

콘서트홀에서 객석과 무대의 음향방사를 위한 확산체 설계

Diffuser design for both auditorium and stage acoustics in concert halls

김재호†·김용희*·진진용**

Jae Ho Kim, Yong Hee Kim and Jin Yong Jeon

Key Words : Sound diffusion(확산), Diffuser(확산체), Scale model(축소모형)

ABSTRACT

This study investigates the effect of geometrical shape of concert halls, with variation in the shape and location of diffusers. The acoustical characteristics both in the audience area and on the stage 1:50 scale models of shoebox and fan-shaped halls. It was found that the front side walls affect sound diffusion. The 1:50 scale model based on the Boston Symphony Hall was used for monaural impulse response measurements for calculation of RT, EDT, C80, G and ST1. In addition, calculating the numbers and amplitudes of reflection rays were applied to quantify diffusion phenomena.

1. 서론

확산설계는 공연장의 음질을 향상시키고 음향 장애 현상을 예방하는 음향설계의 주요 요소이다. 확산설계는 공연장 평면 형상을 대향벽 영향요소가 배제되도록 하며, 주요 반사면을 불규칙적인 요철로 설계하여 광대역에서 반사음이 흡수되지 않고 고르게 확산되는 것을 목적으로 하고 있다. 이러한 불규칙한 마감표면을 확산체로 단위 부재화하여 설계에 적용하는데, 최근 국내에서 설계된 주요 공연장에서도 이와 같은 확산설계 프로세스에 의해 확산체 프로파일이 결정되고, 적용되었다.⁽¹⁻⁵⁾

확산체의 확산계수는 실험실에서 Scattering coefficient⁽⁵⁾나 Diffusion coefficient⁽⁶⁾ 등의 지표를 이용하여 측정할 수 있으나, 이때 도출된 물리량은 실제 음장에서의 측정치가 아닌 단위 확산체 부재의 random incidence 에 의한 평균 확산효과를 계산하는 방법이기 때문에 실제 공연장 설계시 특정 반사면에 어떤 형상의 확산체를 설치해야 하는지에 대한 연구는

아직 미미한 실정이다. 확산체의 설치 위치에 대한 이전 연구를 살펴보면, 2000년 Suzumura⁽⁷⁾ 등은 1:10 축소 모형 홀에서 IACC와 Δt_1 을 이용하여 원형기둥의 확산효과를 평가하였다. 2004년 Chiles⁽⁸⁾는 1:25 축소 모형에서 4가지 확산패널을 적용한 실험을 통하여, 감쇠곡선의 선형화, 잔향시간 평균 및 편차의 감소, EDT/RT비 증가를 확산체의 효과로 제시했다. 2005년 Jeon 등⁽¹⁾은 1:10 축소모형 실험에서 Δt_1 의 지연, 음압과 잔향시간의 감소, 주관적 선호도의 증가를 확산체의 영향으로 보고하였다. 2006년 Cox 등⁽⁹⁾은 표면에서의 확산반사 정도를 평가하는 Diffusion Coefficient와 Scattering Coefficient 두 지표간의 차이를 서술하고 각각의 쓰임을 정리하였다.

본 연구에서는 축소모형을 이용하여 공연장의 평면 형상과 확산체 부착위치에 따른 실내 음장을 측정하여 축척모형에서 적절한 확산체 설치 부위를 선정하였다. 평면형상은 일반적인 슈박스 홀과 팬형상의 홀을 대상으로 하였으며, 이전 연구⁽¹⁰⁾를 기반으로 객석 및 무대 측벽에 확산체를 설치하였다. 확산도의 평가를 위해서는 직접음 대비 20dB 이내의 유효한 크기(amplitude)의 반사음선 개수(reflection number, RN)와 에너지(reflection energy, RE)를 지표화하였다. 추가적으로 각 설치 위치에 적합한 확산체 형상을 비교하고자 하였으나 아직 실험이 완료되지 않아, 본 논문에서는 평면 형상 및 설치 위치의 영향만이 포함되었다.

