민생활의 문화수준 향상과 문화예술에 대한 관심의 증가는 공연공간에 대한 다양한 요구와 활발한 공연장 건립으로 나타났다. 국내에서 2006년 12월을 기준하여 다목적 홀로 설계되어 운영되고 있는 공연장으로서 문화관광부에 등록된 문예회관은 공공/민간부문을 포함하여 전국 558개소에 이른다.

건축물 내부의 공간이 음향적으로 중요한 기능을 수행하게 될 때에는 그 실의 사용목적에 따라 음향상태가 적합하게 설계되어야 하며, 실제로 실을 사용하는 사용자가 가장 만족하는 상태가 되어야 한다. 그러나 기존에 설계된 국내 공연장은 음향요구조건을 단순히 청취목적으로 설정한 일반 공간과 마찬가지로 실내에서의 충분한 음향적 검토와 계획 없이 이루어진 결과, 2001년 문화관광부의 조사결과에 의하면 문예회관의 중심공간인 대 공연장의 음향성능이 매우 열악한 것¹⁾으로 나타났다. 이는 공연장의 설계단계에서 시각적·청각적으로 수준 높은 관람여건을 수용하려는 노력과 know-how의 부족이 주요 원인이라 할 수 있다.

실제로 설계단계에서 건축 음향적 고려가 이루어지지 않은 상태로 시공된 공연장에서 이로 인한 음향적 결함이 발생한 후에야 실내 음향설계를 통한 보수공사가 이루어지는 형태가 대부분이다. 이로 인한 경제적, 시간적 손실이 심각한 수준이며, 이미 시공된 공연장은 그 형태나 평면을 변경할 수 없으므로 부득이 음향성능 개선을 위해서는 흡음재를 부착하거나 전기음향적인 방법에 의존하는 경우가 대부분이다.

따라서 본 연구에서는 1993년 개관된 J시 문화회관 대 공연장을 대상으로 하여 실내 마감재의 변화에 따른 실내 음향성능을 평가한 결과를 토대로 향후 다목적

1) 문화관광부, 문예회관 표준모델 개발연구, 2001

홀의 음향성능 개선 가능성 및 음향 설계에 필요한 합리적이고 과학적인 기초자료로 활용하고자 하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

J시 문화회관 대 공연장의 실내 마감재 변경에 따른 음향성능의 개선 정도를 파악하기 위하여 마감재 시공 전과 후의 두 번에 걸쳐 측정을 실시하였으며, 컴퓨터 프로그램을 이용하여 대상 공간인 대 공연장의 체적을 기준으로한 음향설계기준을 산정하였다.

현장측정에서 데이터의 정확성을 확보하기 위하여 다수의 측정센서를 이용하여 신속한 측정이 되도록 하였으며, 외부 소음원의 영향을 최소화하기 위하여 개구부를 차단하였으며, 설비소음의 발생유무도 확인하였다. 측정은 객석의 중앙부에 무지향성 스피커를 사용한 noise generator를 설치하여 음원을 발생시켜, 객석 내 11개 지점에서 측정한 결과를 평균하였다.

측정항목은 측정지점에서 음의 분포상태를 알기 위하여 각 지점에서의 음압레벨과 실내의 울림이나 음성적 명료도를 파악하기 위하여 잔향시간, 음악적명료도, 음성적명료도로 선정하여 측정하였으며, 측정된 시공 전·후의 결과는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 RAYNOISE를 이용하여 실내음향성능 평가에 필요한 잔향시간과 명료도 평가요소로서 음악의 명료성에 대한 파라미터인 음악적명료도(C_{80} , Clarity), 초기음에너지비율인 음성적 명료도(D_{50} , Definition)의 설계기준치를 기준으로 분석하였다. 아래의 그림 1.1은 본 연구의 흐름도를 나타낸다.

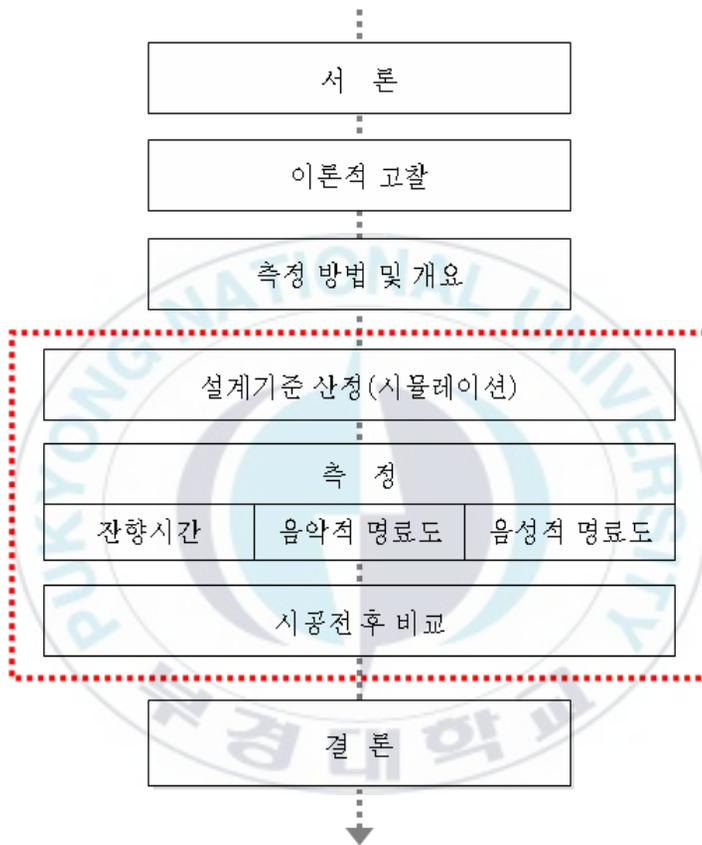


그림 1.1 연구의 흐름도

2. 실내음향 평가인자 및 기준

2.1 실내음향 평가인자

2.1.1 음의 물리적 성질

소리는 악기나 종과 진동체 등에서 발생된다. 물리적으로 보면, 음이란 압력의 변동이고, 탄성력을 갖고 있는 매질입자의 진동이다. 어떤 장소에서 발생한 진동은, 그 주위 공기의 입자군에 그대로 전달되어 그림 2.1과 같은 연쇄반응을 일으켜 입자군에 규칙적인 진자 왕복운동을 하게 된다. 이 왕복운동으로 인해 공기의 입자군이 압축 또는 팽창되어서 공기의 압력에 변화가 생기게 된다. 공기의 입자는 탄성력과 관성이 있으므로 물체의 진동에 의해 힘이 가해지면 피스톤운동을 일으키게 된다. 즉, 압축, 팽창운동이 반복되면서 밀도 변화를 일으켜 소밀과로 진동체를 중심으로 사방으로 전파되는 물리현상이 소리이다. 공기 중의 입자는 정지 상태에 있는 것이 아니며, 항상 여러 방향과 속도를 갖고 무질서하게 운동하고 있다가 급격한 진동이 발생하면 앞에서 말한 현상의 입자군 운동이 시작되면서 음으로 전파되는 것이다.

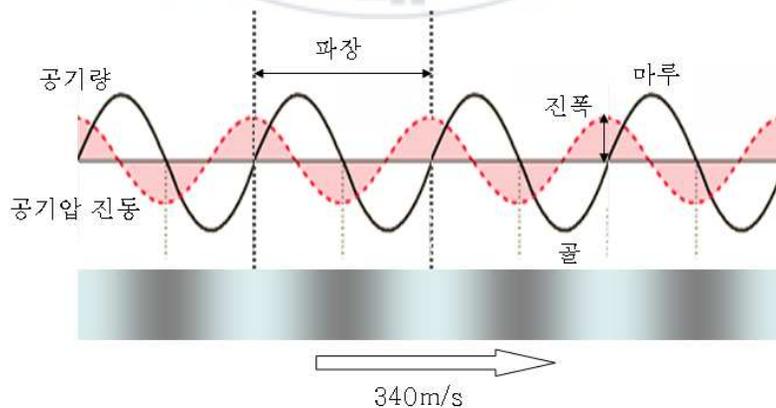


그림 2.1 음의 전파

1) 주파수와 파장

공기입자의 운동, 즉 음의 전파는 정현곡선을 그리며 반복한다. 단위 시간 내에 반복되는 횟수, 즉 1초간에 일어나는 진동수를 주파수(Frequency)라 하고 음의 고저를 나타낸다. 이를 기호 f 로 표시하며, 단위를 Hz를 사용한다. 그림 2.1에서 음의 파장과 진폭을 알 수 있으며, 아래의 그림 2.2에서 음의 주파수와 파장과의 관계를 알 수 있다.

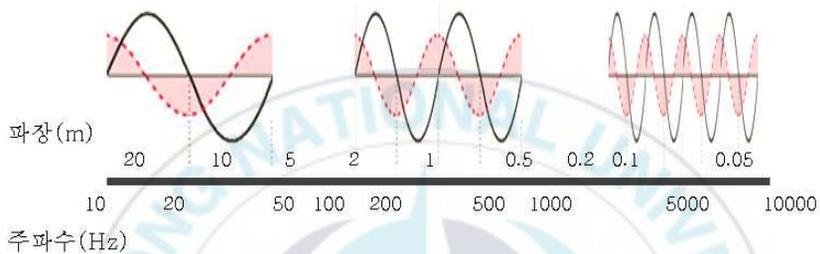


그림 2.2 주파수와 파장과의 관계

2) 소리의 전파속도

음의 전파속도(Sound Velocity)는 기압에는 관계가 없으나, 기온에 의해 영향을 받는다. 기온이 0°C 일 때의 음속은 약 330m/s 이고, 상온에서는 340m/sec 로 계산하는 경우가 많으며, 1°C 상승에 0.6m/s 가 증가된다.

3) 소리의 강도와 음압레벨

공기의 입자가 운동한다는 것은 입자가 일을 한다는 의미로 볼 수 있다. 이는 에너지가 존재하기 때문이며, 이 에너지의 전달은 그 강한 정도로 나타낼 수가 있다. 그 예로 어떤 점에서 음의 강도 또는 세기 (Sound Intensity)라 함은 그 점에서 음의 진행방향에 직각으로 단위면적(1m^2)을 단위시간(1sec)에 통과하는 음 에너지의 크기를 말한다. 정상 청력을 갖고 있는 사람의 음의 강도에 대한 가청범위는 $10^{-12} \sim 1 \text{ W/m}^2$ 정도이며, 음의 세기를 $J(\text{W/m}^2)$, 음압 실효치를 P 라 할 때 음의 세기(W/m^2)와 음 강도레벨(SIL, dB)사이의 관련은 다

음의 (식-2.1), (식-2.2)와 같다.

$$J = \frac{P^2}{\rho c} \dots\dots\dots(\text{식-2.1})$$

$$SIL = 10 \cdot \log\left(\frac{J}{J_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{J}{10^{-12}}\right) \dots\dots\dots(\text{식-2.2})$$

여기에서,

ρ : 공기의 밀도 [kg/m³]

c : 음속 [m/s]

음향 출력 P 의 음원으로 부터 거리나 실내의 반사조건을 고려해서 구하는 것은 어디까지나 음의 강도(SIL)이고, 레벨로서 표시할 때는 음압레벨로 표시할 때가 많다. 또 복수의 음이 음원이 되어 이 음이 포개질 때 가산 할 수 있는 것은 음의 강도로써 음압은 아니지만 결과는 음압레벨로 표시하게 되는 것이 통상적인 방법이다. 인간의 청각은 음압이 변화되면 그 대수에 비례하여 반응하게 된다. 음압의 실효치 P 와 음압의 기준치 P_0 를 dB로 나타내보면, 음의 강도와 음압은 비례관계가 있으므로 음압의 2제곱비를 이용하면 음압레벨(SPL : Sound Pressure Level)은 다음의 (식-2.3), (식-2.4)가 된다.

$$SPL = 10 \cdot \log\left(\frac{P^2}{P_0^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right) [\text{dB}] \dots\dots\dots(\text{식-2.3})$$

$$= 20 \cdot \log\left(\frac{P}{2 \times 10^{-5}}\right) [\text{dB}] \dots\dots\dots(\text{식-2.4})$$

여기에서, $P_0 = 2 \times 10^{-5} [\text{N/m}^2 : \text{Pa}]$

2.1.2 실내 음향 특성

1) 음의 반사와 확산

경질이고 평탄한 표면은 입사음에너지의 대부분을 반사한다. 볼록면에서의 반사는 실내의 반사음을 산란케 하는 경향이 있고, 오목면은 집중하는 경향이 있다. 그러나 음파는 음의 파장과 반사체 또는 확산체 크기에 따라 특성이 다르다. 음의 효과적인 반사음은 실내 음압 분포를 고르게 하고 음의 적당한 확산은 음의 적당한 여운을 주어 자연성을 강조하게 되므로 실내의 음향 조건에 있어서 더 좋은 효과를 부여하게 한다. 다음의 그림 2.3은 오목면에서의 음의 집중, 그림 2.4는 볼록면에서의 음의 반사를 나타낸다.

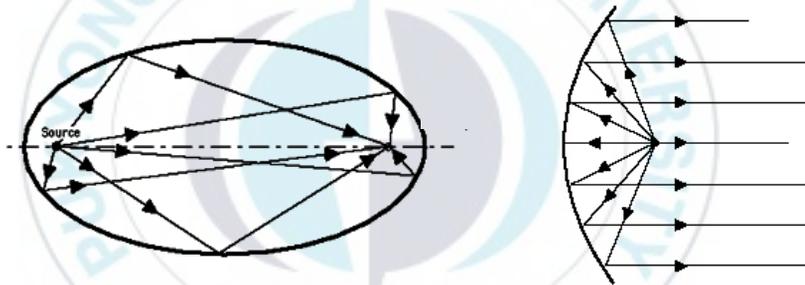


그림 2.3 오목면에서의 음의 집점 (Sound Spot)

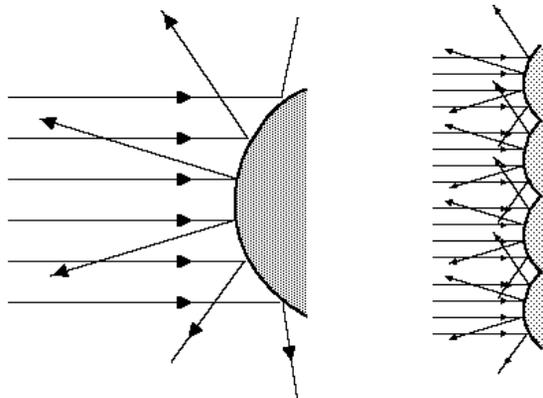


그림 2.4 볼록면에서의 음의 반사

음을 확산시키는 방법은 여러 가지가 있다.

① 불규칙한 표면, 즉 주형, 창문, 보, 격천정, 발코니 등 건축요소를 많이 적용한다.

② 흡음재와 반사재를 불규칙적으로 분사, 배치한다.

③ 평행대향벽을 피한다.

④ 확산체의 크기를 확산효과를 기대할 수 있는 치수로 정한다.

그림 2.5는 실의 형태에 따른 음의 확산현상을 나타낸다.

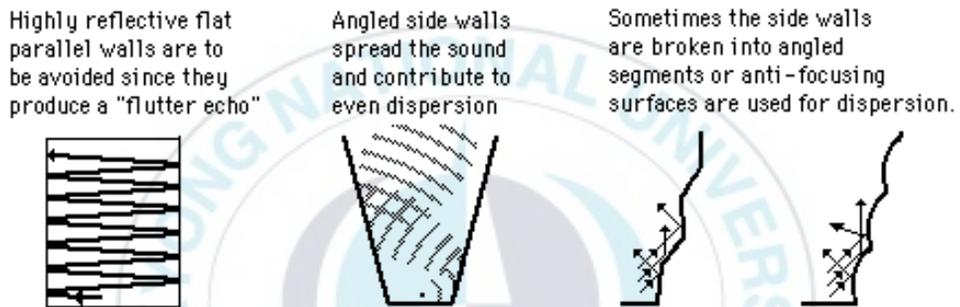


그림 2.5 실의 형태와 음의 확산

실내에서 음을 발생하면 수음점에서는 음원으로부터의 직접음 외에 주위 벽과 천장으로부터 많은 반사음이 도달하게 된다. 즉, 실내음장은 직접음(Direct Sound)과 반사음(Reflected Sound)으로 구성된다고 할 수 있다. 그림 2.6은 실내음향의 특성을 나타낸다.

