

예술의 전당 음악당의 음향특성 분석

안철용, 방희석, 성평모

서울대학교 전기공학부

Acoustic Evaluation of Seoul Arts Center Concert Hall

Chul-Yong Ahn, Hee-Suk Pang, Koeng-Mo Sung

School of Electrical Engineering, Seoul National University

* 본 연구는 한국학술진흥재단의 학술연구조성비 지원으로 이루어졌습니다.

요 약

콘서트홀의 음향상태를 평가하기 위해서는 설문지를 통하여 주관적인 선호도를 조사하는 방법과 측정을 통하여 객관적인 지표를 뽑아내는 방법이 있다. 콘서트홀의 음향특성에 영향을 주는 가장 중요한 객관적 지표로서는 친밀도, 공간감, 잔향시간, 명료도, 음의 따뜻함, 라우드니스 등을 들 수가 있다. 국내에서 가장 대표적인 콘서트홀이라고 할 수 있는 예술의 전당 음악당에 대해서 위의 객관적 지표 중 5가지 요소를 실제 측정을 통해 추출하였다. 그 결과 예술의 전당 음악당은 친밀도와 공간감 면에서 조금 부족한 면을 보여 주었고 나머지 3가지 요소에 있어서는 클래식 연주에 적합한 콘서트홀로서의 결과를 보여 주었다. 공간감과 친밀도를 향상시키기 위해서는 음악당 천장에 반사판을 설치하는 것이 필요하다고 사료된다

예술의 전당 음악당의 평면은 그림 1, 그림 2에서 보듯이 변형된 부채꼴 형태의 구조로 되어 있고 2층에는 발코니석과 합창석, 3층에는 발코니석이 위치하고 있다. 표 1에는 전반적인 크기 및 측정점들의 위치를 나타내었다.

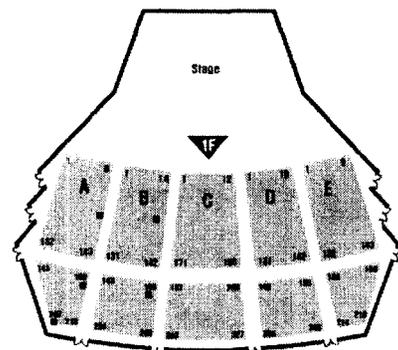


그림 1. 1층 평면도 및 측정위치.

I. 서론

국내의 대표적인 콘서트홀 중 하나인 예술의 전당 음악당은 1988년 개관 이후 많은 음악 애호가들로부터 사랑을 받아오고 있다. 이러한 예술의 전당 음악당의 음향학적인 특성이 어떠한가를 알아보는 것은 음향학적으로도 의미가 있을 뿐만 아니라 앞으로 더 좋은 소리를 들려 줄 수 있는 음악당으로 개선, 발전시키기 위한 기초 자료가 될 수 있다. 일반적으로 콘서트홀을 객관적으로 평가할 수 있는 음향특성인 잔향시간, 공간감, 친밀도, 명료도, 베이스 강도를 실제의 측정을 통해 구하고 좋은 콘서트홀들의 수치와 비교하여 보았다.

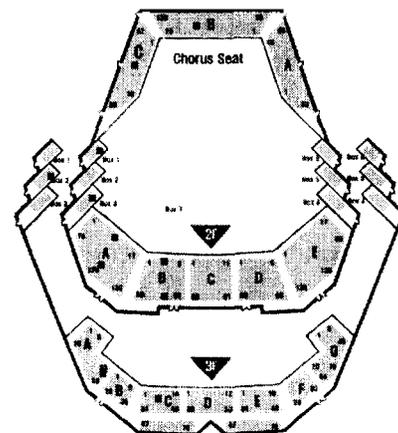


그림 2. 2층과 3층의 평면도 및 측정위치.

II. 측정 방법

표 1. 음악당의 크기 및 측정위치.

