

김해문화회관 대공연장의 음향설계

전진용*, 이호정**, 이병권**, 류종관**

Acoustic Design of the Large Hall in Kimhae Performing Arts Center

Jeon Jin Yong, Lee Ho Jung, Lee Byung Kwon and Ryu Jong Kwan

ABSTRACT

In this study, the room acoustics of a hall in Kimhae Performing Arts Center is discussed. The hall is designed as a multi-purpose hall. The reverberation time of the hall is varied by absorptive/reflective surfaces. A design method using both objective and subjective evaluations is investigated. As a result, the geometrical shape and the interior materials are determined.

1. 서론

1.1 연구의 목적

최근에 전용으로 사용되는 공간보다 콘서트, 강연, 연극 그리고 오페라 등의 다양한 용도에 적절하게 대처되도록 잔향시간의 변화 등을 고려한 다목적 홀의 건설이 늘어나고 있는 추세이다.

본 논문에서는 공간활용의 다목적성이 요구되는 음향 설계 대상인 김해문화회관 대공연장을 가변형 공간으로 설계한 사례를 소개한다. 강연의 용도로 사용될 때에는 모든 청취자에게 가능한 높은 언어의 요해도를 얻을 수 있도록 하고 음악의 용도로 사용될 때는 적절한 잔향감과 공간감을 느낄 수 있도록 계획하였다.

계획 및 기본설계과정에서 음장 예측이 가능한 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 다목적 홀에서 각 용도별 공연 장르에 적합한 음향 특성을 갖도록 하였다.

1.2 연구 방법

설계는 ODEON 3.1 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통해 객관적인 지표를 분석하고, 반복하여 나타난 결과를 비교하여 마감재와 기하학적인 형상을 수정하였다. 가청화(auralization)실험을 통하여 실제로 내부음향을 청취한 후 주관적인 평가를 통해 이를 검증하였다. 이 객관적인 음향 지표들에는 RT(Reverberation Time), EDT(Early Decay Time), SPL(Sound Pressure Level), D50(Definition), C80(Clarity), LF(Lateral

* 한양대학교 건축공학부 조교수, 건축학박사

** 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정

Fraction), RASTI(Rapid Speech Transmission Index), Ts(Center Time), ITD(Gap) 등이 포함된다. 주관적인 평가항목으로는 Loudness, Reverberance, Volume, Clarity, Envelopment, Intimacy, Bass Ratio, Intensity, Brilliance, Overall Impression 등이 있으며, 명료도 평가를 실시하였다.

2. 건축음향 설계개요

2.1 대공연장

대공연장의 음향 설계는 기본안으로부터 시작하였다. 먼저 프로세니움 위 천정 반사판의 각도상의 문제로 음선이 제대로 도달하지 못하여 시물레이션에 의해 각도를 변경하였다. 그러나 이러한 변경에도 불구하고 3층 발코니의 길이가 너무 길어 2층 후열에 음이 도달하지 못하므로 3층 발코니의 최전열을 줄일 것이 제안되었다.

이 공간은 용적을 변화시켜 음향특성을 조절하기에는 공간적 제약이 따르므로 가변특성을 가질 수 있도록 흡음률을 조절하는 방법을 선택하였다. 이에 따라 그림 1과 같이 가능한 모든 측벽에 가변벽을 설치하여 편평한 부분은 확산형 반사재(Base panel)를 사용하고, 배면은 흡음재(압축 Glass wool)를 사용하여 벽을 회전시킬 경우 흡음률을 변화할 수 있도록 하였다. 천정의 배너도 수평형태로 최대한 면적을 확보할 수 있도록 하였다.

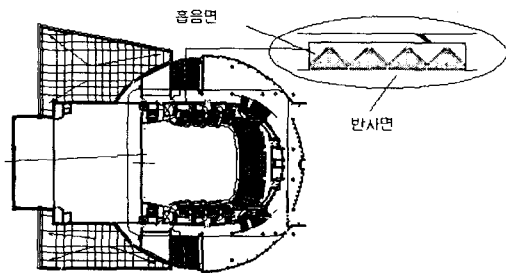


그림 1 가변벽

3. 객관적 지표에 의한 분석

3.1 실험 방법론

객관적 지표 분석에 이용된 음향 파라미터들은 다음과 같다.

① RT (Reverberation Time)

잔향시간은 공간에 몇 초 동안 음이 남아있는지 의미하는 것으로 기준음에서 60dB 떨어지는데 걸린 시간을 의미한다.