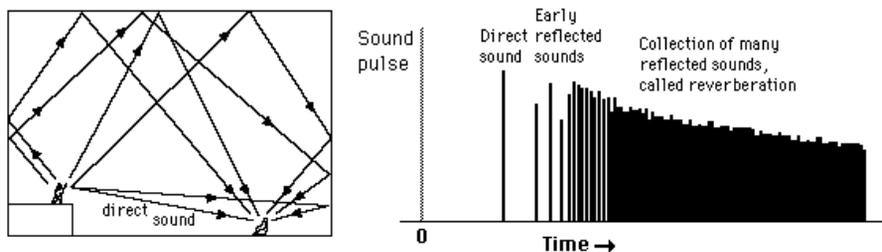


그림 2.6 실내음향 특성

이 반사음은 직접음에 대하여 반드시 늦게 도달하지만 그 입사방향 및 레벨이 가지각색이며 반사음의 중복으로 인해 아주 복잡한 음장을 만들게 된다. 이와 같은 복잡한 음장을 확산이라는 이상적인 음장으로 가정함에 따라 단순화하여 다룰 수 있다.

2) 음의 회절

음파는 파동현상이 있으므로 회절한다. 음파의 회절 현상은 고주파 보다는 저주파음에서 심하게 나타난다. 발코니 형식 객석의 경우, 발코니 밑 깊숙이 앉아 있는 관객은 프로세니움(Proscenium)에서 발생하는 직접음을 받지 못하는 ‘음향의 그늘’ 속에 있게 되는데, 이 지점은 짧은 파장의 고주파음은 발코니 돌출부 선단으로 회절하지 않기 때문에 많은 감쇠현상이 일어나고 저주파음은 회절현상이 있으므로 음향적 결점이 보완되는 것이다. 다음 그림 2.7과 그림 2.8은 음의 회절 현상을 나타낸다.

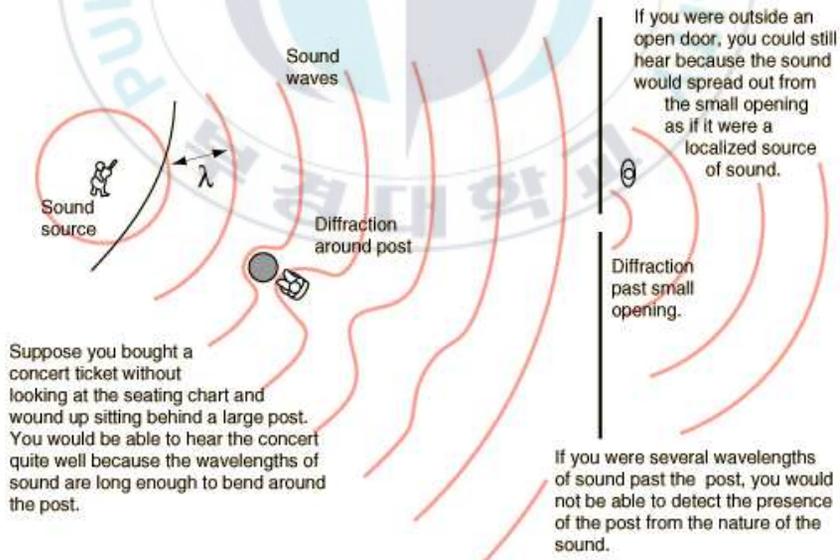


그림 2.7 음의 회절 현상-1

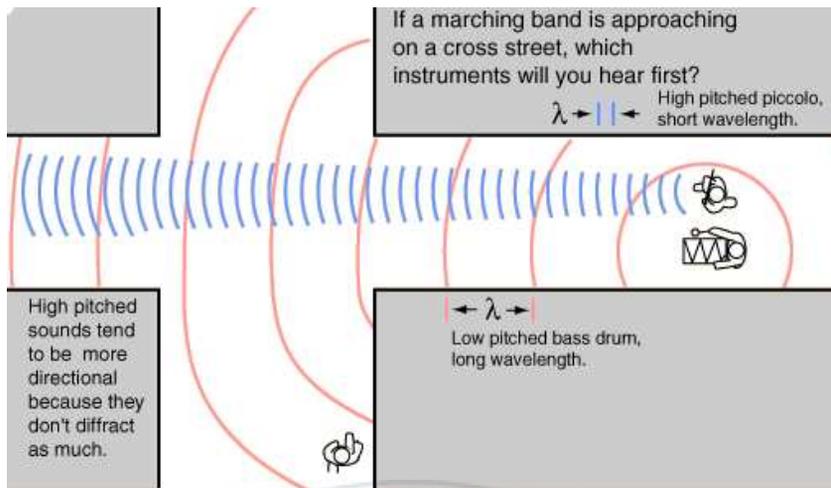


그림 2.8 음의 회절 현상-2

3) 음의 흡음과 잔향

재료 표면에 입사되는 음향에너지는 마찰, 저항 및 진동 등에 의해 음향 에너지 일부가 열에너지로 변환된다. 어떤 재료가 어떤 주파수를 어느 정도 흡음효과를 갖는가 하는 것은 흡음률로 평가된다. 일반적으로 흡음률의 수치표는 가청 주파수의 주요부분을 대표한 표준주파수 보통 1/1옥타브밴드대역인 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000Hz에 대해 작성되고, 잔향실법 흡음률 측정치에 의한다.

실내에서 음이 갑자기 멈추면 그 음은 바로 없어지지 않고 약간의 시간이 경과한 후 멈춘다. 이 음의 울림이 남는 현상을 잔향이라 한다. 잔향은 청중석의 청취 조건에 많은 영향을 미치게 된다. 잔향이 너무 길면 회화음의 이해도를 저하시키고, 음악은 각 악기의 분리가 명료하지 못해 빠른 연주음은 혼란스러워진다. 반면 잔향이 너무 없으면 음악의 풍부성은 없어지고 메말라진다. 청중석의 잔향은 회화음의 이해도를 높이고 음악의 쾌적한 음향이 되도록 조정되어야 할 것이다. 잔향 시간(Reverberation Time : RT60)은 잔향의 길이를 표시하는 표준 척도이다. 이것은 음원이 멈춘 후 실내의 음압레벨이 60 dB 감쇠하는데 필요한 시간이다.

4) 실의 공명

실내에서의 음은 특정주파수음이 중복(주로 저음역) 강조되어 울리므로 명료도는 저하되고 어떤 특정음의 주파수와 그 실의 공명주파수가 일치하게 되면 공명 현상으로 인해 보다 큰 음으로 들릴 것이다. 실의 공명 주파수의 중복을 피하고 균등하게 분포케 하려면,

- ① 실의 형태를 음향적으로 바람직한 비율 (Proportion)
- ② 실의 주변은 불규칙하게
- ③ 많은 확산체의 적용
- ④ 흡음재의 분산 배치 등으로 해결이 가능하다.

5) 음상 (Acoustical Image)

음상은 실내음향설계에 있어서 평면이나 단면 등 실험을 검토하고 반사를 결정하는데 적절한 방법으로 운용되고 있다. 음선은 음원이 반사 평면 한쪽에 있을 때 반사면을 사이에 둔 수직 동선 거리에 광학적인 상과 유사한 음상을 작성할 수가 있다. 무대 위에 음원이 있을 때 각 객석의 음압레벨은 음원에서의 직접음과 음상에 직진하는 천정 반사음으로 계산할 수 있다. 그림 2.9와 같이 Computer Simulation을 사용하여 계산되며 객석의 음압도를 통하여 확인할 수 있다.

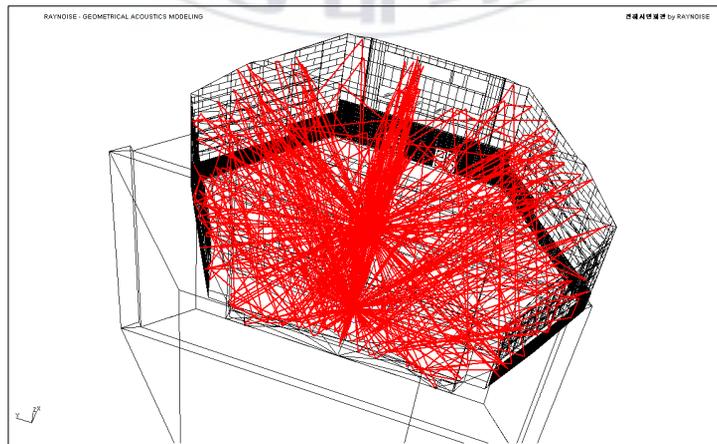


그림 2.9 컴퓨터 프로그램상의 음상

2.1.3 연구 동향

실내음향의 연구는 청취자의 심리효과를 결정하는 주관적인 요소와 다목적 홀의 건축적·음향적 특성간의 상호 관련성을 규명하는 것을 목표로 하는 경우가 많다. 이러한 연구는 1950년대 Beranek L.L.가 실험적·이론적으로 광범위하게 시도한 이후 Marshall A.H., Schroeder M.R., Barron M., Jordan V.L. 등에 의하여 계속적으로 연구되어 왔으며, 최근에는 홀의 음향효과를 객관적으로 평가하는 방법이 제시되고 있다.

Hawkes R.J. 와 Douglas M.H.(1971)는 실내음향의 주관적인 평가에서 잔향감(Reverberance), 차분함(Evenness), 친밀감(Intimacy) 등에 대한 상호 관련성을 규명하였으며, Barron M.(1971)은 측면으로부터의 초기 반사음이 음장의 확산감(Spatial Impression)과 간섭효과(Correlation)에 미치는 영향을 실험하여 발표하였다. Yamaguchi K.(1972)는 관객위치에 따른 음향효과의 심리적 차이를 분석하고, 그 결과에 다차원척도 구성법(Multi Dimensional Scaling Method)을 적용하여 주관적 요소와 음향적 특성간의 관계를 규명하였다. Schroeder M.R. 와 Gottlob D., Siebrasse K.f.(1974) 등은 유럽의 22개 홀에서 스테레오 재생음을 Dummy Head로 녹음하여 심리효과(Preference)와 음향적 특성간의 상호관련성을 연구하였다.

그 이후 Jordan V.L.(1981)은 잔향시간과 측벽효과(Lateral Efficiency), 명확성(Clarity), 그리고 초기감쇠시간(Early Decay Time)의 주파수 특성에 따른 음향적 특성과 심리효과의 상호관련성을 규명하였다. Vorlander M.와 Kuttruff H.(1985)는 다목적 홀의 건축적 특성이 음향적 요인이 미치는 영향에 대하여 측방향과 전·후방향의 초기 반사음 에너지비(Seitenschall Grad)를 이용한 연구결과를 발표하였다. 한편 Ando Y.(1985)는 음향적 특성 가운데 잔향시간, 음압레벨, 초기 반사음의 지연시간을 시각적 요소로 선정하고, 양쪽 귀의 상호관계(Interaural Crosscorrelation)는 공간적 요소로 선정하여 심리적 효과와의 관련성을 예측할 수 있는 연구를 수행하였다.

이상에서와 같이 각종 다목적 홀의 음향성능은 청취자들의 심리적 반응을 건

축·음향적 특성에 의하여 다양하게 평가할 수 있으며, 따라서 단편적인 관련 변수들간의 상호관련성을 수리적으로 규명하기 보다는 청취자들의 심리적 효과를 파악할 수 있는 총체적인 접근방식이 필요함을 알 수 있다.

실내음향에 관한 연구에서 심리적인 효과에 영향을 미치는 인자로서의 음향적 특성은 Beranek L.L.가 뉴욕 필하모니홀의 음향개선 설계에서 도입한 초기 반사음의 지연시간차(Initial Time Decay Gap)와 Sabine에 의하여 정립된 잔향시간으로 대표할 수 있다. 그 밖의 음향적 특성은 실내에서 균일한 청취조건을 확보하기 위한 음압 분포와 실의 형태계획에 관한 요소들이다.

음향적 특성 가운데 축방향으로부터 도달하는 초기 반사음의 방위각과 양쪽 귀의 간섭성은 음향설계자의 지식 및 경험에 의하여 음향적으로 쾌적한 공간을 확보하기 위한 실의 형태 계획에서 고려하여야 할 사항이다. 그리고 초기 잔향시간의 주파수 특성은 음향설계의 초기 단계에서는 예측이 불가능하며, 완공 후 평가에 의하여 파악할 수 있는 사항이다. 결과적으로 수리적 모델을 기초로 한 음향성능 평가인자로 이들을 선정하는 것은 불합리하다. 기존의 실내음향연구에서 제안한 건축·음향적 특성을 음향성능평가인자로 분류하면 다음의 표 2.1과 같다.

표 2.1 건축·음향적 특성 분류

평가인자	건축·음향적 특성	비고
음선거리	음원과 수음점 거리 초기 반사음 지연시간 직접음과 반사음의 비율 음압분포 (음압레벨) 측면 반사음 비율 (측벽효과)	실형태의 평가
잔향시간	고음역 잔향시간 음절명료도 명확성	실내마감재료 평가
차음	적정 감소음 유지	구조체의 평가
기타	초기반사음의 방위각 양쪽 귀의 간섭성	실형태 계획
	초기잔향시간의 주파수 특성	완공후의 평가

2.1.4 실내 음향 평가인자

1) 음선거리(Sound Path)

(1) 유효반사음의 지연시간차 (Delay Time Gap)

1985년 Sabine W.C.은 Fogg Art Museum의 음향개선에 관한 설계에서 잔향시간에 관한 최초의 이론을 확립한 이후 계속된 연구에서 잔향시간뿐만 아니라 직접음의 효과를 보강하는 초기반사음이 음향환경을 결정하는 중요한 변수임을 밝혀냈다.

Beranek 나 Sukharovskii I.M., Hass H. 등이 음의 순차적인 도달을 감지하는 청취자의 주관적인 반응을 실험한 결과에 의하면, 직접음을 유효하게 보강하는 반사음의 지연시간은 50ms가 그 상한선이다. 그러나 음악연주를 목적으로 하는 홀에서는 음의 의미를 인지하도록 하기 보다는 음의 충만성을 느끼도록 하는 것이 중요하므로 80ms 정도 지연된 반사음의 경우 까지도 허용된다. 그러므로 다목적 홀에서 직접음과 초기반사음의 적정지연시간은 연주되는 음악의 유형에 따라 달라져야 하며, 또한 각 좌석에 도달하는 반사음이 반향(Echo)을 일으키지 않도록 실의 형태를 계획하여야 한다.

반사음의 지연 시간차는 직접음이 도달한 후 반사음이 도달될 때까지의 시간차로 정의되며, 초기지연시간차(EDT : Early Decay Time)는 각 반사면에 의하여 도달되는 유효반사음 경로 중 최단경로의 거리를 기하학적으로 계산하여 검토할 수 있다.

지연시간차(Delay Time Gap)는 기하학적 음선작도법에 의하여 직접음과 반사음의 거리를 작도한 다음의 (식-2.5)에 의하여 계산할 수 있다.

$$DTG = \left(\frac{L_r}{C} - \frac{L_d}{C} \right) \times 10000 [\text{sec}] \dots\dots\dots(\text{식-2.5})$$

여기에서,

DTG (Delay Time Gap) : 직접음과 유효반사음의 지연시간차 [ms]

L_r : 반사음의 거리 [m]

L_d : 직접음의 거리 [m]

C : 음의 속도 [m/sec]

다음 그림 2.10은 반사음의 지연현상을 가시화한 것이다.

