한국음향학회지 제38권 제5호 pp. 558~567 (2019)
The Journal of the Acoustical Society of Korea Vol.38, No.5 (2019)
https://doi.org/10.7776/ASK.2019.38.5.558

pISSN : 1225-4428
eISSN : 2287-3775

방송용 다목적 홀에서 배너 가변에 따른 음향 환경 변화

Effects of changes in banner size on acoustic environments in multipurpose halls for broadcasting

박호철,[1] 서로사,[1] 서춘기,[1] 전진용[1†]

(Ho-Cheul Park,[1] Rosa Seo,[1] Chun-Ki Seo,[1] and Jin Yong Jeon[1†])

[1]한양대학교 건축공학과 건축음향연구실

(Received July 1, 2019; revised August 21, 2019; accepted September 18, 2019)

초 록: 스피치, 국악, 뮤지컬, 대중음악과 콘서트까지 다양한 장르의 공연이 이루어지는 방송용 다목적 홀의 경우 공연에 필요한 전기, 건축 음향적 요구 조건이 다양하다. 하지만 실제 음향 환경 가변을 위한 효율적인 운용 방법은 많지 않다. 본 연구는 무대 반사판의 설치 유・무와 전기 음향 사용 조건하에서 배너의 가변에 따른 홀의 음향 환경 변화를 살펴보았다. 그 결과 벽체 면적의 15 %에 해당하는 배너를 설치한 실제 측정에서 잔향 시간(Reverberation Time, T_{30})은 최대 0.12 s, 초기감쇠시간(Early Decay Time, EDT)은 0.15 s, 음악 명료도(Clarity, C_{80})는 0.76 dB, 음성 명료도(Definition, D_{50})는 6.43 % 변하였다. 배너의 면적을 확장시킨 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 전체 벽체 면적의 40 %에 해당하는 배너를 설치할 경우 잔향 시간은 0.11 s에서 최대 0.55 s까지 가변되는 것을 확인했다.
핵심용어: 방송용 다목적 홀, 배너, 컴퓨터 시뮬레이션, 음향 지표, 무대 반사판, 전기 음향 시스템

ABSTRACT: When used for broadcasting, multipurpose halls need to accommodate various types of programs such as speeches, Korean traditional music, musicals, pop music, and concerts. Therefore, multipurpose halls must meet a wide range of electric and architectural acoustic demands. However, there are few ways to alter acoustic environments for multipurpose halls, given these different demands. The current study investigates the effects of banners on acoustic environments in the presence of an acoustic shell or electric acoustic system. The results indicate that the installation of a 15% banner of wall area could vary the range of reverberation time (T_{30}) by 0.12 s, EDT (Early Decay Time) by 0.15 s, clarity of music (C_{80}) by 0.76 dB, and clarity of speech (D_{50}) by 6.43 % under different measurement circumstances. A computer simulation that enlarges the banner size to 40 % of the wall area varies the reverberation time from 0.11 s to 0.55 s depending on the room environment.
Keywords: Multipurpose hall for broadcasting, Banner, Computer simulation, Acoustic parameters, Acoustic shell, Electro-acoustic system

PACS numbers: 43.55.Br, 43.55.Ka

I. 서 론

다목적 용도의 홀 건축은 이미 1750년 비엔나의 Redoutensaal 콘서트 홀에서 시작 되었으며, 공연에 따른 음향환경까지 디자인에 고려가 된 것은 상대적으로 최근의 일이다. 그 중 잔향 시간의 가변이 가장 중요하게 고려되어야 할 항목이며, 이는 공연 프로그램과 밀접한 관계가 있다.[1,2] 잔향 시간을 변화 시키는 방법으로는 체적의 변화, 흡음률의 변화,[3] 잔향 챔버, 전기 음향시스템을 이용하는 방법 등이 있다. 다목적 홀의 경우 체적과 흡음률의 변화가 가장 효과적인 방법이다. 체적의 변화는 음향 레벨 감소를 최소화 하면서 잔향 시간을 바꿀 수 있는 효과적인 방법이지만 기술적으로는 흡음재를 변화 시키는 것에 비해 어렵다.[1] 흡음률 가변을 위한 여러 가지 방법이 있지만 그중 커튼이나 배너는 상대적으로 적

†**Corresponding author:** Jin Yong Jeon (jyjeon@hanyang.ac.kr)
Division of Architectural Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea
(Tel: 82-2-2220-1795, Fax: 82-2-2220-4794)

은 비용, 무게, 관리 등의 장점으로 인해 흔히 사용되고 있다.[4] 하지만 잔향 시간의 변화 범위가 클 경우 커튼이나 배너의 적용 범위가 넓어지고 이로 인해 음향 레벨과 초기 반사음의 감소를 피할 수 없다.[1,4] 이는 전기 음향의 도움이 없는 스피치, 드라마와 음악 공연의 경우 어려움을 초래하게 된다. 그래서 배너의 설치 장소는 객석에 유효한 반사음을 만드는 측벽의 하단부는 피해야 하며, 이를 고려해서 Segerstrom Hall의 경우 배너의 위치를 천정이나 초기 반사음을 위해 설치한 반사판의 뒤쪽에 설치해서 사용하고 있다.[5]

연구 대상 홀(KBS홀)의 경우 2014년 부분적인 벽체 리모델링과 흡음 배너 설치 등을 통해 환경 개선 공사를 실시하였다. 체적의 변화를 위해 천정 부분의 활용 방법을 고려했으나, 여유 공간의 부족과 건물의 노후 등으로 인해 150.48 m^2 크기의 배너를 설치, 전기 음향을 사용할 때 발생하는 강한 반사음을 줄이고 흡음률의 변화를 통해 다목적 홀의 가변 음향 환경을 얻고자 했다.