② EDT (Early Decay Time)

EDT는 RT와 같이 감쇠 곡선에서 구하는데 초기 음압이 10dB떨어지는데 걸린 시간에서 산출된다. RT는 물리적 특성을 나타내는 반면 EDT는 잔향을 주관적으로 인식하는 것과 관련이 있다.

③ SPL (Sound Pressure Level)

음압 레벨을 나타내는 것으로 이 지표를 통하여 공간의 음압 분포가 균등하게 이루어지고 있는지 알 수 있다.

④ Ts (Center Time)

시간에 따른 음압의 감쇠 곡선에 있어서 전체 면적에 대한 음의 중심을 대표하는 값이다.

⑤ C80 (Clarity)

직접음과 초기 반사음의 잔향에 대한 비를 나타낸다.

$$C80 = 10 \log \frac{\int_0^{0.080s} P^2(t) dt}{\int_{0.080s}^{\infty} P^2(t) dt} \dots\dots\dots(\text{식 1})$$

⑥ D 50(Definition)

C80이 음악의 명료도를 나타내는 반면, D50은 회화의 명료도, 즉 요해도를 나타낸다. D50은 전체 에너지에 대한 비로 계산한다. 이 값이 크면 요해도가 좋으며, 적으면 울림이 많음을 의미한다.

$$D = \frac{\int_0^{0.050s} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \dots\dots\dots(\text{식 2})$$

⑦ LF (Lateral Fraction)

옆 방향에서 오는 초기음에서의 비율을 뜻하며 청취자가 소리에 둘러싸인 정도, 즉 공간감을 나타낸다.

$$LF = \frac{\int_{0.005s}^{0.080s} PL^2(t)dt}{\int_0^{0.080s} P^2(t)dt} \dots\dots(식 3)$$

⑧ RASTI (Rapid Speech Transmission Index)

이 지표는 언어의 요해도를 나타내며 RASTI 값이 높으면 요해도가 높은 공간이 된다.

⑨ ITDG (Initial Time Delay Gap)

Intimacy(친근감·음이 가깝게 들리는 정도)를 객관적으로 표시한 것으로 직접음과 1차 반사음 도달하는 시간차를 나타낸 것이다.

⑩ BR (Bass Ratio)

저음에 대한 사람의 주관적인 감각인 Warmth(따뜻함)를 나타내는 지표이다.

$$BR = \frac{RT_{125} + RT_{250}}{RT_{500} + RT_{1000}} \dots\dots(식 4)$$

3.2 내부마감재료

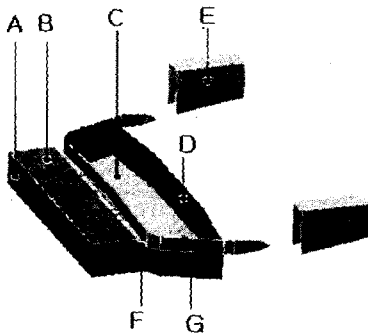


그림 3 오케스트라 피트마감

표 1 오케스트라 피트 내부 마감재

부위	마감재
A 후벽	콘크리트 마감위 벨루어 커튼 2겹
B 천장	콘크리트 마감위 무광 흑색 페인트 마감
C 바닥	단풍나무 후로링
D 앞벽	콘크리트 마감위 무광 흑색 페인트 마감
E 부가공간	콘크리트 마감
F 천장	흡음 패널 (2")
G 측벽	콘크리트 마감위 무광 흑색 페인트 마감

