

# 콘서트홀 무대에서 음향지표와 독주 연주와의 상관관계

## Connection between Acoustical Parameters and Solo Performance on a Concert Hall Stage

김 용 희\*, 이 창 우\*\*, 서 춘 기\*, 전 진 용\*\*\*  
(Yong Hee Kim\*, Chang Woo Lee\*\*, Chun Ki Seo\*, Jin Yong Jeon\*\*\*)

\*한양대학교 건축환경공학과, \*\*한양대학교 건축공학과, \*\*\*한양대학교 건축공학부  
(접수일자: 2008년 7월 22일; 채택일자: 2008년 8월 21일)

본 연구는 무대음향 지표인 STI를 이용하여 성악 및 기악 연주형태 모두에 대해 독주 연주자의 선호도 모델을 평가하였다. 실험은 오케스트라 셸이 설치된 팬형상의 다목적홀에서 수행되었다. 다양한 무대 조건을 평가하기 위해 무대 위 15개 지점에서 음향지표의 측정을 실시하였으며, STI은 -19.9 dB에서 -11.3 dB의 분포를 보였다. 청감평가를 위해 성악 및 기악 연주자들이 현장 연주평가에 참여하였으며, STI을 기준으로 선택된 무대 위 5지점에서 연주하면서 그 위치에서의 무대음향을 평가하였다. 연주자의 선호도는 5점 척도의 등급평가법과 평가지점간의 순위결정법을 통해 도출하였다. 실험결과, 성악 연주자의 선호도 모델은 기악연주자의 선호도 모델과 다른 것으로 나타났으며, STI은 무대 위 연주자의 선호도 평가결과와 잘 맞지 않는 것으로 나타났다.

**핵심용어:** 무대음향, STI, 주관적 평가, 독주 연주, 콘서트홀

**투고분야:** 건축 음향 분야 (7,2)

This study investigated that the preference model of soloist performers for both vocal and instrumental types in terms of a stage support parameter, STI. The test was carried out on a stage of a fan-shaped multi-purpose hall with orchestra shell. Objective measurements were carried out at 15 positions on the stage to evaluate various stage condition. The results showed that STI varies between -19.9 and -11.3 dB. Vocal and instrumental players participated in performance evaluation test as they played at 5 selected positions according to STI values. Players' preference was evaluated by 5-point rating and rank ordering method. As a result, it was found that the preference model of vocalist is different from that of instrumentalist. It was also found that the STI does not correlate well with the performer's preference.

**Keywords:** Stage acoustics, STI, Subjective evaluation, Solo performance, Concert hall

**ASK subject classification:** Architectural Acoustics (7,2)

### I. 서론

무대음향에 대한 연구는 지난 70년대부터 시작되어 왔으며, 앙상블에 선호조건을 연구한 Marshall 등 [1]과 실제 무대구조의 변형을 연구한 Barron [2]의 초기단계의 실험적 연구에 기반해 Gade [3,4]는 연주자 실험실 평가와 실제 오케스트라의 설문조사를 통해 최초의 물리적인 무대음향 평가지표인 STI을 제안하였다. STI은 무대 위 음원과 가까운 거리에 도달하는 초기반사음 양을 측정하

는 지표로서 솔로와 앙상블 연주에서 오케스트라이다. 이후 천장반사판의 효과적인 형상과 오케스트라 셸의 무대음향의 영향 등의 무대 반사판에 대한 몇 건의 연구가 진행되었고 [5-7], Jeon과 Barron [8]은 콘서트홀 축소 모형에서 STI을 이용해 무대음향의 물리적 평가를 진행하였다. 최근 Chiang 등 [9]은 실제 무대에서 이동식 반사판과 연주자 위치에 따른 청감평가를 진행하여, STI을 수정하려는 시도를 하였다. 국내에서도 전진용과 이창우 [10]의 연구에서 기존 실내음향 지표의 무대음향 평가의 가능성에 대해서 논의된 바는 있지만, 아직까지 STI외에는 연주자들의 청감을 평가하기 위한 무대음향 지표는 개발되어 있지 않다. 한편 STI은 기악연주자들만의 청감

책임저자: 김 용 희 (kimyonghee@gmail.com)  
133-791 서울시 성동구 행당동 17 한양대학교 과학기술관 603호  
(전화: 02-2220-1795; 팩스: 02-2220-4794)

평가를 통해 도출되었기 때문에 보다 폭넓게 무대음향 평가에 적용하기 위해서는 수정되어야 할 필요가 있다.

