

콘서트홀의 무대 천장높이 변화에 의한 객석음향의 영향

The Effect of Stage Ceiling Height on the Acoustic Characteristics of Concert Halls

서형균*, 신동재**, 진진용***

(Hyung-Gyoon Seo*, Dong-Jae Shin**, Jin-Yong Jeon***)

*한양대학교대학원 건축공학과, **서울대학교대학원 건축학과, ***한양대학교 건축공학부
(접수일자: 2004년 3월 4일; 수정일자: 2004년 12월 14일; 채택일자: 2004년 12월 30일)

본 논문에서는 장방형 콘서트홀에서 무대천장높이 변화가 객석의 음향성능에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 먼저 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 객석부에서의 음향 특성을 조사하기 위하여 대표적 장방형 콘서트홀인 Boston Symphony Hall (이하 BSH)의 단순화 모델을 적용하였다. 또한 신축된 400석 규모의 장방형 홀의 축소모형 (1.2m×0.68m×0.31m) 실험과 축소모형의 시뮬레이션을 통하여 무대부 천장높이의 변화에 따른 객석에서의 음향특성의 영향을 측정하였다. 실험 결과, 컴퓨터 시뮬레이션과 축소모형실험 및 축소모형실험의 시뮬레이션에서 모두 무대천장높이가 낮아질수록 잔향시간이 증가하는 경향을 보였으며, 무대천장 높이에 따른 잔향시간의 변화율은 -0.09[sec/m]~-0.06[sec/m]로 나타났다.

핵심용어: 컴퓨터 시뮬레이션, 축소모형실험, 장방형 콘서트홀, 무대천장높이, 보스턴심포니홀, 잔향시간

투고분야: 건축음향 분야 (7)

In this paper, the effect of stage ceiling height on the acoustic characteristics of rectangular concert halls are investigated. To find out the acoustic properties of audience area, A simple Boston Symphony Hall(BSH) model which is typically rectangular shaped was applied for computer simulation. A newly built rectangular concert hall with 400 seats was also chosen for a scale model (1.2m×0.68m×0.31m) study and its computer simulation varying the stage ceiling height and the volume. The results show that RT increased as the stage ceiling was lowered and the difference rate of RT by its variance is from -0.09 to -0.06(sec/m).

Keywords: Computer simulation, Experiment of scale model, Rectangular concert hall, Stage ceiling height, Reverberation time, Boston symphony hall

ASK subject classification: Architectural Acoustics (7)

I. 서론

본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션과 축소모형실험을 이용하여, 콘서트홀에서 반사판 높이를 포함한 천장높이 및 무대 특성 등을 변화시킴으로써 그에 따른 객석에서의 음향요소의 변화를 조사하였다.

본 논문에서 컴퓨터 시뮬레이션의 대상으로 장방형 형태의 홀로 음향적으로 세계에서 가장 좋은 홀 'Big 3' 중

하나인 Boston Symphony Hall (이하 BSH)을 단순화하여 적용하였으며, 축소모형실험은 서울 근교에 신축된 400석 규모의 콘서트홀을 대상으로 하였다.

실험에 적용된 장방형 홀은 형태상 가장 단순한 특성을 가지고 있어 상관관계를 도출해 내기 용이하다. 뿐만 아니라, 에코와 같은 음향적 장애를 방지하기 위해 사용되는 벽체 및 천장의 확산체 등에 의한 부위별 음장분포 차이가 비교적 적다. 또한 전용 콘서트홀의 가장 오래된 형태로 약 18세기부터 시작되었으며, 그 후 시도된 다양한 평면형태를 가진 홀들의 등장에도 불구하고 현재까지 입증된 가장 훌륭한 음향경을 만들어내는 형태로 인정받고 있다. 또한 장방형 홀의 음향경을 유지하며 관객과

연주자의 접촉, 많은 관객의 수용 등의 요구를 만족시키기 위한 센터스테이지나 빈야드 타입의 홀들의 모태이기도 하다. 순수한 일면 방향의 엔드 스테이지를 가지는 장방형 타입은 무대에서 객석방향으로 강하게 음을 분출하며 객석의 타입 또한 가장 단순한 형태로서 하나의 모델이 될 수 있다[1].

또한 음악가와 음향평론가들에 의해 크기가 비슷할 경우 펜 타입형의 홀보다는 장방형의 홀이 음향이 좋다고 평가되고 있으며, 이는 19세기 이후 지어진 홀들의 대부분이 장방형을 취하고 있음으로도 알 수 있다[2].

기존의 연구에서 무대의 크기 및 형태가 음의 감쇠율에 영향을 주며, 그것이 객석부에서 보다 무대위에서 더 많은 영향을 받는 것으로 밝혀졌다. 이러한 현상은 소형의 장방형 홀에서 가장 유효한 것으로 나타났다[3]. 이러한 내용은 실제의 홀에서도 이미 적용된 바 있다. Chicago Orchestra Hall의 경우 초기에 저칠고 메말랐던 음향을 1991년과 1994년에 무대천장과 확산반사판을 이용하여 개선하였으며, 1997년 얇고 넓은 무대의 평면을 깊고 좁게 바꾸고 천장을 교체하는 것으로 음향문제를 해결하였다. 무대의 형상, 체적 및 반사판 등 무대 구성요소들의 변화가 객석에서의 음향에 큰 영향을 준다는 것을 입증하는 사례이다[1].