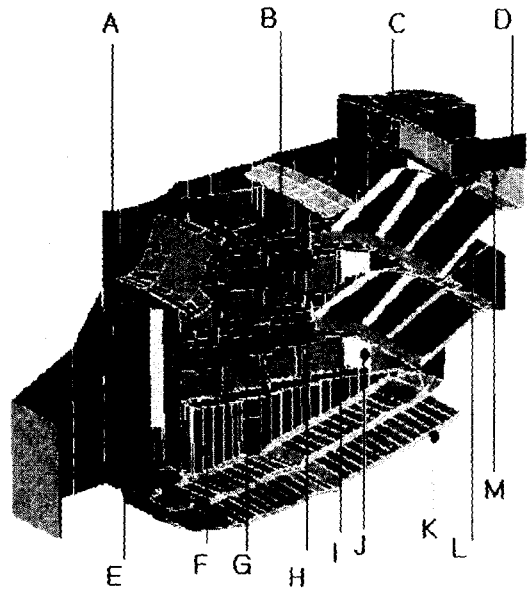


그림 5 내부마감재부위

표 2 대공연장 내부 마감재

부위	마감재료	
A 측벽	콘크리트 위 무늬목 마감	
B 가변벽	반사 : Base Panel(BPS-50R) 흡음 : 압축 Glass Wool 50T위 난연천마감	
C 천정	석고보드 9.5T 2Ply	
D 조정실측벽	석고보드 9.5T 2Ply+ 암면 50T+ 공기층	
E 바닥	단풍나무 후로링	
F 측벽	화강석 요철	
G 발코니 칸막이	콘크리트 마감위 페인트칠	
H 파라펫	석고보드 9.5T 2Ply+ 공기층	
I 문	Wood Door	
J 측벽	석고보드 9.5T 2Ply+ 암면 50T+ 공기층	
K 통로	카펫 5T	
L 발코니 실링	석고보드 9.5T 2Ply+ 암면 50T+ 공기층	
M 후벽	압축 Gass Wool 50 T 난연천 마감	
배너 배너	8kg/m ² 벨루어천 2겹	

3.3 결과의 분석

용적은 대략 15,000m³로, 잔향의 최대 가변량을 확보하는 것이 음향 설계의 주요 목표이다.

시뮬레이션에 있어서는 1개의 음원과 9개의 수음점에 대한 음향 특성을 살펴보았으며 그 결과, 표 3과 같이 잔향 시간은 반사모드에서 1.7초(반석시; 500Hz기준), 흡음모드에서 1.3초(만석시; 500Hz 기준)였다.

표 3 대공연장의 음향특성 실험결과(만석시)

음향 특성(500Hz기준)	결과(초)	
	반사	흡음
RT(만석)	1.69	1.28
EDT(만석)	1.58	1.28

EDT는 일반적으로 공식으로 나타내지만, 표 3에서는 만석시의 결과치를 비교하였다. EDT값이 짧다는 것은 음의 중심이 앞쪽에 있어 명료도가 강조된 것을 의미한다. LF(Lateral Fraction)는 반사 모드일 경우 공간감을 느끼기에 이상적인 값인 0.20의 값을 보이고 있다(그림 5 참조). 그림 6은 언

어의 요해도를 나타내는 것으로 RASTI값이 높을 수록 음이 명료하게 전달됨을 의미하며 0.5~0.7 사이에 분포하고 있다.

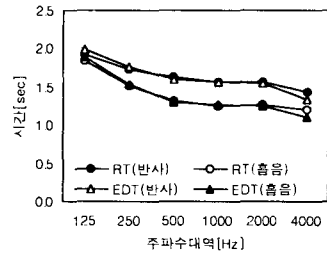


그림 4 RT와 EDT(만석시)

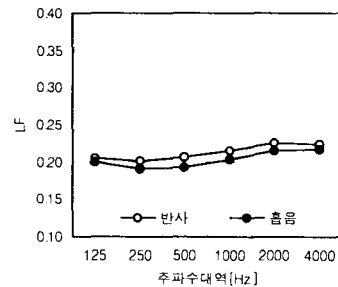


그림 5 Lateral Energy Fraction

Rapid Speech Transmission Index

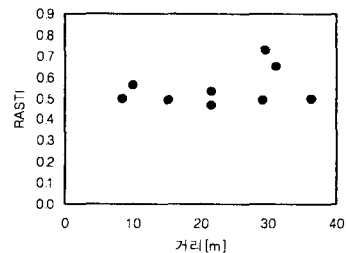


그림 6 RASTI - 흡음모드(만석시)

3.4 설계결과와의 비교

대공연장은 측벽에 흡음재인 '압축 글라스울 50T+난연천'과 반사재인 '베이스 판넬'로 이루어진 가벽벽과 오케스트라 피트 후벽의 커튼 그리고 부가공간을 두어 잔향 시간을 각 용도에 맞게 조절할 수 있도록 하였다. 변화된 잔향 시간은 500Hz를 기준으로 반사모드일 때 1.7초, 흡음모드일 때 1.3초로 가변되도록 하였다.

외국의 유명홀들의 음향특성²⁾을 통해 비교하여 A와 B'에 해당하는 EDT, RT, LF, C80, ITDG, BR값들과 비교하여 나타내면 표4~9과 같다.