† 교신저자; 한양대학교 건축환경공학과
E-mail : nosaer4@gmail.com
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2220-4794

* 한양대학교 건축환경공학과

** 한양대학교 건축공학부 교수

2. 평면 형상에 따른 확산체 적용 효과

2.1 실험개요

그림 1과 같이 가장 일반적인 공연장 형태인 Shoebox 형 홀과 Fan shape 홀의 1/50 축소모형을 제작하여 확산체 설치로 인한 무대부와 객석부 음장 변화를 살펴보았다. 각 축소모형은 실제 스케일에서 약 12,000 m³의 실내용적을 갖는 중규모의 공연장을 모델로 하여 우드락으로 제작되었다. 확산현상의 평가를 위해 7.5 mm (실제홀에서 25cm)의 돌출높이를 갖는 반구형 확산체가 적용되었으며 확산의 물리적 평가지표로는 RN과 RE를 사용하였다. RN은 직접음대비 20 dB 이내의 반사음의 수로 정의되며, 확산체를 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때 반사음선수 차이와 RN의 계산 과정을 그림 2에 나타내었다.

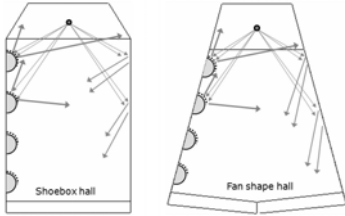


Figure 1 Reflection rays from omnidirectional diffusers of side walls; The audience and stage areas in a Shoebox (left) and a fan shape (right) halls are affected by diffusers

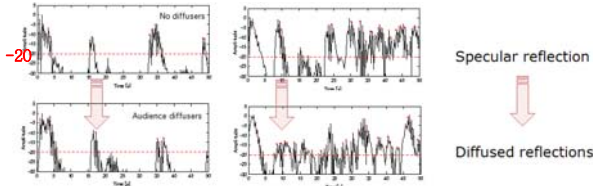


Figure 2 Calculation of reflection numbers

2.2 실험결과

Shoebox Hall 과 Fan Shape Hall 각각 객석부 측벽 전체에 확산체를 적용한 경우와 객석부 측벽 중 무대와 가까운 쪽 절반에만 확산체를 적용한 경우로 나누어 객석 및 무대의 음장변화를 비교 분석하였다. 두가지 경우에서 확산체의 점유 밀도는 40%로 일정하게 유지하였으며 실험 결과는 80 ms 이내의 초기음과 후기음(80-200 ms)으로 분리하였으며, 확산체를 설치한 경우와 확산체를 설치하지 않은 경우의 지표 값의 차로 비교하였다. 분석 결과 그림 3과 표 1 같이 객석 측벽에 절반만 확산체를 적용한 경우가 객석 측벽 전체에 확산체를 적용한 경우보다 객석 및 무대부 모두에서 RN 및 RE의 증가 폭이 더 큰 것으로 나타났다. 특히 Shoebox Hall의 경우 객석 측벽 절반에 확산체를 적용한 경

우가 객석 측벽 전체에 확산체를 적용했을 때 보다 무대와 객석 모두에 더 좋은 음장을 조성해주는 것으로 나타났다.

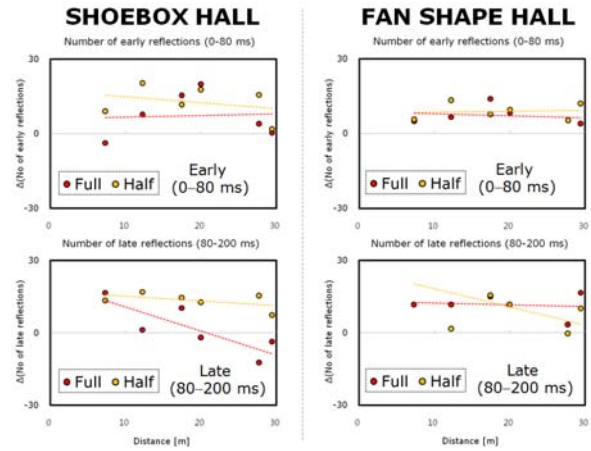


Figure 3 Effect of diffuser on audience area

Table 1 Effect of diffusers on both stage and

Difference with no-diffuser case		Δ(No of early reflection)		Δ(Early energy)	
		0-80 ms	80-200 ms	0-80 ms	80-200 ms
Shoe-box Hall	Full	37→44	41→111	+1.3 dB	+5.0 dB
	Half	37→65	41→126	+1.6 dB	+4.9 dB
Fan Shape hall	Full	71→80	112→123	-0.4 dB	+3.9 dB
	Half	71→87	112→126	+0.6 dB	+3.3 dB