또한 이상적인 음향상태를 구현하는 콘서트홀 설계에 있어 어떤 최적해가 존재한다는 신념은 오래 전부터 있어왔고, 세계적으로 음향이 가장 뛰어난 3대 콘서트홀들의 형태가 모두 장방형임을 감안하면, 최고 음질을 가진 대표적 콘서트홀의 음향특성의 원인에 대한 해석의 한 방향이 될 수 있기 때문이다.

현대의 다목적 극장의 경우 콘서트 모드로 바뀌면 그 무대부의 형상은 이러한 무대 끝단의 반사벽과 반사천정으로 무대가 구획되므로 이 연구결과가 응용될 수 있을 것이다. 그를 위해 본 연구를 통하여 무대천장높이 변화에 따른 음향특성들의 관계를 도출함으로써 무대체적의 음향적 영향에 구체적으로 접근하고 적절한 음향특성을 갖는 무대의 체적을 다양하게 산출하여 실제 홀 설계에 적용할 수 있는 방향을 제시하고자 하였다.

II. 컴퓨터 시뮬레이션과 축소모형실험

2.1. 컴퓨터 시뮬레이션

최근 공연장의 음향설계에 사용이 늘고 있는 컴퓨터 시뮬레이션은 경제적이면서 신속한 결과분석과 비주얼한 결과물의 제시에 이르기까지 많은 이점을 가지고 있다. 특히 일부 상용프로그램의 경우 음장재현 (auralization, 가청화)이 가능하여 공연장의 음향특성을 개략적이거나 사전에 예측하여 수정할 수 있게 되었다. 그러나 컴퓨터 시뮬레이션은 실제 홀에서 일어나는 음의 자연적인 특성, 특히 음의 확산 현상에 대한 정확한 예측이나 음의 회절에 대한 재현에 제한점을 갖고 있다[4]. 또한 컴퓨터 시뮬레이션의 경우 현재까지도 복잡한 데이터를 갖는 공간에 대해서는 모든 요소를 아울러 계산하지 못하는 단점이 있다. 그러나 근래들어 확산반사에 관련된 예측 오차를 줄이기 위한 방법론에 대한 연구[5]를 통하여 제한 요소들에 대한 문제의 해결 방법이 모색, 적용되는 등 꾸준히 보완되고 있다. 가장 저렴한 비용으로 빠르게 음향을 예측할 수 있어 컨설팅과 연구의 목적으로 유용하게 사용되고 있다.

2.2. 축소모형실험

음향예측의 또 다른 방법으로 사용되는 축소모형 실험은 컴퓨터 시뮬레이션의 단점인 음의 확산과 회절에 대한 보완할 수 있는 방법이다. 그 축척에 따라 고주파 대역이 제한되는 단점이 있으나, 실제 음환경을 재현할 수 있어 음원과 수음점의 위치, 내부 마감재의 종류와 제작 방법, 오케스트라 쉘, 무대 구조와 천장 반사판의 크기 및 위치 등 많은 음향적 변인들을 직접 제어해가며 설계를 개선할 수 있고, 에코 등의 음향적 결함을 사전에 예측하여 수정할 수 있다는 장점을 갖고 있다[6,7]. 최초의 축소모형실험은 진향이론을 만들어낸 Sabine 교수에 의해 1920년대 초반에 행해진 것으로 알려져 있으며, 그 후 실제 상황과의 불일치에 대한 한계에 부딪혀 일부의 몇몇 단체에서만 연구되었음에도 불구하고 꾸준히 발전해 왔으며, 현재는 정교해진 모델링 기술로 인하여 음향 컨설팅과 연구에 매우 유용한 방법으로 사용되어지고 있다[8].

III. BSH의 컴퓨터 시뮬레이션

BSH는 가장 교과서에 가까운 홀의 기본원칙들을 준수하고 있는 홀로 과학적인 음향설계를 위한 잔향시간 방

표 1. BSH의 개요
Table 1. Outline of BSH.

Whole Volume	18,750m ³
Stage Volume	1,854m ³
Stage Area	152m ²
Audience Area	1,370m ²
Number of Seats	2,625

법의 원리를 최초로 발견했던 하버드 대학의 Sabine 교수가 건축음향을 제안한 홀로 1900년에 설립되었다. 홀의 형태는 장방형으로 높은 우물천장과, 두 층의 발코니가 홀을 둘러싸고 있는 형태로 이루어져 있다. 홀의 내부는 19세기 중반에 유행했던 회색과 크림색 페인트가 음영의 조화를 이루며, 발코니 전면은 음이 투과되는 구조로 금빛을 띠고 있다. 객석 측벽 상부에는 건축적으로는 장식, 음향적으로는 확산체의 역할을 하는 그리스와 로마의 신상을 모사한 조각상이 위치하고 있고, 무대 뒷벽에는 일렬로 배치된 황금색 파이프 오르간이 있으며, 검은색의 가죽 좌석과 붉은 카펫이 조화를 이루고 있다. 이 홀의 음향은 명료하고, 생동감이 있으며, 따뜻하고 부드럽다. 반향음이 충분히 커서 공간 자체가 오케스트라의 연주에 즉각적으로 반응한다. 연주 시 오케스트라의 음조는 균형이 잘 잡혀있으며, 앙상블이 우수하여 Amsterdam의 Concertgebouw, Vienna의 Grosser Musikvereinsaal과 함께 '세계에서 가장 위대한 홀'이라는 평가를 받고 있다[1], BSH의 개요는 표1과 같다[9].