전기음향 확성을 위해 라인 어레이 스피커 시스템을 사용하고 있으며, 이를 이용한 대표적인 제작 프로그램으로는 열린 음악회, 가요 대축제, 연기대상 등이 있다. 무대 반사판을 이용한 클래식 공연의 경우 KBS교향악단의 연주가 대표적이며, 이외에도 다양한 형태의 클래식, 국악, 합창 등의 대관이 함께 이루어지고 있다. 주된 공연은 전기 음향을 이용한 방송용 프로그램 제작이며, 이로 인해 전기 음향 환경에서 제작하는 빈도가 높지만, 교향악단과 다양한 형태의 외부 대관 공연의 경우 건축 음향 위주의 무대 반사판을 사용한 공연 또한 중요한 부분을 차지한다. 그래서 반사판의 사용 유・무, 전기 음향 환경에서 배너의 영향을 실질적인 측정을 통해 살펴보고, 그 결과를 바탕으로 다양한 홀에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 실시했다.

II. 홀 개요

본 홀은 1991년 개관한 다목적 홀로써 1661석(1층 995석, 2층 526석, 가변좌석 140석)을 가진 지하 2층 지상 7층 규모의 홀이며, 천정은 반사 위주의 재질로 구성이 되어 있다. Fig. 1과 같이 발코니 돌출면 및 전면부에는 마이크로 쉐이핑을 적용하고 있으며, 1층의 측벽 일부와 후면 벽체는 헬름홀츠 공진기의 원리를 이용한 흡음재를 사용하고 있다. 객석의 볼륨은 20,890 m^3, 전체 무대 면적은 65.7 m × 19.7 m, 주 무대 면적은 36.2 m × 19.7 m 이며 좌, 우측 무대는 14.9 m × 19.7 m, 높이는 34.5 m이다.

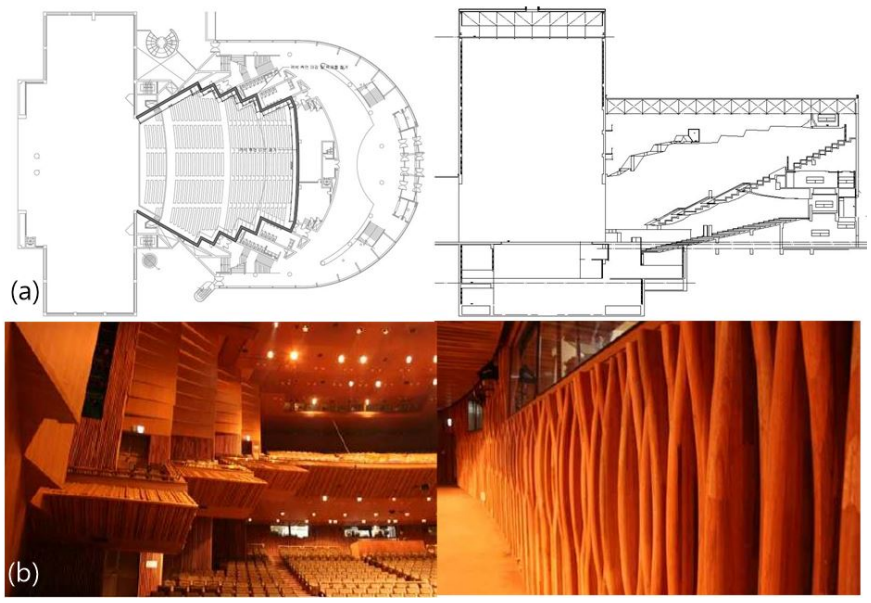

Fig. 1. The feature of the hall: (a) Plan and sectional view and (b) Balcony front and rear wall.

III. 측 정

3.1 절차

측정방법은 ISO 3382-1[6]에서 제안하는 방법을 기준으로 전기 음향의 경우 Fig. 2의 프로세니움 좌, 우측 라인 어레이 스피커를 통해 음원을 재생하였으며, 무지향성 음원의 경우 프로세니움에서 3 m 안쪽, 무대 바닥면으로부터 1.5 m 높이에서 음원을 재생하였다. 무지향 음원의 경우 반사판의 설치 유・무 두 가지 경우를 측정하였으며, 측정용 신호는 Sine Sweep을 사용하였다.

Fig. 2. Measurement conditions: (a) Line array systems and non-Installation of acoustic shell and (b) Installation of acoustic shell.

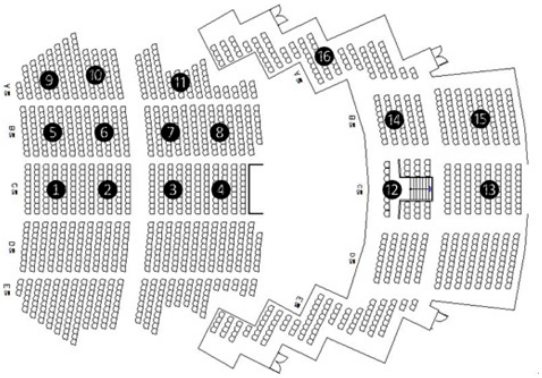

Fig. 3. Receiver positions in the hall.

수음점은 Fig. 3과 같이 모두 16곳(1층 11곳, 2층 5곳)이다. 레코더는 Merging사의 Pyramix ver 9.0 DAW를 사용했으며, 마이크는 DPA 4061 무지향성 마이크를 사용하였다. 그리고 멀티트랙 녹음 장비를 이용해서 16개의 마이크 입력을 동시에 녹음해서 분석을 함으로서, 측정값 간의 환경변화에 대한 영향을 최소화 했다. 잔향 시간(T_{30})과 Sound Strength의 경우 500 Hz ~ 1,000 Hz, 음악 명료도(C_{80})와 음성 명료도(D_{50})의 경우 500 Hz ~ 2,000 Hz의 중대역 주파수 평균값으로 결과를 나타냈다.