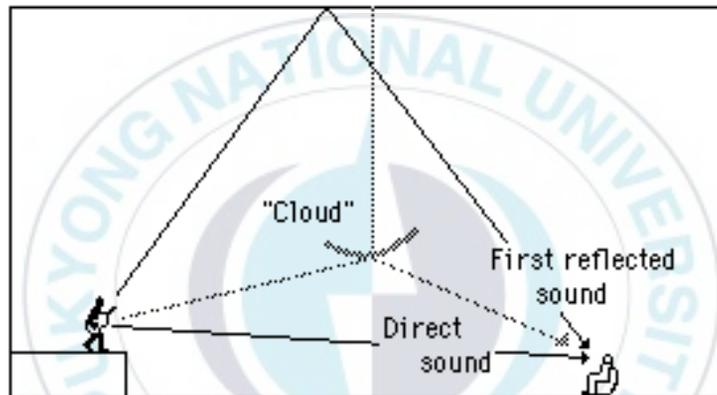


그림 2.10 반사음의 지연현상

(2) 음압레벨 (SPL : Sound Pressure Level)

유효한 초기 반사음의 평가에서 주관적인 느낌의 정도를 변화시키는 변수로는 지연 시간차뿐만 아니라 반사음의 음압레벨도 중요한 변수이다.

Veneclasen P.S.은 음악당의 주관적인 평가에서 사람들로 하여금 가장 만족스러운 느낌을 갖도록 하는 것은 ‘여운이 있는 명확성’ 이라고 제안하였다. 그 명확성은 잔향감의 존재 하에서도 초기의 음에너지 비율이 높을 경우에 확보될 수 있다. 그리고 초기 반사음의 주관적인 감정을 결정하는 가장 중요한 변수는 직접음에 대한 시간차 보다는 음압레벨의 차이이며, 실제로 음압레벨이 가장 높은 반사음이 청중들이 느끼기에 직접음을 보강하는 유효한 반사음이 된다.

따라서 각 반사면으로부터 도달하는 반사음을 직접음의 보강에 효과적으로 이용하기 위해서는 반향을 느끼지 않는 범위에서 각 좌석에 도달하는 반사음의 음압레벨을 증가시키는 방법을 사용할 수 있다.

실내음장의 분포는 음원에서 수음점까지의 음선거리에 따라 좌우되므로 실내에서 소리가 발생되어 실내음장이 정상적인 평행상태에 도달되었을 때 음선거리에 따른 음압레벨은 다음 (식-2.6)에 의하여 계산할 수 있다.

$$SPL = PWL + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) \text{ [dB]} \dots\dots\dots(\text{식-2.6})$$

여기에서,

SPL : 수음점의 음압레벨 [dB]

PWL : 음원의 파워레벨 [dB]

r : 음선거리 [m]

R : 실정수 (Room Constant)

Q : 음의 지향계수

- 1=음원이 무지향성 공간에 위치할 때
- 2=음원이 반지향성 공간에 위치할 때
- 3=음원이 두면과 접하는 부분에 위치할 때
- 4=음원이 세면과 접하는 부분에 위치할 때

각 좌석의 총 음압레벨은 다수의 직접음과 반사음의 합성에 의하여 이루어지므로 다음 (식-2.7)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\Delta L = 10\log(1 + 10^{-(L_1 - L_2)/10}) \text{ [dB]} \dots\dots\dots(\text{식-2.7})$$

여기에서,

L : 두음의 합성 보정치 [dB]

L_1, L_2 : 합성하고자 하는 두음의 음압레벨 [dB]

2) 잔향시간 (Reverberation Time)

Sabine W.C.에 의하여 도입된 잔향이론은 가장 오래된 물리적인 측면의 음향환경변수이다. 20세기 초 수십 년간은 음의 본질적인 속성이나 반향, 요해도 등의 음향인자들과 실내음장상태간의 상호관련성에 관한 연구의 부족으로 잔향시간이 실내음향을 대표하는 것으로 받아들여졌다. 그리고 현재까지도 과도적으로 해석하기 어려운 실내음장상태를 이론적으로 단순, 명쾌하게 해석할 수 있다는 이유로 잔향이론의 기본적인 정의는 그대로 지켜지고 있다.

Sabine의 잔향식은 잔향시간이 긴 실(Live Room)에서는 실험치와 일치하지만, 잔향시간이 짧은 실(Dead Room)에서는 실제보다 크게 나오게 된다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 Eyring C.F.은 실내표면으로부터의 반사음이 허상(Image Source)으로부터 나오는 것으로 가정하였다.

따라서 무한히 계속되는 반사는 무한히 먼 곳까지 허상이 존재하므로 음원이 정지한 후에도 음에너지는 계단식으로 감쇠한다는 추론에 의하여 Sabine의 결점을 보완한 (식-2.8)을 유도하였다.

$$T = \frac{K \cdot V}{-S \cdot \log_e(1 - \alpha)} \text{ [sec]} \dots\dots\dots \text{(식-2.8)}$$

여기에서,

T : 잔향시간 [sec]

V : 실의 용적 [m^3]

S : 실의 표면적 [m^2]

α : 실내의 평균 흡음률

음파가 전달될 때 그 에너지는 매질에 흡수되어 감쇠한다. 따라서 실의 용적이 클 경우에는 공기의 흡수에 의한 고주파수음의 감소를 무시할 수 없으므로 공기에 의한 흡수를 고려하여야 한다. 이와 같이 음이 공기 중에 전파 될 때 흡수되는 현상을 반영하여 Eyring의 잔향식을 보완한 식이 Knudsen V.O.과 Harris C.M.에 의하여 제안된 (식-2.9)이다.

$$T = \frac{K \cdot V}{-S \cdot \log_e(1 - \alpha) + 4mV} \text{ [sec]} \dots\dots\dots(\text{식-2.9})$$

여기에서, 공기의 흡수에 의한 감쇠율은 실내의 온도와 습도에 따라 변화되며, Knudsen과 Harris의 실험에 의하여 제안되었다. 다음의 그림 2.11은 잔향시간의 개념을 가시화하여 나타낸 것이다.

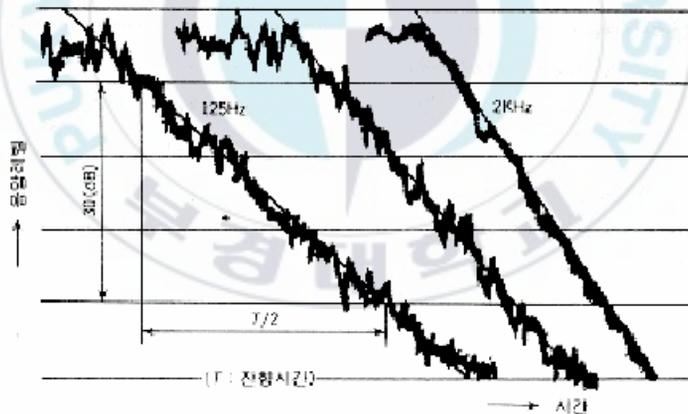


그림 2.11 잔향시간 (Reverberation Time; RT60)

최적 잔향시간(Optimum Reverberation Time) 가청주파수 범위에서의 잔향시간과 실내에서 음의 성장이나 감쇠특성 그리고 청취자에게 도달하는 직접음과 잔향음의 적절한 비율에 대한 개념을 포함하고 있다. 따라서 목표잔향시간의 선정은 음향계획상에서 중요한 과정이며, 이론적으로나 경험적으로 많은 지식이

필요하다.

실의 사용목적과 용적에 따른 최적잔향시간은 여러 가지 경험치나 이론치에 의해 제안되고 있으며, 각 용도에 따라 실의 규모가 증가할수록 상대적으로 최적잔향시간도 길어지는 것을 알 수 있다.

3) 잔향감(Reverberance)

실내에서 발생한 음은 발생과 동시에 실의 잔향 특성에 종속적으로 감쇠과정을 시작하게 된다. 특히 감쇠과정의 초기부분은(실험적인 많은 연구들에 의하여) 잔향감(Reverberance)이라는 주관적 느낌과 밀접한 상관관계를 가지며 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다. 이는 지극히 당연한 것이다. 음악은 연속적인 음표들로 구성되어 있으므로 잔향이 존재하는 실제 음향공간에서는 선행하는 음의 감쇠부분은 뒤따르는 음에 의해 마스킹되기 때문에 청취자들은 각 음의 후기 감쇠부분보다는 상대적으로 초기부분에 더욱 예민해지게 된다.

감쇠과정의 초기부분과 관련된 시간은 초기감쇠시간(EDT : Early Decay Time)이라 불리며, 실내에서 음 발생 후 그 에너지가 10dB 감쇠하는데 소요되는 시간으로써 정의된다. 일반적으로 잔향시간(RT : Reverberation Time)과의 비교 목적으로 측정된 초기감쇠시간에 6배를 하여 사용하기도 한다. 잔향시간은 수많은 반사음들로 구성되지만 초기감쇠시간은 소수의 초기 반사음들로 구성되게 된다. 초기 반사음들은 쉽게 추적이 가능한 실표면으로부터 도달하므로 실의 기하학적 형상에 보다 종속적이다. 반면 잔향시간은 궁극적으로 실의 모든 표면으로부터 도달하는 반사음에 의한 것이므로 실의 기하학적 형상에는 비 종속적이라 할 수 있다.

실내 발생음의 후기감쇠부분 즉 잔향음이 전적으로 실의 음향특성과 무관한 것은 아니다. 실제로 실내에서 음악의 청취시에 생동감(Liveness)이라는 주관적 느낌을 유발하는 요소는 바로 이 후기 감쇠 부분, 즉 잔향음에 의한 것이다. 따라서 만족스러운 음악의 감상을 위해서는 짧은 초기 감쇠시간(EDT : Early Decay Time)과 상대적으로 보다 긴 잔향시간을 갖도록 실을 계획하는 것이 바람직하다. 짧은 초기감쇠시간은 음악에 명료도를 부여하며, 상대적으로 긴 잔향시간을

통해 음악적 생동감을 확보할 수 있다. 다음 그림 2.12는 음의 감쇠특성의 예를 나타낸다.

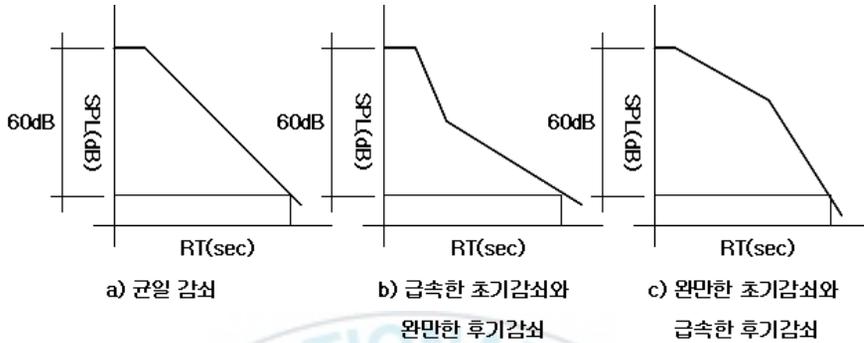


그림 2.12 실내에서의 음의 감쇠특성

4) 음성적 명료도 (D_{50} : Definition)

음의 명료한 청취는 Speech가 중요한 실내 체육관과 같은 용도의 공간에서는 중요한 음향조건이다. 또한 음악 연주에서도 각 악기의 위치가 명료하게 분리됨과 동시에 시간의 흐름 중에서도 윤곽이 명료한 것이 바람직하다.

긴 지연시간으로 청취자에게 도달한 반사음은 바람직하지 못한 경우 반향(Echo)으로 인식되며 바람직한 경우에는 실제 잔향을 더해지게 된다. 잔향은 회화의 명료성을 저해하기 때문에 긴 지연반사는 회화전달의 관점에서 해롭게 생각되어 진다. 따라서 반사음 중에서 직접음을 보강하는 유용한 반사음의 한계범위를 결정하기 위한 연구와 그에 따른 기준이 연구되어지고 있다. 이러한 기준들을 확인하기 위해서는 회화적 명료도를 직접적으로 측정해야 할 필요가 있다. 이러한 객관적인 기준을 위한 최초의 시도의 하나로 Thiele R.은 그것은 Definition(D_{50})이라고 하였다.

초기 및 후기영역의 임펄스응답에 관한 변수로 지연시간이 50ms를 초과하지 않는 범위에 도달되는 초기 반사음 및 그 뒤에 계속되는 반사음들은 청취자들에게 매우 잘 지각될 수 있으며 이와 같은 현상을 지각의 한계라 하고 여기에 착안

하여 유용한 음이라 불리는 직접음 및 초기반사음과 전체음에너지와의 비 D_{50} 을 제안하였다. D_{50} 을 식으로 표현하면 다음의 (식-2.10)와 같다.

$$D_{50} = \frac{\int_{0ms}^{50ms} E(t)dt}{\int_{0ms}^{\infty} E(t)dt} \dots\dots\dots(식-2.10)$$

이는 회화적 명료도뿐만 아니라 음악의 청감에도 유용하게 쓰이는 제안이다. 이 D_{50} 값은 짧은 지연반사음이 많을수록, 잔향시간이 짧고 비교적 실의 체적이 작을수록, 청취자들이 음원에 충분히 가까울 때 좋아진다. D_{50} 값과 음의 충만성은 역함수적인 관계로 D_{50} 값이 높은 실은 보통 잔향시간이 짧고 반대로 잔향시간이 짧은 실은 D_{50} 값이 높다. 음악당에서의 적정 D_{50} 값은 30~40% 이며, 다목적홀에서의 적정 D_{50} 값은 50~60% 이다.²⁾

5) 음악적 명료도 (C_{80} : Clarity)

앞의 Definition 과 개념상 유사하지만 콘서트홀에서의 음악에 대한 명료도를 나타내기 위해 명료도지수(Clarity Index)인 C_{80} 값이 Reichart 등에 의해 제안되었다. D_{50} 값의 50ms 비해 80ms를 지연시간의 한계로 하는데 음악에서는 반사가 회화음보다 덜 인지되기 때문에 이러한 허용치를 두게 된다. 초기음은 직접음이 도달한 후 초기 80ms이내에 도달하는 음을 지칭하며 그 이후에 도달되는 음은 잔향음으로 간주되며, 다음의 (식-2.11)에 의해 산정된다.

$$C_{80} = 10 \cdot \log \left(\frac{\int_0^{80ms} P^2(t)dt}{\int_{80ms}^{\infty} P^2(t)dt} \right) [dB] \dots\dots\dots(식-2.11)$$

2) 김재수, 건축음향설계, 도서출판 세진사, 2004

잔향이 없는 경우 음악은 매우 명료하게 들릴 것이며 이 경우, C_{80} 은 아주 큰 양의 값(dB)을 갖게 된다. 잔향시간이 긴 실의 경우 (예를 들면 대규모 성당), 음악의 명료도는 매우 저하되며 C_{80} 은 아주 큰 음의 값(dB)을 갖게 된다. 0dB의 C_{80} 은 초기음에너지와 잔향음에너지가 동일한 경우에 얻게 된다. Jordan은 음악적 명료도를 확보하기 위해서는 C_{80} 이 ± 2 dB의 범위에 들도록 계획하는 것이 바람직하다고 제안하고 있다. Beranek은 전세계 35개 유명홀들을 대상으로 $C_{80}(3)$ 을 분석하였다. $C_{80}(3)$ 은 3개 주파수 대역에서의 C_{80} 값을 산술평균한 값으로서, A+ 및 A등급에 해당되는 홀들은 0~(-)4dB의 범위에, 그리고 B+등급의 홀들은 (-)2~2dB의 범위에 존재한다는 사실을 밝힌 바 있다.

6) 음의 이해도 (RASTI)

명료도의 계수 중에서 강연이나 실내 방송시 음성전달의 이해도를 나타내는 RASTI(Rapid Sound Transmission Index)값은 음의 이해도지수로 널리 쓰이고 있다. 특히 RASTI 값은 스피커나 음성의 내용을 사람이 얼마나 잘 알아듣고 이해하는가에 대한 평가지수로서 소극장과 같은 Speech 위주의 공간의 음향환경을 평가하는데 매우 중요한 지표라고 하겠다. 표 4는 음전달성능과 RASTI 값과의 관계를 나타내며, RASTI 값에 따른 실내음향의 평가치수의 범위는 표 2.2에 나타난 바와 같다.

표 2.2 음전달성능과 RASTI와의 관계

Quality Score	RASTI
Bad	< 0.32
Poor	0.321~0.45
Fair	0.45~0.60
Good	0.60~0.75
Excellent	0.75 <

7) 국외 홀의 각종 음향 평가 지수 실측자료

다음의 표 2.3은 국외의 유명 홀의 각종 음향 평가 지수를 나타낸다. 특별한 음향계획이 이루어진 홀이기 때문에 적절한 음향성능을 유지하고 있음을 알 수 있다.