이런 평가지표를 도출하기 위한 실험조건 측면에 있어서 Marshall 등 [1], Gade [3]와 Ueno와 Tachibana [11]는 실험실에서 주관적 평가를 진행하였고, Barron [2], Chiang 등 [9]과 Gade [4]는 실제무대 음장을 이용하였다. 실험실에서의 음장조건이 통제하기 쉽기 때문에 명쾌한 물리적 평가를 진행할 수 있지만, 아직까지 무대음향 평가를 위한 음장의 재현 기술은 부족한 실정이다. 특히 성악 연주자의 경우 Ueno와 Tachibana [11]가 무향실에서 다채널 실시간 건볼루션 시스템을 구축한 사례가 있지만, 자신이 악기이자 수음점이 되어야 때문에 이것을 실험실에서 재현하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 현 단계에서의 무대음향 지표를 연구하기 위해서는 먼저, 실제 무대의 음장변화를 연주자가 어떻게 인지하는지 정량적으로 평가하는 것이 중요하다.

기존의 무대음향 지표의 연구는 모두 기악연주자들의 선호도 평가결과를 기반으로 하고 있다. 성악가들은 악기와는 달리 음원(입과 상대)과 수음점(귀)이 인체구조로 일체화되어있다. 이것이 성악가가 무대에서 인지하는 무대음향을 실험실에서 재현하기 어렵게 만드는 이유이다. 따라서 현실점에서는 실제 현장에서의 청감평가가 가장 유의한 선호도 평가법이라 할 수 있다. 그러나 무대 위 연주자가 실제로 이동하면서 혹은 이동식반사판을 이동하면서 실험환경을 변화시켜야 하기 때문에 다양한 상황을 제시하기 어려운 단점이 있다.

본 연구에서는 실제 연주공간에서 다양한 STI 환경에 따른 연주자의 선호도 평가를 통해 기존 무대음향지표인 STI의 유효성을 평가하고자 한다. 기악연주자로부터 도출되었던 STI이 성악가의 선호도와도 관련이 있는지 파악하고, 어떤 요소가 전체적인 선호도 형성에 기여하는지 그 선호인자를 평가하였다. 또한 실험결과를 비교를 위해 동일한 상황에서 기악연주자의 실험을 병행하였다. 본 연구 실험의 조건은 실제 대형 공연장의 무대에서 위치에 따른 다양한 무대음향조건을 이용하였다.

## II. 평가지표

Gade가 제안한 무대음향 지표는 STI ( $STI_{Early}$ 로도 표현), ST2,  $STI_{Late}$ 와 CS가 있다 [7]. 각 지표는 무대 위에서 음원-수음원 거리가 1 m인 상태에서 무지향 특성으로 측정된 임펄스 리스펀스로부터 계산된다. STI는 직접음

(0-10 ms)에 대한 100 ms 이내의 초기반사음 (20-100 ms)의 음압비를 대수비로 표현하였으며, ST2는 직접음에 대한 200 ms 이내의 초기반사음 (20-200 ms)의 음압비를 대수비로 표현하였다. 한편  $STI_{Late}$ 는 직접음에 대한 후기잔향음 (100 ms-∞)의 음압비를 대수비로 표현하였고, CS는 80 ms를 기준으로 후기음에 대한 초기음의 음압비를 대수비로 표현하였다. 각 무대음향지표는 250-2,000 Hz 대역의 평균값을 사용하였다. 다음 식 (1)-(4)는 무대음향지표에 대한 정의를 나타낸다.

$$ST1 = 10 \log \left( \frac{\int_{20ms}^{100ms} p^2 dt / \int_{0ms}^{10ms} p^2 dt}{\int_{0ms}^{10ms} p^2 dt} \right) \quad [dB] \quad (1)$$

$$ST2 = 10 \log \left( \frac{\int_{20ms}^{200ms} p^2 dt / \int_{0ms}^{10ms} p^2 dt}{\int_{0ms}^{10ms} p^2 dt} \right) \quad [dB] \quad (2)$$

$$STI_{Late} = 10 \log \left( \frac{\int_{100ms}^{\infty} p^2 dt / \int_{0ms}^{10ms} p^2 dt}{\int_{0ms}^{10ms} p^2 dt} \right) \quad [dB] \quad (3)$$

$$CS = 10 \log \left( \frac{\int_{0ms}^{80ms} p^2 dt / \int_{80ms}^{\infty} p^2 dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2 dt} \right) \quad [dB] \quad (4)$$

또한, 무대음향의 다양한 측면을 분석하기 위해 기존의 객석음향 지표도 측정하였다. 이 때 고려된 객석음향 지표는 RT (잔향시간; T30),  $T_s$  (center time),  $IACC_{E3}$  (초기음의 양이상관도)과  $IACC_{L3}$  (후기음의 양이상관도)의 네 가지이다. RT와  $T_s$ 는 500과 1,000 Hz 평균값을 사용하였고, IACC는 500에서 2,000 Hz 평균값을 80 ms를 기준으로 초기음 (0-80 ms)은  $IACC_{E3}$ 로 후기음 (80 ms-∞)은  $IACC_{L3}$ 로 평가하였다. 기존의 객석음향 지표가 무대 위 음원과 객석부의 수음점간 측정결함에 반해 본 논문에서 언급하는 모든 객석음향 지표는 무대 위에서 음원과 수음점간 거리를 1 m로 유지시킨 채 측정된 결과이다.