3.2 측정 환경

전기음향 확성을 위해서 d&b사의 라인 어레이 시스템인 J8 시리즈 스피커를 좌, 우 12개씩 사용하고 있으며 저음을 위해 좌, 우 2개의 우퍼를 추가로 사용하고 있다. 건축음향 환경 측정을 위해서는 무대 반사판을 설치하고 무지향 스피커를 이용해서 측정했다. 무대 반사판은 Stageright 사의 제품으로 모든 패널은 라미네이트로 된 샌드위치 패널로 만들어졌으며, 크기는 2,072 m^3, 무게는 12.55 kg/m^2이며 주파수 대역별 흡음률은 Table 1과 같다.[7]

배너의 재질은 울 서지 계열의 합성모직이다. 설치 위치는 프로세니움에서 객석방향으로 7.95 m 지점부터이며, 벽면에서 거리는 30 cm이다. 총 사용 면적은 150.48 m^2 , 공기층의 두께는 78 mm, 무게는 500 g/m^2이며 옥타브 밴드별 흡음률은 Table 2와 같다.

배너가 차지하는 면적은 벽체 면적(측벽+후벽)의 15 %에 해당하며, 현재 사용 중인 배너는 좌(1(L),2(L),3(L)), 우(1(R),2(R),3(R)) 각각 3개씩이다. 규격은 Table

Table 1. The absorption coefficients of acoustic shell.

Frequency (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Absorption coefficients	0.25	0.15	0.11	0.08	0.08	0.04

Table 2. The absorption coefficients of banner.

Frequency (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Absorption coefficients	0.10	0.40	0.85	0.95	0.80	0.85

Table 3. The size of the banners.

Number	Size (m^2)
1 (L), 1 (R)	1.9 m (W) × 14.2 m (H)
2 (L), 2 (R)	1.9 m (W) × 13.2 m (H)
3 (L), 3 (R)	1.9 m (W) × 12.2 m (H)

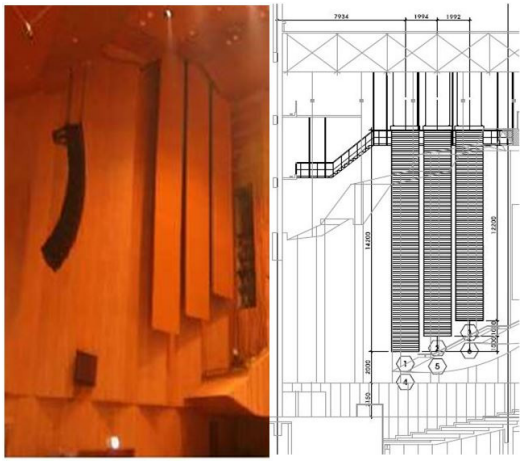

Fig. 4. Banner setup on the side wall.

3과 같으며, Fig. 4는 현재 설치된 실제 상황을 보여준다. 측정은 좌, 우의 배너를 각각 하나씩 올려가면서 각 음향 지표의 변화를 살펴보았다.

IV. 측정 결과

결과의 표기는 무대 반사판을 설치한 상태에서 무지향 스피커를 사용한 경우(Omni_w_Shell), 무대 반사판을 설치하지 않고 무지향 스피커를 사용한 경우(Omni_wo_Shell), 전기 음향 시스템(Line_Array Speaker)을 사용한 경우로 나누어 표시했다. 배너의 상태 변화는 Table 4와 같이 표기하였다.

4.1 Sound Strength(G)

Sound Strength(G)는 상대적인 음압 레벨로서, 배너 면적의 가변에 따라 Omni_w_Shell, Omni_wo_Shell, Line_Array Speaker 상태에서 최대 0.32 dB, 0.17 dB, 0.25 dB 각각 변화가 있었다.

4.2 잔향시간 (T_{30})

잔향 시간은 홀을 평가하는 가장 중요한 평가지표

Table 4. Description of banner conditions.

Banner conditions	Description
All down	All banners lowered
1 UP	1 (L), 1 (R) raised
2 UP	1 (L), 2 (L), 1 (R), 2 (R) raised
3 UP	1 (L), 2 (L), 3 (L), 1 (R), 2 (R), 3 (R) raised

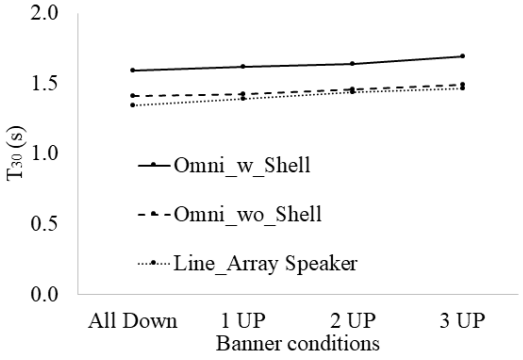

Fig. 5. Measured reverberation time (T_{30}) values of three cases.

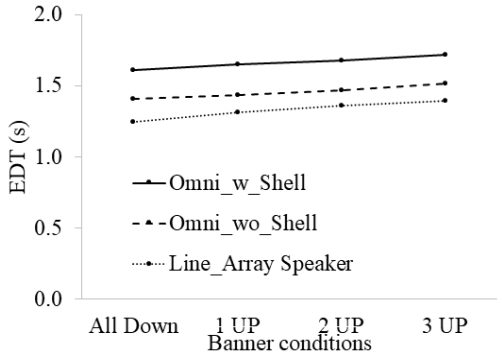

Fig. 6. Measured EDT values of three cases.

중에 하나이며, 본 연구에서는 30 dB(-5 dB ~ -35 dB) 감쇠시간의 2배를 한 T_{30}을 사용하였다. 배너를 가변하는 상황별 결과는 Fig. 5와 같다. 배너 면적의 가변에 따라 잔향 시간은 Omni_w_Shell, Omni_wo_Shell, Line_Array Speaker 상태에서 최대 0.09 s, 0.08 s, 0.12 s 각각 변화가 있었다.

