

콘서트홀에서 무대음향에 대한 확산체의 영향

The Effect of Stage diffusers on the Stage Acoustics in a Concert Hall

전진용*, 이충화**

(Jin-Yong Jeon*, Chung-Hwa Lee**)

*한양대학교 건축공학부, **한양대학교 대학원 건축공학과

(접수일자: 2005년 1월 10일; 수정일자: 2005년 3월 7일; 채택일자: 2005년 3월 23일)

본 논문에서는 콘서트홀에서 확산체의 Early Stage Support (STI)에 대한 영향을 알아보기 위하여 1:25 축소모형에서 8지점을 설정하여 STI를 측정하였다. 무대 바닥에 의한 영향을 살펴보기 위하여 흡음천의 유무에 따라 STI의 결과값의 차이를 살펴보았다. 무대측벽에 대한 영향을 살펴보기 위하여 기존의 확산체, 확산체를 제거한 경우와 반구 확산체의 3가지 형태의 확산체를 사용하여 측벽의 변화에 의한 STI 값의 결과를 살펴보았다. 결과적으로 무대 바닥에서의 흡음천의 사용은 STI에서 고주파의 저감을 일으켰으나 평균값에는 큰 차이가 없었으며, 3가지 형태의 확산체는 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 측정 지점에 따라 STI 값의 차이가 발생하였고, 특히 반구 확산체에서는 STI 값이 고르게 분포하였다. 따라서 무대 바닥은 상대적으로 STI의 변화에 큰 영향을 주지 않았고, 무대 측벽의 형상은 확산현상에 의해 STI의 분포에 영향을 주었다.

핵심용어: 무대음향, 축소모형, 확산체, STI

투고분야: 건축음향 분야 (7.2)

The effect of diffusers on Early Stage Support (STI) in a concert hall was investigated at 8 positions in a 1:25 stage scale model. Experiments were carried out when the stage floor was covered with and without absorption cloth to investigate the effect of stage floor reflection (absorption coefficient - 0.6 at 500Hz). To find out the effect of stage wall, three types of wall diffusers were used. As a result, absorption cloth on stage floor reduced the STI values at high frequency, but the average value of STI was not changed. Three types of stage wall diffusers were revealed as unaffected, but it was observed that the STI values varied to positions of stage. The STI values were evenly distributed when hemisphere diffusers were used. Therefore, the use of floor absorption did not have much effect on the STI values, and the diffusers had some effect on the distribution of the STI values.

Keywords: Stage acoustics, Scale model, Diffusers, STI

ASK subject classification: Architectural Acoustics (7.2)

I. 서론

무대음향은 연주자간에 요구되는 좋은 앙상블 (Ensemble)과 적절한 블렌드 (Blend)에 직접적인 영향을 미치며 연주자를 포함한 청중의 만족뿐만 아니라 콘서트홀의 명성에 영향을 끼친다. 연주자는 연주 시 자신의 악기에 서 울리는 직접음뿐만 아니라 바닥, 측벽, 천장 심지어 주위사람이나 주변의 물체에서 반사된 음을 종합적으로 듣게 된다. 또한 짧은 순간에 들려오는 자신과 타인의

연주음으로 박자, 리듬과 균형, 세기 등을 조정하며 협연하게 된다. 무대 음향은 세밀한 연구가 요구되어지며, 현재 무대음향을 개선시키기 위한 시도가 계속되고 있다. 1978년 Marshall 외 2인[1]의 소규모 그룹의 연주를 위한 Ensemble과 반사음에 대한 연구와, 같은 해 Barron[2]에 의해 리스본 Gulbenkian Great Hall의 가변 무대에 대한 연주자의 반응을 조사하는 등 무대음향에 대한 연구가 시작되었다. 1989년 Gade[3]는 잔향 챔버와 현장 측정을 통해 연주와 관련된 지표인 Stage Support를 발표하였고, 이후 1991년 Rindel[4]에 의해 앙상블을 위한 반사판의 연구와, Jeon과 Barron[5]이 무대부에 대한 연구에서 무대 확산체의 유무와 천장면의

책임저자: 전진용 (jyjeon@hanyang.ac.kr)
133-791 서울시 상동구 행당동 17 한양대학교 건축공학부
(전화: 02-2220-1795; 팩스: 02-2291-1793)

높이변화에 의한 STI값의 변화에 대하여 연구하는 등 무대음향을 정립하기 위한 노력이 계속되고 있다. 그러나 무대음향에 대한 영향인자와 주관적인 평가척도 등 아직 까지 무대음향에 대해 풀어야할 문제가 많다. 또한 무대 주변구조 및 재료의 흡음률과 확산현상에 따른 음향의 변화 및 연주자의 반응에 대한 연구도 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 확산체의 변화에 따른 Jeon 외 2인[6]의 연구결과를 활용하여, 축소모형을 이용하여 확산체와 반사판의 무대 음향에 대한 영향을 STI 지표를 통해 조사하였다.

