

공간의 청각적 규모감과 음향적 선호도간의 관계

A Study on the Relationship Between Apparent Auditory Room Size and Acoustic Preference

정 대 업*
(Dae-Up Jeong*)

*전북대학교 건축도시공학부

(접수일자: 2006년 3월 24일; 채택일자: 2006년 4월 28일)

인간은 일반적으로 공간의 크기에 대한 정보를 시각에 의존한다. 그러나 청각적 경험이 증시되는 공연공간이나 다수의 음원을 활용하는 멀티미디어 환경 및 자동차의 캐빈 등에서는 시각적으로 큰 차이가 없는 상황에서도 제공되는 청취환경에 의해서 공간의 크기를 다르게 지각하게 된다. 본 연구는, 단일공연장내 상이한 위치에서 청각적으로 지각되는 공간의 규모를 청취실험을 통하여 측정·분석하였으며, 동일위치에서 측정된 건축음향파라메타와의 상관관계분석을 통하여 영향요인들을 살펴보았다. 실험결과, 공연장의 크기에 대한 청각적 인상은 음악적 명료도(clarity)에 의해 크게 좌우되며, 음원과 거리, SPL 등에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 각기 다른 4종류의 연주악기를 이용한 음향 선호도 평가결과, 성악을 제외한 오케스트라, 첼로, 플루트의 경우 공간적 규모감이 작은 것을 선호하였다. 반면, 성악의 경우 공간적 규모감과 유의적인 상관관계가 나타나지 않았다.

핵심용어: 공간감, 청각적 규모감, 음향선호도, 건축음향

투고분야: 건축음향 분야 (7.2)

Human tend to rely their information about the size of a space on vision. However, it might be a common experience to perceive a certain difference in spaces without any visual difference, in such spaces as rooms for music performance, multimedia environments with multiple sound sources, and car cabins, where auditory experiences have a certain importance. In the present work, apparent auditory room size was measured at different positions in a room through a series of listening experiments. Also, measurement of room acoustic parameters was carried out and their relationships with perceived auditory room size were analyzed. The results suggest that apparent auditory room sizes were largely dependent on musical clarity, distance between a source and a receiver, and sound pressure level at the listening position. Also, the results from acoustic preference test suggest that smaller apparent room sizes were preferred for listening to orchestral, cello and flute music. The relationship between apparent auditory room size and vocal music was found to be statistically insignificant.

Keywords: Spatial Impression, Apparent Auditory Room Size, Acoustic Preference, Architectural Acoustics

ASK subject classification: Architectural Acoustics (7.2)

I. 서론

폐쇄된 3차원 음향공간 내에서 공간적 경험의 중요성은 이미 잘 알려져 있으며 많은 연구자들이 관심을 가져 오고 있다. 그러나 청각적 공간감과 관련한 연구들이 음원 이미지의 크기 (ASW, apparent source width), 음

에 둘러싸이는 느낌 (LEV, listener envelopment), 그리고 음향적 친밀감 (intimacy) 등에 치중하고 있으며, 청각에 의해 지각되는 공간의 규모감에 관한 연구는 거의 이뤄지지 않고 있다. 그러나 다양한 규모의 다중집회 시설이나 최근 보편화된 다채널 멀티미디어 청취시스템 및 자동차음향시스템 등은 좁은 공간 내에서도 전술한 청각적 공간감의 제공과 더불어, 사용되는 콘텐츠에 부합되는 적절한 규모감을 제공하는 것이 매우 중요하다. Sandvad[1]와 Hameed[2] 등은 이와 관련하여 잔향시간

과 아에 대한 직접음의 비율이, Cabrera 등[3-5]은 청각적으로 지각되는 음원의 거리가 공간적 규모감에 영향을 미치는 주된 요인이며 음압레벨과 명료도 그리고 친밀감 등이 중요한 영향요소인 것으로 제시하고 있다.