4.3 초기감쇠시간 (EDT)

EDT는 초기 0 dB ~ -10 dB 감쇠 시간의 여섯 배를 해서 구한 값으로 초기 반사음의 효과가 크게 반영된다. 배너 면적의 가변에 따라 초기감쇠시간은 Fig. 6과 같으며, Omni_w_Shell, Omni_wo_Shell, Line_Array

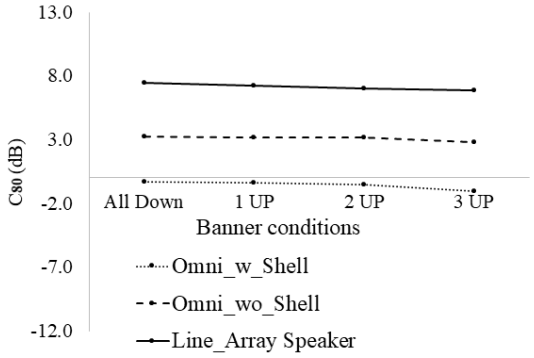

Fig. 7. Measured Clarity (C_{80}) values of three cases.

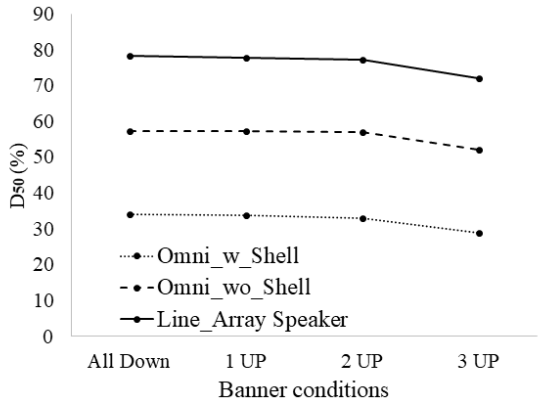

Fig. 8. Measured Definition (D_{50}) values of three cases.

Speaker 상태에서 최대 0.11 s, 0.11 s, 0.15 s 각각 변화가 있었다.

4.4 음악 명료도 (C_{80})

C_{80}은 80 ms 이내의 음에너지와 그 이후의 음에너지의 비를 dB로 나타내며 음악의 명료도를 나타내는 지표이다. 음악 명료도는 Fig. 7과 같으며 Omni_w_Shell, Omni_wo_Shell, Line_Array Speaker 상태에서 최대 0.76 dB, 0.39 dB, 0.60 dB 각각 변화가 있었다.

4.5 음성 명료도 (D_{50})

D_{50}는 스피커 음원을 통한 음성의 명료도를 나타내는 지표로서, 초기 50 ms 이내의 음에너지와 총에너지의 비를 dB로 나타낸다. 음성 명료도의 경우 다목적 홀에서는 50 % ~ 60 %, 음악 전용 홀의 경우 30 % ~ 40 % 정도를 제안하고 있으며, 측정결과는 Fig. 8과 같이 모든 경우 대체로 적정한 범위 내에 있었다.

Table 5. Reverberation time variation in situ measurements of octave bands.

Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000
RT reduction (s)	0.15	0.17	0.11	0.10	0.08	0.12	0.09

V. 컴퓨터 시뮬레이션

5.1 시뮬레이션 개요

사용 중인 배너의 흡음률 확인과 배너의 면적 변화에 따른 음향 환경 변화를 보다 다양한 홀에서 살펴보기 위해 음선수 10,000개, impulse response 길이 3,000 ms 의 Odeon ver.15 이용한 3차원 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다.

5.2 배너의 흡음률 비교

KBS홀의 모델링은 무대 반사판이 있는 상태의 측정값을 이용하였으며, 모델과 실제 측정한 음향지표와의 오차는 0.5 % 이내로 하였다. 음원의 위치와 마이크 수음 위치는 실제 측정과 동일한 환경에서 실시했다. 배너의 흡음률은 옥타브 밴드 평균값을 순차적으로 크게 하면서 실제 측정값과 가장 유사한 값을 찾는 방식으로 시뮬레이션을 진행하였다. 모든 옥타브 밴드에서 Table 5처럼 실제 측정치와 같은 차이를 보이는 흡음률은 구할 수 없었지만, 중대역 주파수 (500 Hz ~ 1,000 Hz)에서 각각 0.85, 0.95 의 흡음률을 사용했을 때 실제 측정한 값과 가까운 0.09 s로 JND(Just Noticeable Distance) 이내의 값을 보였다.[8,9]

5.3 홀 시뮬레이션

배너 면적 변화에 따른 다양한 영향을 보기 위해 Odeon 프로그램 내에 있는 3 차원 모델 중 다목적 용도로 사용되는 홀을 이용해서 시뮬레이션을 실시했다. 대상 홀은 Table 6과 같으며, 각 홀의 15 % 배너 설치 모습은 Fig. 9에 나타냈다. KBS 홀의 경우 반사판을 사용한 경우(KBS with shell)와 보통의 대중음악 공연에서 무대에 설치되는 세트의 사이즈를 고려해서 무대의 크기를 설정한(KBS with stage) 두 가지 경우로 시뮬레이션을 실시했다. 대중음악 공연을 위해 모델링한 KBS홀의 경우 중대역 주파수(500 Hz ~