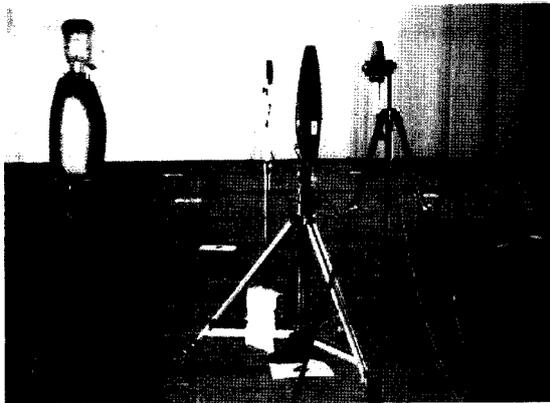
## III. 무대음향의 측정

### 3.1. 대상 공연장

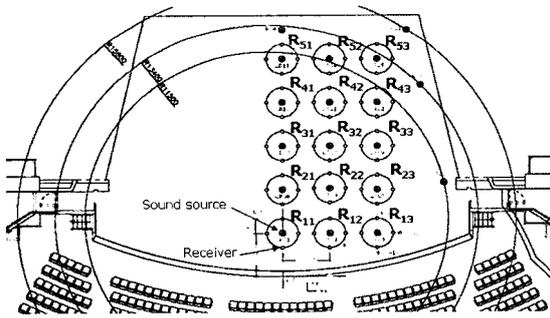
현장 측정 및 청감평가는 3,048석 규모의 실제 다목적 공연장에서 오케스트라 쉘을 설치한 후 실시하였다. 대상 공연장은 전형적인 팬 형태의 평면으로서 객석부는 3개층으로 나뉘어 있었다. 실내 용적은 36,000 m<sup>3</sup>이고 무대부 면적은 270 m<sup>2</sup>이다. 공연장 객석의 중주파수대역 평균 잔향시간은 1.7s인 것으로 나타났다.

### 3.2. 측정 개요

자연적으로 형성된 무대음장의 변화를 이용하기 위해 그림 1의 (a)와 같이 3 m 간격으로 15지점을 선정하여 음원을 배치하였고, 이를 둘러싼 주변 음장의 대표값을 추출하기 위해 4방위에서 측정한 결과를 평균하였다. 측정장비는 그림 1의 (b)와 같이 무대 위에서 무지향성음원과 무지향성 마이크로폰 (AKG 414)을 1 m 간격으로 배치하여 로그형의 사인 스위프 (Swept-sine)신호를 이용하여 임펄스 리스펀스를 측정하였으며, 추가적으로 객석 음향 지표의 영향을 평가하기 위해서 더미헤드의 측정도 병행하였다. 표 1은 측정에 사용된 장비의 목록을 나타낸다.



(a)



(b)

그림 1. 무대 위 음원과 수음점의 위치 (a)와 측정장비 (b)  
Fig. 1. Source and receiver position on the stage (a) and the measuring equipments (b).

표 1. 무대음향 측정에 사용된 장비의 목록  
Table 1. Equipment list for measurement of stage acoustics.

종류	형식
스피커	B&K 4295 OmniSource Loudspeaker
파워앰프	Power Amplifier - Type 2716C
마이크로폰	Head and Torso Simulator (HATS) Type 4128C
	AKG 414
마이크로폰앰프	Conditioning amplifier 2 Ch
측정 및 분석기	랩탑, Adobe Audition 1.5

### 3.3. 측정 결과

표 2는 각 지점에서 측정된 무대음향 지표와 객석음향 지표를 나타냈다. 무대음향 지표의 측정결과 ST1은 -19.9 dB에서 -11.3 dB까지 약 8.6 dB의 분포 범위와 -14.6 dB의 평균값을 보이고 있는 것으로 나타났다. ST2는 -16.2 dB에서 -10.5 dB로 ST1에 비해 분포 범위가 작은 것으로 나타났으며 평균값은 -13.0 dB였다. 후기음을 고려하는 ST<sub>Late</sub>는 -20.0 dB에서 -15.4 dB의 분포를, CS는 15.1 dB에서 19.4 dB의 분포를 보였다. 물리적 지표들간의 상관관계를 살펴보면 정의가 유사한 ST1과 ST2가 높은 유사성을 보였고 (R=0.98), ST<sub>Late</sub>와 CS는 높은 역상관관계를 보였다 (R=-0.98). 한편 ST1은 ST<sub>Late</sub>와는 전혀 관계가 없는 것으로 나타났다 (R=-0.01).