본 연구는 기존연구에서 제시된 음향특성 이외의 청각적으로 지각되는 공간의 규모감에 영향을 미치는 요인들을 알아보고, 또한 공간에서 지각되는 청각적 규모감이 음향적 선호도와 어떠한 상관관계를 갖는지 파악하고자 하였다. 이를 위하여 단일공연장내 상이한 위치를 대상으로 건축음향특성을 측정·분석하였으며, 건축음향파라메타와 청각에 의해 지각되는 공간적 규모감 간의 상관관계를 살펴보았다. 또한 지각된 공간의 크기가 공간의 음향적 선호도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 4종류의 음악 (오케스트라, 첼로, 플루트, 성악)들을 활용한 청취실험을 통하여 음향적 선호도를 평가하였으며, 지각된 공간의 크기와 음향적 선호도간의 상관관계를 분석·평가하였다.

II. 측정 및 평가방법

2.1. 대상공간개요

측정은 New Zealand 소재 Michael Fowler Centre (이하 MFC)를 대상으로 하였다. 대상공연장은 음악연주를 위한 전용공연장으로서 평면 형태는 타원형 (elliptic)을 취하고 있으며, 플라이타워 없이 무대가 객석에 둘러싸여 있는 형태이다. 체적은 25,000 m³이며 총 2,500석 규모 (표 1 참조)로서 비교적 큰 체적을 가진 타원형태의 공연장임에도 불구하고 높은 친밀감을 가진 것으로 평가 받고 있다.

표 1. 대상공간 MFC의 건축제원
Table 1. Architectural features of MFC.

체적(m ³)	최대길이(m)	최대폭(m)	최대높이(m)	무대면적(m ²)	객석수(석)
25,000	42	36	22	100	2,500

2.2. 물리적 음향파라메타 측정

물리적 음향파라메타의 측정 및 바이노럴 임펄스의 녹음은 공석 시에 이루어졌으며, 무대 위 음원위치 1개 지점과 객석 내 15개 지점 (stalls 9개 지점과 gallery 6개 지점)을 대상으로 측정을 실시하였다. 측정 시 음원 (Mackie, HR824)은 무대 중앙 1.4m 높이에 위치하였으며, 각 측정대상지점에는 바닥으로부터 1.2m 높이에서

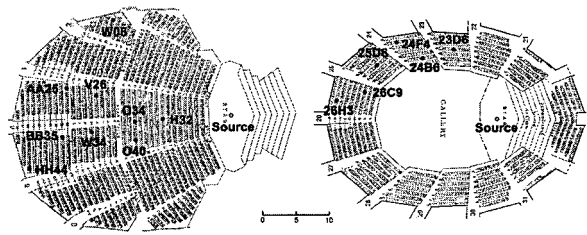


그림 1. MFC내 측정대상지점
Figure 1. Measurement positions in the hall, MFC.

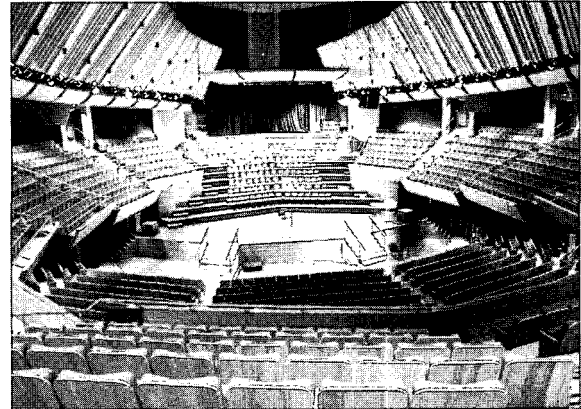


그림 2. MFC의 내부 전경
Figure 2. Interior view of MFC.

마이크로폰 (random microphone)과 Head and Torso Simulator (B&K, Type 4128C)를 사용하여 측정이 이루어졌다. 본 연구에서는 객관적인 음향성능의 평가가 아닌 연주상황을 가정한 청취실험이 주목적이며, 따라서 평가 시 음원은 무지향성이 아닌 다소 지향성이 있는 음원을 사용하여 측정 및 청취실험용 음원의 녹음을 실시하였다. 측정대상지점은 그림 1과 같다.