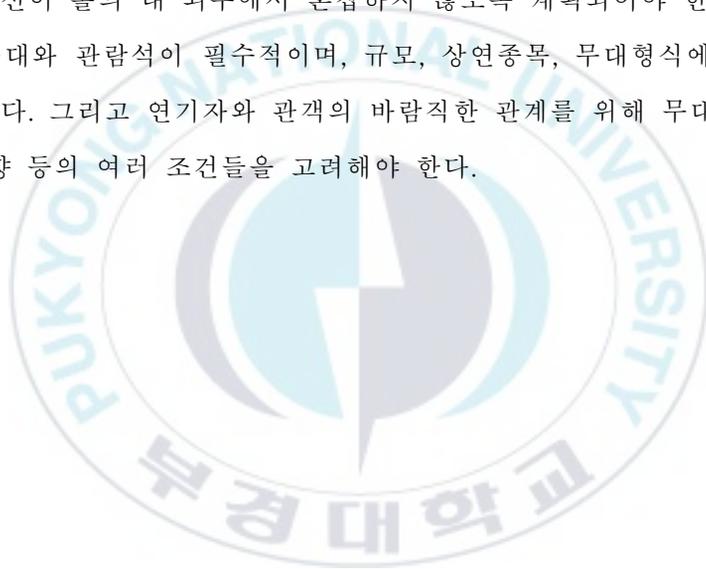
표 2.3 국외 홀의 각종 음향 평가 지수

홀 명	평가 지수	공석 /만석	중 심 주 파 수 (Hz)						비 고
			125	250	500	1k	2k	4k	
Abravanel Symphony Hall (Salt Lake)	RT	공석	2.45	2.29	2.18	2.13	1.86	1.55	1979년 개관 2812석
	RT	만석	-	1.90	1.90	1.80	1.70	1.40	
	EDT	공석	2.69	2.51	2.26	2.04	1.72	1.38	
	C80	공석	-5.10	-3.90	-2.30	-0.60	0.10	1.30	
Avery Fisher Hall (New York)	RT	공석	1.93	1.98	2.15	2.18	2.06	1.80	1976년 개관 2742석
	RT	만석	1.60	1.76	1.78	1.74	1.74	1.80	
	EDT	공석	-	2.00	2.01	1.90	1.64	1.24	
	C80	공석	-	-2.80	-2.30	-2.00	-0.20	0.80	
Bunka Kaikan Hall (Tokyo)	RT	공석	2.10	1.85	1.95	2.00	2.00	1.80	1961년 개관 2327석
	RT	만석	1.98	1.66	1.54	1.49	1.39	1.30	
	C80	공석	-1.30	-0.80	-0.30	-1.00	-0.80	0.00	
Hamarikyu Asahi Hall (Tokyo)	RT	공석	1.63	1.68	1.83	1.93	1.90	1.71	1992년 개관 552석
	RT	만석	1.63	1.57	1.65	1.80	1.74	1.58	
	EDT	공석	1.53	1.72	1.82	1.80	1.75	1.62	
	EDT	만석	1.51	1.63	1.64	1.76	1.65	1.50	
	C80	공석	-0.30	-1.90	-1.20	0.00	0.60	0.30	
	C80	만석	-1.70	-1.10	-0.80	0.10	0.60	1.10	
Metropolitan Art Space (Tokyo)	RT	공석	2.80	2.60	2.60	2.60	2.40	2.10	1990년 개관 2017석
	RT	만석	2.60	2.30	2.10	2.10	2.00	1.70	
	EDT	공석	2.80	2.70	2.60	2.50	2.40	2.00	
	C80	공석	-5.88	-3.55	-0.85	-1.50	-1.07	-0.30	
Symphony Hall (Boston)	RT	공석	2.13	2.29	2.40	2.63	2.66	2.38	1900년 개관 2625석
	RT	만석	1.95	1.85	1.85	1.85	1.65	1.30	
	EDT	공석	2.04	2.14	2.24	2.50	2.62	2.23	
	C80	공석	-2.42	-2.63	-2.76	-2.52	-2.97	-2.31	

2.2 실내 음향 기준

2.2.1 공연 기능

음악연주회나 연극공연, 영화상영 등의 용도로 홀을 사용하는 것으로 고도로 발전하는 연출방법을 가능하게 하고 관객이 공연물을 잘 볼 수 있고 잘 들리게 하여 쾌적한 기분으로 무대를 향해 집중할 수 있는 공간이 요구된다. 이를 위해 완벽한 준비시설, 좋은 환경, 운영의 능률적인 계획이 필요하며 연기자, 관람자, 관계자 등의 동선이 홀의 내 외부에서 혼잡하지 않도록 계획되어야 한다. 공연을 위한 시설은 무대와 관람석이 필수적이며, 규모, 상연종목, 무대형식에 의해 분류되는 경우가 많다. 그리고 연기와 관객의 바람직한 관계를 위해 무대와 객석의 거리, 각도, 음향 등의 여러 조건들을 고려해야 한다.



2.2.2 회의, 연회 등의 집회기능

각종 세미나(seminar), 워크 샷(workshop), 좌담회, 토론회(symposium), 공개 토론회(forum), 패널토의(panel discussion), 강연회(lecture), 기념식, 각종회의, 강습회 그리고 각종연회 등의 기능이 수행되는 것으로 그 평면형태는 입식이나 좌식이나에 따라 달라진다. 주된 행사의 내용에 따라 최적수용인원이 바뀌며 물리적인 가구의 면적외에 정신적인 여유면적을 고려할 필요가 있다. 통계적 자료에 준해서 객석 수에 대한 대충의 넓이를 산정할 수 있으며 좌석을 배치할 경우의 일반적인 주의 사항은 다음과 같다.

- ① 主客의 좌석위치가 서비스 동선과 교차되거나, 그 위치에서 직접 실외가 보이지 않도록 한다.
- ② 홀의 형상은 정형에 가까운 직사각형이 일반적이고 사용도 편리하며, 실내의 약간의凹凸이 서비스 스페이스로 사용되기도 한다.
- ③ 너무 긴 방이나 기둥이 있는 방은 실내의 전망이 나쁘고 사용상 지장이 많으므로 주의 한다

홀 공간과 동등하거나 그 이상이 면적이 부대공간으로 필요하며, 넓은 면적으로비도 필요하고, 대회의나 학회, 기념식 등을 개최할 경우에는 대기공간과 사무공간이 필요하며, 가구 등의 집기 비품을 두기 위한 충분한 넓이의 창고도 필요하다. 또한 최근의 회의에서는 청각뿐만 아니라 시청각 병용에 의한 운영이 많고 각 회의장에는 영상 관계실, 스크린 장치 등이 불가피하고 또 개회, 폐회를 하는 總會場의 운영에는 연출효과가 요구됨으로 음향, 투광설비가 필수적이다.

실내음향의 목표는 다음과 같다.

- ① 방해되는 소음이 없어야 한다.
- ② 음악은 아름답고 풍부한 소리로 울려야 한다.
- ③ 실내 전체에 대한 음압분포가 균일해야 한다.
- ④ 에코현상과 같은 음향 장애가 없어야 한다.
- ⑤ 음성은 명료하게 들려야 한다.

이상과 같은 조건을 모두 만족시키는 것이 이상적인 실내음향 기준이라고 할 수 있다. 우선, 주변의 소음을 완전하게 처리되어야 한다는 것이 실내음향계획을 하는데 전제 조건이다. 한편, 홀의 잔향계획시에는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- ① 실내 음환경 조건을 가변하여 여러 가지 용도의 목적에 따라 최적의 조건을 조성할 수 있어야 한다.
- ② 주 사용 목적에 따라 잔향시간은 비교적 짧게 한다.
- ③ 전기음향설비의 효과를 높이기 위해서는 잔향시간을 비교적 짧게 하여 사용 목적에 적응한 음향조건을 합성 사용토록 한다.

건물내외의 소음을 충분히 고려하여 양호한 실의 형태를 결정하고 잔향시간의 계산을 행하여, 흡음재의 배치를 고려하면 음향설계를 완료하게 되는데, 잔향시간의 계산에서 흡음재의 배치까지의 과정은 다음과 같다.

- ① 잔향시간의 검토는 보통 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000Hz의 주파수에 대하여 실시한다.
- ② 최적잔향시간을 결정한다. (용도·용적에 따른 최적잔향시간 그래프를 본다.)
- ③ 최적잔향과 실의 용적에서 필요한 흡음력을 구한다.
- ④ 실내의 흡음력을 계산한다. (이 때 실내의 표면재료 뿐만 아니라 사람, 가구 등의 흡음력을 고려한다.)
- ⑤ 수정하여야 할 흡음력을 계산한다.
- ⑥ 계획적으로 음향재료를 배치한다.
 - 흡음특성에 맞는 재료를 선정한다. (중고음역, 저음역의 흡음재료)
 - 일반적으로 무대 근처부분은 반사성 재료마감, 객석 윗부분은 흡음성 재료마감으로 처리하는 것이 바람직하다.

2.2.3 최적잔향시간

최적 잔향시간은 가청주파수 범위에서의 잔향시간과 실내에서 음의 성장이나 감쇠특성 그리고 청취자에게 도달하는 직접음과 잔향음의 적절한 비율에 대한 개념을 포함하고 있다. 따라서 목표잔향시간(Optimum Reverberation Time)의 선정은 음향계획상에서 중요한 과정이며, 이론적으로나 경험적으로 많은 지식이 필요하다. 실의 사용 목적과 실의 용적 등을 알고 500Hz에 있어서의 최적잔향시간을 결정한다. 그림 2.13은 실의 용적과 잔향시간의 관계를 보이며, 표 2.4은 실의 용도와 잔향시간과의 관계를 보여준다.

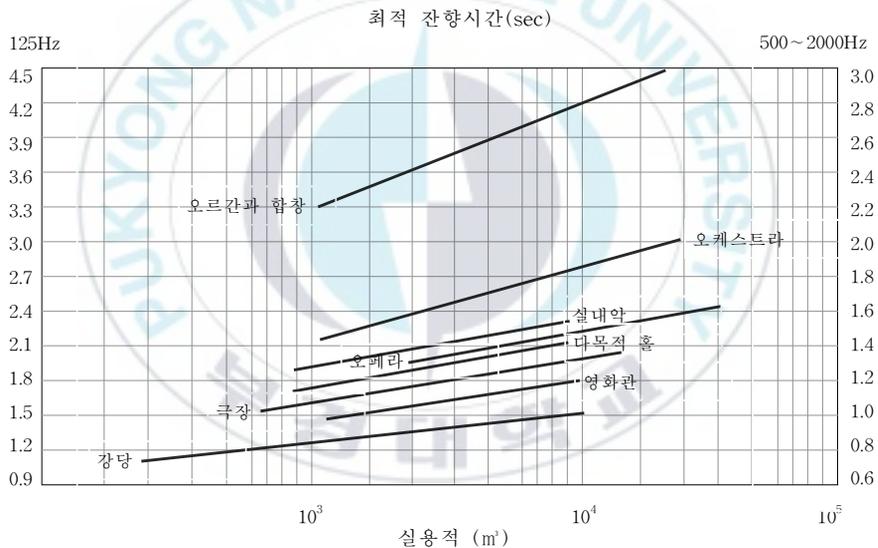


그림 2.13 실의 용적과 잔향시간

표 2.4 용도별 권장 잔향시간

용 도	잔향시간 (sec)	용 도	잔향시간 (sec)
Organ Music	2.5 <	Opera	1.3 ~ 1.8
Romantic Classical Music	1.8 ~ 2.2	Drama Theater	0.7 ~ 1.0
Speech	0.9 ~ 1.2	다목적 홀	1.2 ~ 1.5

다음의 표 2.5는 국내 주요 홀의 잔향시간을 보여주는데, 최저 0.81(국립 국악원)[sec]에서 최고 2.60(예술의 전당)[sec]으로 다양한 잔향 분포를 보이는 것으로 나타났다. 제시된 시설의 경우 설계단계에서부터 그 용도에 맞게 음향계획이 이루어진 곳이기 때문에 용도별 권장 잔향시간과 일치함을 보인다.

표 2.5 국내 주요 홀의 잔향시간

콘서트홀 명칭	실용적(m ³)	좌석수(석)	잔향시간(sec)
공주문예회관	4,800	600	1.33
국립국악원	5,500	590	0.81
국립극장	15,000	1,500	1.24
예술의 전당	23,000	2,606	2.60
예술의 전당 리허설 룸	3,500	370	1.44
세종 문화 회관	36,600	3,917	1.66
세종 문화 회관 소강당	3,440	600	1.20
이화여대 연주홀	500	672	1.30

2.2.4 실내 흡음력

각 부위별 마감재료를 선정하고 그 부위의 면적과 흡음률을 이용하여 각 부위의 흡음력을 산출한다. 이를 통하여 Sabine의 식에 대입하여 실내의 잔향시간을 구할 수 있다. 이 때 간과해서는 안 될 것이 청중 및 객석에 대한 흡음력을 계산하는 것이다.

수용 인원을 N이라 하면 만원일 때의 청중수는 객석의 수와 일치한다. α , α_2 를 각각 청중 1인 및 객석 1석당 흡음률로 하고, 또한 청중이 객석에 앉았을 때는 의자의 흡음력으로 변하는 것으로 간주한다. 따라서 청중의 변화에 의한 청중과 객석의 흡음력은 표 2.6과 같이 변화한다.

표 2.6 청중의 변화에 의한 청중과 객석간의 흡음력

구분	청중의 흡음력	객석의 흡음력
청중 0%	0α	$N\alpha_2$
청중 66% ($3/2N$)	$0.66N$	$0.34N\alpha_2$
청중 100%	$N\alpha$	0

3. 사례 공연장의 음향개선 효과 측정 및 분석

3.1 측정방법 및 개요

3.1.1 측정 대상의 개요

측정 대상의 대 공연장은 경상남도 J시에 소재하고 있는 문화회관으로 1993년 개관된 공연장으로 면적은 1,105m², 무대부 면적은 369m², 객석은 442석이다. 측정 대상의 건축적 개요는 다음의 표 3.1과 같다.

표 3.1 측정 대상의 건축적 개요

구분		내용		
실용적 (V)		7,016.4 m ³		
전표면적 (S)		3,119.4 m ²		
실의 형태	평면	육각형		
	단면	경사형		
실의 크기	최대치	길이	폭	높이
		18.6 m	28.5 m	10.3 m
객석부	바닥면적	398.6 m ²		
	좌석수	390 석		
	좌석당 점유면적	0.9 m ² /석		
	좌석당 점유용적	15.8 m ³ /석		
무대부	무대면적	273.3 m ²		

3.1.2 시공전·후 마감재료

측정 대상의 음향성능 개선을 위한 실내마감재 변경 공사를 시행하기 전 마감재료의 구성은 다음 표 3.2와 같다. 표에서 보는 바와 같이 시공전 반사천정, 흡음천정, 벽체-2, 벽체-3, 확산판의 최종 마감재는 일률적으로 FABRIC이 적용되어 있으며, 이는 높은 흡음률을 지니고 있어 적정한 잔향시간을 위한 반사정도의 개선이 필요한 것으로 사료된다.



표 3.2 시공 전 마감재료의 구성

구분	구성	면적(m ²)
반사천정	경량천정틀/RW50T충전+GB9.5T위 FABRIC	197
흡음천정	경량천정틀/RW50T충전+GB9.5T위 FABRIC	228
프로세니움면	각재+ GB9.5T 2겹위 수성페인트	53
벽체-1	각재/GW25T충전+코펜하겐리브40*18T SLIT20(하부)	120
벽체-2	각재/GW25T충전+PLY WOOD 12T+PU5T위 FABRIC(후벽)	75
벽체-3	각재/GW25T충전+PLY WOOD 12T+PU5T위 FABRIC	50
확산판	각재+PLY WOOD 12T+PU5T위 FABRIC	240
DOOR	레 자 문	7.56
시 창	GLASS 5T	16
객석바닥	모노륨 2.3T	235
통로바닥	ROLL CARPET 9T	176
의 자	PLASTIC + 천	437석
	프로세니움개구	104

마감재료를 시공한 후의 구성은 다음 표 3.3과 같다. 이는 적정 잔향시간³⁾을 얻기 위해 일률적으로 적용된 FABRIC을 각각의 위치에 적정한 반사 및 흡음 성능을 지닌 재료로 변경한 것이다.⁴⁾

3) 명료도는 초기 반사율을 포함한 직접음과 잔향음과의 관계로 결정되며 잔향시간을 보충하는 파라미터로 제안된 것이므로 마감재료는 잔향시간을 기준으로 선정하였다.