축소모형의 경우 실내음향에 대한 해석과 예측의 한 방법으로 크게 이용되고 있다. 일반적으로 1:20~1:50의 다양한 모델이 사용되고 있으며 정밀도를 위해 1:10 이상의 크기를 사용하는 경우도 있다. 실제 실내음향에 대한 해석뿐만 아니라 Hodgson[7]은 사무환경에서 가장 경제적인 실내 음향제어 방법을 찾는데 축소모형을 사용하였다. 1960년대 이후 Convolution과 De-convolution이라는 신호 처리기술이 발달되면서 축소모형에 대한 연구가 크게 증가되었다. 축소모형은 Computer Model이 가지지 못하는 음향적인 장점이 많다. 한 예로 상사의 법칙만큼 고주파를 측정해야 하기 때문에 공기 흡음을 고려해야 하는 단점이 있지만 실제 공간에서의 소리에 대한 음의 현상을 살펴보기 때문에 음의 확산과 회절 현상이 나타난다는 장점이 있다. 실제로 많은 음향학자들은 축소모형을 이용하여 음향특성을 예측하고 꾸준히 연구를 진행하고 있다. 1968년 Reichardt 외 2인[8]에 의해 1:20의 축적으로 음향모델 실험결과가 발표되었고, 같은 해 영국에서 Day[9]가 1:10 축적으로 콘서트홀 설계시 흡음재료를 이용한 사람 모델을 사용하여 콘서트홀에 대해 음향적으로 평가를 하였다. 1980년대 이후 Barron을 중심으로 Cambridge 대학에서 축소모형에 대한 연구가 활발해졌다. 1:8에서 1:50 까지 다양한 축척을 이용한 축소모형을 통하여 실제 홀의 음향을 예측하고 임펄스 리스펀스 (Impulse Response)를 체크하여 음향장애를 파악하였다[10]. 임펄스 리스펀스는 콘서트홀의 공간적 정보에 대하여 명료도, 요해도, 초기감쇠시간 (EDT), 음향장애여부 (Echo Position)등 직접적인 근거를 제시한다. 실제로 축소모형은 Jeon 외 2인[11]의 연구결과와 같이 컴퓨터 시뮬레이션과 유사한 결과를 나타내었다. 또한 최근 우리나라에서도 Ryu 외 2인[12]이 다목적홀의 음향성능 예측에 1:10 축소모형을 활용하였다.

ST (Stage Support) 값은 무대에서 연주자들이 서로

의 연주를 들을 수 있는 가능성과, 자신의 연주에 대한 음향성능을 판단할 수 있는 가능성을 나타내는 것으로 알려져 있다. Gade[13]가 측정 평가한 덴마크의 9개의 홀에서 솔로 연주자와 소규모 연주 그룹은 자신의 악기 소리에 도움이 되는 초기 반사 에너지에 민감하였으며 초기 반사음이 100ms이내면 ST1, 200ms이내면 ST2로 구분하였다. ST 값은 일반적으로 높을수록 잔향이 풍부하고 좋은 음향 상태를 나타내며, 무대 안쪽으로 갈수록, 또한 무대 측벽에서 4m 떨어진 지점에서 ST 값이 커진다[5]. ST2는 솔로 연주의 무대 음향 지표로 ST1은 협연시 무대 음향 지표와 상관관계가 높았다. 사용된 지표는 ST1 (Stage Support early)으로 음원과 수음점 사이 1m 거리에서 측정하며 아래의 식(1)과 같이 직접음 (0~10ms)에 대한 초기 반사음 (20~100ms)의 음압비[dB]로 표시한다.

$$ST1 = 10 \log \left\{ \frac{\int_{20}^{100} P^2(t) dt}{\int_0^{20} P^2(t) dt} \right\}, \quad dB \quad (1)$$

10ms까지의 음에너지는 직접음과 바닥반사음, 그리고 반경 1.7m이내의 반사벽체나 물체에 의한 반사음이 포함되며, 20~100ms까지의 음에너지는 수평적으로는 반경 3.4m~17m, 수직적으로는 반경 4.6m~17.7m 사이의 물체에 반사되어 수음된 음 에너지를 말한다.