분석에 필요한 모노 및 바이노럴 임펄스 응답을 얻기 위해 음원은 60초 길이의 logarithmically swept sine 신호음 (60Hz~18kHz)을 사용하였으며, 이를 각 측정대상 지점별로 녹음한 후, 실험실에서 Aurora software를 이용하여 분석하였다.

2.3. 청취평가

청취평가는 2차에 걸쳐 실시되었다. 1차 청취실험에서는 단일 공간 내에서 청취위치에 따른 청각적으로 지각되는 공간의 규모감 변화를 알아보하고자 하였으며, 2차 청취실험에서는 청각적으로 지각된 공간적 규모감과 음향선호도간의 관계를 파악하고자 하였다. 따라서 피험자들에게는 공간의 정보나 청취지점에 대한 일체의 정보를 제공하지 않은 상태에서 각기 다른 규모를 갖는 실들의 청취를 가정한 실험을 실시하였다.

1차 청취평가의 대상지점은 총 15지점 (stalls 9개 및 gallery 6개 지점)으로서, 청각적 규모감의 차이를 가장

표 2. 청취실험에 사용된 무향음원
Table 2. Anechoic music sources used for the listening experiments.

악기 종류	작곡가 및 제목	출처	재생시간
오케스트라	Mozart, Overture, 'Le Nozze do Figaro'	Denon CD no.1	17초
첼로	Weber, Variation Theme	Music for Archimedes no.1	20초
플룻	BIZET, Menuet L'Arlesienne' suite No.2	Denon CD no.3	23초
보컬	Handel-'Lascia Chi'o Pianga'	Angelo Farina	15초

잘 느낄 수 있을 것으로 판단되는 오케스트라 연주음악 (Mozart의 Marriage of Figaro 중 overture 일부)을 사용하였다. 20~30세의 음악전공자 14명이 1차 청취평가에 참여하였다. 2차 청취실험에서는, 1차 청취실험을 통해 얻어진 공간적 규모감에 대한 평가결과를 토대로 규모감의 차이가 거의 동간격으로 나타난 6개 지점 (stalls 3곳, gallery 3곳)을 선정하였다. 또한 악기 특성에 따른 선호도 차이를 비교하기 위해 4종류의 악기 (오케스트라, 첼로, 플룻, 성악)로 연주된 음악무향음원을 사용하였다. 실험에 참여한 피험자는 20~30세의 음악전공자 9

명이었다. 청취실험을 위해 4종류의 다른 악기로 연주된 음악무향음원을 이용·가청화하였다. 사용된 음악무향음원은 표 1과 같다.

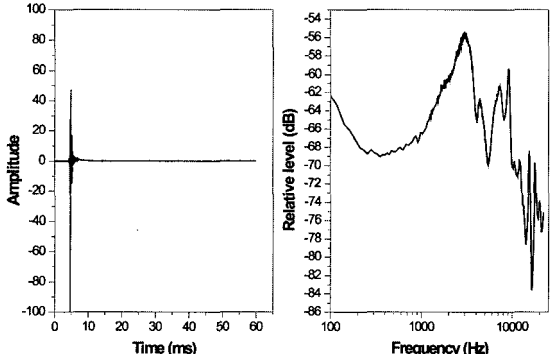
음원의 제시 및 피험자 응답의 기록은 음악지각 평가 프로그램인 MEDS[6]를 사용하였고, 피험자는 헤드폰을 통해서 제시된 음원을 청취하고 모니터상에 나타나는 질문에 대해서 컴퓨터 키보드를 이용하여 응답하였다. 음원의 제시는 2개의 음원 쌍 중에서 제시된 질문에 해당하는 음원을 선택하는 비교판단에 의한 선택법 (paired comparison)에 의해 이루어졌으며, 얻어진 결과의 유효성을 검증하기 위해 Thurstone의 'A law of comparative judgement case V[7-8]'와 Mosteller[9]에 의해 제안된 카이제곱검증을 실시하였다.