3.1. 컴퓨터 시뮬레이션 개요

본 연구에 컴퓨터 시뮬레이션은 덴마크 공대의 Rindel 교수에 의해 개발된 Odeon 6.0을 사용하였다. Odeon은 binaural room simulation 소프트웨어로서 'Ray tracing' 법을 사용하고 있으며, 반사되는 음선의 밀도에 의한 실내음향의 파라미터들을 계산하는 프로그램이다. 실내음

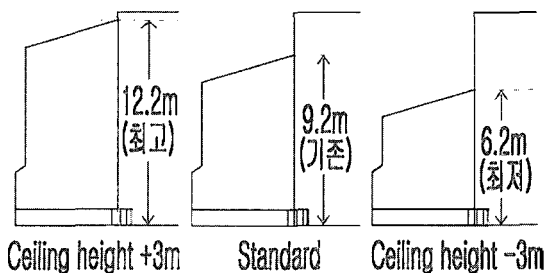


그림 1. 천장고의 변화
Fig. 1. Variation of stage ceiling height.

표 2. 시뮬레이션 결과와 실제홀의 음향특성 비교
Table 2. Comparison acoustic parameters of simulation with real hall.

	Simulation	Real Hall
RT (sec)	1.73	1.76
C ₈₀ (dB)	1.2	-2.6
LF _{E4}	0.19	0.22

향의 예측이나 비교·검증 등의 연구의 목적으로 사용되기도 하며, 복잡한 실의 음향 파라미터의 주관적·객관적 예측이 가능하므로 실내음향디자인에 주로 사용하고 있다[10].

무대의 용적변화에 따른 음향특성을 검토하기 위하여 그림1과 같이 대상 홀의 무대천장 높이 (h=9.2m)를 1m 간격으로 3m까지 증가 (h=12.2m) 및 감소 (h=6.2m)시키며 음향 파라미터들의 변화를 분석하였다. 천장의 기본 형태 (넓이, 재료, 경사각 등)는 변하지 않고, 높이만 변화도록 천장의 각을 유지한 채 수직으로 평행 이동시켰다.

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 실내음향 예측은 모델의 형상, 벽면재료의 선정에 따라 결과가 크게 차이가 날 수 있다. 시뮬레이션 결과, 그림 1의 BSH 기준 형태를 나타내고 있는 'Standard'의 경우 만석일 때의 잔향시간이 그림 2와 같이 나타났다. 주파수 대역별 잔향시간은 기존의 측정치 값 (Hidaka, 1992, Griesinger, 1992, Beranek, 1997의 측정치 평균)[1]과 정확하게 일치하지는 않지만 평균 잔향시간은 0.04초 정도로 큰 차이를 보이지 않는다. 본 시뮬레이션의 목적은 정확한 음향예측을 위한 것이 아닌 경향성을 살피기 위한 것이므로 기존의 값들과 정확히 일치하는 값이 필요하지는 않기 때문에 현 상태에서 시뮬레이션을 진행하였다.

표 2는 시뮬레이션을 통하여 나온 주요 음향 특성치와 실제 홀의 그것을 나타낸 것이다. 잔향시간을 제외하고는 실제 홀의 값과 많은 차이를 보이지만, 본 시뮬레이

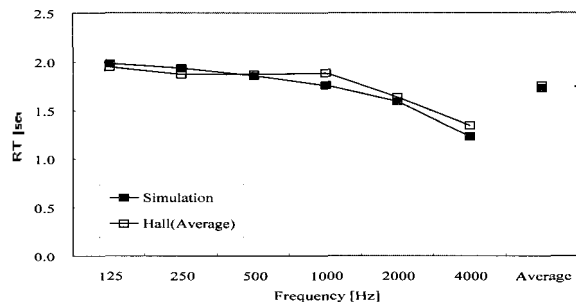


그림 2. 시뮬레이션을 통하여 도출된 잔향시간
Fig. 2. RT through simulation.

선의 주요한 목적상 살펴보고자 하는 것이 무대 공간의 체적에 따른 객석음향 특성의 변화추세였기 때문에 음향 특성을 명확하게 일치시키지 않고, 잔향시간의 근접에 초점을 맞추어 시뮬레이션을 설정하였다.