1,000 Hz)에서 무대의 벽체흡음률은 0.3, 천정의 흡음률은 0.71로 설정하였다.[10] Odeon 프로그램 내의 3차원 모델의 경우 재료의 변화 없이 원래의 모델링 값을 유지한 채 배너만 추가 하는 형태로 실시하였다. 배너의 면적은 각각 벽체 면적의 0 %, 15 %, 30 %, 40 % 네 가지 경우로 나누어 시뮬레이션 하였다. 이는 KBS홀의 현재 배너 설치 면적이 15 % 이며, 실제 Odeon 프로그램에서 제공하는 모델들의 측벽에 배너를 설치해 본 결과, 벽체 면적의 40 % 이상은 정상적인 형태의 설치가 어려워서 정한 비율이다. 음원 위치는 무대 선단 중앙에서 3 m 안쪽, 수음점은 객석 40석당 1개로 하였다. 홀 별 벽체 면적의 15 %에 해당하는 배너 면적은 Table 6에 표기하였다. 배너의 흡음률은 중대역 주파수(500 Hz ~ 1,000 Hz)에서 실측값과 같은 결과를 보인 Table 2의 값을 적용하였다. 배너의 벽체에서 거리는 30 cm 이며, Usher홀의 경우 모델의 구조가 복잡해서 벽체에 직접 배너의 흡음률을 적용했으며, 프로세니움에서 거리는 홀의 여건에 따라 다소 차이가 있다.

Table 6. Descriptions of hall dimensions and banner size of 15 % of wall area.

Hall name	N	Volume (m^3)	Stage volume (m^3)	15 % size of banner (m^2)/ total wall area (m^2)
KBS with shell	1,661	22,962	2,072	155/1,027
KBS with stage	1,661	30,453	9,563	155/1,027
Grosses Festspielhaus Salzburg	2,158	15,500	1,380	104/696
Usher Hall Edinburgh	2,502	15,700	2,225	101/675
Barbican Hall London	1,924	17,000	2,028	193/1,285
Goteborg Konserthus	1,286	11,900	1,128	221/1,476

5.4 홀 시뮬레이션 결과

시뮬레이션의 결과는 잔향 시간 (T_{30})과 음악 명료도 (C_{80})를 위주로 살펴보았으며, 잔향 시간은 500 Hz ~ 1,000 Hz, 음악 명료도는 500 Hz ~ 2,000 Hz의 중대역 주파수 평균값으로 나타냈다. 만석과 공석의 경우를 occ, unocc로 표기했다. 배너의 면적을 0 %에서 40 %로 증가했을 때 잔향시간의 변화는 Table 7과 같다. Table 7에 나타낸 것처럼 배너의 면적을 40 %로 증가했을 때 잔향시간은 만석시 최소 0.11 s에서 최대 0.50 s, 공석시 최소 0.14 s에서 최대 0.55 s까지 각각 감소하였다.

음악 명료도의 경우 Table 8과 같이 배너의 면적을 40 %로 증가했을 때 만석시 최소 0.27 dB에서 최대 1.75 dB, 공석시 최소 0.33 dB에서 최대 1.80 dB 각각 증가하는 것으로 나타났다.

VI. 분석 및 토의

6.1 실제 측정에서 음향 지표 변화

실제 측정에서 배너의 사용으로 인한 음향 지표의

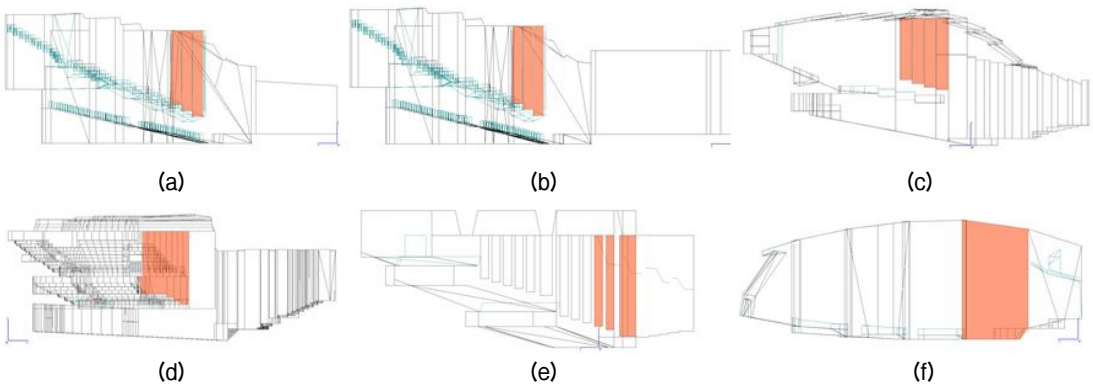

Fig. 9. Installation of 15 % of banner size in six halls: (a) KBS hall with shell, (b) KBS hall with stage, (c) Grosses Festspielhaus, (d) Usher Hall, (e) Barbican Hall, (f) Goteborg Konserthus.

Table 7. The results of reverberation time (T_{30}) values in computer simulation.

Size of banner (%)	KBS with stage		KBS with shell		Grosses Festpielhaus		Goteborg Konserthus		Barbican Hall London		Usher Hall Edinburgh	
	occ (s)	unocc (s)	occ (s)	unocc (s)	occ (s)	unocc (s)	occ (s)	unocc (s)	occ (s)	unocc (s)	occ (s)	unocc (s)
0	1.47	1.52	1.62	1.69	1.83	2.06	1.72	1.87	2.13	2.30	1.79	1.89
15	1.46	1.50	1.55	1.60	1.74	1.78	1.43	1.56	1.88	2.03	1.71	1.79
30	1.38	1.42	1.49	1.53	1.58	1.67	1.28	1.39	1.76	1.89	1.69	1.78
40	1.36	1.38	1.48	1.53	1.53	1.60	1.25	1.35	1.63	1.75	1.63	1.71
Maximum variable range	0.11	0.14	0.14	0.16	0.30	0.46	0.47	0.52	0.50	0.55	0.16	0.18

Table 8. The results of clarity (C_{80}) values in computer simulation.