표 4 홀의 등급별 Early Decay Time

등급	공석시(초)	
	EDT(중주파수대역)	EDT 범위
그룹 A+,A	2.45	2.1~3.1
그룹 B+	2.00	1.7~2.6
그룹 B,C+	1.80	1.4~2.15
평균	2.00	1.4~3.1
김해문화회관	1.70	1.62~1.89

표 5 각 등급별 잔향 시간

등급	만석시잔향시간(초)	
	중간주파수대역*	전체 범위
그룹 A+,A	1.90	1.8~2.05
그룹 B+	1.70	1.2~2.2
그룹 B,C+	1.50	1.25~1.85
평균	1.70	1.2~2.2
김해문화회관	1.69	1.66~1.75

*중간주파수대역은 500Hz 와 1000Hz의 평균잔향임

표 6 홀의 Lateral Energy Fraction

등급	홀명	LF(공석시)*
A+	Concertgebouw, Amsterdam	0.18
	Symphony Hall, Boston	0.20
	Grosser Musikvereinssaal, Vienna	0.17
A	St. David's Hall, Cardiff, Wales	0.17
	Seegerstrom Hall, Costa Mesa	0.23
평균		0.18
김해문화회관		0.22

* LF는125/250/500/1000kHz 값의 평균치임.

2) Leo Beranek, 1996, Concert And Opera Halls, Acoustical Society of America, pp.419-450

표 7 잔향 시간

콘서트홀	만석시 잔향시간 (중간주파수대역)
Meyerson/McDermott ConcertHall, Dallas	2.80
De Doelen Concertgebouw, Rotterdam	2.05
Grosser Tonhalleaal, Zurich	2.05
Konzerthous (Schauspielhaus), Berlin	2.00
Grosser Musikvereinssaal, Vienna	2.00
Gewandhaus, Leipzig	2.00
Concertgebouw, Amsterdam	2.00
St. David's hall, Cardiff, Wales	1.95
Philharmonie Hall, Berlin	1.90
Symphony Hall, Boston	1.85
Carnegie Hall, New York	1.80
Stadt-Casino, Basel	1.80
Seegerstrom Hall, Costa Mesa	1.60
평균	2.00
김해문화회관	1.69

표 8 C80 및 ITDG

등급	홀명	C80(dB)*	ITDG(ms)
A+	Concertgebouw, Amsterdam	-3.3	21
	Symphony Hall, Boston	-2.7	15
	Grosser Musikvereinssaal, Vienna	-3.7	12
A	Stadt-Casino, Basel	-2.3	16
	Konzerthous (Schauspielhaus), Berlin	-2.5	25
	Carnegie Hall, New York	-	23
	St. David's Hall, Cardiff, Wales	-0.9	25
	Hamarikyu Asahi, Tokyo	-0.2	16
	Grosser Tonhalleaal, Zurich	-3.6	14
평균		-2.4	19
김해문화회관		-1.1	17

* C80은 500,1000,2000Hz 값의 평균치임(공석).

표 9 Bass Ratio

콘서트홀	만석시 BR
Tanglewood Shed, Lenox	1.45
Grosser Tonhalleaal, Zurich	1.23
Royal Festival, London (Resonance On)	1.17
Grosser Musikvereinssaal, Vienna	1.11
Concertgebouw, Amsterdam	1.08
Symphony Hall, Boston	1.03
Philharmonie am Gasteig, Munich	1.00
Opera House Concert Hall, Sydney	0.98
Avery Fisher Hall, New York	0.93
평균	1.11
김해문화회관	1.14

4. 주관적 평가에 의한 분석

4.1.1 음향 특성에 대한 평가

1) 실험 방법

M5000과, OD-Sound를 통해 가청화를 실시한 평가 항목들은 다음과 같다.³⁾

- 음의 크기 (Loudness-Loud)
- 잔향감 (Reverberance-Rev): 음의 발생 이후 여운의 정도
- 풍부함 (Volume-Vol): 음이 풍성하게 들리는 정도
- 긴장감 (Intensity-Intn): 명확하게 뻗어나가는 정도
- 명료성 (Clarity-Cla): 음이 명확하게 들리는 정도
- 확산감 (Envelopment-Env): 음이 들리는 방향의 다양한 정도
- 친밀감 (Intimacy-Inti): 음이 가깝게 들리는 정도
- 포근함 (Bass Ratio/Warmth-Bass): 저음이 들리는 정도
- 밝음(Brilliance-Bri): 중간주파수대의 RT에 대한 고주파대의 RT의 비율
- 전체적 인상 (Overall Impression-Ove)

피험자는 음대 작곡과 교수로, 오랜 지휘 경험이 있으며, 이와 같은 청감 실험에 참여한 경험이 있다. 무향실에서 녹음한 첼로곡을 음원으로 사용하였다. Scale로 사용한 기준은 '5:매우 그렇다. 4:그렇다. 3:보통이다. 2:그렇지 않다. 1:매우 그렇지 않다.'를 기준으로 그래프로 나타내었다.

2) 주관적 평가의 결과

주관적 평가 결과를 스케일의 범위와 평균으로 나타내면 그림 7과 같다.