II. 무대음향과 스케일 모델링

2.1. 외국 홀의 STI과 대상 홀의 개요

표 2.1은 미국 및 유럽에서 호평받고 있는 유명 홀의 STI 값을 나타내고 있다. 프리히의 그로서 톤할레살은

표 1. 외국 유명 홀의 STI 값

Table 1. STI values of the world famous concert halls.

공연장명	Zurich Grosser Tonhalleaal	Lenox Tanglewood Shed(front)	Boston Symphony Hall
STI(dB)	-12.6	-12.8	-13.7
공연장명	Vienna Musikvereinsaal	Armsterdam Concertgebouw	대상 홀
STI(dB)	-13.9	-17.8	-20.8

-12.6dB, 암스테르담의 콘서트헤보는 -17.8dB의 ST1 값을 가진다. 대상홀의 ST1은 현장 측정 결과 -20.8dB로 현재 상태는 유명 홀에 비해 무대음향이 좋다고 할 수 없다.

대상 홀은 팬 타입 (Fan Type)의 3층 홀로 음악연주를 위한 전용공간으로 1988년에 완공되었다. 무대부는 길이 14m, 폭 33m, 무대 천장에 가변 반사판이나 캐노피가 없이 천장 높이는 13~16m에 달한다. 무대 면적은 270m²으로 1962년 이후의 현대 외국의 다른 홀에 비해 무대부가 상당히 크다[14].

2.2. 1:25 축소모형의 제작 및 측정

1:25 축소모형은 그림 1과 같이 바니쉬칠 된 두께 9mm의 MDF로 만들었다. 또한 합창단 (Choir) 석에 있는 좌석은 실제 흡음률에 맞춰서 제작되었다. 해당 모델은 공기 흡음을 고려하지 않았다. 왜냐하면 무대 음향 자체가 짧은 초기 반사음으로 평가되며, 이는 각 재료의 흡음률과 무대의 측벽과 천장으로 이루어지는 무대의 형상에 큰 영향을 받으며, 실제로 공기 흡음은 축소모형의 ST1 (Stage Support early) 값에 큰 영향을 끼치지 않았다.

ST1의 측정은 비어 있는 무대를 기준으로 하였으며, 음원과 수음점은 각각 8개소로 하였다. 축소모형 측정에

는 음원은 4mJ의 전하를 가지는 스파크 소스를, 수음원은 약 140kHz까지 측정 가능한 B&K 1/8인치 마이크로폰을 사용하였다. 상사칙에 따라 1:25 축소모형이기 때문에 측정하고자 하는 주파수 대역은 25배 커야 한다. 따라서 여기에서는 실제 홀의 125Hz~4kHz 대역에 해당하는 3125Hz~100kHz 대역을 측정하였다. ST1 측정법에 의해 1:25 축소모형에서 음원과 수음점과의 간격은 실제길이가 1m이므로 40mm로 하였고, 수음점은 좌우 대칭의 효과, 후벽과의 거리 및 객석과의 음향적 연계성 등을 고려하여 8개 지점을 그림 2와 같이 잡았다.

음원과 1/8" 마이크로폰의 방향에 따른 영향을 알아보기 위해 마이크로폰을 수평방향으로 45° 씩 8방향으로 구분하여 측정하였다. 실험결과는 그림3과 같이 방향에 따른 평균 ST1값은 전체 평균 -17.4dB에 편차가 0.1dB로 유의수준 0.05에 유의하지 않았다. 결과적으로 마이크로폰의 방향성에 따른 상관성은 없는 것으로 나타났다.

2.3. Non-linearity 보정

축소모형은 역자승 법칙에 따라 실제 거리에 따라 에너지 감쇠가 일어나지 않는다. Stage Support를 측정하기 위한 1:25 축소모형에서 마이크로폰과 스파크 음원과의 거리는 40mm (실제거리 1m)이다. Non-linearity 지

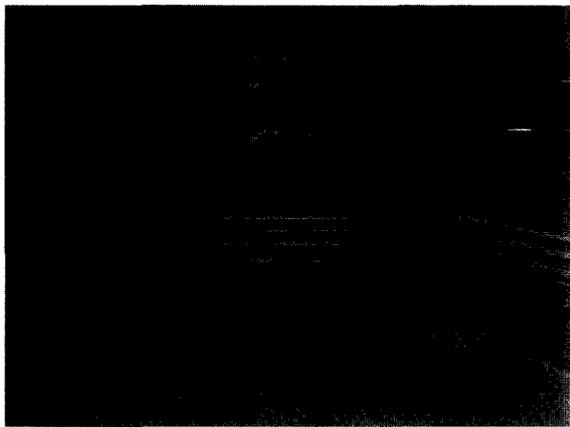


그림 1. 대상 홀의 1:25 무대 축소모형
Figure 1. 1/25 Stage scale model of the target hall.