한편 객석음향 지표 중 잔향시간 (RT)은 무대 위에서 0.98s에서 1.57s의 분포를 보였으며 0.6s의 큰 범위를 보였다. 하지만 1 m 거리에서의 측정이라는 특수성 때문에, Ts는 8.7 ms에서 11.1 ms로 매우 작은 범위의 분포를 보였다. 초기음의 양이상관도인 IACC<sub>0.3</sub>는 큰 직접음의 영향으로 0.89에서 0.99로 각 지점에서 매우 큰 값으로 측정되었는데, 측벽과 후벽으로부터 4 m 이내 지점에서는 IACC<sub>0.3</sub>가 약간 감소되는 경향을 보였다. 한편, 후기음의 양이상관도인 IACC<sub>0.7</sub>는 0.19에서 0.48의 분포를 보였으며, 후벽에 가까워질수록 높아지는 경향을 보였다. 무대 위에서 측정지점이 수평적으로 동일할 때 무대 중앙부로 갈수록 RT와 IACC<sub>0.3</sub>는 증가하지만 IACC<sub>0.7</sub>는 감소하는 경향을 보였다. Ts는

표 2. 무대 위치별 무대음향 및 객석음향 지표 측정결과  
Table 2. Measurement results of stage and audience acoustical parameters according to receiver positions.

측정 위치	무대음향 지표				객석음향 지표				
	ST1 [dB]	ST2 [dB]	ST <sub>Late</sub> [dB]	CS [dB]	RT [s]	Ts [ms]	IACC <sub>0.3</sub>	IACC <sub>0.7</sub>	
*R11	A	-19.9	-16.1	-16.9	16.2	1.46	9.0	0.99	0.36
R12		-19.5	-16.2	-17.5	16.7	1.32	8.7	0.99	0.19
*R13	B	-18.4	-16.0	-18.0	17.5	1.21	8.7	0.98	0.21
R21		-15.6	-13.3	-15.8	15.3	1.37	10.7	0.99	0.37
R22		-16.2	-14.0	-16.7	16.0	1.18	10.0	0.98	0.27
*R23	C	-15.9	-13.9	-17.0	16.7	1.15	9.7	0.98	0.27
*R31	D	-13.6	-11.9	-15.4	14.9	1.28	10.3	0.99	0.47
R32		-13.4	-12.0	-16.2	15.1	1.11	9.8	0.98	0.31
R33		-12.7	-11.5	-16.6	15.8	0.99	10.9	0.96	0.33
R41		-11.5	-10.5	-15.9	15.2	1.30	11.1	0.98	0.48
R42		-11.9	-11.2	-17.5	16.3	1.07	10.9	0.97	0.33
*R43	E	-11.3	-10.5	-17.3	16.2	0.98	10.2	0.95	0.33
R51		13.2	12.6	-18.1	17.8	1.57	10.5	0.92	0.41
R52		13.0	-12.4	-18.8	18.2	1.32	9.5	0.93	0.21
R53		-13.2	-12.7	-20.0	19.4	1.04	9.5	0.89	0.29

\* 청감실험에 사용된 5 지점

IACC<sub>23</sub> (R=0.70), ST1 (R=0.76), ST2 (R=0.82)와 관련성 있게 나타났으며, IACC<sub>23</sub>는 ST1<sub>23</sub> (R=0.81), CS (R=-0.80)와 높은 관련성을 보였다. 이것은 무지향성으로 입사한 초기반사음 및 후기반사음의 크기뿐만 아니라 양이입사나 음원의 지향성 측면도 중요하다는 것을 나타낸다.

### IV. 현장 청감평가

#### 4.1. 실험 개요

실제 무대라는 실험조건 제약이 크기 때문에 현장에

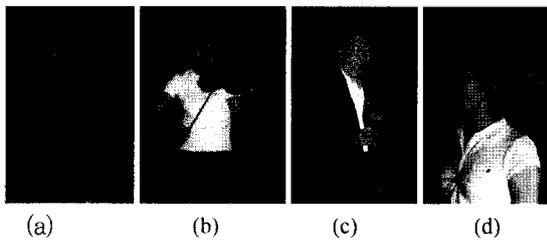


그림 2. 청감실험에 참여한 피험자 4인의 모습  
 (a) 소프라노 1 (b) 소프라노 2  
 (c) 바이올린 연주자 (d) 클라리넷 연주자  
 Fig. 2. Four subjects who were participated in the field performance test.  
 (a) Soprano 1 (b) Soprano 2  
 (c) Violinist (d) Clarinetist

표 3. 현장 청감평가를 위해 선정된 5지점의 설명  
 Table 3. Explanation of 5-positions for field performance test.

평가지점	ST1 [dB]	설명
A R11	-19.9	객석쪽 중앙, 솔로 연주자 위치
B R13	-18.4	객석쪽 측면, 첼로 또는 바이올린 연주자 위치, 오케스트라 쉘 바깥
C R23	-15.9	객석쪽 측면, 첼로 또는 바이올린 연주자 위치, 오케스트라 쉘 안쪽
D R31	-13.6	무대 정중앙, 목관악기 위치
E R43	-11.3	무대 후열 측면, 콘트라베이스 또는 타악기 위치

표 4. 무대음향의 주관적 느낌 평가인자  
 Table 4. Evaluation factors for subjective impression of stage acoustics.