표 2에서와 같이 무대에 확산체를 적용하였을 때 무대 및 객석의 음장변화를 측정된 결과 Shoebox Hall의 경우 무대 및 객석부 양쪽 모두 RN 및 RE가 대체로 증가하는 것으로 나타났으나 그 효과는 객석 측벽에 확산체를 적용한 경우에 비해 미미하였다. Fan Shape Hall의 경우 RN 및 RE가 전반적으로 감소하는 것으로 나타났으며 특히 후기음의 음에너지가 크게 감소하는 것으로 나타났다.

Table 2 Effect of stage diffusers on auditorium acoustics

Difference with no-diffuser case		Δ(No of early reflection)		Δ(Early energy)	
		0-80 ms	80-200 ms	0-80 ms	80-200 ms
Shoe-box Hall	Stage (c)	37→74 (102%)	41→71 (74%)	+1.0 dB	+1.0 dB
	Audience (1-6)	78→84 (8%)	127→128 (1%)	+0.2 dB	-0.3 dB
Fan Shape hall	Stage (c)	71→80 (12%)	112→102 (-9%)	-0.3 dB	-0.9 dB
	Audience (1-6)	88→84 (-5%)	134→126 (-6%)	-3.3 dB	-4.1 dB

2.3 소결

본 실험에서는 Shoebox 형상과 Fan Shape 공연장 축소모형에서 확산체의 적용 위치에 따른 공연장 내부 음장변화를 분석하였다. 실험결과 특히 Shoebox 형태의 공연장에서 무대 쪽 객석 측벽이 확산장 구성에 유효한 확산체 적용 위치임이 드러났다. 또한 무대 측벽의 확산체는 Shoe box 홀의 경우 무대음향에는 다소 영향을 미치나, 객석쪽에는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 그러나 본 실험결과는 단순히 상대 비교를 위한 simple model에서 측정된 것이기 때문에 좀 더 정밀한 축소모형 실험을 통한 결과검증이 필요하다. 또한 반구형상의 단일 확산체를 적용한 결과라는 한계를 가지므로 다양한 확산체 형상에 따른 공연장 내부음장 변화에 대한 검토가 필요하다.

3. 확산체 형상에 따른 효과

3.1 개요

확산체의 형상 및 부착 위치 등의 효과를 조사하기 위해 추가적으로 1/50 축소모형 실험을 진행하였다. 축소모형의 형태는 일반적으로 음향이 좋은 콘서트 홀 중 하나로 알려져 있는 2,600석 규모의 보스톤 심포니 홀을 모델로 하였다. 그러나 본 연구는 공연장 자체의 평가가 아닌 확산체의 적용으로 인한 공연장 내부 음장 변화의 평가에 그 목적을 두고 있기 때문에 보스톤 심포니 홀의 재현 보다는 홀을 단순화 하여 Shoebox 형태의 홀을 만들어 내는 것을 목표로 하였다. 그림 3은 보스톤 심포니 홀을 단순화한 모형을 나타내고 있다. 주로 측면벽체의 영향을 조사하기 위하여 2층과 3층, 발코니석을 설치하지 않았다.

축소모형에 적용하여 그 효과를 평가할 확산체의 프로파일은 다음 그림 5와 같다. 반구형상 및 반원통형, 반 원뿔대형의 확산체들을 이용해 확산체 크기 및 배치별로 6개의 프로파일을 제작하였다. 계속해서 각 확산체 프로파일을 측벽 및 무대, 천정 등의 부위에 적용하여 그 효과를 살펴보고 Scattering coefficient 및 Diffusion coefficient 와 상관관계 분석을 통해 확산 평가 지표로써 Reflection number 및 Reflection energy 등의 타당성을 검증할 것이다.