좌석용량	홀부피	최대길이	측정위치
1층 : 1251석 2층 : 595석 3층 : 308석 합계 : 2600석	23000m ³	L : 45 m W : 27 m H : 16 m	1층 : 5점 2층 : 4점 2층box : 2점 합창석 : 2점 3층 : 2점 3층box : 1점 합계 : 16점

무대의 중앙에서 자체제작한 무지향성 스피커로 48kHz, 5초 길이의 MLS(Maximum Length Sequence)를 발생시키고 16개소의 측정점에서 각각 무지향성 마이크로폰과 디미헤드로 녹음을 하였다. DAT에 녹음된 데이터는 실험실에 돌아와 PC로 후처리를 하여 모노성 충격응답과 바이노랄 충격응답을 구하고 분석을 통해 음향특성치들을 구하였다.

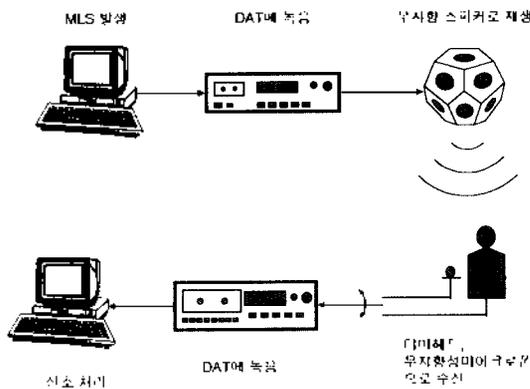


그림 3. 측정 시스템의 블록도.

III. 분석결과

1. 친밀도 - 초기지연시간(initial-time-delay gap)

초기지연시간은 콘서트홀의 음이 얼마나 친밀하게(intimacy) 들리느냐 하는 측도를 나타내어주는 수치로서 직접음 이후에 첫 번째 반사음이 들어오는 시간차이를 말한다. 주로 무대 뒷벽이나 측벽반사, 음향반사판을 통한 반사음 등이 첫 번째 반사음인 경우가 많은데 1층 중앙에서 약 15~30ms 정도의 초기지연시간을 가질 때 가장 친밀감을 잘 느낄 수 있다고 알려져 있다

예술의 전당 음악당은 중앙에서 약 1/6 정도 왼쪽으로 치우친 B-83의 좌석에서 27.1ms의 수치가 나왔고 이것은 약 9.18m의 반사경로차이를 계산할 수 있는데 이는 좌측벽에 반사된 음이 첫 번째 반사음이라는 것을 보여 주고 있다.

측정점은 모두 중앙에서 벗어난 부분으로서 이 부분들은 초기반사음이 비교적 충실하지만 중앙부분에서는 초기반사가 약할 수 있음을 예상할 수 있다.

초기시간지연은 일반적으로 도면을 통하여 구하게 되는데 1층 중앙에서 무대중앙사이의 초기반사를 구해 보면 측벽반사가 18m의 경로차를 주고 천장반사가 16m의 경로차를 주게 되어 천상으로부터의 반사가 1차 반사음을 알 수 있고 이는 약 47ms의 시간지연에 해당된다. 이것을 일반적인 수치와 비교해 볼 때 중앙 부분에서는 초기반사가 미약함을 알 수 있고 이것은 부채꼴 형태의 음악당 구조에서 기인하는 문제라고 할 수 있다. 따라서 친밀도의 향상을 위해서는 무대 상단에 음향반사판을 설치하는 것이 필요하다.

2. 공간감 - IACC_{EB} (interaural crosscorrelation)

공간감을 잘 나타내어주는 측도로 사용되는 것은 두 귀사이의 입사음의 상이도를 나타내어주는 IACC와 측면에서 입사되어 오는 음의 에너지 비를 나타내어주는 LF(lateral fraction)가 있다. LF는 8자형 마이크로폰과 무지향성마이크로폰을 조합하여 구할 수 있는데 본 측정에서는 디미헤드를 이용하여 IACC를 구하였다.

IACC의 정의는 다음과 같다.

$$IACC = \left| \frac{\int_0^{t_0} p_L(t) p_R(t+\tau) dt}{\left\{ \int_0^{t_0} p_L^2(t) dt \int_0^{t_0} p_R^2(t) dt \right\}^{1/2}} \right|_{\max}$$

여기서 $p_L(t)$ 와 $p_R(t)$ 는 각각 오른쪽 및 왼쪽 귀로 수신되는 소리의 충격응답이다.