평가인자	척도	설명
선호 순위	순위 결정법	5지점의 비교평가 후 상대적 선호순위
무대지원	5점 등급 평가법	자신이 연주한 음이 잘 들리는가?
사이즈		홀의 크기가 어떻게 느껴지는가?
방향성		나의 연주가 잘 뻗어 나가는가?
진행감		소리가 많이 울리는가?
블렌딩		아어지는 연주음이 충분히 잘 섞이는가?
선호도		전체적인 느낌이 좋은가?

서 청감실험을 원활히 진행하기 위해 ST1이 서로 다른 5개 지점을 지점을 선정하여 비교평가를 실시하였다. (ST1은 약 2 dB간격으로 선정됨, 실제 1.5~2.5 dB) 실험에는 그림 2와 같이 성악가 2인 (소프라노)과 기악연주자 2인 (바이올린, 클라리넷)이 피험자로 참여하였다. 소프라노 피험자는 성악을 전공하는 대학생이었으며, 기악연주자는 오케스트라 단원으로 활동하는 전문 연주자였다. 그림 2의 (a) 피험자를 제외하고 나머지 피험자는 청감실험 참가경력이 없는 상태였으며, (a) 피험자도 현장에서의 연주음 평가 경험은 없는 상태였다.

표 3은 선정된 무대 지점 (A-E)의 설명을 나타낸다. 피험자는 각 지점의 주변환경을 시각적으로 인지하지 못하도록 안대 착용 후 실험 보조자의 도움으로 위치를 이동하였고, 피험자가 해당 위치를 알지 못하도록 하였다.

청감평가시 피험자의 주관적 선호요인을 세부적으로 도출하기 위해 기존의 연구들을 바탕으로 표 4와 같은 주관적 지표를 사용하였다. 평가인자는 Gade의 연구 [3]를 참고하여 선정하였으며, 추가적으로 연주자와 인터뷰를 통해 주관적 인자로 무대 위에서 인지되는 공간의 크기와 사기 연주음의 방향성을 포함하였다. 주관적 선호 인자는 솔로연주와 듀엣연주로 실험상황에 따라 구분하였다. 실험결과는 각 지표별로 5점 척도를 이용하여 2회 평가한 후 그 평균값을 사용하였다.

#### 4.2. 선호순위 평가 결과

피험자들의 현장 청감평가 결과, 각 위치의 선호순위는 그림 3과 같다. 피험자간의 공통된 경향은 무대 정중앙 (D, ST1 -13.6 dB)을 가장 선호하는 점이다. 성악연주자의 경우, 무대 선단과 가까운 중앙지점 (A)을 선호하는 경향을 보였으나, 오케스트라 쉘 반사면으로부터 가까이 위치해 많은 초기반사음이 보강된 E지점은 비선호하는 경향을 보였다. 이에 따라 선호순위는 ST1과의 상관관계가 반비례 관계이며 상관계수가 매우 낮은 것으로 나타났다 ( $R_{\text{소프라노1}} = -0.22$ ,  $R_{\text{소프라노2}} = -0.28$ ).

하지만 기악연주자의 경우, ST1이 가장 높은 E 지점은 정중앙 다음으로 선호되는 위치였다. 이에 따라 기악연주자들의 선호순위는 ST1과 양의 상관관계를 보였다. ( $R_{\text{바이올린}} = 0.78$ ,  $R_{\text{클라리넷}} = 0.60$ ). 성악연주자가 두 번째로 선호했던 A지점은 오히려 기악연주자들에게는 가장 비선호하는 지점으로 인식되었다. 이러한 연주자 종류에 따른 선호경향의 차이는 그 연주형태에 따른 일반적인 연주사의 위치에 영향을 받는 것으로 사료된다. 기악연주자의 경우 오케스트라 일원으로 대개 참여하기 때문에 초기

