

원형평면을 갖는 공연장의 음향특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Acoustics Characteristics of Music Hall with Round Form

윤희경* · 김재수**

Yun, Hee-Kyoung · Kim, Jae-Soo

Abstract

The present article evaluates a performance hall, which improves sound efficiency. In general, the sidewall of the music hall is plane circle, thus there happens a focus phenomenon. To overcome it, the music hall improves its sound efficiency by making its sidewall irregular. After measuring impulse response from the performance hall, evaluation indices on the temporal distribution of sound energy such as RT, EDT, D50, C80, RASTI and BR were obtained, and based on them, indoor acoustic characteristics and the generation of echoes were determined. According to the results, evaluation indices showed that the acoustic condition was satisfactory in general. This study is to provide fundamental data for acoustic design of music hall with round form by analyzing the room acoustic characteristics of music hall.

키워드 : 공연장, 임펄스 응답, 실내음향

Keywords : Music Hall, Impulse Responses, Room Acoustics

1. 서 론

최근 연극, 콘서트, 오페라등과 같은 문화 생활을 즐기려는 사람들이 증가하게 되면서 이러한 공간에 대한 필요성도 증가하게 되었다. 이로 인해 미적·기능적인 쾌적성을 만을 고려한 다양한 형태의 문화공간들이 많이 건설되나 이러한 다수의 공간들은 현재 많은 음향적인 결함들을 갖고 있는 실정이다. 특히 원형이나 타원의 형태를 갖는 평면은 음이 한쪽으로 몰리는 음의 초점 현상을 유발하여 실내의 음압분포가 고르지 못하고, 음이 집중되는 어느 한 지점의 음압레벨이 상대적으로 높아지는 등 실내 음향조건을 악화시키는 결과를 가져오고 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 설계단계에서 원형평면을 갖고 있는 공연장의 음향상태를 개선하기 위해 측벽 및 후벽의 형태와 마감재료를 조절한 공연장을 선정하여 현장 측정을 실시함으로써 실내 음향 특성을 평가해 보고자하였다. 그러나 측정 당시 무대부분 공사가 마무리되지 않아 무대 개구부의 방화벽을 내리고 실험을 실시하였다.

이렇게 분석된 자료는 향후 원형 평면을 갖는 공연장의 음향 설계시 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 측정방법 및 개요

2.1 공연장의 개요

본 연구대상 공연장은 연극, 실내악, 콘서트

* 정회원, 원광대학교 건축학부 석사과정

** 정회원, 원광대학교 건축학부 부교수, 공학박사

등의 공연을 수용할 수 있도록 계획된 다목적 공연장으로서 객석은 1층 주객석과 2층의 발코니를 돌출시킨 객석으로 이루어져있으며 실내 용적은 약4,000m³, 객석수는 약 6,800석으로 이루어져있다.

다음 <표 1>은 공연장 내부마감재료와 주파수별 흡음률자료이며, <그림 1>은 측정시 한계를 두었던 무대 부분으로 방화벽이 내려진 모습과 홀의 반사를 고려한 천장과 벽체 그리고 객석부분의 모습이다.

표 1. 공연장의 마감재료 및 흡음률데이터

대구분	소구분	주파수(Hz)	재 료					
			125	250	500	1000	2000	4000
바닥	객석	좌석(한석시)	0.2	0.5	0.61	0.63	0.6	0.56
	볼로	원목형후로링 참나무(22T)	0.2	0.15	0.1	0.09	0.09	0.09
천장 및 발코니	천장	FG보드	0.18	0.12	0.06	0.04	0.04	0.04
	발코니 하부천장	Acoustical ceiling panel 2"(E-40)	0.43	0.5	0.42	0.62	0.86	1.0
벽체	발코니 전면	합판 12파/내광목/내화처리/수성페인트 2회	0.02	0.25	0.10	0.10	0.07	0.07
	측벽 (12층)	0.2T 지정 무늬목 시트	0.18	0.12	0.08	0.06	0.06	0.06
기타	후벽 (12층)	지정흡음천마감/선방염처리	0.25	0.18	0.54	0.78	0.95	0.90
	화산체	0.2T 지정 무늬목 시트	0.18	0.12	0.08	0.06	0.06	0.06
	3층	지정흡음천마감/선방염처리	0.25	0.18	0.54	0.78	0.95	0.90
기타	문		0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
	창문		0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
	파티션	0.2T 지정 무늬목 시트	0.18	0.12	0.08	0.06	0.06	0.06
	감바		0.2	0.12	0.08	0.06	0.04	0.04