여기서 t_0 를 초기반사음이 들어오는 80ms로 한정하고 500Hz, 1kHz, 2kHz의 옥타브밴드에 관해서 IACC를 구하여 평균한 IACC_{EB} 값이 주관적인 신호도와 가장 밀접한 관련이 있다고 알려져 있고 콘서트홀간에는 이 값으로 비교할 하는 것이 일반적이다.

세계적으로 인정받는 높은 선호도의 콘서트홀들은 대체로 IACC_{EB} 값이 0.34, 공간감의 콘서트홀들은

0.44, 선호도가 나쁜 콘서트홀은 0.59의 값 근처에 위치해 있음이 연구되어졌고 예술의 전당 콘서트홀의 평균 값인 0.50은 이와 비교하여 볼 때 중간 정도의 값이라고 할 수 있다.

좌석별로 보면 2층의 B열 부분(7,8)과 박스석(9,13), 합창석(14) 부분이 공간감이 떨어짐을 알 수 있고 반면에 가까이 한 좌석들은 대체로 공간감이 좋음을 알 수 있다.

3. 잔향시간 - RT(reverberation time) 혹은 EDT (early decay time)

연주공간은 연주되고 있는 음악 장르에 가장 어울리는 잔향을 제공해야 하는데 콘서트홀의 경우는 클래식 음악이 주로 연주되므로 이 경우에 사람들이 선호하는 잔향시간은 대체로 1.8~2.0초 정도가 된다.

잔향시간의 정의는 정상상태의 음이 연주공간에 가득찬 상태에서 갑작스럽게 끊어지는 경우 음압이 60dB 감소하는데까지 걸리는 시간이다. 그러나, 측정시에는 주로 관중이 없을 때를 이용하기 때문에 실제 연주 상황과 조금 다를 수가 있고 이를 보완하기 위해서 관중이 없는 경우에 음압이 10dB 떨어지는 시간을 구해 이를 6배 한 값을 잔향시간 대신 사용하게 되고 이를 EDT라 한다. EDT는 대체로 RT보다 조금 더 긴 값을 가지게 된다.

예술의 전당 음악당의 경우는 중간 주파수 범위에서의 EDT 평균이 약 1.95초로서 만족스러운 잔향시간 범위에 있다고 할 수 있다.

4. 명료도(clarity) - $C_{80}(3)$

명료도는 음압이 연주될 때 하나의 음들이 각각 다른 음들과 분리되어 투명하게 전달되는 정도를 나타내는 지표로서 본 논문에서는 여러 가지 정의 중 다음의 정의에 따라 계산하였다.

$$C_{80} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\int_0^{80ms} [g(t)]^2 dt}{\int_{80ms}^{\infty} [g(t)]^2 dt} \right\} \quad (\text{dB})$$

특히 500Hz, 1kHz, 2kHz의 옥타브 밴드에 대해 명료도를 구하고 이를 평균한 $C_{80}(3)$ 을 콘서트홀간의 비교에 많이 사용한다.

명료도의 선호도는 연주공간의 잔향시간과 밀접한 관련이 있는데 주로 대화, 강의용으로 사용되는 잔향이 적은 방에서는 양의 값으로 나오는 것이 좋고 콘서트홀처럼 잔향이 긴 공간에서는 0dB에서 -4dB 정도의 음의 값이 나오는 것이 좋다. 음악당의 경우는 평균적으로 -1.04dB가 나오고 이것은 음악 연주에 적당한 정도의 명료도를 나타내고 있다. 3층의 좌석 중 두곳(12,13)에서는 양의 값을 나타내고 있는데 이 두 좌석은 다른 곳에 비해 잔향시간도 짧은 결과를 보여 주고 있어 음악 청취에 좋지 않은 자리임을 보여 주고 있다.