본 연구에서는 더미헤드를 이용하여 얻은 바이노럴 음원들을 헤드폰에 의해 재생하여 이루어졌다. 따라서 이와 같은 녹음 및 재생경로에 따른 음원특성의 변화가 불가피하며 이의 보상을 위하여 그림 3에 나타난 바와 같이 시스템의 전송특성을 측정하고 보상을 위한 역필터 (inverse filter)를 제작하여 평가대상 임펄스응답들에 대하여 적용한 후 가청화를 실시하였다.

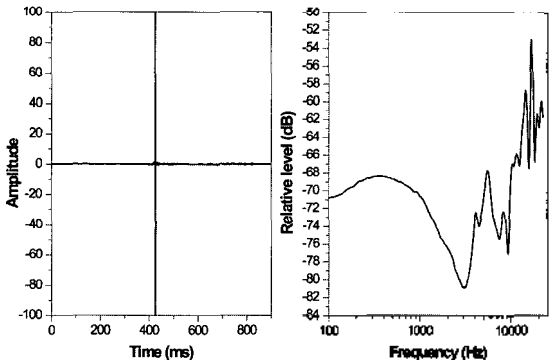
III. 실험결과분석 및 토의

3.1. 청각적으로 지각된 공간의 규모감

1차 청취실험에서는 단일공간 내 15개 지점을 대상으로 하여 청각적으로 지각된 공간의 규모감을 평가하였다. 평가결과는 Thurstone[8]의 'A law of comparative judgement case V'에 준하여 scale value화 하였으며, 그림 4는 위치별로 측정된 공간의 청각적 규모감을 scale



(a) HATS와 Senheiser 헤드폰 (HD600)을 통한 전달함수 및 주파수 특성



(b) (a)의 전달함수에 대한 inverse filter와 주파수 특성

그림 3. 청취실험에 사용된 HATS의 ear simulator와 Senheiser headphone의 전달함수특성 및 보상을 위한 inverse filter의 특성

Figure 3. Transfer function of HATS and Senheiser headphone and an inverse filter for compensation.

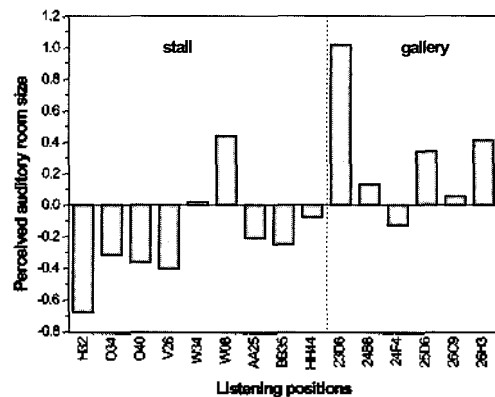


그림 4. 위치별로 측정된 공간의 청각적 규모감 차이

Figure 4. Measured perceived auditory room sizes at each different listening position.

표 3. 평가대상지점의 공연장내 위치 및 음원으로부터의 거리 (G: gallery, S: stalls)

Table 3. Measurement positions represented by the auditory stimuli (G: gallery, S: stalls).

평가대상지점별	음원으로부터의 거리 (m)	공연장내 위치
23D6	12	G
24B6	13.5	G
24F4	20	G
25D6	20	G
26C9	20	S
26H3	25	S
H32	10	S
O34	15	S
O40	15	S
V26	20	S
W34	20	S
W08	22	S
AA25	25	S
BB35	25	S
HH44	30	S

표 4. 평가대상지점간의 음압레벨차

(LF: 125~250Hz, MF: 0.5~1kHz, HF: 2k~4kHz)

Figure 4. Differences in SPL among the measurement positions (LF: 125~250Hz, MF: 0.5~1kHz, HF: 2k~4kHz).