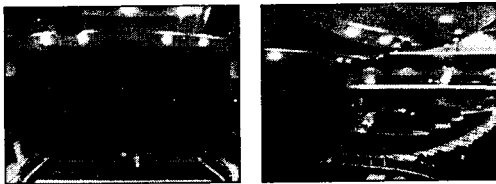


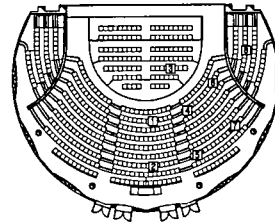
그림 1. 공연장의 모습

2.2 측정방법 및 측정기기 구성도

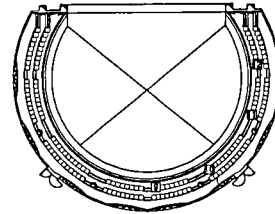
대상 공연장의 형태가 대칭이므로 실의 중심선을 기준으로 한쪽편을 대상으로 각 열과 거리를 고려하여 1층 객석부분에 8개, 2층 객석부분에 4개로 비교적 고르게 분포되도록 총 12개의 측정점을 선정하였다.

측정은 ISO 3382에 준하여 실시하였으며, 음원은 ISO에서 제안하는 무지향성 스피커(DO12 : Omni-Directional Speaker)를 사용하였고 마이크로폰 높이는 1.2m로 하여 각 벽면과 마이크

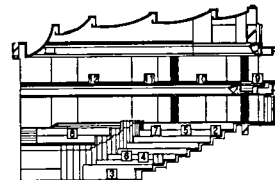
로폰은 최소 1m 이상 이격시켜 측벽 반사에 의한 영향이 미치지 않도록 하였으며 평면·측면 형태와 수음점의 위치는 <그림 2>와 같다.



(a) 1층 평면도



(b) 2층 평면도



(c) 측면도

그림 2. 공연장의 측정점

측정용 음원은 MLS(Maximum-Length Sequence) 음원을 사용하여 배경소음에 대한 영향을 어느 정도 배제할 수 있었다. 측정에 사용된 측정기기는 01dB사의 Symphonie 중에서 dBBA1I를 사용하였으며 다음과 같다.

- ① Omni-Directional Speaker
- ② Power Amplifier
- ③ Realtime Frequency Analyzer
- ④ Notebook Computer
- ⑤ Microphone & Preamplifier

측정기기의 구성 및 배열은 <그림 3>과 같으며 측정시 음원과 수음점의 모습은 <그림 4>와 같다.

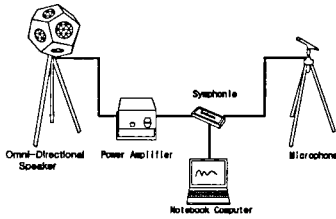


그림 3. 측정기기 구성 및 배열

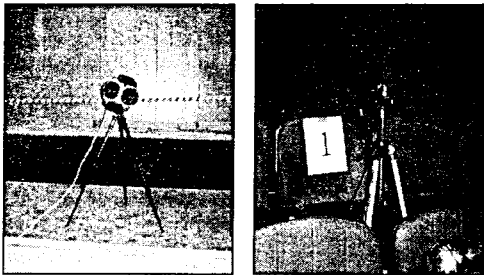
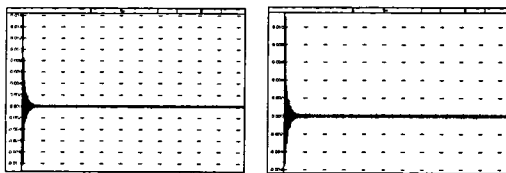


그림 4. 측정시 음원과 수음점

3. 분석 및 고찰

3.1 임펄스 응답(Impulse Response)

소리가 변화하는 합이며 공간의 모든 정보를 포함하고 있는 임펄스 응답은 1층객석, 2층객석 수음점에서 측정한 대표적 임펄스응답을 보면 다음 <그림 5>와 같다.