5. 음의 따뜻함(warmth) - BR(bass ratio)

저음 부분이 고음부분보다 더 강하게 들려올 때 청취자들은 음이 따뜻하다고 느끼고 이를 더 선호하는 경향이 있다. 이를 객관적인 지표로 나타낸 것이 BR로서 다음과 같이 정의되어진다.

$$BR = \frac{RT_{125Hz} + RT_{250Hz}}{RT_{500Hz} + RT_{1000Hz}}$$

세계적으로 유명한 콘서트홀의 BR은 1.03에서 1.11사이의 값을 가지고 있고, 음악당은 적당한 BR 값을 가지고 있음이 확인되었다.

IV. 결론 및 향후과제

예술의 전당 음악당의 음향특성 측정을 통하여 천장도, 공간감, 잔향시간, 명료도, 음의 따뜻함 등의 객관적인 지표들을 수치로 구체화할 수 있었다. 그 결과를 선호도가 높은 콘서트홀들의 값과 비교해 볼 때 잔향시간, 명료도, 음의 따뜻함을 훌륭한 것으로 비교되었지만 천장도와 공간감 측면에서는 조금 부족한 면이 있는 것으로 나타났다. 천장에 음향 반사판을 설치한다면 이를 보완해 줄 수 있을 것으로 생각이 된다.

측정된 결과 이외에 콘서트홀을 평가하는 중요한 척도로서 라우드니스가 있다. 라우드니스는 각 좌석별로 충분한 음이 전달되는지를 나타내어주는 척도로서 앞으로 꼭 수행되어야 할 측정지표라고 할 수 있다. 그리고, 더 많은 좌석에 대한 측정을 통해 좌석별로 음향상태의 호불호를 밝혀주는 것이 필요하다고 하겠다.

V. 참고문헌

1. Leo Beranek, *Concert and Opera Halls How They Sound*, Acoustical Society of America, 1996.
2. Kuttruff, *Room Acoustics*, Elsevier Applied Science, 3rd Ed., 1991.
3. Yoichi Ando, *Concert Hall Acoustics*, Springer-Verlag, 1985.
4. http://www.sac.or.kr/history1/hist1_index.htm

표 2. 예술의 전당 음악당의 음향특성 측정결과.

측정위치	ITDG(ms)	IACC		EDT(unoccupied, sec)		C ₈₀ (3) (dB) (500~2000Hz)	BR
		IACC _{L3}	IACC _{L1}	Mid-Freq. (500~1000Hz)	Range (125~4000Hz)		
1 (1층 A-83)	14.6	0.45	0.32	2.03	1.62~2.10	-0.65	0.99
2 (1층 A-168)	17.7	0.43	0.24	2.03	1.53~2.19	-2.15	1.03
3 (1층 B-83)	27.1	0.47	0.44	2.07	1.53~2.31	-2.75	1.08
4 (1층 B-167)	14.6	0.42	0.29	1.94	1.50~2.19	-2.24	1.09
5 (2층 A-10)	29.1	0.57	0.32	1.98	1.59~2.13	-0.68	1.07
6 (2층 A-116)	14.6	0.41	0.33	2.18	1.53~2.43	-2.29	1.10
7 (2층 B-5)	29.2	0.61	0.54	1.83	1.50~2.16	-1.07	1.14
8 (2층 B-78)	29.2	0.62	0.39	1.71	1.35~2.04	-2.96	1.17
9 (2층박스3-3)	12.5	0.67	0.45	1.85	1.53~2.22	0.41	1.19
10 (2층박스1-3)	22.9	0.40	0.25	1.86	1.35~2.28	0.41	1.15
11 (3층 A-45)	14.7	0.46	0.27	1.85	1.62~2.16	-1.13	1.15
12 (3층 C-15)	14.5	0.44	0.42	1.95	1.50~2.16	1.01	1.09
13 (3층박스2-3)	19.8	0.63	0.26	1.82	1.53~2.10	2.28	1.11
14 (합장식C-27)	14.5	0.65	0.51	2.03	1.56~2.49	-0.84	1.14
15 (합장식B-50)	18.8	0.57	0.55	2.12	1.71~2.40	-1.21	1.10
16 (1층 A-214)	7.0	0.27	0.20	1.88	1.50~2.25	-1.10	1.16
평 균	18.8	0.50	0.36	1.95	1.35~2.49	-1.04	1.11