	SPL _{All}	SPL _{LF}	SPL _{MF}	SPL _{HF}
23D6	-5.6	-4.2	-4.3	-6.4
24B6	-3.8	-5.1	-3.7	-3.7
24F4	-3.9	-6.2	-2.5	-4.1
25D6	-4.9	-4.1	-4.4	-5.0
26C9	-3.9	-3.6	-2.3	-4.5
26H3	-6.6	-2.1	-5.8	-7.2
H32	0	0	0	0
O34	-2.3	-2.4	-3.2	-2.1
O40	-2.18	-2.9	-3.9	-1.6
V26	-3.3	-2.9	-2.7	-3.4
W34	-3.3	-4.2	-2.4	-3.4
W08	-5.9	-6.1	-6.5	-5.7
AA25	-5.1	-5.4	-4.2	-5.3
BB35	-4.7	-7.1	-4.1	-4.8
HH44	-6.5	-5.3	-6.0	-6.7

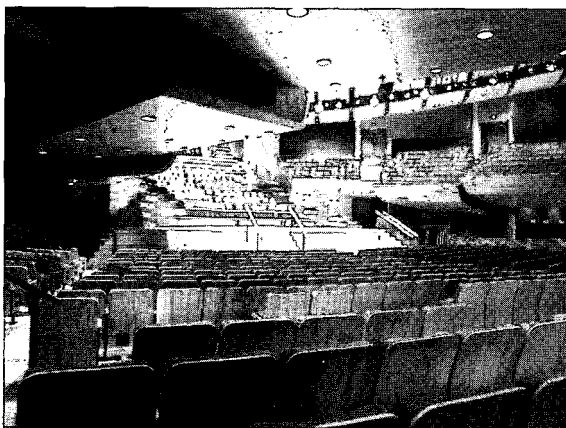


그림 5. W08지점에서 본 MFC 내부
Figure 5. A view from the position, W08.

value로 나타낸 것으로 오른쪽으로 갈수록 음원으로부터 측정위치와의 거리가 멀어지는 순으로 나열하였다.

분석결과, 음원으로부터 거리가 멀어질수록 청각적으로 지각된 공간의 규모가 큰 것으로 평가하고 있으며, 전반적으로 stalls부분보다는 gallery부분에서 청각적 규모를 크게 지각하는 것으로 나타났다. 다만 stalls내 1개 지점(W08) gallery내 2개 지점(23D6 및 26H3)에서 상대적으로 청각적 규모감이 크게 평가되었는데, 이는 W08지점의 경우(그림 5) stalls부분 중에서도 gallery와 거의 근접하는 곳으로 크고 낮은 천정에 의해 청각적 규모감 평가요인인 SPL이 다른 곳에 비해 낮게 분포했기 때문이며, 26H3지점의 경우 15개 측정지점 중 가장 낮은 고주파 대역에서의 SPL 때문인 것으로 분석되었다. 23D6의 경우, 음원의 지향특성에 의해 고주파 대역에서에서의 도달음압이 약화되었기 때문인 것으로 판단된다.

그림 6은 위 결과를 토대로, 청각에 의해 지각된 공간의 규모감과 측정지점별 음향파라미터와의 상관관계를 선형적 상관성이 있다는 가정 하에 각 음향파라미터별 상관관계를 분석한 결과, 유의적인 상관관계가 나타난 것들을 보여주고 있다. 앞서 Cabrera 등[3, 5]에 의해 제시된 바와 같이, 청각적으로 지각되는 음원과의 거리(perceived auditory distance)와 관련하여 청각적으로 지각되는 음원의 거리가 멀수록 공간적 규모감을 크게 지각하였으며 ($r=-0.70962, p<0.005$), 이는 청취자가 음원에 대한 친밀감(intimacy)과의 높은 상관관계($r=-0.70101, p<0.005$)에서도 확인되는 바, 청각적으로 지각되는 음원과의 거리가 공간적 규모감 지각에 있어