4) 일반적으로 무대 근처부분은 반사성 재료마감(live end), 객석 윗부분은 흡음성 재료마감(dead end)으로 처리하는 것이 바람직하다.

표 3.3 시공 후 마감재료의 구성

구분	구성	면적(m ²)
반사천정	경량천정틀/RW50T충전+GB9.5T 2겹 위 V.P	197
흡음천정	경량천정틀/RW50T충전+GB9.5T+천연섬유질흡음재15T위 천연페인트	228
프로세니움면	각재+ GB9.5T+MDF9T위 방염필름	53
벽체-1	철재/GW48K50T+GB9.5T+고밀도섬유질음향판넬18T/필름(하부)	120
벽체-2	철재/GW48K50T+GB9.5T+천연섬유질흡음재25T위 천연페인트(후벽)	75
벽체-3	철재/GW48K50T+GB9.5T+MDF 18T위 유색락카	50
확산판	철재+ST'L PLATE1.2T/PU50T충전+유색락카	240
DOOR	레자방음문	7.56
시 창	GLASS 5T	16
객석바닥	디렉스타일3T위 왁스칠	205
통로바닥	ROLL CARPET 5T	206
의 자	PLASTIC + 천	390석
	프로세니움개구	104

표 3.4는 측정 대상의 적정 잔향시간과 벽체의 차음도를 높이기 위하여 시공한 각 부위의 마감재료 구성과 그에 따른 흡음률을 나타낸다.

표 3.4 측정 대상의 마감 재료와 흡음률

구분	사용개소	재 료 명	주파수[Hz]					
			125	250	500	1000	2000	4000
무대부	바닥	WOOD 후로링	0.1	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04
	천정	지정색 도장	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07
	벽체	지정색 도장	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07
객석부	바닥	비닐 카펫	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
	벽체 확산판		0.14	0.11	0.1	0.06	0.05	0.05
	벽체 (흡음)	Heraklith 25T	0.06	0.13	0.24	0.45	0.82	0.64
	벽체 (반사)	M.D.F + 필름	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.06
	객석	극장용 통기성 의자	0.15	0.25	0.4	0.45	0.45	0.4
	객석 (만석시)	만석 시 객석	0.25	0.4	0.53	0.65	0.65	0.6
	천정 (흡음)	Heraklith 15T	0.18	0.13	0.24	0.45	0.82	0.64
	천정 (반사)	석고보드위 지정색 도장	0.30	0.25	0.2	0.17	0.06	0.05
	프로세니움	OPEN	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.70
	출입문	A급 방음문	0.06	0.13	0.10	0.10	0.10	0.10
	시 창	유리	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02

3.1.3 측정장비 및 측정방법

무지향성 스피커를 사용한 측정은 ISO 3382(Acoustics Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters)에 준하여 실시하였다. 마이크로폰은 무지향 특성을 사용하여 각 위치에서 3번씩 측정을 실시하였다. 마이크로폰의 방향은 상부로 하였으며, 사람의 귀높이를 고려하여 바닥에서 1.2m 높이로 하였다. 표 3.5는 측정에 사용된 장비의 내역을 나타낸 것이고, 그림 3.1은 측정 장비의 배치된 모습을 나타낸 것이다. 그림 3.2는 측정 현장의 모습을 나타낸다.

표 3.5 측정 장비

명칭	TYPE	제작사	비 고
SOUND LEVEL METER	Symphonie	01dB-Stell	
OCTAVE BAND ANALYZER (SYMPHONIE 2CHN)	Symphonie	01dB -Stell	
MICROPHONE 40AF & PREAMPLIFIER 26AF 3SET	Symphonie	01dB-Stell	
SOUNDSOFTWARE RTA	Symphonie	01dB-Stell	실시간 주파수 분석용
SOUND SOFTWARE TRIC	Symphonie	01dB-Stell	환경소음 모니터링용
SOUND SOFTWARE TRAIT	Symphonie	01dB-Stell	환경영향평가용
SOUND SOFTWARE ROOM CRITERA	Symphonie	01dB-Stell	건축음향용
NO DIRECTOR SPEAKER	SP-600	AVM	
POWER AMPLIFIER	SPW-03	inter M	
RANDOM NOISE GENERATOR	NOR-230		

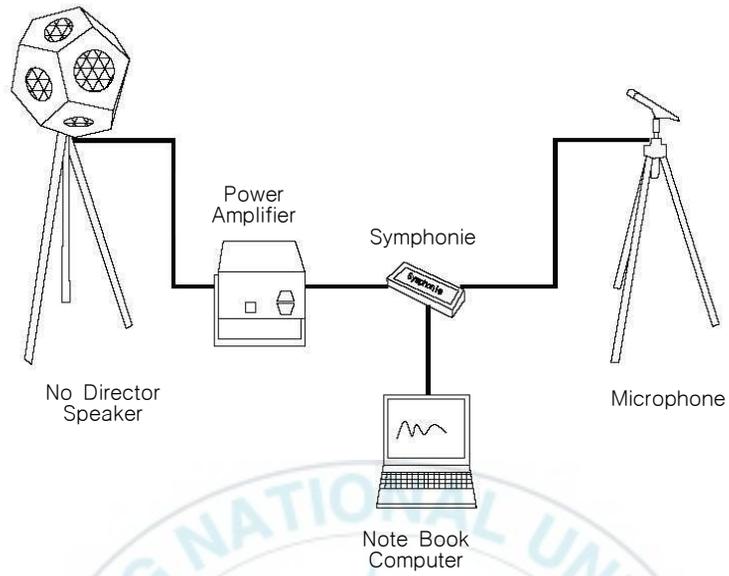


그림 3.1 측정기기의 구성

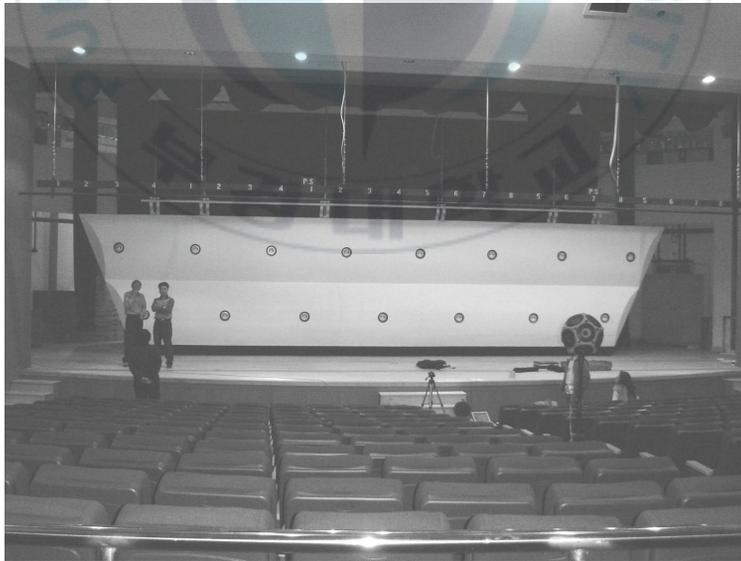


그림 3.2 측정 현장 모습

3.1.4 Computer Simulation 개요

측정 대상의 음압분포 및 음향인자들의 예측을 위한 분석은 Ray Modeling Technique과 geometrical Acoustics의 원리에 기초를 두고 있는 프로그램인 RAYNOISE를 사용하였다. RAYNOISE는 Acoustic Far Field에서 음향 예측을 위한 소프트웨어이며 잘 알려져 있는 Ray Modeling Technique과 geometrical Acoustics의 원리에 기초를 두고 있는 실내음향, 산업소음, 환경소음, 환경음향 부분에 사용되는 범용 해석 프로그램이다.



3.2 측정 결과

3.2.1 잔향시간(Reverberation time)

1) 설계기준

잔향시간은 실의 용도에 따라 기준치가 다양하게 나타난다. 측정 대상인 대 공연장은 다목적 홀로써 잔향시간 1.2~1.5[sec]로 계획되어야 한다. 다음의 그림 3.3은 RAYNOISE 음향 해석 프로그램을 이용하여 측정 대 공연장의 체적을 기준으로 잔향시간을 분석한 결과값을 나타낸다.

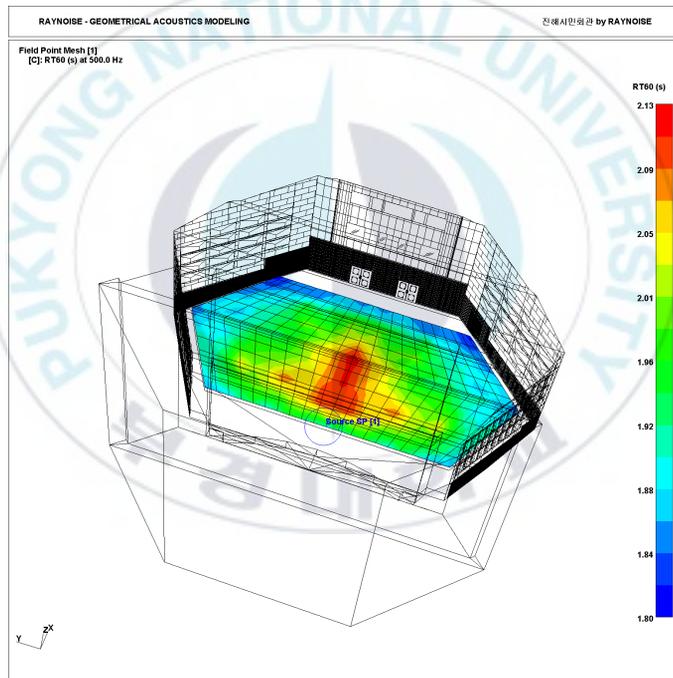


그림 3.3 프로그램 분석결과(잔향시간)

분석결과, 잔향시간의 설계기준은 공식시 주파수 500Hz기준⁵⁾으로 객석별로 1.9~2.1sec로 본 강당의 음악 공연과 체적에 부합하는 수치를 산출하였다.

5) 잔향시간은 주파수에 따라 달라지는데, 일반적으로 가청주파수대역의 중심주파수인 500Hz를 기준으로 한다.

2) 시공 전 잔향시간(RT)

시공 전 각 주파수대역별 잔향시간을 측정한 결과는 다음의 그림 3.4, 그림 3.5과 같다.

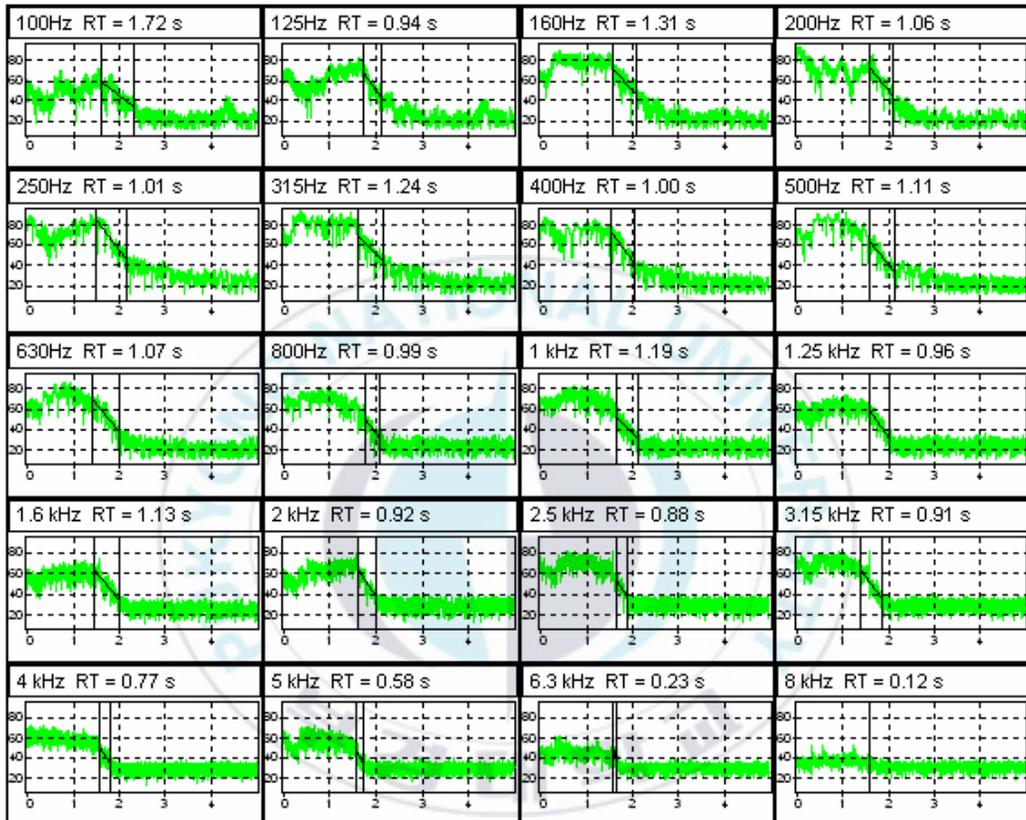


그림 3.4 시공전 주파수별 잔향시간

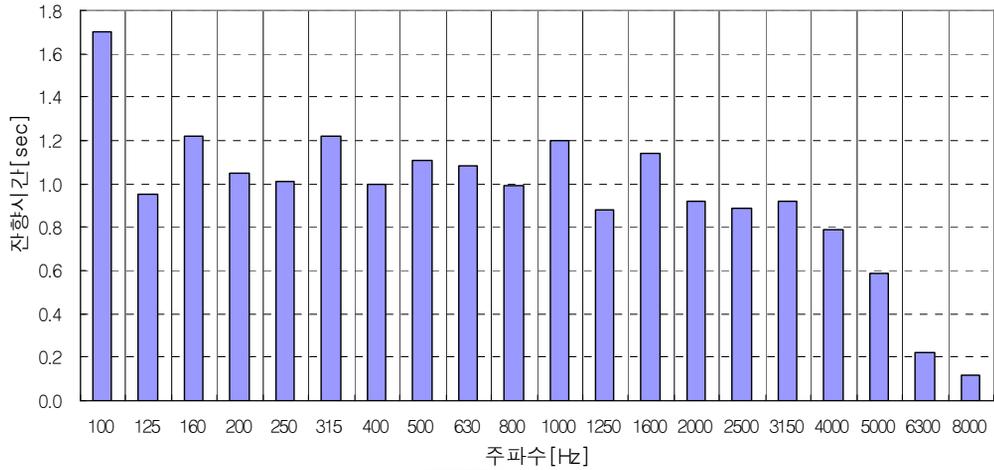


그림 3.5 주파수별 잔향시간(시공 전)

시공 전 잔향시간을 측정하여 본 결과는 상기와 같이 공석시 주파수 500Hz기준으로 1.11sec로 잔향시간이 짧아 음악전용 홀은 물론 대강당의 목적 및 용적의 최적기준에도 못 미치는 결과임을 알 수 있다. 주파수별 특성을 살펴보면, 저주파대역과 중주파대역에서는 각 주파수별 잔향시간이 유사하게 나타났으나, 고주파로 갈수록 잔향시간이 떨어지는 것으로 나타난다.

3) 시공 후 잔향시간(RT)

시공 전 각 주파수대역별 잔향시간을 측정한 결과는 다음의 그림 3.6, 그림 3.7 와 같다.