Size of banner (%)	KBS with stage		KBS with shell		Grosses Festpielhaus		Goteborg Konserthus		Barbican Hall London		Usher Hall Edinburgh	
	occ (dB)	unocc (dB)	occ (dB)	unocc (dB)	occ (dB)	unocc (dB)	occ (dB)	unocc (dB)	occ (dB)	unocc (dB)	occ (dB)	unocc (dB)
0	4.30	3.67	0.70	0.27	0.00	-0.43	1.10	0.40	-0.17	-0.90	0.80	0.27
15	4.80	4.07	0.97	0.57	0.33	-0.23	1.95	1.30	0.30	-0.40	0.93	0.40
30	5.20	4.67	1.23	0.77	0.63	0.07	2.85	2.20	0.83	0.17	1.03	0.50
40	5.60	5.00	1.37	0.87	0.63	0.07	2.85	2.20	1.20	0.47	1.07	0.60
Maximum variable range	1.30	1.33	0.67	0.60	0.63	0.50	1.75	1.80	1.37	1.37	0.27	0.33

변화는 잔향 시간, 음악 및 음성 명료도 모두 특정 위치에서 과도하게 변하지는 않았다. Fig. 10은 세 가지 측정 상황에서 배너의 변화에 따른 위치별 잔향 시간 변화를 보여주고 있다. 옥타브 밴드별 잔향 시간의 변화를 보면 Fig. 11(b)와 같이 무대 반사판을 사용하지 않은 무지향 음원의 경우 고주파에서 감소폭이 크게 나타났다. 이는 배너와 더불어 무대 커튼,[11] 상부 구조물,[10] 조명기구[12]등 무대 가변 요소가 포함되지 않는 경우에 비해서 상대적으로 고주파 대역의 흡음에 영향을 준 것을 알 수 있다. 무대 반사판의 설치는 무대 반사판이 없는 경우에 비해 잔향 시간, EDT는 증가하고 명료도는 감소하는 결과를 보였다.

본 홀의 경우 운용 방식에 따라 잔향 시간의 활용 범위가 1.35 s에서 1.69 s까지 가능한 것으로 나타났다. 음악 명료도의 경우 무지향 스피커를 사용하는 경우 클래식 음악을 연주하기에 적합한 0 dB ~ 2 dB 보다 낮게 나왔으며, 전기 음향 상태에서는 6.85 dB ~ 7.45 dB사이를 보여 빠른 템포의 음악에서도 명료도를 확보할 수 있다. 음성 명료도의 경우 반사판 상태에서 무지향 스피커를 사용한 경우 29 % 이상의 값을 보이고, 라인 어레이 스피커를 사용한 경우 70 % 이상의 수치를 보여 콘서트홀에서 요구하는 30 % ~ 40 % 범위와 다목적 홀에서 요구하는 50 % ~ 60 % 를 대체로 만족한다. 잔향 시간은 전기 음향 상황에서 1.35 s ~ 1.47 s, 건축 음향 환경에서 1.59 s ~ 1.69 s 사이를 보인다. 이는 볼륨에 따라 차이는 있지만 콘서트홀의 적정 잔향 시간인 1.8 s ~ 2.2 s 보다 짧다.[1] 전기 음향을 이용한 대중음악의 경우 보통 1,000 /m^3 ~ 7,000 /m^3의 볼륨에서 0.6 s ~ 1.2 s 정도의 잔향 시간을 제안하지만,[13] 홀의 객석 볼륨이 20,890 m^3인 것을 감안하면 전기 음향을 이용한 공연은 적정한 범위 내에 있다.[14]

또한, 본 홀에서 정기적으로 연주되는 국악 관현악단의 경우 악기별 음량 차이로 인해 전기음향을 이용하는 경우가 많다. 국악의 경우 가장 선호하는 잔향시간은 1.0 s ~ 1.5 s 사이로[15] 전기음향을 이용할 경우 국악 공연에 적절한 환경임을 알 수 있다.

6.2 시뮬레이션에서 음향지표 변화

컴퓨터 시뮬레이션에서 배너의 흡음률을 중대역

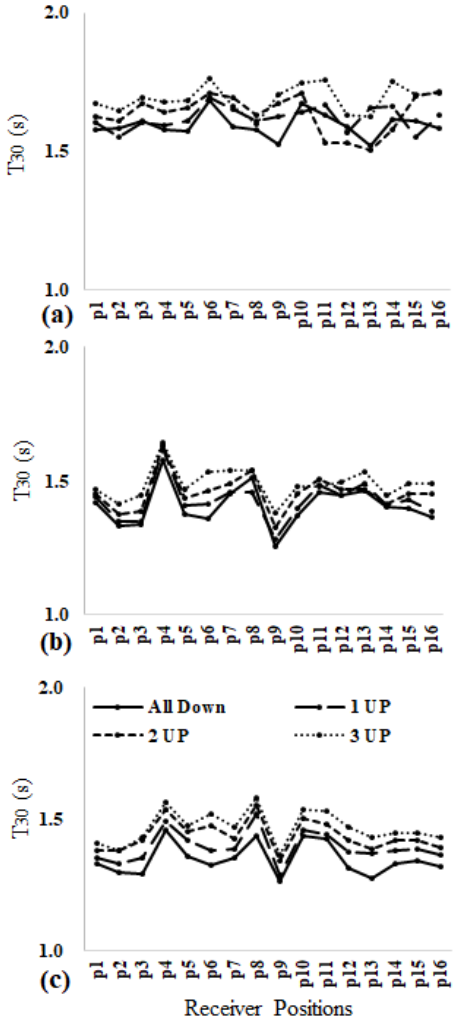

Fig. 10. Measured reverberation time (T_{30}) values in each position of three cases (a) with acoustic shell, (b) without acoustic shell and (c) with line array speaker systems.