3.2. 음원 및 수음점의 선정

음원은 그림 3에 나타낸 바와 같이, 무대 중앙 전면으로부터 뒤로 3m, 좌측으로 1m지점에 위치시켰다. 음원은 무대의 음향특성을 반영하기 위하여 폭이 좁아지는 공간 안쪽으로 프로세니움 내부에 깊숙이 배치하였고, 좌우 대칭형 홀이므로 음원의 중앙배치에 의한 음의 초점화 등 문제점이 일어날 수 있기 때문에 중앙에서 좌측으로 1m 이동하여 배치하였다. 수음점은 1층 12개소, 2층 6개소, 3층 7개소 등 총 25개소를 무대로부터의 거리와 측벽으로부터의 거리를 고려하여 그림2와 같이 선정하였다. 수음점 또한 음원과 마찬가지로 정 중앙은 피하여 배치하였다.

3.3. 컴퓨터 시뮬레이션 해석 결과

무대천장의 높이를 변화할 경우 그림4와 같이 기존 상태의 무대천장높이 (9.2m)를 기준으로 높이를 증가시킬

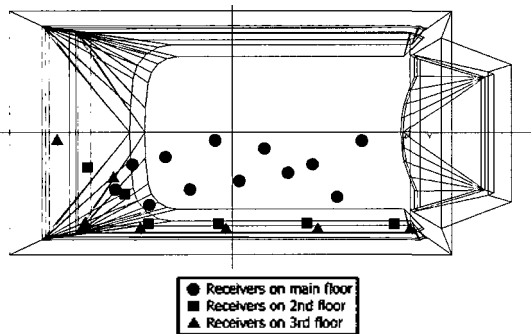


그림 3. 수음점의 위치
Fig. 3. Location of receivers.

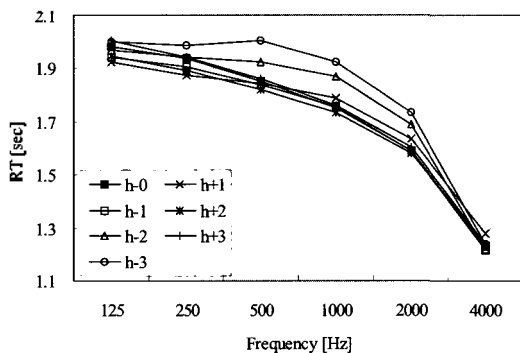


그림 4. 시뮬레이션을 통하여 나온 주파수별 RT
Fig. 4. RTs by frequency through simulation.

경우는 잔향시간의 변화가 적으나 높이를 감소시킨 경우는 4kHz를 제외한 모든 대역에서 잔향시간이 증가하였다. 특히 홀의 음향을 평가하는데 주요하게 보는 500Hz 대역에서는 기본모델과 천장높이가 최소인 경우 1.85초와 2.01초로 0.16초의 차이를 나타내었다.

그림5는 천장높이의 변화에 따른 RT의 변화를 표현한 것으로, 무대의 천장고를 h-2 (7.2m)로 낮추었을 경우 기본 천장 높이의 잔향시간과 비교하여 평균 0.07초, h-3 (6.2m)로 낮추었을 경우는 0.16초가 증가하였다. 무대천장높이의 변화에 따른 잔향시간의 변화량은 약 -0.06 [sec/m]의 값을 나타내었다. 이러한 변화율은 잔향시간에 대한 인간의 JND (Just Noticeable Difference)로 알려진 0.05초를 초과한 값이다.

일정한 높이를 기준으로 하여 무대천장높이가 감소함에 따라 무대부의 체적도 감소하게 되고, 그에 따라 잔향시간이 늘어나는 것으로 나타났다. 또한 일정 높이를 초과하게 되면 다시 잔향시간이 증가하는 현상이 나타났다. 그 원인은 무대의 체적이 작아질수록 초기반사음이 강해지고 그로 인해 음압이 높아지므로 객석의 잔향시간이 증가하는 것으로 사료된다.

또한 객석 전면부와 후면부의 잔향시간의 변화를 살펴보면, 기본에서 줄어들 경우 전면부의 변화율은 약 -0.06 [sec/m], 후면부는 약 -0.01 [sec/m]로 무대천장 높이의 영향은 객석의 전면부에 커다란 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

3.4. Grid map에 의한 RT 분석

그림6은 높이변화에 따른 잔향시간의 Grid Map이다. 색이 밝을수록 잔향시간이 긴 것으로, (a)는 기준 높이보다 3m 높은 상태의 것으로 메인 플로어 측벽부의 색이 어두운 것을 볼 수 있다. (b)는 기준 높이인 9.2m로서 큰 차이는 보이지 않지만 메인 플로어의 측벽부분이 (a)

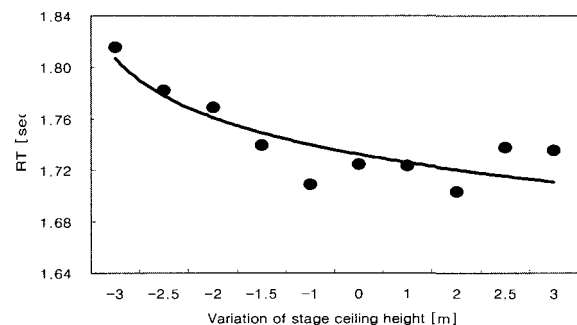


그림 5. 천장높이변화에 따른 RT 변화
Fig. 5. Change RT by variation of stage ceiling height.