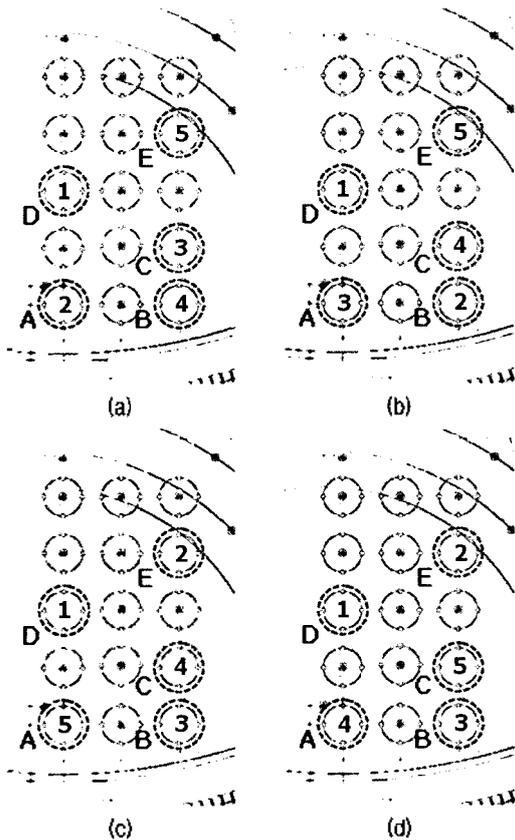


그림 3. 각 피험자에 따른 무대환경의 선호 순위 결과  
 (1: 가장 선호한 지점, 5: 가장 비선호한 지점)  
 (a) 소프라노 1 (b) 소프라노 2  
 (c) 바이올린 연주자 (d) 클라리넷 연주자

Fig. 3. Results of preference ranking of stage acoustical condition for each subject.

(1: Preferred, 5: Less preferred)  
 (a) Soprano 1 (b) Soprano 2  
 (c) Violinist (d) Clarinetist

반사음이 강화되는 측후면과 가까울수록 선호하는 경향을 보이며, 반대로 성악연주자의 경우 독주의 기회가 잦고 오페라 발성의 경우 무대 선단 및 중앙에서 연주하기 때문에 위와 같은 선호경향이 나타나는 것으로 사료된다. 한편 무대부 중앙지점 (D)은 높은 수준의 STI과 더불어 STI<sub>late</sub>가 가장 높았으면서 IACC<sub>L3</sub>는 가장 높은 지점이었기 때문에 피험자들은 공통적으로 적당한 수준의 100 ms 이내의 초기반사음과 더불어 많이 확산되지 않은 200 ms 이내의 후기반사음이 많은 것을 선호한다고 사료된다.

한편 후기반사음 지표인 STI<sub>late</sub>의 경우, 기악연주자와 성악연주자 모두 양의 상관관계를 보였다. ( $R_{\text{소프라노 1}}=0.81$ ,  $R_{\text{소프라노 2}}=0.46$ ,  $R_{\text{바이올린}}=0.45$ ,  $R_{\text{클라리넷}}=0.46$ ) 이것은 모든 연주자들이 후기반사음 (100 ms 이후)을 공통적으로 선호한다고 할 수 있는데, 이것은 후기반사음을 잔향음으로 간주했기 때문인 것으로 사료된다.

표 5. ST1과 피험자 주관적 인상 평가결과 사이의 상관계수  
 Table 5. Correlation coefficients between ST1 and the 5-point rating results of subjective impression.

피험자	무대지원	사이즈	방향성	진향감	블렌딩	선호도
소프라노1	0.33	- 0.63	- 0.30	0.30	- 0.13	- 0.15
소프라노2	0.68	0.62	- 0.06	- 0.17	- 0.39	- 0.58
바이올린	0.93*	0.17	0.42	0.32	0.12	- 0.42
클라리넷	- 0.05	0.01	0.54	0.38	0.66	0.54

\*  $p < 0.05$

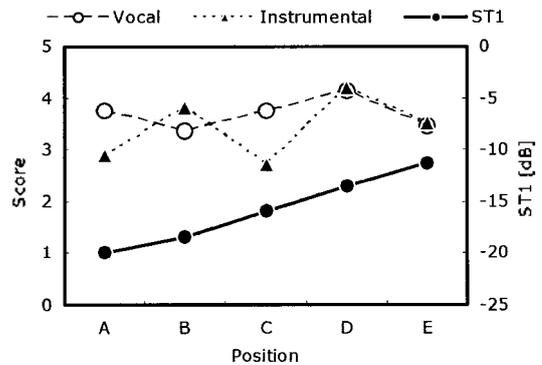


그림 4. 연주형태별 평균점수와 ST1간의 관계  
 Fig. 4. Relationship between ST1 and the averaged score by performer type.

### 4.3. 주관적 인상 5점척도 평가 결과

앞서 언급한 선호순위와 별도로 각 지점에서의 무대음향에 대한 주관적 인상을 5점 척도로 평가한 결과, 표 5와 같이 STI은 바이올린 연주자의 '무대지원' 항목을 제외하고는 모두 유의하지 않은 것으로 나타났다 (유의수준  $p < 0.05$ ). 그러나 그림 4에서와 같이 평균 점수 분포와 선호순위와는 상당한 유사성이 있는 것으로 나타났으며, 연주자 간에는 D와 E의 STI이 높은 지점이 공통된 경향을 보였다.