(a) 1번 좌석(1층객석) (b) 9번 좌석(2층객석)

그림 5. 공연장의 Impulse Response

그림에서 보면 각 좌석별 Impulse Response에서는 echo현상이 모두 발생하지 않음을 알 수 있다.

이처럼 임펄스응답 측정 결과로부터 많은 음향변수들이 계산될 수 있으며 RT, EDT, D50, C80, RASTI, BR등과 같은 음에너지의 시간적 분포에 관한 평가지수들을 산출하여 실내음향 특성 및 에코(Echo) 발생 여부를 판단 할수 있다.

3.2. 음압레벨(SPL)

음의 세기를 나타내는 음압레벨은 12개의 수음점에서의 좌석에 따른 주파수별 음압레벨을 파악해보면 <그림 6>과 같다.

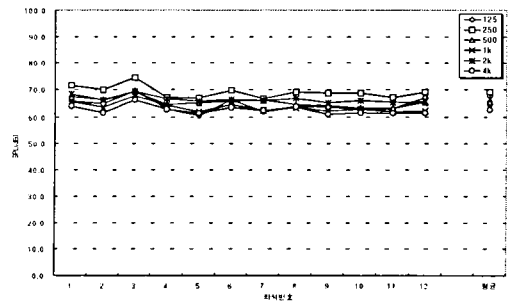


그림 6. 좌석에 따른 공연장의 음압레벨

그림을 보면 500Hz를 기준으로 할 때 각 좌석별 평균값이 65.4dB임을 알수 있으며, 음압레벨의 편차가 1.7dB로 나타나 각 좌석에서 균일한 음압레벨 분포를 나타내고 있어 만족할 만한 음향 상태를 보여주고 있음을 알수 있다.

3.3. 잔향시간(RT, Reverberation Time)

울림의 양에 대한 가장 중요한 평가지수인 잔향시간은 12개의 수음점에서 좌석에 따른 주파수별 잔향시간을 파악해보면 <그림 7>과 같다.

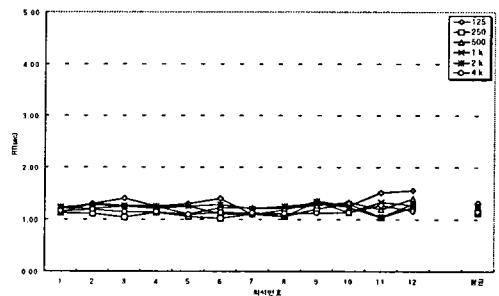


그림 7. 좌석에 따른 공연장의 잔향시간

그림을 보면 500Hz를 기준으로 할 때 각 좌석별 평균값이 1.24초임을 알 수 있으며, 잔향시간의 편차가 0.08초로 나타나 좌석간 잔향시간의 차이는 거의 없는 것으로 나타남을 알 수 있다.

다음은 공연장의 각 주파수에 대한 좌석별 평균을 구한 후 실측 잔향시간과 최적잔향시간을 비교한 값으로 <그림 8>과 같다.

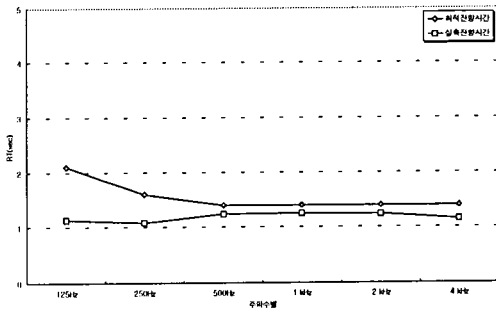


그림 8. 좌석에 따른 공연장의 잔향시간

공연장은 연극, 실내악, 콘서트등을 공연할수 있는 성능을 갖춘 다목적 홀로 최적잔향시간이 500Hz에서 1.4초를 기준으로 하고 있으나 측정시 무대부분이 완성되지 않아 잔향시간이 목표치보다 0.16초 짧게 나타났지만 무대부분이 완성되면 무대부분의 체적이 증가하고 객석쪽으로 더 많은 음향에너지를 방사하기 때문에 원하는 잔향시간을 충분히 확보 할수 있을 것으로 사료된다.

3.4 초기감쇠시간(EDT, Early Decay Time)

잔향의 또 다른 주관적 평가지수인 초기감쇠시간은 12개의 수음점에서 좌석에 따른 주파수별 초기감쇠시간을 파악해보면 <그림 9>과 같다.