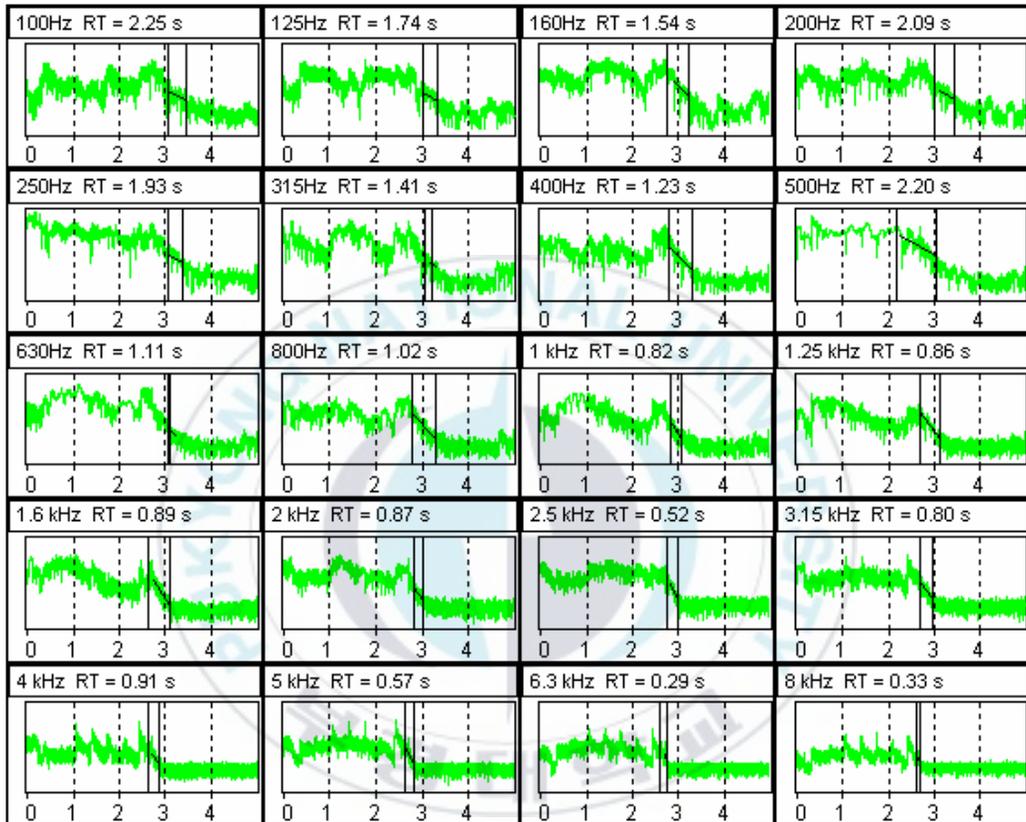


그림 3.6 시공 후 주파수별 잔향시간

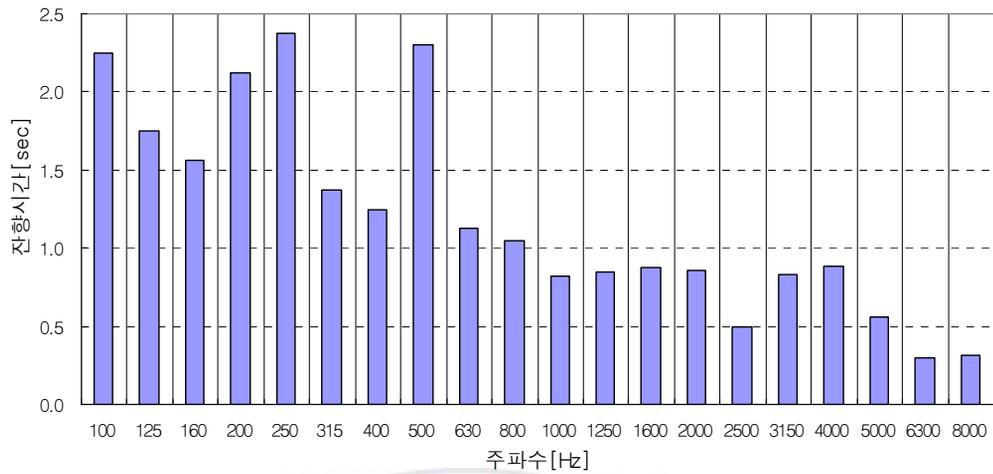


그림 3.7 주파수별 잔향시간(시공 후)

시공 후 잔향시간을 측정하여 본 결과는 상기와 같이 공식시 주파수 500Hz기준으로 2.20sec으로 발주처 요구조건 및 대강당의 기능적 목적과 용적의 최적기준에 충분히 도달함을 알 수 있다. 저주파대역과 중주파대역에서는 각 주파수별 잔향시간이 유사하게 나타났으나, 고주파로 갈수록 잔향시간이 떨어지는 것으로 나타난다.

4) 결과 비교

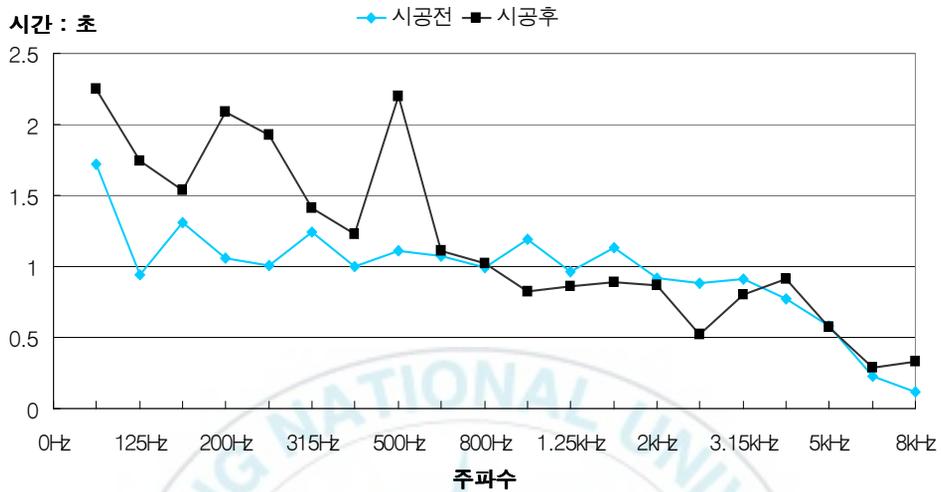


그림 3.8 잔향시간 결과 비교

상기와 같이 공석시 주파수 500Hz기준으로 시공 전·후의 잔향시간을 비교하여 본 결과는 그림 3.8과 같으며, 마감재료의 교체로 1.09sec 더 향상된 잔향시간을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 하부의 음향확산 패널을 반사체의 재질로 바꾼 것에 기인하였다고 판단된다. 그러나 주파수별 잔향시간을 비교했을 때, 800Hz를 기준으로 저주파대역에서 높은 증가율을 보이며, 고주파대역에서는 오히려 잔향시간이 짧아지는 특성을 보이는 것으로 나타났다.

3.2.2 C_{80} (음악적 명료도)

1) 설계기준

측정 대상에서 필요한 음악적 명료도(C_{80})의 기준을 정하기 위하여 시뮬레이션 프로그램을 통한 결과는 다음 그림 3.9과 같이 나타났다.

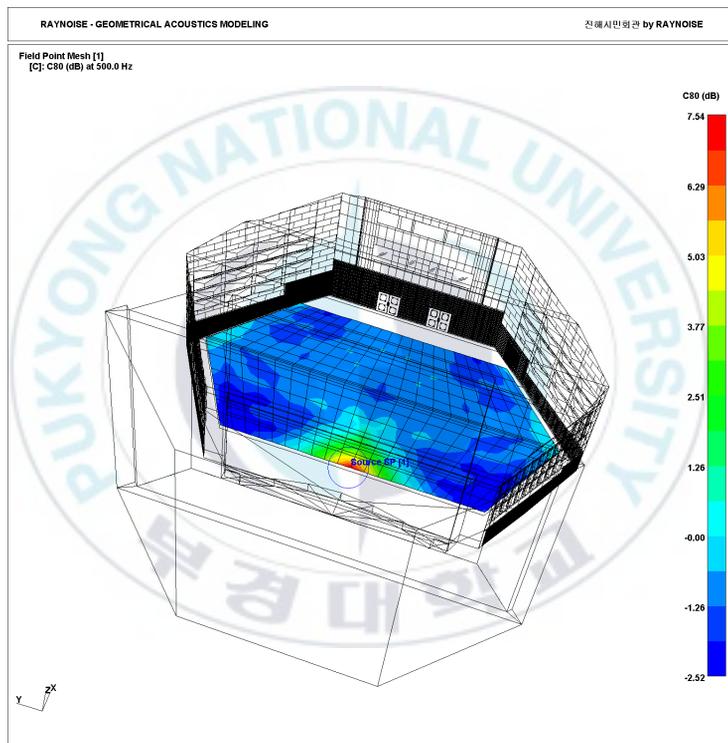


그림 3.9 프로그램 분석결과(음악적 명료도)

음향 해석 프로그램의 분석결과, J시 대 공연장의 음악에 대한 설계평가는 음악적 명료도 C_{80} 이 공식시 (-)2.0~2.0dB로서 Blowed 악기 연주에 적당한 값으로써 전통교회 음악, 클래식 또는 심포니 악기 연주에 적합한 상태로 나타났다.

2) 시공 전 C_{80} (음악적 명료도)

시공 전 각 주파수대역별 음악적 명료도를 측정한 결과는 다음의 그림 3.10, 그림 3.11와 같다.

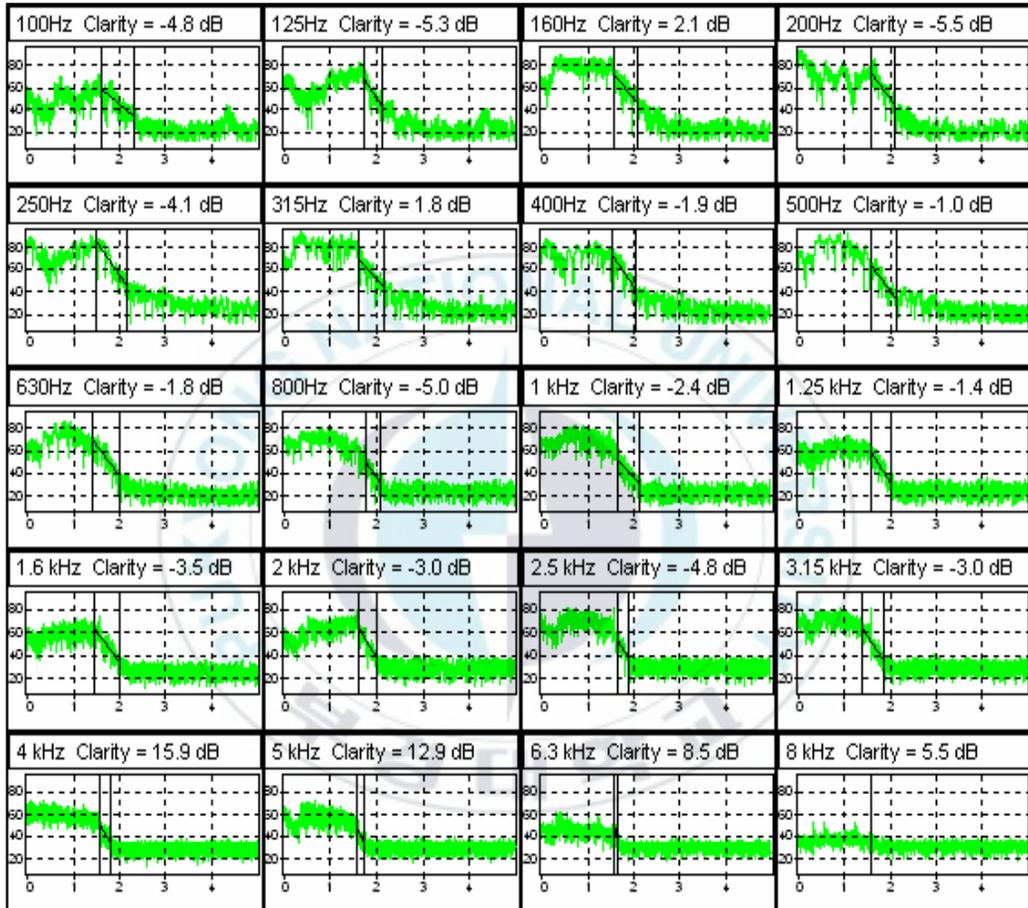


그림 3.10 시공 전 주파수별 음악적 명료도

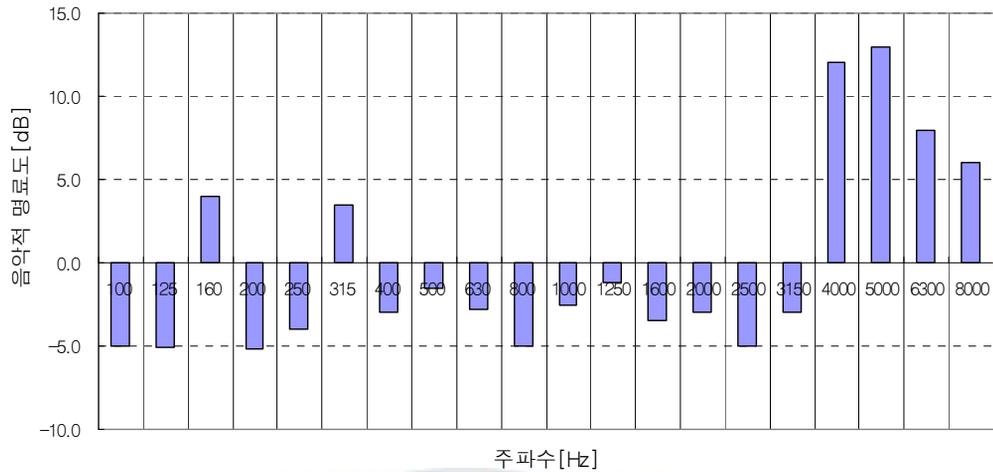


그림 3.11 주파수별 음악적 명료도(시공 전)

시공 전 음악적 명료도를 측정하여 본 결과는 상기와 같이 공석시 주파수 500Hz기준으로 (-)1.0dB로 오르간 등의 느린 템포의 Blown 악기 연주에는 무리가 없는 것으로 나타났다. 주파수별 특성을 살펴보면, 저주파대역과 중주파대역에서는 각 주파수별 잔향시간이 낮고, 유사하게 나타났으나, 고주파대역에서 높은 명료도를 보이는 것으로 나타난다.

3) 시공 후 C_{80} (음악적 명료도)

시공 후 각 주파수대역별 음악적 명료도를 측정한 결과는 다음의 그림 3.12, 그림 3.13과 같다.