## V. 토 의

Gade의 방법론 [3,4]은 이전 연구를 바탕으로 실험실에서 제한된 조건을 통해 평가지표를 제안하고, 공연장 무대에서 현장 평가를 통해 검증하고자 하였다. 하지만 그 결과로서 제안한 STI은 오케스트라 단원의 선호도 모델만을 기반으로 하였기 때문에 솔로연주나 성악연주자의 선호도에도 적합한지는 검증되지 않았다. 또한 홀에 따른 STI 차이보다 무대 위치에 따른 STI이 크기 때문에, 홀간 평균 STI을 비교하는 것 못지않게 하나의 홀에서 다양한 지점에 따른 다양한 값의 STI의 영향을 평가할 필요가 있었다. 따라서 본 연구에서는 측정된 STI을 기준

으로 무대 위 무대음장 조건이 다른 5지점을 선정하여 현장에서 실시한 청감평가를 통해 선호요인을 분석하고자 하였으며, 기존에 고려되지 않았던 성악가의 선호모델을 STI 등의 평가지표에 적용하여 그 유의성을 알아보 고자 하였다.

하지만 그림 4와 표 5에서와 같이 STI는 기악연주자의 결과와는 어느 정도 유사한 경향을 보였지만, 성악연주자까지 포괄하는 지표로 사용되기에는 피험자 결과와 유의한 상관관계를 보이지 않은 것으로 나타났다. 표 6은 각 개인의 선호순위 평가결과와 표 2에 정리된 무대음향 및 객석음향 지표와의 피험자 개인별 상관계수를 나타낸다. 통계적으로 유의한 상관관계 (양측검정,  $p < 0.05$ )는 나타나지 않았으나, 앞장의 실험결과에서 고찰한 바와 같이 성악연주자와 기악연주자간의 선호경향의 차이는 뚜렷이 나타났다. 특히 객석음향 지표를 살펴보면, 성악연주자는 잔향시간과 공간감지표 (IACC<sub>cs</sub>) 모두 양의 상관관계를 나타냈다. 이것은 성악연주자가 적당한 잔향음과 함께 초기반사음의 공간감이 낮은 것을 선호하는 것으로 유추할 수 있다. 반면, 기악연주자는 무대음향지표인 STI와 ST<sub>2</sub>에, 객석음향 지표인 Ts에 양의 상관관계를 보인 것으로 나타났다. 이것은 기악연주자가 초기반사음의 방향성에 상관없이 그 양에 의존하고 있는 것으로 유추할 수 있다.

표 6. 무대 위 음향지표와 선호순위의 피험자별 상관계수  
Table 6. Correlation coefficients between each subject's preference ranking and acoustical parameters.

상관계수	무대음향 지표				객석음향 지표			
	ST1 [dB]	ST2 [dB]	ST <sub>Late</sub> [dB]	CS [dB]	RT [s]	Ts [ms]	IACC <sub>cs</sub>	IACC <sub>3</sub>
소프라노1	-0.28	-0.19	0.81	-0.65	0.76	0.11	0.87	0.69
소프라노2	-0.32	-0.31	0.46	-0.30	0.59	-0.18	0.77	0.35
바이올린	0.78	0.75	0.45	-0.52	-0.48	0.69	-0.29	0.45
클라리넷	0.60	0.61	0.46	-0.60	-0.20	0.53	-0.19	0.60

## VI. 결론

서론에서 언급한 것과 같이 STI 등의 무대음향 지표는 기악연주자의 실험실 선호도 실험을 통해 제안되었던 결과이다 [3,4]. 무대음향을 건축적으로 설계하는 음향지표를 개발하기 위해서는 각 공간에서 연주되는 모든 연주자 종류 및 연주음원을 고려하여 선호도 모델을 일반화 하는 작업이 필요하다. 상식적으로 객석음향에서 간주하

는 관객의 개인차에 대한 편차보다 연주자들의 개인차에 의한 편차가 훨씬 크기 때문에 이것을 일반화하는 데는 아직까지 많은 난관이 있을 것으로 사료된다.

실용화하기 위한 음향지표를 개발하기 위해서는 실험 조건을 실험실에서의 음장 재현법으로 대체하여 통제된 결과물 얻는 것이 중요하지만, 아직까지 성악 연주자의 연주평가를 실험실에서 진행할 수 있는 방법은 개발되어 있지 않다. 따라서 현재까지는 본 연구에서와 같이 현장에서의 청감실험이 연주자 선호도를 평가하는 가장 적합한 수단으로 사료되며, 본 연구에서 도출된 결론을 요약 하면 다음과 같다.