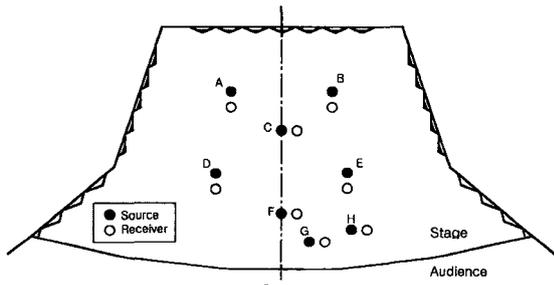


그림 2. 음원과 수음점의 위치
Figure 2. Position of sources and receivers.

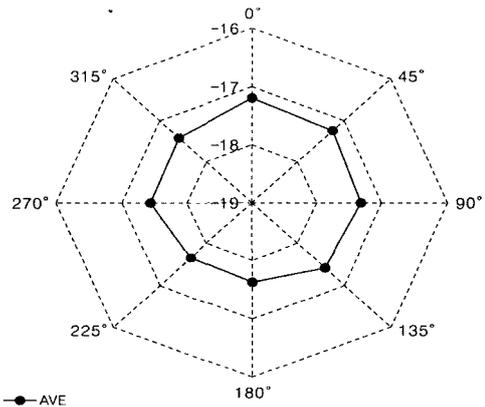


그림 3. 마이크로폰의 방향에 따른 평균 ST1
Figure 3. Average ST1 values by direction of microphone.

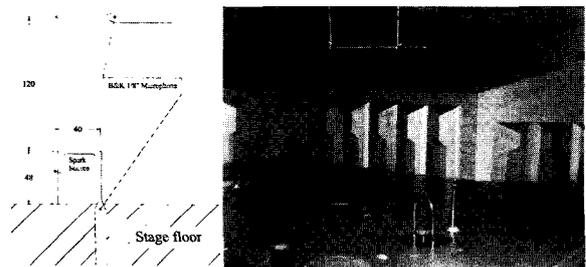


그림 4. 스케일 모델의 Non-linearity 보정
Figure 4. Correction of non-linearity of the scale model.

표 2. 측정조건의 변화

Table 2. Changes of measurement condition.

	조건 변화	크기	특징
3.1 바닥 변화	흡음천 사용	모형 8cm×8cm (환산 2m×2m)	흡음률 0.6 이상 (환산 500Hz~2kHz)
	흡음천 사용안함		
3.2 측벽 변화	삼각 확산체 (Basic diffuser)	환산 W×H×D 1.5m×2.8m×0.3m	현재 사용되고 있는 확산체
	평판 (No diffuser)	-	확산체 제거
	반구확산체 (Hemisphere diffuser)	환산 지름 0.5m, 높이 0.25m (모형 지름 2cm)	반구를 70%의 밀도로 표면에 붙임

역의 음압을 측정하기 위해 음원과의 거리가 80mm (실제 거리 2m) 이상이 되어야 한다. 이를 위해 스파크 음원 위에 거리 120mm인 지점에 비교 마이크를 설치하여 원래 마이크와 천장에 매달린 마이크와의 음압비교를 하였다. 그림 4는 축소모형의 Non-linearity 측정 방법을 보여준다.

그림 4에서 직접음의 음압을 비교하기 위한 두 개의 마이크에 상응하는 음선 거리 (Path Length)는

- ① ST1의 직접음에 해당하는 거리 : 40mm
- ② ST1의 1차 바닥 반사음에 해당하는 거리 : 104mm
- ③ 비교 값을 위한 천장 마이크와의 거리 : 120mm

의 ST1의 직접음을 비교하기 위한 ①, ②와 그 두 개의 음압을 비교하기 위한 ③으로 구성된다.