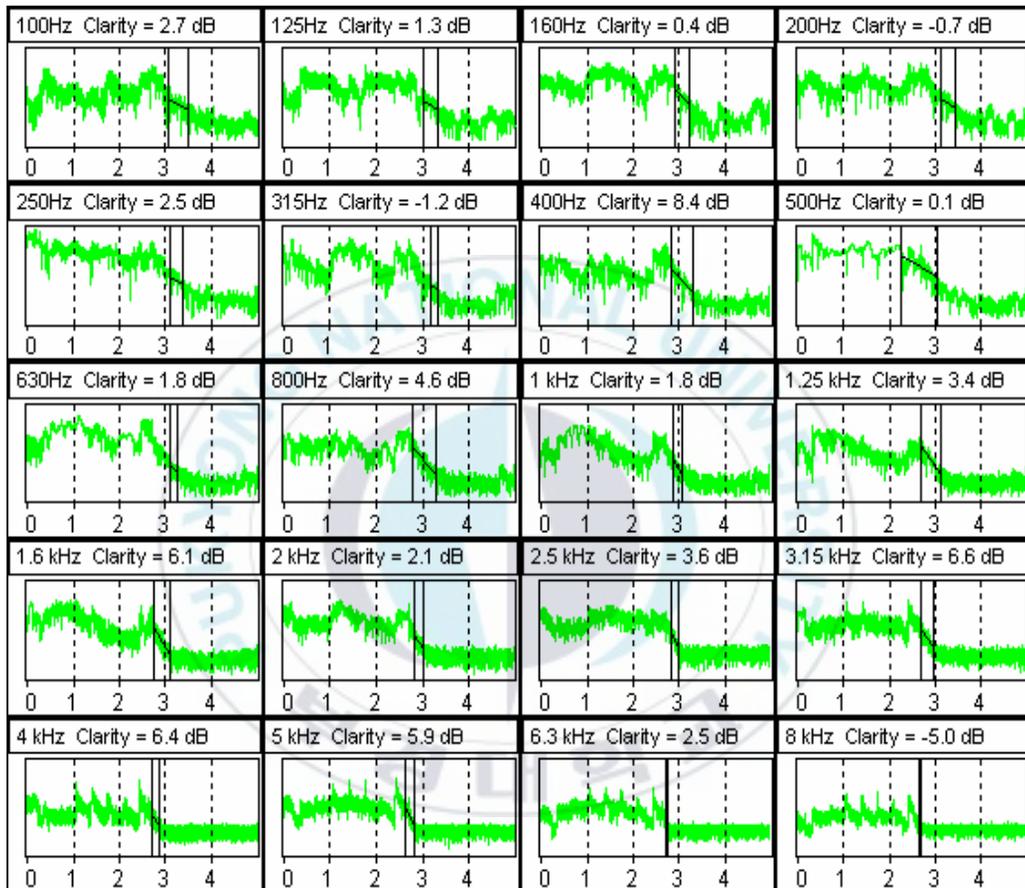


그림 3.12 시공 후 주파수별 음악적 명료도

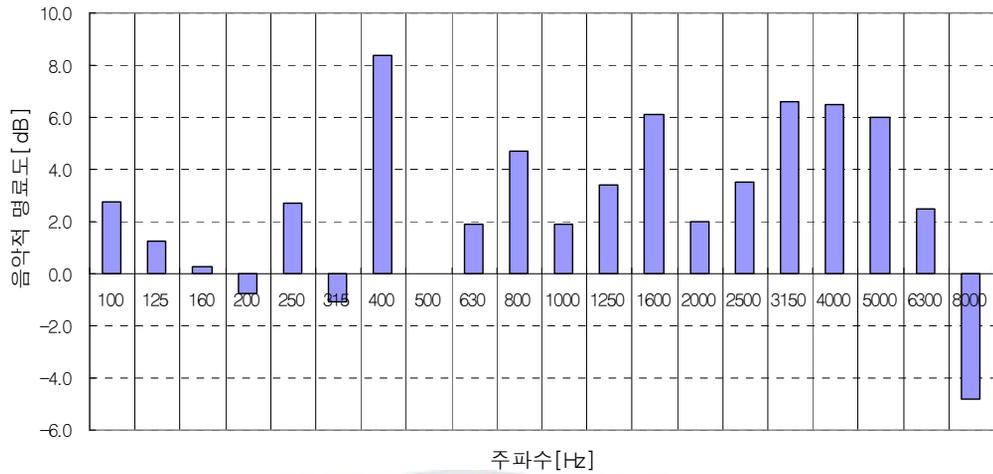


그림 3.13 주파수별 음악적 명료도(시공 후)

시공 후 음악적 명료도를 측정하여 본 결과는 상기와 같이 공석시 주파수 500Hz기준으로 0.1dB 임으로 Bowed 악기 연주 및 클래식 또는 심포니 악기 음악에 이상적인 값으로 나타났다. 전주파수대역에서 유사하게 높은 명료도를 보이는 것으로 나타났다.

4) 결과 비교

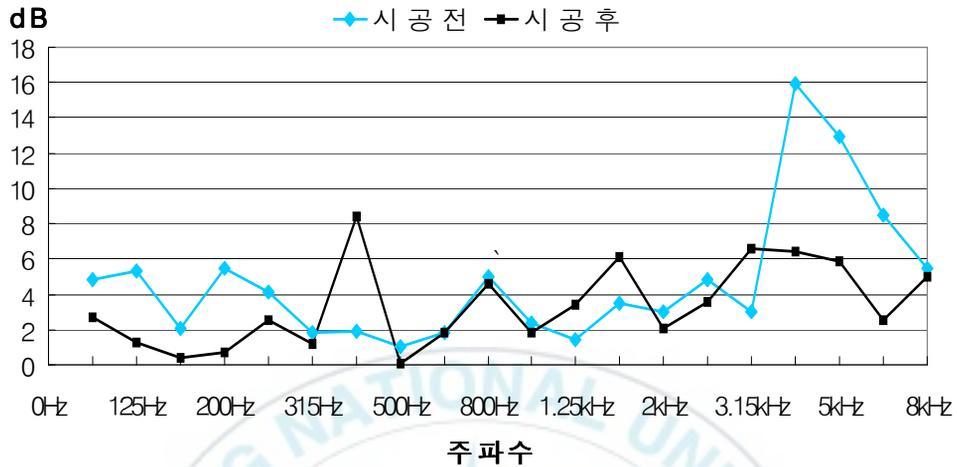


그림 3.14 음악적 명료도 결과 비교

상기와 같이 공석시 주파수 500Hz기준으로 시공 전·후의 음악적 명료도를 비교하여 본 결과 그림 3.14에서 나타난 바와 같이, 마감재료의 교체로 1.1dB정도 더 향상된 음악적 명료도를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 본래의 용도에 맞게 천장과 벽체 부분에 흡음재를 적절히 배열하여 에코 음의 간섭을 최대한 줄인 것에 기인하는 것으로 사료된다. 그러나 주파수별 잔향시간을 비교했을 때, 3.15kHz까지의 저주파대역에서는 시공 전과 유사한 특성을 보이며, 3.15kHz이상의 고주파대역에서는 시공 전보다 음악적 명료도가 더 낮아지는 특성을 보이는 것으로 나타났다.

3.2.3 D_{50} (음성적 명료도)

1) 설계기준

측정 대상에서 필요한 음성적 명료도(C_{50})의 기준을 정하기 위하여 시뮬레이션 프로그램을 통한 결과는 다음 그림 3.15와 같이 나타났다.

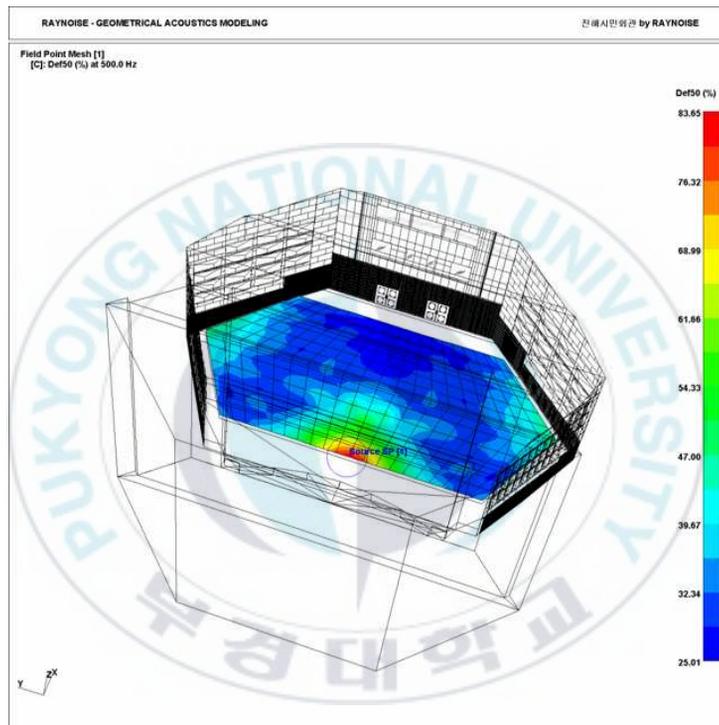


그림 3.15 프로그램 분석결과(음성적 명료도)

음향 해석 프로그램의 분석결과, J시 대 공연장의 음악에 대한 설계평가는 음성적 명료도 D_{50} 은 30~35% 이며, 이는 다목적홀에서 음악당으로써 적정한 값이 나타났다.

2) 시공 전 D_{50} (음성 명료도)

시공 전 각 주파수대역별 음성 명료도를 측정된 결과는 다음의 그림 3.16, 그림 3.17와 같다.

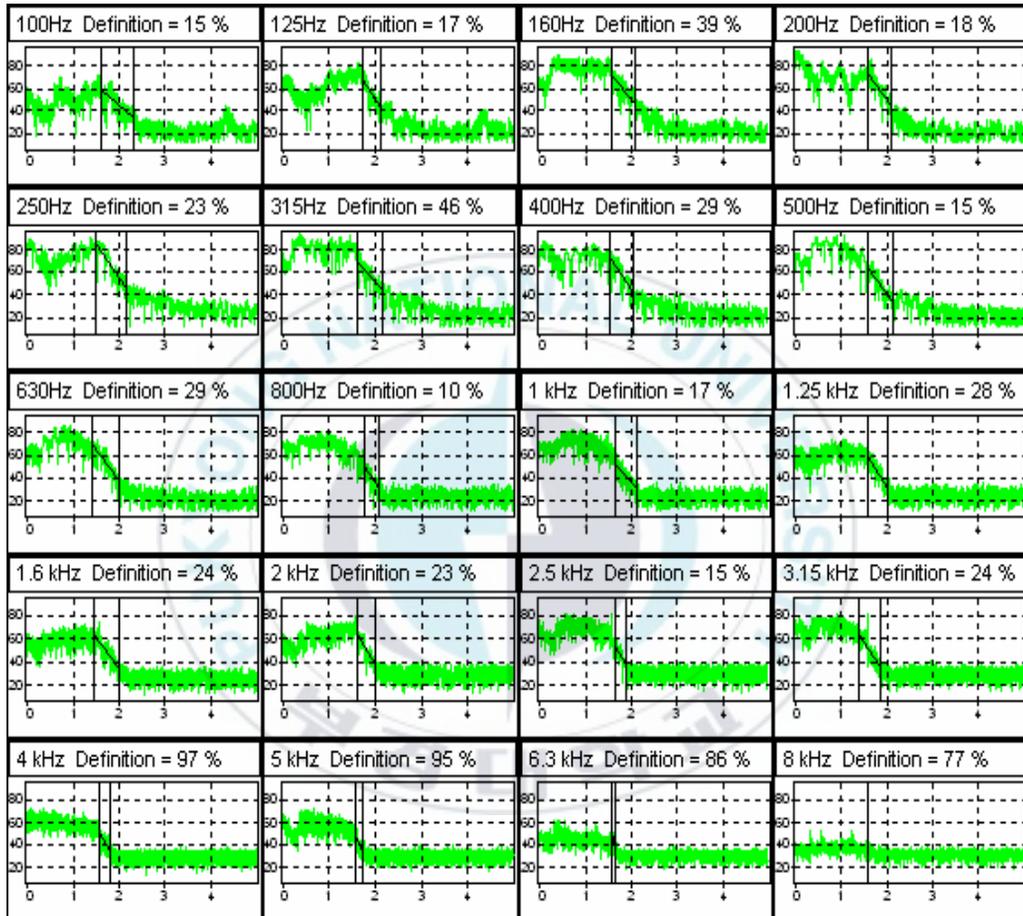


그림 3.16 시공 전 주파수별 음성적 명료도

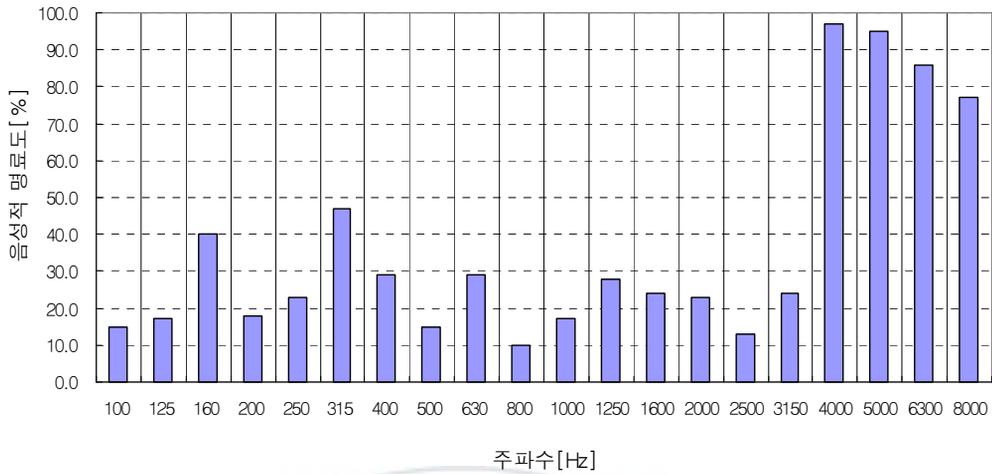


그림 3.17 주파수별 음성적 명료도(시공 전)

시공 전 음성 명료도를 측정하여 본 결과는 상기와 같이 공식시 주파수 500Hz 기준으로 15%이므로 다목적 홀에서 연극이나 강연 등의 경우나 음악당에서의 명료도에 못 미치는 것으로 측정되었다. 주파수별 특성을 살펴보면, 저주파대역과 중주파1대역에서는 각 주파수별 잔향시간이 낮고, 유사하게 나타났으나, 고주파대역에서 높은 명료도를 보이는 것으로 나타난다.

3) 시공 후 D_{50} (음성 명료도)

마감재 시공 후 음성적 명료도 결과는 다음의 그림 3.18, 그림 3.19과 같다.

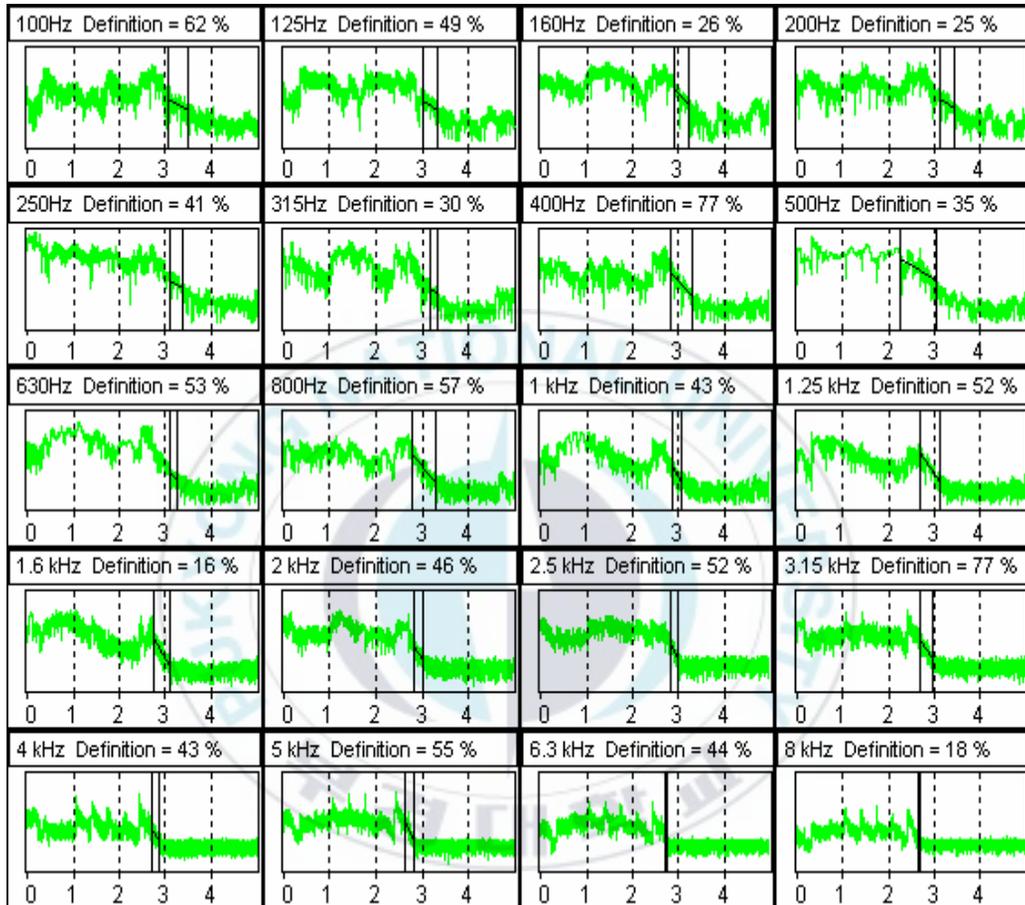


그림 3.18 시공 후 주파수별 음성적 명료도

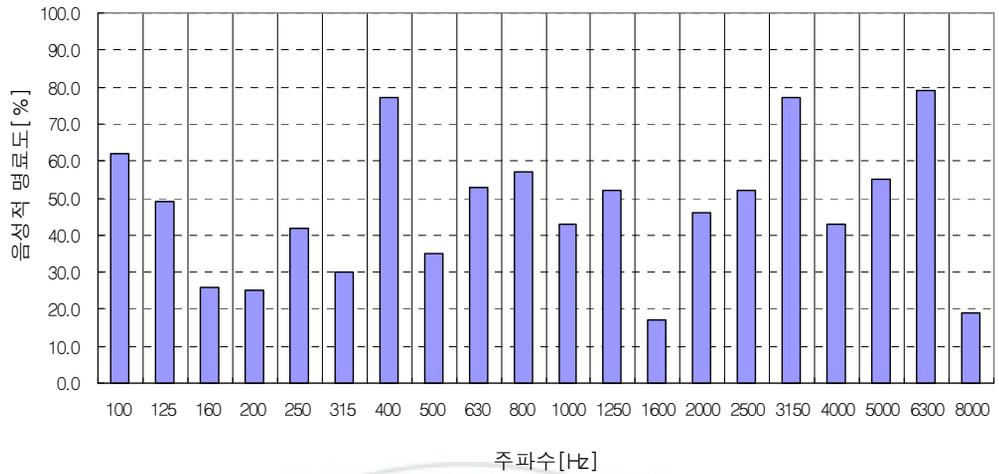


그림 3.19 주파수별 음성적 명료도(시공 후)

시공 후 음성 명료도를 측정하여 본 결과는 상기와 같이 공식시 주파수 500Hz 기준으로 35%이므로 음악당에서 필요로 하는 30~40%의 명료도인 것으로 측정되었다. 전주파수대역에서 유사하게 높은 명료도를 보이는 것으로 나타났다. 이는 본래의 용도에 맞게 천장과 벽체 부분에 흡음재를 배열하여 에코 음의 간섭을 최대한 줄인 것에 기인하는 것으로 사료된다.