- 대상홀의 STI는 -19.9 dB에서 -11.3 dB의 분포를 보이며, STI와 ST<sub>Late</sub>와는 상관관계가 없는 것으로 나타남.
- 대상홀에서 무대음향 평가법에 의해 측정된 RT는 0.98s에서 1.57s의 분포를 보이며, 무대 중앙부에서의 RT가 높은 것으로 나타남.
- 초기반사음 지표인 STI는 대상홀에서 무대음향 평가법에 의해 측정된 후기음의 양이상관도 IACC<sub>13</sub>와 관련성이 있으며 (R=0.70), 마찬가지로 후기반사음 지표인 ST<sub>Late</sub>는 초기음의 양이상관도인 IACC<sub>13</sub>와 관련성이 있는 것으로 나타남 (R=0.81).
- 성악연주자와 기악연주자 모두 ST<sub>Late</sub>와 IACC<sub>13</sub>가 높은 무대 정중앙 지점을 가장 선호함.
- 무대 측벽과 후벽에 가까운 위치는 기악연주자에게는 선호되지만 성악연주자에게는 선호되지 않음.
- STI의 경우 성악연주자와는 음의 상관관계 (R<sub>소프라노1</sub> = -0.22, R<sub>소프라노2</sub> = -0.28)를 보였지만 기악연주자와는 양의 상관관계 (R<sub>바이올린</sub> = 0.78, R<sub>클라리넷</sub> = 0.60)를 보임.
- ST<sub>Late</sub>의 경우 성악연주자와 기악연주자 모두 양의 상관관계를 보임 (R<sub>소프라노1</sub> = 0.81, R<sub>소프라노2</sub> = 0.46, R<sub>바이올린</sub> = 0.45, R<sub>클라리넷</sub> = 0.46).
- 동일한 종류의 피험자간 결과의 상관도는 높게 나타남 (R<sub>성악연주자</sub> = 0.70, R<sub>기악연주자</sub> = 0.90)

Ueno와 Tachibana [11]는 연주자의 특수성 때문에 일반적인 통계적 분석으로는 연주자의 심리반응을 정량화 하는데 효과적이지 않다고 언급한 바 있다. 그러나 향후 과학적인 무대구성요소의 건축음향설계를 위해서 다양한 실험과 연구를 통해 일반적으로 적용할 수 있는 정량화된 무대음향지표를 개발하고 그 지표와 무대구성요소들 간의 관계를 규명하여 무대음향 연구기반을 확립하는 것이 필요하다.

## 후 기

이 논문은 2006년 정부 (교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행되었습니다 (KRF-2006-511-D00413).

## 참 고 문 헌

1. A. H. Marshall, D. Gottlob, 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 and Vib, 59, 481-502, 1978.
3. A. C. Gade, "Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls, Part I: Method and laboratory experiments", Acta Acustica united with Acustica 65, 193-203, 1989.
4. A. C. Gade, "Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls, Part II: Field experiments and synthesis of results", Acta Acustica united with Acustica 65, 249-262, 1989.
5. J. H. Rindel, "Design of new ceiling reflectors for improved ensemble in a concert hall", Applied Acoustics 34, 7-17, 1991.
6. J. O'Keefe, "A preliminary study of reflected sound on stages", 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, 1995.
7. J. S. Bradley, "Some effects of orchestra shells", J. Acoust. Soc. Am, 100, 889-898, 1996.
8. J. Y. Jeon, M. Barron, "Evaluation of Stage Acoustics in Seoul Arts Center Concert Hall by Measuring Stage Support", J. Acoust. Soc. Am, 117(1), 232-239, 2005.
9. W. Chiang, S.-I. Chen, C.-I. Huang, "Subjective assessment of stage acoustics for solo and chamber music performances", Acta Acustica united with Acustica 89, 848-856, 2003.
10. 전진용, 이창우 "홀의 무대설계를 위한 음향요소연구," 대한건축학회논문집 계획계, 16(4), 2000.
11. K. Ueno, H. Tachibana, "Cognitive modeling of musician's perception in concert halls," Acoust. Sci. & Tech., 26(2), 156-161, 2005.

## 저자 약력

### • 김 용 희 (Yong Hee Kim)



2005년 2월: 한양대학교 건축공학부 (공학사)  
 2005년 3월~현재: 한양대학교 건축환경공학과 석  
 박사통합과정 (박사과정)  
 ※주관심분야: 실내음향, 공연장 음향설계, 확산,  
 무대음향

### • 이 창 우 (Chang Woo Lee)



1981년 2월: 한양대학교 건축공학과 (공학사)  
 1984년 8월: 한양대학교 공학대학원 (공학석사)  
 2000년 3월~ 현재: 한양대학교 건축공학과 (박사과정)  
 현 (주)에가람 종합 건축사무소 소장  
 ※주관심분야: 건축음향, 무대음향

### • 서 춘 기 (Chun Ki Seo)



1988년 2월: 건국대학교 건축공학과 (공학사)  
 2005년 2월: 한양대학교 공학대학원 (공학석사)  
 2007년 3월~ 현재: 한양대학교 건축환경공학과 (박사  
 과정)  
 현 세종문화회관 시설관리팀 부장  
 ※주관심분야: 건축음향, 음악음향, 심리음향

### • 전 진 용 (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 교수  
 ※주관심분야: 건축음향, 심리음향, 소음 및 진동