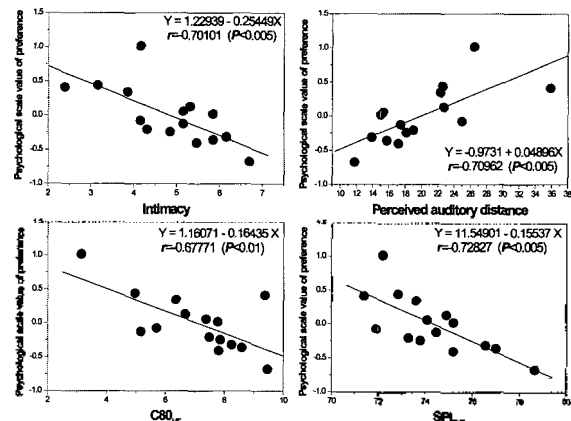


그림 6. 지각된 공간의 청각적 규모감과 음향파라미터 (intimacy, perceived auditory distance, $C80_{HF}$, SPL_{HF})와의 상관관계 (HF: 2k~4kHz)

Figure 6. Correlations between perceived auditory room sizes and the measured room acoustic parameters (intimacy, perceived auditory distance, $C80_{HF}$, SPL_{HF}) (HF: 2k~4kHz).

중요한 영향요인이 확인되었다. 즉 청취자가 음원과 멀리 위치한다고 느낄수록 청각에 의해 지각되는 공간적 규모감은 커지는 것으로 나타났다. 또한 공간적 규모감과 관련하여 고주파수대역에서의 명료도와 음압레벨(C80, SPL)에서 각각 $r=-0.67771$ ($p<0.01$)과 $r=-0.72827$ ($p<0.005$)로 높은 상관성을 보였는데, 고주파수대역과 관련하여 C80값과 SPL값이 클수록 공간적 규모감은 작아지는 경향을 보였다. 결과적으로 공간적 규모감을 크게 지각하는 영향요인으로 청각에 의해 지각되는 음원과의 먼 거리감·친밀감 그리고 고주파수대역의 높은 명료도와 높은 음압레벨로 분석되었다.

3.2. 지각된 공간적 규모감과 악기별 음향선호도

청각적 규모감과 음향선호도간의 관계를 알아보기 위하여, 1차 청취평가결과, 청각적규모감의 차이가 크게 나타나며 그 간격이 비교적 일정한 6개 지점을 선정하였다. 표 5는 선정된 각 지점에서의 청각적 규모감의 scale value와 그 간격을 나타낸 것이다. 또한 악기의 종류에 따른 상관관계의 차이를 알아보기 위하여 오케스트라 음악을 비롯하여, 3종류의 독주악기(표 2 참조)로 연주된 무향음원을 청취평가에 사용하였다.

그림 7은 청취실험을 통해서 얻어진 각 연주악기별 음향적 선호도를 각 지점별로 나타낸 것이다. 표시된 각 지점은 1차 청취평가를 통해 얻어진 청각적 규모감이 증가하는 순서대로 왼쪽에서 오른쪽으로 나타낸 것이다.

분석결과, 성악을 제외한 오케스트라, 첼로, 플루트의 경우 청각에 의해 지각된 공간적 규모감이 작을수록 음악에 대한 선호도가 증가하였다. 이는 청취자가 이들 악기연주음악의 청취 시, 공간적 규모감이 작은 곳을 선호하는 것을 나타내는 것으로 분석되었으며, 이는 음향적 친밀감, 그리고 고주파수 대역에서의 높은 음압적 명료도와 음압레벨에 의해 조절·가능할 것으로 판단된다. 표 7은 2차 청취평가의 6개 대상 지점에서 음향파라메타를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