①에 해당하는 에너지를 1이라 하고 10 ms 이내에 수음되는 ①과 ②의 합산에너지를 E1, 그 때의 레벨을 L1이라 하며 ③에 해당하는 에너지를 E2 그 때의 레벨을 L2라 하면 다음과 같은 값을 가정할 수 있다.

$$E_1 = 1 + \left(\frac{40}{104}\right)^2 = 1.148$$

$$L_1 = 10 \log E_1 = 0.6 \text{ dB} \tag{2}$$

$$E_2 = \left(\frac{40}{120}\right)^2 = 0.11$$

$$L_2 = 10 \log E_2 = -9.5 \text{ dB} \tag{3}$$

(2), (3)결과에 의해 음압이 거리에 따라 선형적이라면 두 개의 마이크의 음압차이는 10.1dB 가 되어야 한다. 그러나 실제로 Non-linearity 영역에 의하여 주파수별로 다양한 차이가 발생한다. 측정 결과 직접음의 정확한 값은 500, 1000, 2000Hz에서 각각 -0.5, -1.0, 1.1dB의 음압차이가 발생했다. 각 주파수별 보정은 향후 ST1 값에 전부 적용되었다.

ST1은 (1)에서와 같이 전체 음에너지를 사용하지만 확산체의 영향을 보다 명확하게 조사하기 위해, 측정모형

에서 측정치간 편차가 크게 발생하는 저주파와 고주파 영역의 결과치를 제외하고, 각각 제반 악기별 특성이 가장 많이 포함되며 연주자의 가청에 민감한 중주파수 대역 중 1/1 Octave 밴드의 각 500, 1000, 2000Hz 대역의 결과로부터 산술평균을 구하여 분석하였다.

III. 무대주변구조의 영향조사

무대 바닥과 무대 측벽에 의한 무대음향에 대한 영향을 살펴보기 위하여 무대주변구조에 변화를 주어 ST1에 미치는 영향을 살펴보았다. 흡음률이 0.6 이상인 흡음천 사용 유무로 바닥에 의한 영향을 살펴보았고, 무대 측벽은 측벽모양을 변화시키며 그에 의한 영향을 살펴보았다. 측정 조건은 표 2와 같다.

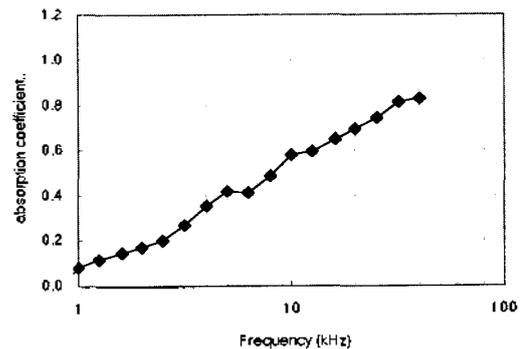


그림 5. 무대 바닥에 사용한 흡음천의 흡음율
Figure 5. Sound-absorbing coefficient of the fabric used in the stage floor.

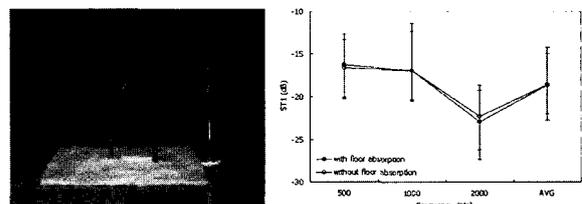


그림 6. 흡음천과 각 주파수별 ST1 범위의 변화
Figure 6. Appearance of the fabric and variation of ST1 at each frequency.

3.1. 무대 바닥의 영향

STI의 바닥반사음의 영향을 알아보기 위하여 1차 반사음 경로에 해당하는 부위에 500~2000Hz에서 그림 5와 같이 12.5~50kHz 대역 (환산 500Hz~2kHz)에서 흡음률이 0.6 이상인 흡음천을 스파크 음원 주변에 8cm×8cm의 크기로 설치하여 바닥 반사음을 제어하였다. 이것은 실제 홀에서 2m×2m의 크기로, STI는 10ms 이내의 반사음에너지를 측정하므로 음속을 고려하여 총반사경로를 모두 포함할 수 있도록 충분히 크게 설정하였다.