4) 결과 비교

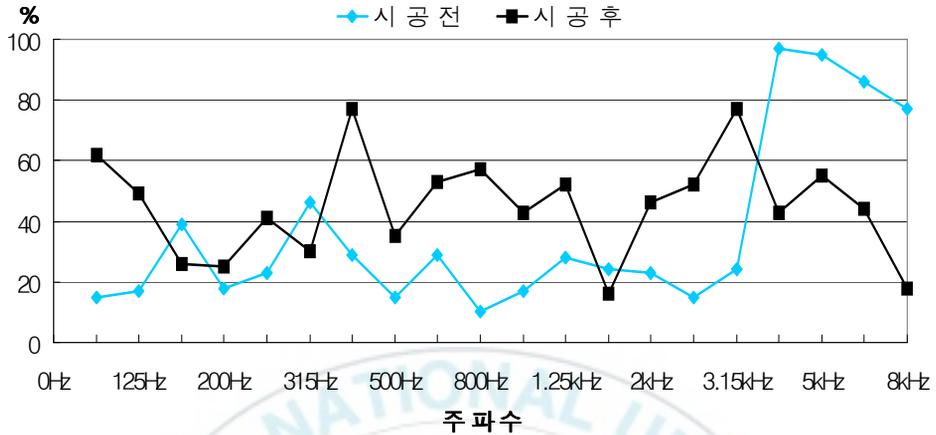


그림 3.20 음성적 명료도 결과 비교

상기와 같이 공석시 주파수 500Hz기준으로 시공 전·후의 음성 명료도를 비교하여 본 결과 그림 3.20에 나타난 바와 같이, 마감재료의 교체로 20[%]가량 더 향상된 음성 명료도를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나 주파수별 잔향시간을 비교했을 때, 3.15kHz까지의 주파수대역에서는 시공 전보다 향상된 음성 명료도를 보이지만, 3.15kHz이상의 주파수대역에서는 오히려 시공 전보다 음성 명료도가 더 낮아지는 특성을 보이는 것으로 나타났다.

3.2.4 분석결과

실내 마감재의 변화에 의한 실내 음향성능 개선 가능성을 평가하고자 측정 대상의 실내음향특성을 분석한 결과 표 3.6과 같다.

표 3.6 실내음향특성 측정 결과

Condition	Sound Parameter (500Hz기준)		
	잔향시간 (RT)	음악 명료도 (C80)	음성 명료도 (D50)
최초 설계기준	1.9~2.1 sec	-2.0~2.0 dB	30~35 %
재료 시공 전	1.11 sec	-1.0 dB	15 %
재료 시공 후	2.20 sec	0.1 dB	35 %
개선율(%)	200	210	233

상기와 같이 공석시 주파수 500Hz기준으로 시공 전·후의 잔향시간을 비교하여 본 결과, 마감재료의 교체로 잔향시간 1.09sec, 음악적 명료도 1.1dB, 음성 명료도 20% 음향성능이 더 향상되었으며, 본 연구에서 평가된 세 가지의 실내음향특성에서 모두 200% 이상 개선됨을 알 수 있다.

4. 결론

대 공연장의 음향성능 개선을 위하여 대상 공간의 음향성능을 시뮬레이션하여 적정치를 설정하였으며, 음향성능 개선을 위한 마감재의 시공과 시공후의 음향성능을 측정하여 마감재 시공으로 인한 음향성능의 개선정도를 파악한 결과는 다음과 같다.

1) 대상 공연장에 적합한 음향성능을 체적을 기준하여 시뮬레이션한 결과, 공식시 500Hz의 주파수대역에서 잔향시간은 1.9~2.1sec, 음악적 명료도(C_{80})는 -2.0~2.0dB, 음성적 명료도(D_{50})는 30~35%정도로 나타났다. 이에 의한 음악적 명료도는 Blowed 악기 연주 및 클래식 또는 심포니 악기 연주에 적합한 상태이며, 음성적 명료도는 음악당에서의 적정한 값에 해당한다.

2) 마감재를 시공하기 전 음향성능을 측정한 결과, 공식시 500Hz의 주파수대역에서 잔향시간은 1.11sec, 음악적 명료도(D_{80})는 -1.0dB, 음성적 명료도(D_{50})는 15%로 나타났다. 이에 의한 음악적 명료도는 오르간 등의 느린 템포의 Blown 악기 연주에는 무리가 없는 정도이나, 음성적 명료도는 다목적 홀에서 연극이나 강연 등의 경우나 음악당에서의 명료도에는 못 미치는 정도이다.

3) 음향성능개선을 위한 마감재 시공 후 음향성능을 측정한 결과 공식시 500Hz에서 잔향시간은 2.20sec, 음악적 명료도(D_{80})는 0.1dB, 음성적 명료도(D_{50})는 35%로 나타났다. 이에 의한 음악적 명료도는 Bowed 악기 연주 및 클래식 또는 심포니 악기 음악에 이상적인 값이며, 음성적 명료도는 음악당에서 필요로 하는 명료도에 해당한다.

4) 공석시 500Hz 주파수대역을 기준으로 마감재의 교체로 인한 음향성능의 개선효과는 잔향시간은 1.09sec, 음악적 명료도(D_{80})는 1.1dB, 음성적 명료도(D_{50})는 20%가량의 음향성능이 향상되었으며, 마감재 시공전의 조건에 비하여 전부 200% 이상의 개선 효과가 나타났다. 그러나 낮은 주파수대역에서는 음향성능이 향상되었으나, 3.15kHz이상의 높은 주파수대역에서는 오히려 저하되는 것으로 나타나므로 필요한 경우 높은 주파수대역에 대한 음향성능 향상을 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

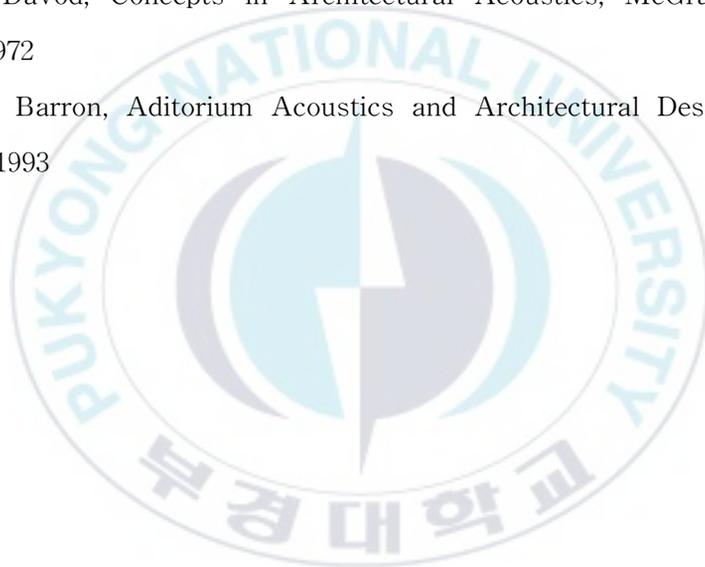
이상의 연구 결과를 통하여 볼 때, 건축음향 시공이 대 공연장의 본래 용도에 맞게 천장과 벽체 부분에 흡음재를 적절히 배열하여 에코음에 의한 간섭을 최대한 줄이고, 실의 최적 이론 잔향시간과 음성명료도를 높임에 따라 본래의 다목적 공연장으로 사용과 각종 행사 공간으로 사용하는 경우에도 문제가 발생하지 않도록 할 수 있을 것으로 사료되며, 이는 다목적 홀의 건축 및 기존 다목적 홀의 음향성능 개선에 필요한 기초자료로서 활용 가능성이 충분하리라 판단된다.

향후, 대 공연장의 우수한 음향성능을 구현하기 위해서는 건립 전에 컴퓨터 시뮬레이션 등을 이용하여 재료의 적정 흡음률과 반사율을 결정하고 설계와 시공에 임하여야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박현구 외, 성당 미사공간의 실내음향특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집(계획계) 제19권 제2호, 2003. 02
2. 이영아 외, 마감재변화에 의한 실내체육관의 음향개선 사례연구-울산 동천체육관을 대상으로, 대한건축학회논문집(계획계) 제19권 제4호, 2003
3. 한경연 외, 원불교 법당의 음향특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 제22권 제8호, 2006. 08
4. 양만우외, 대형 실내체육관의 음향특성과 시뮬레이션에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(계획계), 2001. 04
5. 정대업, 한국전통음악공연장의 건축음향특성에 관한 연구 I, 대한건축학회 논문집(계획계), 2005. 03
6. 정대업, 초기반사음의 도달방향과 지연시간이 명료도에 미치는 영향에 관한연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 2002. 01
7. 신영무, 정사회, 축척모형을 이용한 관소리 홀의 음향평가에 관한 연구, 한국음향학회 논문집, 제15권 제6호, 1996
8. 진진용 외, 축척모형에 의한 실의 음향성능 평가방법에 관한 연구, 한양대학교 건설연구소 논문집, 2000. 06
9. 권찬일, 세종문화회관 리모델링공사 시공 사례, 한국리모델링협회 세미나, 2004
10. 김정중, 컨벤션홀 오디토리움 음향측정 개선대책에 관한 연구, 대한설비공학회 설비건설부문강연회, 2004
11. 김정중, 다목적 야외경기장의 음향특성에 관한 연구, 대한설비공학회 설비건설부문강연회, 2004
12. 문화관광부, 문예회관 표준모델 개발연구, 2001
13. 김재수, 건축음향설계, 도서출판 세진사, 2004

14. 염성근, 주택기술이야기2 실내음향설계, 삼성건설기술(통권 제56호), 2006
15. 김상식, 건축물의 음향설계와 음향재료, 건설기술정보 제30호, 2001. 07
16. 최형욱, 실내음향 예측을 위한 컴퓨터 프로그램 이용에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문, 1998
17. 오양기, 음악당의 음향평가에 관한 연구-서울대학교 문화관을 대상으로, 서울대학교 석사학위논문, 1986
18. Beranek, Leo., Concert and Opera Halls, How They Sound. Acoustical Society of America, Woodbury NY, 1996
19. E. M. Davod, Concepts in Architectural Acoustics, McGraw Hill, New York, 1972
20. Michael Barron, Aditorium Acoustics and Architectural Design, E & FN SPON, 1993



A Result of indoor finish change for the Acoustical Improvement of Auditorium

by Oh, Song-hoon

Department of Architectural Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

Jinhae Community Center opened in 1993, but main hall was constructed without planing architectural acoustic characteristics. This study aimed possibility of improvement of acoustic performance in multipurpose hall and getting reasonable and scientific data for sound planing.

There are measures of computer program two times, before and after, to compare improvement of acoustic performance by interior finish change. The sounds were measured at 11points in the hall using non director speaker and noise generator, and averaged the results. There were 3 measures; reverberation time, music intelligibility and speech intelligibility, to check distribution of sounds, Sound pressure level at each points and echo. Using computer simulation program, RAYNOISE, the results were analyzed on music intelligibility(C_{80} , Clarity) and speech intelligibility(D_{50} , Definition) as basis data. Next is the results of improvement of acoustic performance by interior fish change.

- 1) By the simulation, there are suitable measures in empty space and 500Hz ; reverberation time was 1.9~2.1sec, music intelligibility(C_{80}) was -2.0~2.0dB,

speech intelligibility(D_{50}) was 30~35%. The music intelligibility is suitable for playing a wind instrument, a classic music, a symphony orchestra. The speech intelligibility is suitable as auditorium.

2) Before the change, in empty space and 500Hz reverberation time was 1.11sec, music intelligibility(C_{80}) was -1.0dB, speech intelligibility(D_{50}) was 15%. it is suitable for playing organ and a wind instrument in slow tempo. there is not enough speech intelligibility for play and lecture.

3) After the change, in empty space and 500Hz reverberation time was 2.2sec, music intelligibility(C_{80}) was 0.1dB, speech intelligibility(D_{50}) was 35%. The music intelligibility is suitable for playing a wind instrument, a classic music, a symphony orchestra. The speech intelligibility is suitable as auditorium.

4) These are improved acoustic performance in empty space and 500Hz. Reverberation time was 1.09sec, music intelligibility(C_{80}) was 1.1dB, speech intelligibility(D_{50}) was 20%. The improved measure is 200%. The in low frequency was improved, but dropped in the high frequency, more than 3.15kHz. There are methods for improvement of acoustic performance in high frequency.

According to this study, constructed by planing architectural acoustic characteristics, interference of echo was reduced by putting sound-absorbing materials on ceiling and wall. It would be suitable place as auditorium by increasing speech intelligibility and reverberation time. This study is useful as basis data for improvement of acoustic performance in auditorium and construction of multipurpose hall.

Last, before constructing and planning auditorium it need to plan suitable acoustic absorptivity and reflexibility by computer simulation to get excellent acoustic performance.

감 사 의 글

엣그제 시작한 대학원 공부인 것 같은데 벌써 2년 6개월간의 길고도 짧은 공부를 마치면서 학문의 결실을 맺을 수 있도록 인도하여 주신 임영빈 지도교수님께 먼저 고개 숙여 감사의 인사드립니다.

저의 논문이 완성되기까지 바쁘신 와중에도 부족한 점을 지적해 주시고 심사하여 주신 이수용 교수님과 박천석 교수님, 김영찬 교수님, 이재용 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 항상 지식과 학문을 가르쳐주신 류종우 교수님, 조홍정 교수님, 신용재 교수님, 김기환 교수님, 조영행 교수님, 오장환 교수님, 홍성민 교수님, 노지화 교수님께 끝없는 존경과 감사를 드립니다.

또한 이 논문이 완성되기까지 너무나 큰 관심과 배려를 아끼지 않으신 김동완 박사님, 정근주 박사님, 건축환경·설비연구회 조영준 회장님, 이병현 총무님, 김종배 전 회장님, 오근숙, 윤관찬 외 건축환경연구실 선·후배, 동기님들 그리고 현장의 자료수집과 많은 조언을 주신 ㈜에스투종합건설 임직원 여러분께 진심으로 감사의 마음을 전하며 더불어 격려와 힘을 주신 부모님과 많은 친지 분들에게도 감사의 말씀을 드립니다.

끝으로 CEO의 업무와 학업을 병행하는 일이 쉽지는 않았지만 항상 곁에서 헌신적인 사랑을 아끼지 않은 나의 사랑하는 아내 김순옥과 내 삶의 원동력으로 항상 웃음을 전해주는 나의 아들 경준, 경윤에게 고마운 마음을 전합니다.

2007년 8월

오 송 훈