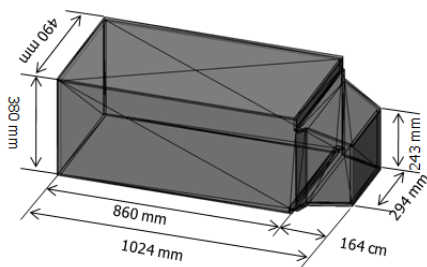


Figure 4 Simple model (CAD modeling)

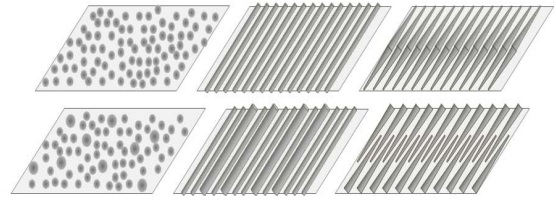


Figure 5 Profiles of diffusers

3.2 축소모형 제작

콘서트홀에서 객석과 관객은 가장 강력한 흡음체로 공연장 음향에 큰 영향을 미치는 요소이므로 축소모형에 적용하기 전에 흡음특성이 평가되어야 한다. 본 연구에서는 Beranek⁽¹¹⁾이 제시한 공식과 만석시 객석흡음률에 따라 객석 모형을 제작하였다. 그림 6는 객석과 관객 모형이며 모형의 흡음률 측정결과를 그림 7에 나타내었다.

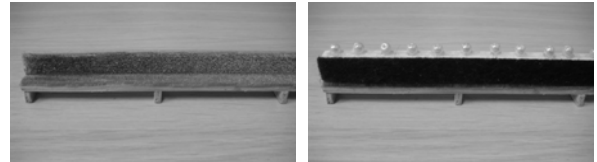


Figure 6 Seat and audience model

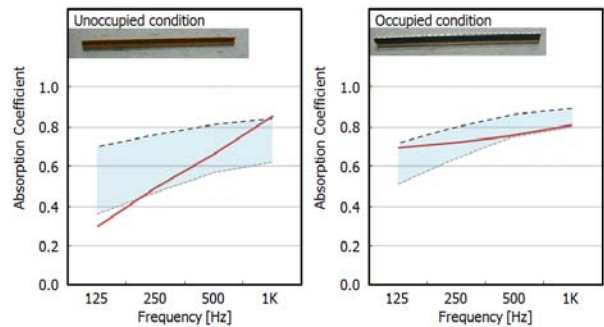


Figure 7 Absorption coefficients of model seat and audience

그림 8에서와 같이 1/50 축소모형 제작을 위하여 바닥은 MDF(9T), 벽체 및 천정, 무대부는 아크릴(10T)을 사용하였고 앞서 선정된 객석 모형을 적용하였다.

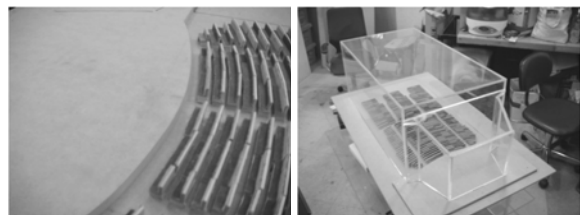


Figure 8 1:50 scale model of Boston Symphony Hall

3.3 음원 위치 및 측정점 선정

축소모형 평가를 위한 음원은 Spark source가 사용되었으며 음원 위치는 그림 9와 같이 무대위 3지점(솔로, 현악기 중심, 관악기 중심)을 선정하였다. 측정은 1/8 마이크로폰을 이용해 무대부 15개, 객석부 19개 위치에서 Spark source 음원을 수음하여 추출된 impulse response로 부터 기본 음향 지표 및 RN, RE 등의 지표를 분석하였다.