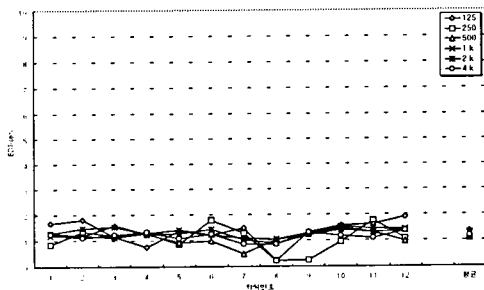


그림 9. 좌석에 따른 공연장의 초기감쇠시간

그림을 보면 500Hz를 기준으로 할때 각 좌석별 평균값이 1.14초로 나타났으며 초기감쇠시간의 편차가 0.29로 나타나고 있어 만족할 만한 음향상태를 보여주고 있음을 알 수 있다.

3.5 음성명료도(D50, Definition)

50ms까지의 반사음이 직접음을 보장하여 명료도를 좋게하는 평가지수인 D50은 12개의 수음점에서 좌석에 따른 주파수별 음성명료도를 파악해보면 <그림 10>와 같다.

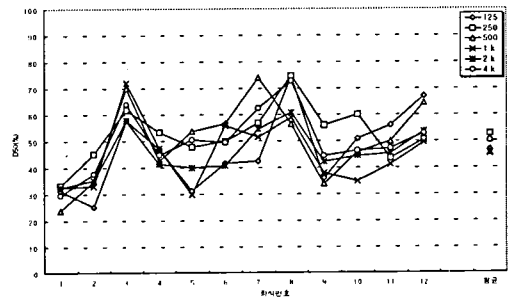


그림 10. 좌석에 따른 공연장의 음성명료도

그림을 보면 500Hz를 기준으로 할때 각 좌석별 평균값이 50.46%로 나타났으며 음성명료도의 편차가 15.14%로 나타나고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 다목적홀에서 음악당의 경우 30~40% 정도면 음성에 대한 명료성을 확보할수 있으므로 현재 다목적홀에 적합한 명료도 수준을 나타내고 있음을 알수 있으며 또한 무대가 완공되면 훨씬 높은 명료성을 나타낼 것으로 사료된다.

3.6 음악명료도(C80, Clarity)

음악에 대한 명료도 평가지수(Clarity Index)인 C80은 12개의 수음점에서 좌석에 따른 주파수별 음악명료도를 파악해보면 <그림 11>과 같다.

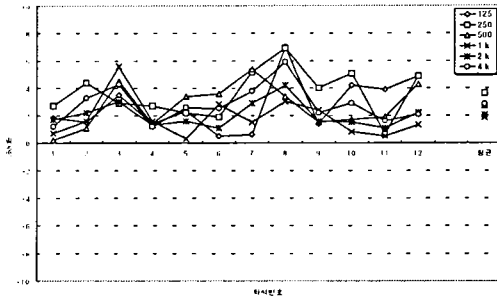


그림 11. 좌석에 따른 공연장의 음악명료도

그림을 보면 500Hz를 기준으로 할 때 각 좌석별 평균값이 2.70임을 알수 있으며, 음악명료도의 편차가 1.61dB로 나타나 Plucked 악기에 이상적이며 속도가 빠른 현대음악에 이상적임을 알수 있다. 또한 포크 음악이나 현대 교회음악, 대중음악, 재즈에서도 음악적 명료도가 얻어지는 +4/-2dB의 범위에 있음을 알수 있다.

3.7 음성전달지수(RASTI, Rapid Speech Transmission Index)

실내에서 음성 전달의 이해도(Speech Intelligibility)를 나타내는 주관적 척도로서의 평가지수인 RASTI는 12개의 수음점에서 좌석에 따른 음성명료도를 파악해보면 <그림 12>과 같다.

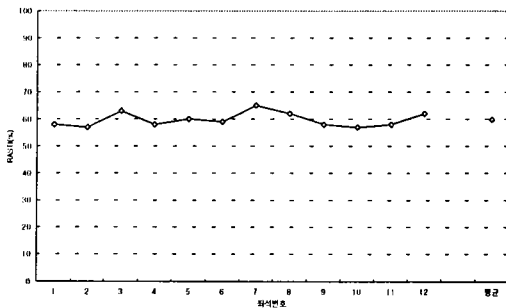


그림 12. 좌석에 따른 공연장의 음성전달지수

그림을 보면 각 좌석별 평균값이 59.75%로 나타났음을 알수 있다. 이러한 값은 <표 2>를 기준으로하여 Fair(노력하면 들을 수 있다)로 평가됨을 알수 있다.