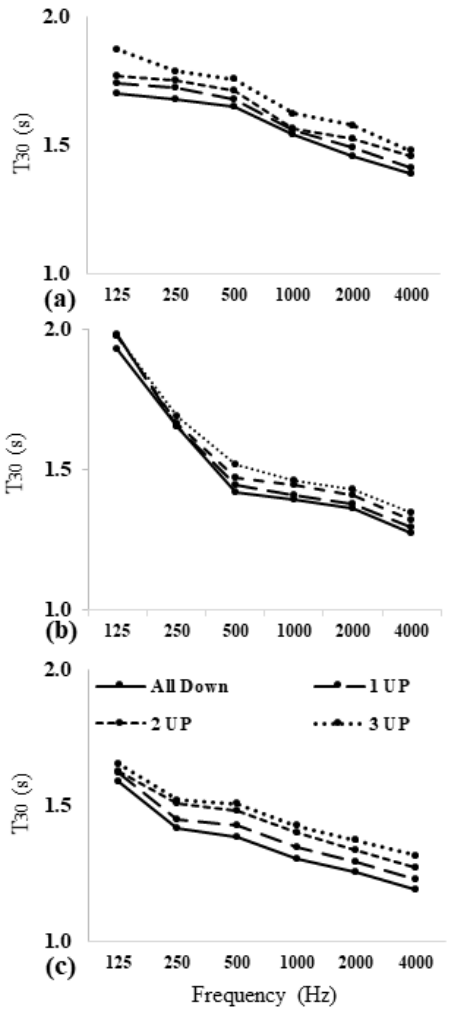

Fig. 11. Measured reverberation time (T_{30}) values in octave bands of three cases: (a) with acoustic shell, (b) without acoustic shell and (c) with line array speaker systems.

주파수(500 Hz ~ 1,000 Hz)에서 평균 0.9를 사용했을 때 실제 측정값과 가까운 0.09 s의 잔향 시간 감소를 확인할 수 있었다. 원래 잔향실에서 측정하면 공기층을 두더라도 저주파 대역이 흡음률이 고주파 대역에 비해 낮은 값을 보인다.[16] 그런데 실제로 본 홀에서 측정한 값은 배너 면적 150.48 m^2를 사용한 경우 Table 5와 같이 250 Hz 이하에서 잔향 시간 감소가 250 Hz 이상의 주파수 대역에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 벽과의 거리가 멀어질수록 저주파 흡음률이 증가하여 저주파에서 잔향 감쇠가 두드러진다.[17] 이 결과를 볼 때 실제 배너는 공기층의 양에 따라 저주파 잔향 가변의 폭이 더 크게 나오는 것을 확인할 수 있었다.

홀 시뮬레이션에서 잔향 시간의 변화가 가장 작은 것은 KBS홀 대중음악 공연을 위한 무대(KBS with stage)를 고려한 경우였다. 다양한 형태의 홀에서 흡음요소가 추가 될 때 잔향시간이 긴 홀일수록 잔향시간의 감소폭이 크며,[18] 흡음위주의 공간에 흡음요소를 더해도 그 차이는 크지 않다.[2] 실험 대상 홀 중에서 KBS홀의 잔향시간이 제일 짧으며 측벽일부와 후벽의 경우 흡음위주의 재질로 이루어져 있고, 무대를 추가한 경우 무대의 벽체와 천정부분의 흡음면적이 더해져, 배너의 추가 설치에도 잔향시간의 가변 폭이 작게 나타났다. 공석일 때가 만석일 때 비

해 잔향 시간의 변화가 크게 나타났다. 공석의 경우 배너의 면적이 15 %, 30 %, 40 %로 증가함에 따라 잔향 시간은 여섯 개 홀 평균 0.18 s, 0.10 s, 0.06 s 각각 감소하였다. 잔향시간의 경우 배너 면적을 30 % 이상 적용한 경우 모든 실험대상 홀의 감소 값이 JND범위 이상의 차이를 보였다. 그리고 잔향 시간의 평균 변화 폭은 배너의 면적이 15 % 일 때 가장 크게 나타났다. 흡음재나 확산체를 측벽에 사용할 때 음원과의 거리가 가까울수록 잔향시간에 미치는 영향이 커서,[19,20] 배너의 설치 면적이 30 %, 40 %로 증가해도 음원과의 거리는 점점 멀어져 상대적으로 감소폭이 줄어들었다. 또한, 전체 표면적에서 벽체가 차지하는 면적이 넓어 같은 비율로 설치할 경우 배너의 면적이 다른 홀들에 비해 상대적으로 넓은 Goteborg, Barbican 홀의 가변 범위가 0.5 s 정도로 크게 나타났다. 이는 2 s 의 잔향시간을 갖는 홀에서 객석 면적의 1/3에 해당하는 흡음재를 사용한 것과 같은 정도의 효과이다.[4]

음악 명료도의 경우 만석과 공석 모두 배너의 면적이 15 %, 30 %로 늘어날 때 여섯 개 홀의 평균 증가량은 각각 0.42 dB, 0.43 dB로 비슷하였으며, 40 % 로 증가할 경우 30 % 일 때보다 평균 0.15 dB 증가하여 증가폭이 줄어들었다.

VII. 결 론

본 연구는 방송용 다목적 홀 내부의 배너 가변을 통한 음향 환경의 변화에 대해 알아보았다. KBS 홀의 경우 배너의 사용 면적에 따라 라인 어레이 스피커 시스템을 사용한 경우 잔향시간 0.12 s, EDT 0.15 s, 음악 명료도 0.60 dB, 음성 명료도 6.43 %, 무대 반사판을 설치한 상태에서 무지향 음원을 사용한 경우 잔향 시간 0.09 s, EDT 0.11 s, 음악 명료도 0.76 dB, 음성 명료도 5.38 %, 무대 반사판 없이 무지향 음원을 사용한 경우 잔향 시간 0.08 s, EDT 0.11 s, 음악 명료도 0.39 dB, 음성 명료도 5.37 % 범위 내에서 변화가 있었다. 홀 전체 가변 가능한 잔향 시간의 경우 배너의 면적 변화, 무대 반사판의 사용 유무, 전기 음향 사용 등에 따라 1.35 s ~ 1.69 s 사이에서 가능함을 보여주었다. 또한 배너의 설치 범위의 변화로 특정 위치의 음향 지표가 과도하게 변하지는 않는다는 것과 실제 배너를 설치한 홀에서 저음에서 잔향 시간의 변화가 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있었다.