흡음천을 깔아 무대 위 8지점의 500~2000Hz의 전체 평균값과 각 주파수 값의 평균값을 비교한 결과 그림 6

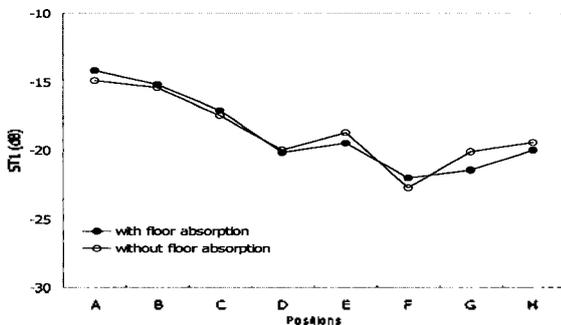


그림 7. 각 position별 STI
Figure 7. STI values at each position.

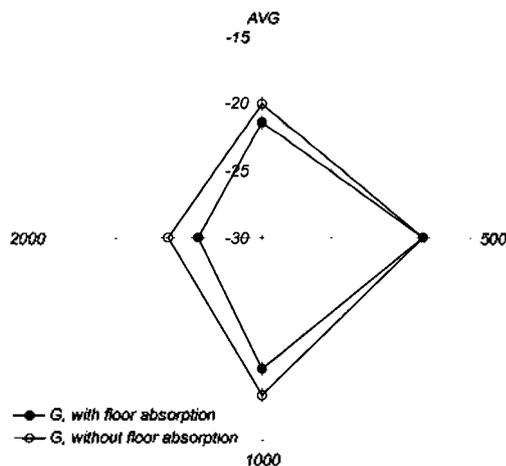


그림 8. G 지점의 주파수별 STI
Figure 8. STI values at position G.

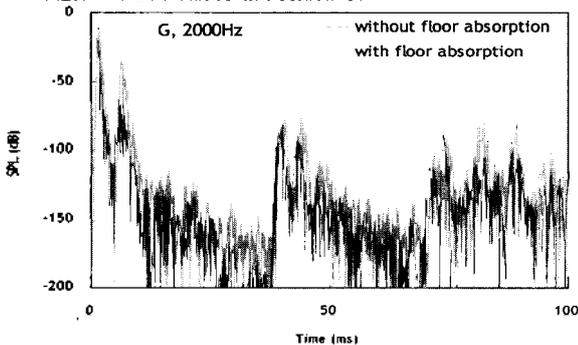


그림 9. G지점, 2000Hz에서의 Impulse Response
Figure 9. Impulse response at position G at 2000 Hz.

에서와 같이 흡음천이 있을 경우 흡음천이 없는 경우와 비교하여 STI값은 500Hz에서 0.3dB크고 2000Hz에서 0.6dB작아, 흡음천의 유무는 STI에 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 주파수별 범위의 차이가 두 개의 조건에 관계없이 동일한 크기를 가지는 것으로 보아 음원 주변 바닥의 흡음천은 STI에 큰 영향이 없는 것으로 판단된다.

그림 7은 흡음천의 유·무에 따른 8지점의 STI값을 나타낸다. 두 조건에 대한 각 지점 값의 상관계수는 0.97이며, 값의 차이는 G 지점에서 최고 1.3dB의 차이가 있다. 측벽에서 160mm 떨어진 A 지점에서 가장 큰 값을 가지며, 무대 선단에 위치하며 측벽에서부터 음 보강이 어려운 F 지점이 가장 작은 값을 보였다. 가장 큰 차이를 보이는 G지점의 각 주파수별 STI 값은 그림 8과 같다.

그림 7에서 G 지점은 흡음천이 있는 경우 1000, 2000Hz에서 STI 값이 약 2dB 작았다. 이는 그림 9의 임펄스 리스펀스 (Impulse Response)를 살펴보면 더욱 명확하게 드러난다. G 지점의 임펄스 리스펀스를 보면, 3ms의 직접음, 7ms의 1차 바닥 반사음, 40ms 이후의 1차 측면 반사음, 70~100ms의 반사음이 수음된다. 흡음천의 유·무에 상관없이 무대부의 측벽, 천장, 후벽 등에 반사되어 마이크로폰에 수음되어 최대값을 이루는 시간대는 같으나 흡음천의 영향으로 3ms의 직접음 이후 7ms의 1차 바닥 반사음의 뚜렷한 음압저감과 20ms 이후의 초기 반사음 중 80~90ms의 음압 감소가 보인다. 최대값을 이루는 시간대는 아니지만, 20~40ms 시간대



(a) Basic diffuser (b) No diffuser (c) Hemisphere diffuser

그림 10. 세 가지 측벽 형태
Figure 10. Three surface types of the lateral wall.