표 2. RASTI 평가기준

RASTI(%)	Rating Scale
0~32	Bad(전혀 알아듣지 못한다)
32~45	Poor(잘 알아듣지 못한다.)
45~60	Fair(노력하면 들을 수 있다)
60~75	Good(잘 들린다.)
75~100	Excellent(아주 편안하게 들을 수 있다.)

3.8 저음비(BR, Bass Ratio)

저음 자향시간(125Hz, 250Hz)의 증음 잔향시간(500Hz, 1,000Hz)에 대한 비율로서 저음에 대한 사람의 주관적인 감각인 Warmth(따뜻함) 즉, 음색의 포근함을 나타내는 평가지수인 BR은 12개의 수음점에서 좌석에 따른 주파수별 저음비를 파악해보면 <그림 13>과 같다.

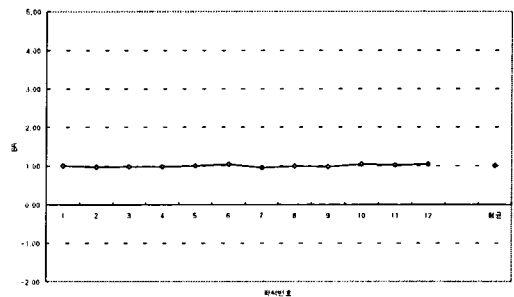


그림 13. 좌석에 따른 공연장의 저음비

그림을 보면 저음비는 각 좌석별 평균값이 1.00으로 나타남을 알수 있다. 저음비는 음악전용 홀에서는 1.4이상, 오페라극장에서는 1.2정도가 적당하며 최소 1.0이상의 값이 적당한 값으로 본 측정결과에 의해 나온 값은 적당한 값을 보이고 있음을 알수 있다.

또한 이러한 평가지수는 무대가 완공되지 않은 상태에서의 평가이므로 향후 무대가 완공되면 훨씬 높은 값을 유지할수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 음향적 결함의 발생이 예상되는 원형평면을 갖는 측벽 및 후벽의 형태와 마감재료를 조절한 공연장에서 현장 측정을 실시

참 고 문 헌

함으로써 대상 실내 공간의 음향성능을 평가해 보았다.

측정결과 물리적 음향 평가 지수인 음압레벨 분포(SPL), 잔향시간(T30), 초기감쇠시간(EDT), 음성명료도(D50), 음악명료도(C80), 음성전달지수(RASTI), 저음비(BR)등을 살펴보면 음이 한 쪽으로 집중되지 않고 고르게 분포되고 있음을 알수 있었으며 대체로 만족할 만한 음향 상태를 유지하고 있음을 알수 있었다.

단, 현 상태에서는 무대부분이 완공되지 않아 철재로 마감된 반사성이 강한 방화벽을 내리고 측정을 실시한 결과이기 때문에 객석쪽으로 균 일한 음의 반사 및 확산이 완전히 이루어졌다고 보기는 어렵다.

따라서 무대부분이 완공되면 무대에서 발생한 음이 객석쪽으로 반사, 확산되어 현 상태보다는 훨씬 만족할 만한 음향성능을 갖을 것으로 사료되며 향후 무대부분이 모두 완공된 후 측정을 해보면 더 정확한 건축음향 특성을 파악 할 수 있을 것으로 사료된다.

1. 김재수 ; 건축음향설계, 세진사, 2003.9
2. 김재수, 양만우; 건축음향설계방법론, 도서출판 서우, 2001.9
3. 윤희경, 김재수 ; “컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 오페라하우스의 건축음향설계”, 제4회 영·호남 건설 기술 심포지움 논문집 pp335~pp362, 2002.10.11
4. 장재희, 이상우 외1 ; “예술의 전당 오페라 하우스의 음향성능평가에 관한 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회 12권 2호 pp353~pp356, 1992.10.24
5. F. R.Watson, Acoustics of Buildings, John Wiley & Sons,Inc, 194