의 경우보다는 조금 밝은 색으로 바뀌었고, 기준 높이보다 3m 낮춘 (c)의 경우는 메인 플로어와 측벽 발코니 부분이 확연히 밝아진 모습을 보인다. 이것은 무대천장높이가 낮아질수록 잔향시간이 증가하는 것을 나타내고 있다. 유효한 변화폭을 나타낸 객석의 전면부의 값의 변화를 살펴보면 기준높이에서 1.45초였던 잔향시간이 높이를 3m 낮추었을 경우 1.64초까지 증가하였다. 반면 후면부는 1.91초, 1.93초로 사람이 인지하지 못하는 작은 폭의 변화를 나타내었다. 이는 직접음이나 측벽반사음과는 달리 무대부 반사음이 객석전면부에 주로 영향을 끼치기 때문으로 사료된다. 또한 전면부에서 측벽과 센터부분의 잔향시간이 비교적 고르게 변화하였다. 이로서

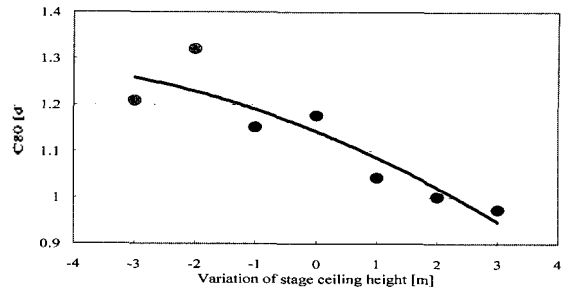


그림 7. 천장높이변화에 따른 C80 변화
Fig. 7. Change C80 by variation of stage ceiling height.

천장의 변화는 객석 전면부에 전반적으로 고르게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

그림 7은 C80의 천장 높이에 따른 변화를 나타낸 것으로 잔향시간의 변화패턴과 유사한 형태를 보이고 있다.

IV. 축소모형 실험

앞서 시행한 컴퓨터 시뮬레이션에서 보여진 경향성이 다른 방법으로 적용되었을 경우에도 나타나는지 확인하기 위하여 축소모형실험을 실시하였다.

대상 홀은 서울시에 위치하는 432석 규모에 약 3900 (30×17×7.7)m³의 체적을 갖는 홀로서 평면형태는 장방형이다.

4.1. 축소모형실험의 개요 및 설정

0.253 (1.2m×0.68m×0.31m)m³의 체적을 가진 소규모 장방형 홀의 1:25 축소모형에서 아크릴 반사판을 이용하여 무대부분의 천장고를 2cm씩 6cm까지 4단계로 낮춰 가며 실험하였다. 모델의 스케일은 1:25였지만, 반사판의 높이에 의한 음향을 살펴보는 것이 주목적이었기 때문에 1:10의 축소로 가정하고 실험을 실시하였다. 또한 대상 축소모형에서는 무대반사판이 무대 부피의 변화와 같은 역할을 하도록 제작하였다.

대상 홀의 실제 개요는 표 3와 같다.

표 3. 축소모형 홀의 개요
Table 3. Outline of scale model.

Whole Volume	0.253m³
Stage Volume	0.07m³
Stage Area	0.245m²
Audience Area	0.571m²
Number of Seats	432

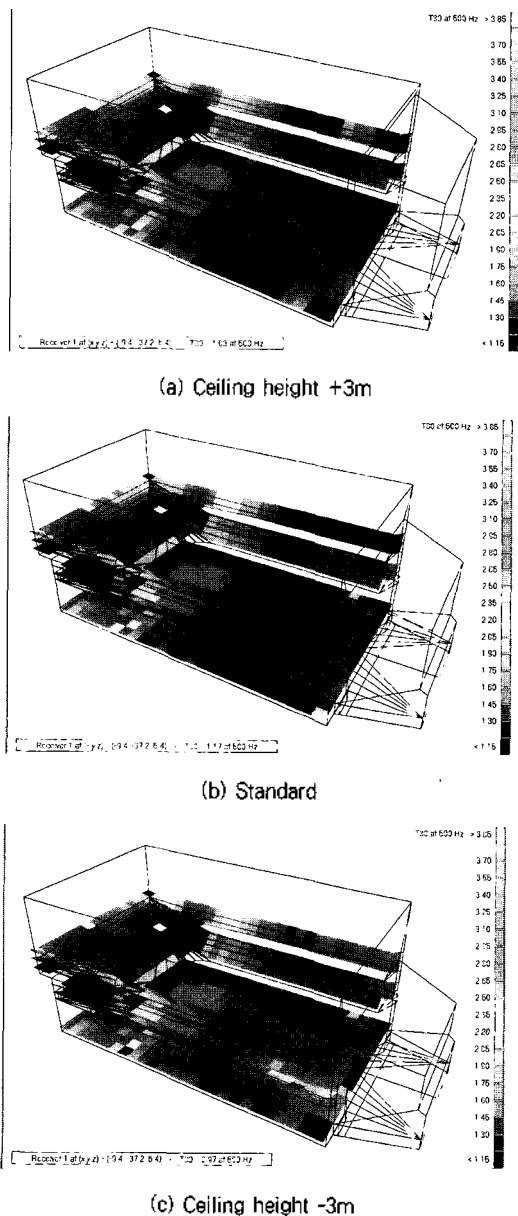


그림 6. 시뮬레이션을 통해 나온 Grid map
Fig. 6. Grid map come out through simulation.