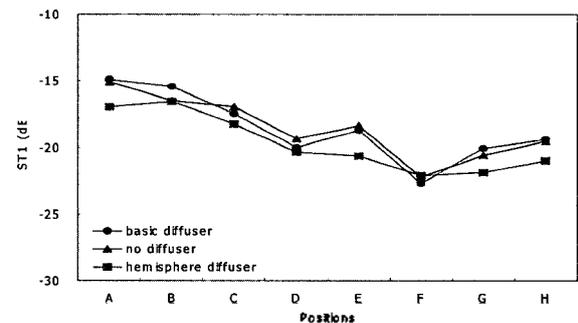


그림 11. 측벽형태에 따른 각 지점 STI
Figure 11. STI values at each position by the shape of lateral wall surface.

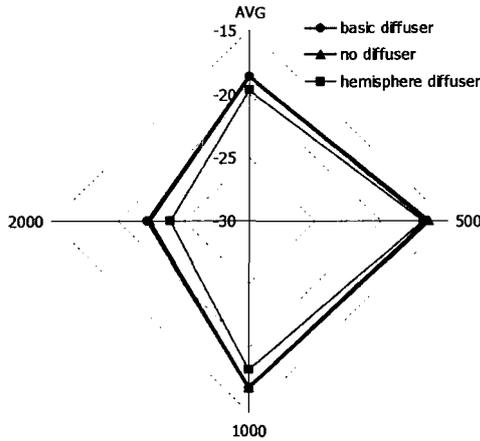


그림 12. 측벽형태에 따른 주파수별 ST1
Figure 12. ST1 values at each frequency by the shape of lateral wall surface.

의 음압감소나 50~70ms의 음압 감소도 명확히 보인다.

3.2. 무대측벽의 영향

무대의 벽체의 영향을 조사하기 위하여 빈 무대에서 세 가지 측벽 형태로 ST1을 측정하였다. 그림 10에서와 같이 현재 사용되고 있는 확산체를 사용한 것 (Basic diffuser)과 확산체를 떼어낸 것 (No diffuser), 확산 현상이 잘 일어나는 반구 확산체[6]를 사용한 것 (Hemisphere diffuser)을 상호 비교하였다.

측정결과 현재 사용하고 있는 확산체를 사용했을 때와 확산체를 떼어 측벽을 평판으로 만들었을 때의 ST1 값은 그림 11과 같이 거의 같은 경향을 보이고 있다.

그러나 반구 확산체를 측벽에 붙인 경우 전체적인 ST1 값이 작아졌다. 평균 ST1값은 순서대로 -18.61dB, -18.61dB, -19.99dB 였으며 이는 그림 12에서와 같이 확산체의 흡음에 의한 1kHz와 2kHz에서의 음압의 감소로 ST1 값이 저감되었다. 무대 지점 간 최대 최소 편차를 살펴보면 각각의 경우에 약 7.8dB, 7.2dB, 6.7dB의 편차를 보였다

현재 사용되고 있는 확산체와 평판은 최대최소 간 편차로 비교해 봤을 때 거의 차이가 없으며, 현재 무대 측벽에 설치된 확산체는 확산체가 없는 평판과 비교하였을 경우 확산체의 기하학적인 형태의 이점이 없는 것으로 보이고 평판측벽과 같은 영향을 끼치는 것으로 여겨진다. 반면 반구 확산체는 확산효과에 의해 ST1의 편차가 작아졌다.

IV. 토의 및 결론

본 논문에서는 축소모형을 이용하여 무대부의 바닥 및 벽에 의한 무대음향에 대한 영향을 Gade가 제안한 파라미터인 ST1으로 평가하였다. 바닥에 대한 영향은 흡음천의 유무로 조사했는데, 음원 주변의 흡음천의 사용은 1차 바닥 반사음뿐만 아니라 상대적으로 100ms 이내의 초기 음에너지도 감소하여 상대적인 음압비교인 ST1 값에 큰 변화를 주지 않았으나 무대의 일부분에서 흡음천의 사용으로 1차 바닥반사음만 저감된 경우 ST1 값이 증가되었다.