추가적인 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 벽체 면적의 40 %까지 배너를 설치할 경우 최소 0.11 s에서 최대 0.55 s까지 잔향 시간 가변이 가능함을 확인했다. 또한, 배너 면적 중 면적대비 잔향 시간에 가장 크게 영향을 미친 것은 프로세니움에서 가까운 위치에 15 % 의 배너를 설치한 경우였다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단의 기본연구지원사업(SGER)인 “국악기 방사특성을 통한 악기 배치형식 및 국악 전용홀 음향설계 표준안 연구(NRF-2018 R1D1A1A02086315)” 사업에서 지원을 받아 연구되었습니다.

References

1. M. Barron, *Auditorium Acoustics and Architeuctural design* (Spon Press, London, 2009), pp. 452-456.
2. W. J. Cavanaugh, G. C. Tocci, and J. A. Wilkes, *Architectural Acoustics: Principles and Practice* (John Wiley & Sons, Inc. New York, 2010), pp. 135-136.
3. W. C. Sabine, *Collected Papers on Acoustics, Cambridge* (Harvard University Press, New York, 1922), pp. 12-16.
4. M. Long, *Architectural Acoustics* (Elsevier Academic Press, MA, San Diego, 2006), pp. 728-729.
5. L. L. Beranek, *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture* (Springer, New York 1996), pp. 70-73.
6. ISO3382-1, “Acousts-Measurement of Room Acoustic Parameters-Part1: Performance Spaces,” (2009).
7. *The StageRight Products page*, Http://performance.stageright.Com/Products/. (2019)
8. A. Astolfi, V. Corrado, and A. Griginis, “Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms,” Appl. Acoust. **69**, 966-976 (2008).
9. F. Brinkmann, L. Aspöck, D. Ackermann, S. Lepa, M. Vorländer, and S. Weinzierl, “A round robin on room acoustical simulation and auralization,” J. Acoust. Soc. Am. **145**, 2746 (2019).
10. Y. H. Kim, H. M. Lee, C. K. Seo, and J. Y. Jeon, “Investigating the absorption characteristics of open

ceilings in multi-purpose halls using a 1:25 scale model," Appl. Acoust., **71**, 473-478 (2010).
11. U. Berardi, G. Iannace, and C. Ianniello, "Acoustic intervention in a cultural heritage : The chapel of the royal palace in Caserta, Italy," Buildings, **6**, 1-14 (2016).
12. H. Park and J. Y. Jeon, "The effects of light equipment on the acoustic characteristics of a TV studio," Build. Environ. **120**, 53-63 (2017).
13. N. Werner, E. Robert, A. Christian, and N.W. Adelman-larsen, "Suitable reverberation time for halls for rock and pop music," J. Acoust. Soc. Am. **127**, 247-255 (2010).
14. R. E. Berg and D. G. Stork, *The Physics of sound* (Prentice-Hall, New Jersey, 1982), pp. 225-227.
15. Y. J. Jo, "Research an the form of Korean traditional performance hall," J. National Center of Korean traditional Performing Arts, **18**, 219-242 (2008).
16. J. Y. Jeon, J. Kim, and Y. Kim, "Selection of scale model materials for acoustical evaluation of 1: 50 multipurpose halls" (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. **28**, 781- 789 (2009).
17. S. Schoenwald and K. Eggenschwiler, "Sound absorption of textile curtains - theoretical models and validations by experiments and simulations," Text. Res. J. **88**, 36-48 (2018).
18. J. Y. Jeon, H. S. Jang, and H. I. Jo, "Acoustic evaluation of orchestra occupancies in concert halls : Effect of sound absorption by orchestra members on audience acoustics," Build. Environ. **143**, 349-357 (2018).
19. T. Kim, C. Park, J. Park, and C. Hann, "Comparison of acoustic performance eepending on the location of sound absorptive and diffuser in small auditoriums using 1/10 scale models" (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. **34**, 146-156 (2015).
20. Y. H. Kim, J. H. Kim, and J. Y. Jeon, "Scale model investigations of diffuser application strategies for scale model investigations of diffuser application strategies for acoustical design of performance venues," Acta Acust. United with Acust. **97**, 791-799 (2011).

저자 약력

▸ 박 호 철 (Ho-Cheul Park)

1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
2010년 6월 : Newyork University music technology 석사
2013년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 건축공학과 박사과정
1993년 1월 ~ 현재 : KBS TV 기술국 부장

▸ 서 로 사 (Rosa Seo)

2018년 8월 : 부경대학교 건축공학과 학사
2018년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 건축공학과 석사과정

▸ 서 춘 기 (Chun-Ki Seo)

1988년 2월 : 건국대학교 건축공학과 학사
2004년 8월 : 한양대학교 건축환경설비공학과 석사
2012년 8월 : 한양대학교 건축공학과 박사
2018년 4월 : 세종문화회관 예술단운영본부장
2018년 3월 ~ 현재 : 한양S&A컨설팅(주) 공동대표이사

▸ 전 진 용 (Jin Yong Jeon)

1982년 2월 : 한양대학교 건축공학과 학사
1991년 2월 : 시드니대학교 Building Science 석사
1994년 2월 : 시드니대학교 Architectural Acoustics 박사
1998년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 건축공학부 정교수
2006년 1월 ~ 현재 : 한양S&A컨설팅(주) 공동대표이사