4.2. 축소모형실험의 개요 및 설정

음원 및 수음점의 위치는 그림 8과 같다. 음원은 컴퓨터 시뮬레이션에서의 설정과 마찬가지로 좌우 대칭의 장방형 형태로 인한 에코와 음의 포커스 현상을 방지하기 위하여, 무대 전면 중앙에서 뒤로 3cm, 좌측으로 1cm에 위치하였다. 수음점은 음원으로부터 6cm부터 20cm 거리까지 2cm 간격을 두고 지그재그로 배치하였다.

측정 프로그램으로는 Monkey Forest (MF)를 이용하였고, 음원은 스파크 소스를, 마이크는 1/8 inch 마이크로폰 (B&K 4138) 2개를 사용하였고, 더미헤드의 머리에 두 개의 마이크로폰을 설치하여 IACO를 측정하였으며, 그 외의 파라미터는 하나의 마이크로폰으로 측정하였다.

축소더미헤드는 실제 사람의 귀의 특성을 살피기 위해, 그림 9과 같이 압축 스티로폼을 사용하여 사람이 좌석에 앉았을 때의 높이인 1.2m의 1/10인 12cm의 크기로 제작하였다. 축소더미헤드는 1991년 발표된 Xiang의 논문에서 발표된 축소더미헤드를 참고하여 제작하였다. 당시의 더미헤드는 마이크를 진동판이 위쪽을 향하게 하여 머리 속으로 내장시키고, 이도 (耳道)를 뚫어 마이크 진동판까지 연결시켜 놓았다[11]. 그러나 본 실험에 사용된

축소더미헤드는 1/8inch 마이크를 진동판이 전면을 향하도록 머리 양옆의 외부에 부착하여 제작하였다. 축소모형실험에서도 실제 홀에서와 같이 복장에 따른 흡음률의 차이와[12] 객석의 점유율이 음향특성에 유효하게 작용하지만[13], 이 실험에서는 무대반사판 높이에 따른 잔향의 변화만을 고려하기 때문에 더미헤드의 복장은 고려하지 않았다.

4.3. 축소모형실험의 결과 및 고찰

축소모형실험을 통하여 측정된 RT는 그림 10에서와 같이 -6cm에서 0.09초로 최대, -2cm에서 0.08초로 최소의 값을 갖아서 최대 0.01초의 차이를 나타냈다. 또한 축소모형의 결과는 실제 스케일로 보았을 경우, 천장과 20cm 차이로서 그 변화가 그리 크지 않음에도 불구하고, 역시 잔향시간의 JND 0.05초를 초과하는 유효한 값의 차이를 보이고 있다.

축소모형 실험에서 무대천장높이 변화에 따른 잔향시간의 변화율은 -0.09[sec/m]로 컴퓨터 시뮬레이션에서의 변화율보다 더 큰 값을 보이고 있다. 이 결과로 작은 공간일수록 무대천장높이에 민감하다는 결론을 내릴 수 있었다.

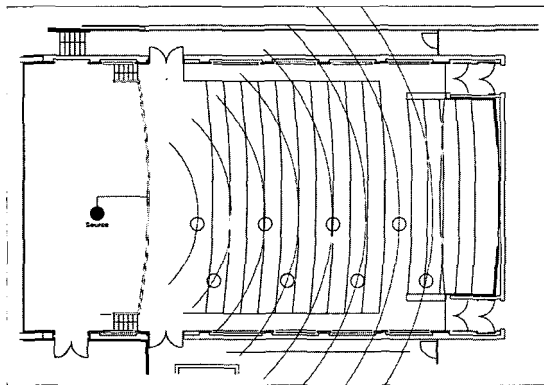


그림 8. 음원 및 수음점의 위치
Fig. 8. Location of sound source and receivers.

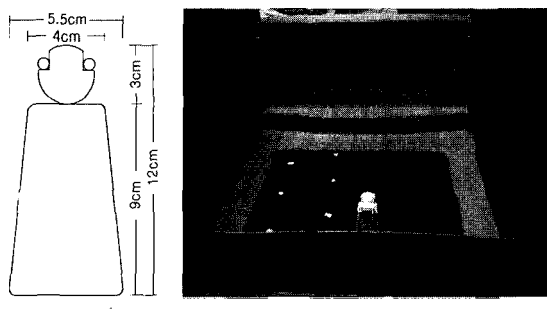


그림 9. 1:10 더미헤드와 축소모형
Fig. 9. Dummy head and model of 1:10 scale.

V. 축소모형실험의 시뮬레이션

5.1. 축소모형실험에서의 음향요소

앞서 실시한 BSH의 시뮬레이션과 축소모형실험의 결과를 확인하기 위하여 축소모형실험의 대상이 되었던 홀의 음향특성을 시뮬레이션을 통하여 살펴보았다.