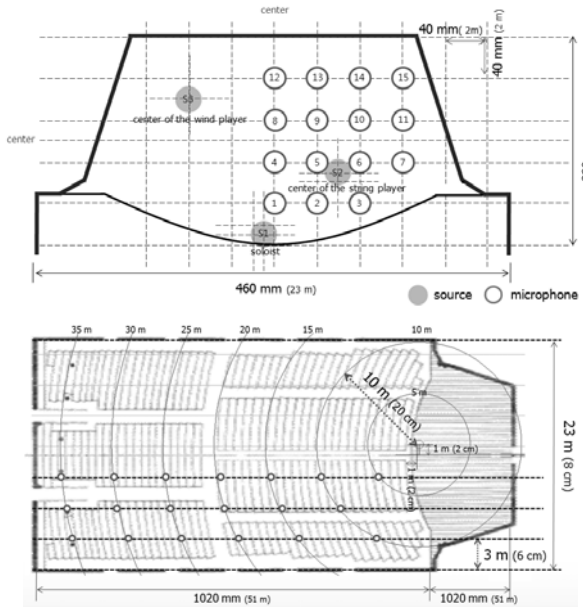


Figure 9 Source and measuring points

4. 토의 및 향후진행 계획

Fan Shape 과 Shoebox 형상의 1/50 축소모형 실험을 통해 평면 형상에 따른 확산체 적용 효과를 분석한 결과 Fan Shape 공연장의 경우 확산체 적용 위치에 따른 차이가 크지 않았지만, Shoebox 형상 공연장의 경우 무대와 가까운 객석 측벽 일부에 확산체를 설치한 경우가 측벽 전 부위나 무대에 확산체를 설치한 경우보다도 객석과 무대 양측에 좀 더 개선된 확산음장을 조성하는 것으로 나타났다. 그러나 이는 단순 비교를 위해 simple model에서 반구형상의 단일 확산체를 이용한 실험결과라는 한계를 가지며 평가지표로 사용된 Reflection number 및 Reflection energy 의 타당성 검증 또한 이루어지지 않았다.

따라서 향후 Boston Sympony Hall을 모델로 한 1:50 축소모형 실험을 통해 공연장 내에서의 확산성능 평가 지표로써 Reflection Number 및 Reflection Energy를 검토하고 공연장 내에서 확산체의 형상과 확산체의 적용 위치에 따른 효과를 검토할 계획이다.

후기

이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (F01-2007-000-0000-5312)

참고 문헌

- (1) J. Y. Jeon, S. C. Lee, and M. Vorländer, "Development of scattering surfaces for concert halls" Appl. Acoust, Vol. 65, pp. 341-355, 2004
- (2) 전진용, "세라믹 팔레스홀의 음향확산체 설계", 대한건축학회논문집 제24권 제1호, pp. 633-636, 2004
- (3) 전진용, 류종관, 김용희, "축적모형을 활용한 확산음장의 물리적 주관적 평가", 대한건축학회논문집 제24권 제10호, pp. 271-278, 2006
- (4) 전진용, "세라믹 팔레스홀의 음향확산체 설계", 대한건축학회논문집 제24권 제1호, pp. 633-636, 2004
- (5) ISO 17497-1:2004, "Acoustics-Sound-scattering properties of Surfaces, Part 1: Measurement of the random- incidence scattering coefficient in a reverberation room"
- (6) T. J. Cox, P. D'Antonio, "Acoustic absorbers and diffusers: Theory, design and application", Spon Press, 2004
- (7) Y. Suzumura, M. Sakurai, Y. Ando, I. Yamamoto, T. Iizuka, and M. Oowaki, "An evaluation of the effects of scattered reflections in a sound field," J. Sound and Vib, Vol. 232, pp. 303-308, 2000
- (8) S. Chiles, "Scattering Surfaced in Concert halls," Proc. New Zealand Acoust. Soc, Wellington, 2004
- (9) T. J. Cox, B. -I. L. Dalenback, P. D'Antonio, J. J. Embrechts, J. Y. Jeon, E. Mommertz, "A Tutoria on Scattering and Diffusion Coefficients for Room Acoustic Surfaces", ACTA Acustica united with Acustica, Vol. 92, pp. 1-15, 2006
- (10) 김용희, 이해미, 전진용, "1:25 축소모형 홀에서 확산체에 의한 음장 변화", Proc. of ASK Spring Conference, 2007
- (11) L. L. Beranek, "Concert halls and Opera houses", Springer, 2002