무대 측벽에 대한 영향을 살펴보기 위하여 현재 사용되고 있는 확산체를 사용한 것과 확산체를 제거한 경우, 확산 현상이 잘 일어나는 반구 확산체를 사용한 것 등의 세 가지 형태의 측벽으로 ST1을 측정하여 상호 비교하였다. 현재 사용하고 있는 확산체를 사용했을 때와 확산체를 떼어 측벽을 평판으로 만들었을 때의 평균 ST1 값은 -18.6dB 로 같은 경향을 보이고 있으나, 반구 확산체를 측벽에 붙인 경우에는 오히려 흡음면적 증가에 의한 측벽 반사음압 감소로 ST1이 -1.4dB정도 떨어진 값을 보였다. 그러나 확산 현상에 의해 무대 지점간 편차가 작아져 ST1 값의 분포가 다른 두 가지 측벽의 경우보다 고르게 분포함을 알 수 있었다.

요컨대 무대 바닥은 상대적으로 ST1의 변화에 큰 영향을 주지 않았고, 무대 측벽의 형상은 확산현상에 의해 ST1의 분포에 영향을 주었다. 따라서 좋은 ST1 값을 가진 무대음향을 설계하기 위해서는 바닥 반사에 의한 영향보다는 측벽간의 거리와 형상의 확산에 의한 영향을 적극적으로 활용하여 반영하는 것이 바람직한 무대 설계 방법이라 할 수 있다.

아울러 국내의 각종 공연장들이 국민의 진정한 문화공간으로 거듭나기 위해서는 프로그램의 개발 등의 운영차원의 노력뿐만 아니라 공연장의 핵심기능인 음향성능에 대한 철저한 고려가 필요하다. 따라서 음향 설계에 도움을 줄 수 있는 다양한 연구가 더욱 요구된다.

참고 문헌

1. A. H. Marshall, D. Gottlob and H. Alrutz, "Acoustical conditions preferred for ensemble," J. Acoust. Soc. Am. 64, 1437-1442, 1978.
2. M. Barron, "The Gulbenkian Great Hall, Lisbon, II: an

acoustic study of a concert hall with variable stage," J. Sound Vib. 59, 481-502, 1978.

3. A. C. Gade, "Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part I: Method and laboratory experiments," Acustica 65, 193-203, 1989.
4. J. H. Rindel, "Design of new ceiling reflectors for improved ensemble in a concert hall," Appl. Acoust. 34, 7-17, 1991.
5. J. Y. Jeon and M. Barron, "Evaluation of Stage Acoustics in Seoul Arts Center Concert Hall by Measuring Stage Support," J. Acoust. Soc. Am. 117, To be published., 2005.
6. J. Y. Jeon, S. C. Lee, and M. Vorländer, "Development of Scattering Surfaces for Concert Halls," Appl. Acoust. 65 (4) 341-355, 2004.
7. M. Hodgson, "Scale-model evaluation of the effectiveness of novel absorber treatments for industrial noise control," Noise Control Eng. J. 46, 31-37, 1996.
8. W. Reichardt, P. Budach and H. Winkler, "Raumakustische Modell untersuchungen mit dem Impuls-Schall-Test beim Neubau des Kongress and Konzertsaaes im 'Haus des Lehrers' am Alexanderplatz," Berlin, Acustica 20, 149-158, 1968
9. B. F. Day, "A tenth-scale model audience," Appl. Acoust. 1, 121-135, 1968.
10. M. Barron and C. B. Chinoy, "1:50 scale acoustic models for objective testing of auditoria," Appl. Acoust. 12, 361-375, 1979.
11. 전진용, 류종관, 유병철, "콘서트홀의 음향 예측을 위한 1:50 스케일 모델의 활용," 대한건축학회 논문집 19 (1), 217-224, 2003.
12. 류종관, 신동재, 전진용, "다목적홀의 음향설계를 위한 1:10 축소모형의 제작 및 평가," 대한건축학회 논문집 20 (9), 59-66, 2004
13. A. C. Gade, "Acoustical survey of eleven European concert halls, Report No.44," Appl. Acoust. 31, 207-214, 1990.
14. L. Beranek, "Concert and opera halls: how they sound," Acoust. Soc. Am. through Am. Inst. Physics, New York, 1996.

저자 약력

• 전진용 (Jin-Yong Jeon)



1982년 2월 : 한양대학교 건축공학과(공학사)
 1991년 8월 : Univ. of Sydney Building Science(석사)
 1994년 5월 : Univ. of Sydney Acoustics(박사)
 1998년 3월~현재 : 한양대학교 건축공학부 부교수

• 이충화 (Chung-Hwa Lee)



1996년~2003년 : 한양대학교 건축공학부(공학사)
 2003년~2005년 : 동대학원 건축공학과(석사)