그림 11에 나타난 바와 같이 무대의 천장 높이가 감소함에 따라 잔향시간이 증가하는 것으로 나타났다. 시뮬레이션의 설정상의 오차로 축소모형의 결과와 동일한 수

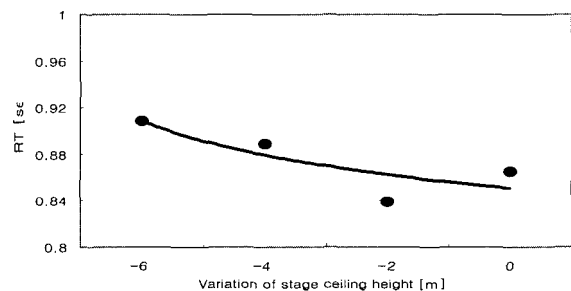


그림 10. 무대반사판 높이에 따른 RT변화
Fig. 10. Change of RT by variation of stage reflector height.

치를 나타내고 있지는 않지만, 그 추세만은 동일한 패턴을 보이며 변화하는 것을 알 수 있다. 축소모형 시뮬레이션에서 무대천장 높이 변화에 따른 잔향시간의 변화율은 $-0.11[\text{sec}/\text{m}]$ 의 값을 보였으며, 앞서의 두 경우보다 큰 변화율을 보였다.

그림 12는 축소모형실험과 시뮬레이션을 통한 C_{80} 을 나타낸 것으로 천장 반사판의 높이가 낮아질수록 명료도가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 BSH의 결과와는 반대의 경향성을 보이고 있으며, 원인은 공간 체적의 크기와 선정된 마감 재료의 차이 때문으로 사료된다.

그림 13은 공간감을 대표하는 $1-IACC_{E3}$ 와 LF값의 변화를 나타낸 것으로 무대천장 높이에 따른 값의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 사용한 프로그램과 축소모

형실험을 위한 장비의 특성으로 인하여 동일한 파라미터를 대상으로 측정을 할 수 없었으나, $1-IACC_{E3}$ 과 LF는 공간감을 나타내는 파라미터로 높은 상관성을 보이는 것이 입증되었으므로[14] 각각의 실험에 적합한 파라미터를 선정하여 활용하였다.

VI. 결 론

컴퓨터 시뮬레이션과 축소모형 실험을 통하여 무대천장높이 즉 무대의 체적과 잔향시간과의 관계를 도출해 낼 수 있었다. 일정 기준 이하의 높이에서는 무대천장높이가 감소할 경우 객석의 잔향시간이 증가한다는 결론을 얻을 수 있었다. 이러한 현상의 원인은 낮아진 천장으로 인하여 강제된 초기반사음이 객석으로 전달되는 직접음을 보강하는 역할을 하기 때문으로 사료된다.

잔향시간의 변화율은 컴퓨터 시뮬레이션 $-0.06[\text{sec}/\text{m}]$, 축소모형실험 $-0.09[\text{sec}/\text{m}]$, 축소모형 시뮬레이션 $-0.11[\text{sec}/\text{m}]$ 의 값을 나타내었다. 이를 통하여 큰 용적을 갖는 홀보다는 작은 용적을 갖는 홀에서 무대천장높이에 더욱 민감하다는 것을 예측할 수 있었다.

명료도를 나타내는 C_{80} 의 경우 시뮬레이션 시는 천장높이가 낮아짐에 따라 증가하는 반면, 축소모형실험과 그 모형의 시뮬레이션에서는 반대의 변화를 보였다. 그 원인은 공간 체적의 크기와 선정된 마감 재료의 차이 때문으로 사료된다.

또한 축소모형 Dummy head를 이용하여 IACC를 측정하였으나 시뮬레이션을 통하여 도출된 LF와 IACC 모두 눈에 띄지 않은 변화를 보여 천장높이의 변화에 따른 음향적 공간감의 변화는 미미한 것으로 나타났다.

시뮬레이션과 축소모형실험의 결과, 무대천장높이의 변화는 잔향시간을 비롯한 여러 가지 음향요소들에 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다. 위의 결과를 활용하여 공간의 목적에 적절한 음향을 위한 무대천장의 높이를 산출할 수 있을 것으로 사료된다. 그를 위해서는 향후 무대부 측벽면의 기하학적 형태 및 객석부의 용적 변화에 따른 여러 파라미터들의 변화에 대한 연구가 필요할 것이며, 축소모형실험과 실제 홀에서의 실험을 비교·분석하여 무대부의 여러 요소들과 그에 따른 파라미터들의 변화에 관한 많은 연구가 선행되어야 할 것이다.

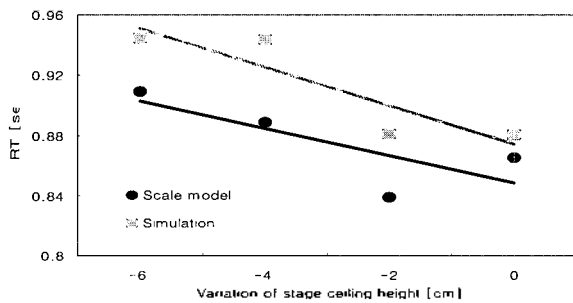


그림 11. 축소모형실험과 시뮬레이션의 잔향변화
Fig. 11. Change of RT through scale model and simulation.