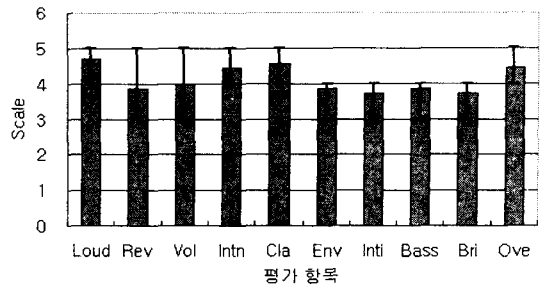


그림 7 주관적평가 결과

4.1.2 명료도의 주관적 평가

1) 실험 방법

평가는 무향실에서 녹음한 한국어 명료도 단음절 목록⁴⁾을 사용하였다. 수음점 별로 받아쓰기 방식을 채택하여 맞추는 비율을 이용하여 경향을 파악하였다. 피험자는 20대 후반의 대학원생 12명을 대상으로 하였고, 청감실험은 소음도가 낮은 공간에서 헤드폰을 이용하여 실시하였다. 사용한 단음절음원은 표 10과 같다.

표 10 단음절 목록

나	엔	썰	빙	린	수	꿔	넛	펼	맘
려	켜	첼	믹	립	히	작	쫓	텐	끗
용	안	송	컴	험	탄	놔	불	련	벗
닐	넉	킬	중	뉴	납	문	서	푼	실
겐	쉬	튀	꺼	며	영	넌	썩	딩	딴

놋	잡	락	엘	쭈	껏	룽	폴	킨	락
뻬	깨	픽	결	랑	혁	끼	카	떨	또
너	짠	킵	빠	데	륙	닛	버	줍	디
펜	콩	멸	퀴	링	딤	빌	썩	럽	윈
벨	쇼	론	뤼	억	싱	닌	힌	쑥	림

2) 명료도 실험 결과

단음절의 명료도 평가를 흡음모드와 반사모드에서 실시한 결과, 평균 60%의 정답률을 보였다.

3) 대공간의 실내 음환경 계획을 위한 기초 실험 연구, 전진용, Journal of the Construction Research Institute. Vol.5 1999, pp. 14

4) 강성훈 저, 1999, "음향 시스템 이론 및 설계", 기전연구소, pp 556



그림 8 반사모드에서의 명료도

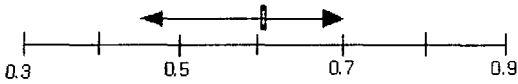


그림 9 흡음모드에서의 명료도

5. 결론

다목적홀인 김해문화회관은 흡음률을 조절하는 방법을 택하여 흡음면과 반사면을 가진 가변벽을 설계하였다. 그 결과 벽이 반사면이 되었을 때의 잔향 시간은 500Hz를 기준으로 1.7초, 흡음면이 되었을 때 1.3초로 잔향 시간의 차이를 두어 음향 특성을 변화시킬 수 있었다. 그리고 공간감에 영향을 미치는 중요한 부위인 측벽의 재료 수정과 기하학적 모양 변화로 LF 값을 향상시킬 수 있도록 하였고 EDT와 RT값의 차를 두어 명료도가 향상되도록 하였다.

객관적 지표를 바탕으로 한 주관적 평가는 음향 특성과 명료도 평가로 나누어 실험을 실시하였으며, 이를 통해 청취자들이 높은 요해도를 얻을 수 있는 공간으로 설계하였다.

향후 더욱 활용도가 높아질 다목적 홀이 적합하게 사용될 수 있도록 하는 다양한 변화방법에 대한 연구와 객관적 지표와 주관적 평가 결과와의 관계를 파악하고 두 지표 사이 관계의 신뢰도에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- (1) 진진용, 1999, "대공간의 실내 음환경 계획을 위한 기초 실험 연구", Journal of the Construction Research Institute. Vol.5 1999, pp. 14
- (2) 강성훈 저, 1999, "음향 시스템 이론 및 설계", 기전연구소, pp. 556
- (3) Leo Beranek, 1996, "Concert And Opera Halls", Acoustical Society of America, pp.419-450
- (4) Michael Barron, 1993, "Auditorium Acoustics and Architectural Design", E & FN Spon, pp.361-400
- (5) 진진용, 1996, "실의 음향특성에 대한 음악가의 평가". 대한건축학회논문집 12권 11호, pp115-123
- (6) Madan Mehta, James Johnson, Jorge Rocafort, 1999, "Architectural Acoustics", Pretice Hall, pp.294-295