악기별 음향파라메타와의 관계를 보면, 오케스트라와 첼로의 경우 C50 ($r=-0.897$) 및 EDT ($r=-0.891$)과 높은 상관관계를 나타내었으며, 저주파수대역의 높은 초기 음에너지 밀도는 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 플루트의 경우 친밀감과 음향적 선호도간에 높은 상관관계 ($r=0.814$)를 나타내었으며, 고주파수대역의 높은 음압레벨(SPL)이 선호도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 성악의 경우, 공간의 규모감과 관련하

표 5. 1차 청취평가결과를 토대로 선정된 6개 지점에서의 공간적 규모감
Table 5. Apparent auditory room sizes measured at 6 listening position, selected based on the first listening experiment.

평가대상지점	Psychological scale value	간격
H32	-0.675650323	0
V26	-0.403951874	0.27169845
24F4	-0.127347686	0.276604188
24B6	0.132567265	0.259914951
W08	0.439715011	0.307147746
23D6	1.017126385	0.577411374

표 6. 청각적으로 지각된 공간의 규모감과 연주악기별 음향선호도의 상관관계 ($p<0.001$)

Table 6. Correlations between apparent auditory room size and acoustic preferences for each different musical instrument.

연주악기	orchestra	cello	flute	vocal
상관계수(r)	-0.7223663	-0.9433242	-0.7343864	-0.0897453

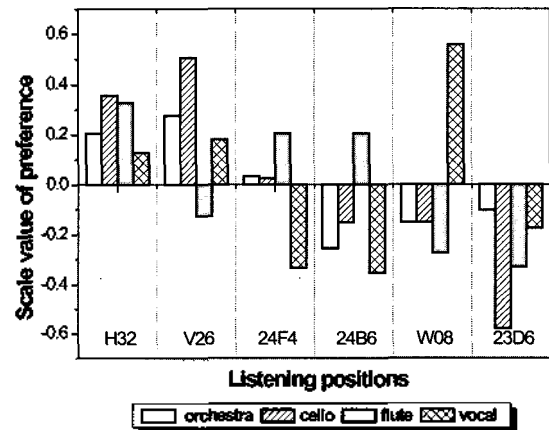


그림 7. 위치별 악기종류에 따른 음향선호도
Figure 7. Listeners' acoustic preferences for different musical instruments depending on listening positions.

여 음향적 선호도와와의 유의적인 상관관계가 발견되지 않았다. 음향파라메타와의 상관관계를 분석한 결과, RT ($r=-0.948$) 및 Treble Ratio ($r=-0.832$)와 유의적인 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 이는 청취실험에 사용된 음악이 소프라노에 의해 연주된 곡으로서 고주파수 대역에서의 명료성에 대한 청취자의 요구가 반영된 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 연구는 단일공연장의 상이한 위치에서 청각적으로 지각되는 공간적 규모감에 영향을 미치는 요인과 더불어 음향적 선호도와의 상관관계를 파악하고자 하였다. 평가

표 7. 2차 청취평가 대상 지점별 물리적 음향성능 측정결과 (LF: 125~250Hz, MF: 0.5~1kHz, HF: 2k~4kHz)

Table 7. Measured room acoustic parameters for the second listening experiment. (LF: 125~250Hz, MF: 0.5~1kHz, HF: 2k~4kHz).

대상 지점	C _{50LF}	C _{50MF}	C _{50HF}	C _{80LF}	C _{80MF}	C _{80HF}	EDT _{LF}	EDT _{MF}	EDT _{HF}	T _{30LF}	T _{30MF}	T _{30HF}	BR	TR	IACC _{LF}	IACC _{MF}	IACC _{HF}
H32	-7.6	4.7	7.8	-0.6	5.9	9.5	1.91	1.87	1.77	2.34	2.19	1.96	1.07	0.89	0.99	0.59	0.68
V26	-6.4	1.8	4.8	-0.3	4.6	7.8	1.63	1.48	1.16	2.63	2.29	1.99	1.15	0.87	0.88	0.22	0.32
24F4	-5.3	2.7	4.4	-3.2	3.9	5.22	2.31	1.90	1.56	2.70	2.34	2.08	1.15	0.88	0.77	0.31	0.21
24B6	-3.5	3.0	5.3	-2.0	4.5	6.7	2.59	1.85	1.53	2.81	2.31	2.08	1.22	0.90	0.76	0.29	0.28
W08	-3.1	0.8	3.9	-1.4	1.8	4.9	2.54	1.95	1.45	2.58	2.38	1.94	1.08	0.81	0.81	0.23	0.41
23D6	-2.8	1.9	2.29	-0.4	2.75	3.1	2.06	2.06	2.03	2.51	2.33	2.07	1.08	0.89	0.83	0.22	0.12