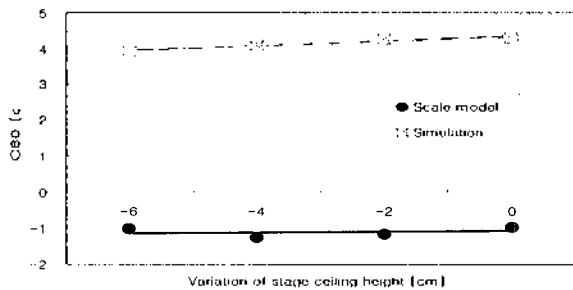


그림 12. 축소모형실험과 축소모형 시뮬레이션의 C_{80} 변화
Fig. 12. Change of C_{80} through scale model and its simulation.

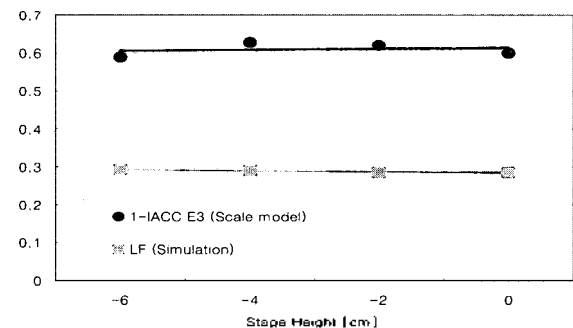


그림 13. 축소모형실험과 시뮬레이션의 공간감변화비교
Fig. 13. Change of spaciousness through scale model and simulation.

참고 문헌

1. L. Beranek, "Concert and Opera Halls : How they sound?," Acoustical Society of America, 1996
2. 연철호, 한진훈 "장방형실의 비례에 따른 실내음향특성비교," 대한건축학회논문집 계획계 18 (1) (통권159호), 2002. 1
3. John O'Keefe, "A Preliminary Study of Reflected Sound on Stages," 15th International Congress on Acoustics Trondheim, Norway, pp. 601-604, 1995
4. M. Barron, "Acoustic scale modelling for enclosed spaces," Building Technical File 18, pp. 51-56, 1987
5. 이화원, 고일두, 오양기, 두세진, 정대업 "확장 라디오테라피에 의한 실내 음향 예측에 있어 고차형태계수의 영향," 한국음향학회지 22 (1) pp.7-13, 2003
6. 전진용, 류종관, 유병철 "콘서트홀의 음향 예측을 위한 1:50 스케일 모델의 활용," 대한건축학회논문집 계획계 19 (1) (통권171호), pp. 217-224, 2003. 1.
7. 류종관, 신동재, 전진용 "다목적홀의 음향설계를 위한 1/10 축소모형의 제작 및 평가," 대한건축학회논문집 계획계 20 (9) (통권191호), pp. 59-66, 2004. 9.
8. M. Barron, "Auditorium Acoustic Modelling Now," Applied Acoustics, 16, pp. 279-290, 1983
9. J. S. Bradley, "NRC-CNRC : Data from 13 North American Concert Halls," Institute for Research in Construction, Internal Report 668, pp. 25-30, 1994
10. G. M. Naylor, "Odeon-Another Hybrid Room Acoustical Model," Applied Acoustics, 38, pp. 131-143, 1993
11. Ning Xiang & Jens Blauert, "A Miniature Dummy Head for Binaural Evaluation of Tenth-Scale Acoustic Models," Applied Acoustics, 33, pp. 123-140, 1991
12. L. W. Hegvold, "A 1:8 Scale Model Auditor," Applied Acoustics, 4 (3), 1971
13. B. F. Day, "A Tenth-Scale Model Audience," Applied Acoustics, 1, pp. 121-135, 1968
14. T. Okano, Léo L. Beranek, T. Hidaka, "Relations among interaural cross-correlation coefficient, lateral fraction, and apparent source width in concert halls," J. Acoust. Soc. Am. 104 (1), pp. 255-265, 1998

• 신동재 (Dong-Jae Shin)



1963년 4월 4일생
 1986년: 서울대학교 공과대학 건축학과 공학사
 1988년: 서울대학교 대학원 건축학과 석사
 1993년: 서울대학교 대학원 건축학과 박사과정 수료
 1995~현재: (주)다음건축사사무소 대표이사, 경희대학교 건축학과 외래교수, 아주대학교 건축학과 외래교수

• 전진용 (Jin-Yong Jeon)



1960년 7월 8일생
 1981년: 한양대학교 공과대학 건축공학과 공학사
 1991년: University of Sydney, Master of Building Science
 1994년: University of Sydney, Ph.D in Architecture
 1994~1997년: University of Sydney 연구원, Post-Doctoral Fellow
 1998년~현재: 한양대학교 건축공학부 부교수

저자 약력

• 서형균 (Hyung-Gyoon Seo)



1975년 11월 19일생
 2003년: 한양대학교 공과대학 건축공학부 공학사
 2005년: 한양대학교 대학원 건축공학과 졸업예정