결과, stalls보다는 gallery부분에서 공간의 규모를 크게 평가했으며 청각적으로 지각되는 음원과 거리 멀수록, 친밀감이 적을수록, 그리고 C80, SPL값이 낮을수록 공간의 규모를 크게 지각하였다. 또한 음향선호도 평가결과, 성악을 제외한 오케스트라, 첼로, 플룻의 경우 공간적 규모감이 작은 것을 선호하였다. 반면, 성악의 경우 공간적 규모감과 유의적인 상관관계가 나타나지 않았다.

본 연구는 제한된 일부조건들을 대상으로 한 것으로써 현재 상태에서 그 결과의 일반화에는 다소 무리가 있다. 따라서 향후 연구에서는 다른 규모와 청취조건들을 갖는 실제 실들을 대상으로 한 실험을 통하여 본 연구에서 발견된 결과들에 대한 검증연구를 시행할 계획이다.

감사의 글

본 연구과정에서 실험과 자료정리 등에 큰 도움을 준 김지영양에게 감사드립니다.

참고 문헌

1. J. Sandvad, "Auditory perception of reverberant surroundings," J. Acoust.Soc. Am., **105** (2), Pt. 2, 1193 (paper 3pSP3), 1999.
2. S. Hameed, J. Pakarinen, K. Valde, and V. Pulkki, "Psychoacoustic cues in room size perception," Proceedings of the 116th Audio Engineering Society Convention, Berlin, 2004.
3. D. Cabrera and D. Gilfillan, "Auditory distance perception of speech in the presence of noise," Proc. Int. Conf. Auditory Display, Kyoto, Japan, 2002.
4. D. Cabrera, A. Nguyen and Y.-J. Choi, "Auditory versus visual spatial impression: a study of two auditoria," Proc. Int. Conf. Auditory Display, Sydney, Australia, 2004.
5. D. Cabrera, D.-U. Jeong, H.-J. Kwak, and J.-Y. Kim, "Auditory Room Size Perception for Modelled and Measured Rooms," Proc. Inter-Noise, Rio, Brasil, 2005.
6. Kendall, R.A. MEDS: Music Experiment Development

System. Unpublished software available at <http://www.ethnmusic.ucla.edu/systematic/Faculty/Kendall/meds.htm>, 1998

7. W. S. Torgerson, *Theory and Methods of Scaling*. (New York, John Wiley & Sons, 1962)
8. Thurstone, L. L. "A Law of Comparative Judgement," *Psychological Review*, **34**, 273-289, 1927.
9. F. Mosteller, "Remarks on the Method of Paired Comparisons:3. A Test of Significance for Paired Comparisons when Equal Standard Deviations and Equal Correlations are Assumed," *Psychometrika*, **16**, 207-218, 1951.

저자 약력

• 정 대 업 (Dae-Up Jeong)

1987년 2월: 연세대학교 건축공학과 (공학사)
 1989년 6월: 연세대학교 건축공학과 (공학석사)
 1998년 12월: 호주 시드니 대학교 건축공학 (공학박사)
 2006년 현재: 경북대학교 건축도시공학부 교수
 *주관심분야: 건축음향, 실내음향, 실리음향, 건물의 소음 및 진동