

확산 지향성을 고려한 확산체의 설계

Design of diffusers in consideration of scattering and diffusion characteristics

김용희[†] · 김재호* · 김정준* · 전진용**

Yong Hee Kim, Jae Ho Kim, Jeong Jun Kim, Jin Yong Jeon

Key Words : 확산체(Diffuser), 확산계수(scattering coefficient), 지향계수(diffusion coefficient)

ABSTRACT

This study proposes a optimized shape of diffuser profile through investigating the scattering and diffusion characteristics of diffusers. The scattering coefficient according to ISO 17497-1 evaluates uniformity of reverberant sound field of late reflections, while the diffusion coefficient according to AES-4id-2001 evaluates polar response of early reflections. Thus both scattering and diffusion characteristics should contribute to design shape of diffusers to maximize physical performance. To find out design method, the previous results on hemisphere diffusers are reviewed. The frequency characteristics of scattering coefficients depended on the structural height of the diffusers, while amount of scattering coefficients depended on the surface coverage density of the diffusers. However absorptive properties also increased with augment of surface coverage density, thus optimum coverage density should be considered. For the directional diffuser, three types of 2D-diffusers are proposed; semicylinder of h=5mm, semi-truncated cone of h=5-25mm and semicylinder of h=25mm. As results, diffusers with the maximum height of 25mm show the highest scattering coefficients, while diffuser of h=5mm shows high scattering coefficients only at the high-frequency bands. Diffusion coefficient will be investigated for diffusive properties of the early reflection.

1. 서론

콘서트홀의 음질을 향상시키기 위해 객석음향을 위한 1차반사면을 구성하는 주요 반사벽은 확산 표면으로 설계한다^(1,2). 확산 표면은 저주파수 대역부터 고주파수 대역까지 무대에서의 연주가 객석 내부로 골고루 퍼져나가도록 확산시키며, 경면 반사에 의한 acoustic glare가 발생하지 않도록 감쇠특성을 부드럽게 만들어줘야 한다⁽³⁾. 그러나 지금까지 공연장 음향설계에서 일반적으로 적용된 확산체의 형상은 디자인적인 측면에서 시각적으로 확산효과가 있을 것으로 예상되도록 건축가에 의해 설계되고 있다. 확산 형상이 내부 인테리어 설계에 포함되기 때문에 어쩔 수 없는 프로세스라 할지라도 확산체의 확산효과는 실험실에서 확산계수를 물리적으로 측정할 수 있도록 측정법이 표준화⁽⁴⁾되어 있기 때문에 물리량을 극대화시킬 수 있도록 확산체를 음향적으로 설계하는 것이 필요하다.

ISO 17497-1⁽⁵⁾은 확산음장에서 난입사음에 대한 확

산계수(scattering coefficient)를 잔향실에 측정하는 방법을 규정하고 있다. 이 실험법을 통해 측정한 확산체 시료의 확산계수가 실제 공연장에서 시공된 표면의 실제 확산도(현장확산계수)와 어떤 연관관계가 있는가에 대한 측정 및 평가방법이 아직 제정되지는 않았다. 그러나, 흡음율 측정을 바탕으로한 확산계수의 명쾌한 정의를 통해서 최대의 확산계수를 보이는 재료가 물리적으로도 최대의 확산효과를 보인다고 간주된다⁽⁶⁾.

그러나 확산계수는 음장에서 후기음 정보만으로 평가되기 때문에 확산계수만으로는 확산체에 대한 초기 반사음의 지향 특성까지 파악할 수는 없다. 반면, AES-4id-2001에 기술되어 있는 diffusion coefficient은 자유음장 조건에서 특정방향에서의 입사음에 대한 확산체 표면에서 발생하는 일차반사음의 방사형 지향특성을 나타낸다⁽⁷⁾. 따라서 diffusion coefficient와 확산계수와의 조합을 통해 확산체의 확산효과를 평가한다면, 초기음부터 후기음까지 설계 목적에 적합한 확산체 형상을 설계할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 확산성능이 강조되는 지향성 확산체 프로파일의 설계안을 제안하기 위해 지향성인 반구확산체를 이용한 이전 연구에서 도출된 확산계수 특성^(6,8,9)을 기반으로 확산체를 반원기둥과 반원뿔대로 설계하여 확산율을 측정하였다. 현재 확산체의 diffusion

[†] 한양대학교 건축환경공학과
E-mail : kimyonghee@gmail.com
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2220-4794

* 한양대학교 건축환경공학과
** 한양대학교 건축공학과 교수

coefficient 측정법 세팅이 완료되지 않았으나 향후 확산체 디자인과 확산계수 측정결과와 더불어 추가 측정사항에 포함할 예정이다.

2. 측정방법 및 환경

확산체의 물리적특성은 1/10 축소모형을 ISO 17497-1에서 규정하는 크기의 원판에 해당하는 확산체를 제작하여 측정하였다. 확산계수는 1/10 축소모형 잔향챔버를 이용하였고, 1/8인치 마이크로폰과 소형 트위터 스피커를 이용하여 측정하였다. 음원은 Multi-MLS를 이용하였고, 주파수 대역별 잔향시간 분석은 Audition 1.5의 Aurora 플러그인을 사용하였다. 확산체 시료는 420mm지름의 원형 판으로 제작하였으며, 1/10잔향챔버의 용적은 0.253m³이다.

3. 반구 확산체의 확산율^(8,9)

1/10 축소모형을 이용해 측정한 높이와 점유밀도 변화에 따른 반구확산체의 확산계수는 그림 1에서와 같이 확산체의 높이가 높을수록 단위면적당 배치개수 즉 점유밀도가 40-60%사이에서 가까울수록 확산계수가 높아지는 특성을 보였다.

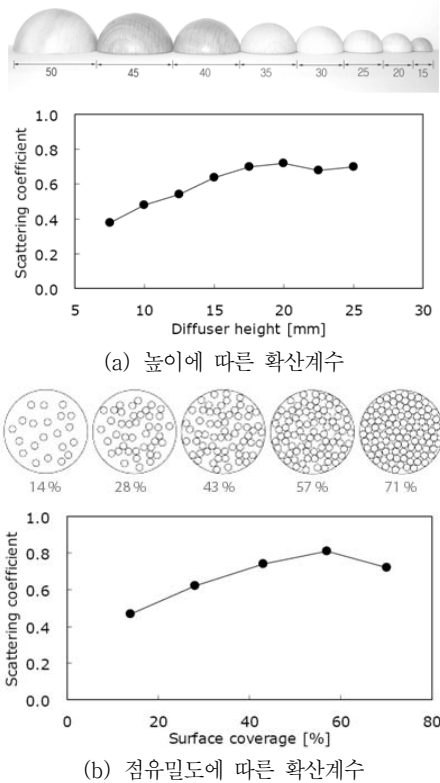


그림 1. 1/10 반구확산체의 확산계수⁽⁸⁾. 확산체의 높이가 증가할수록, 점유밀도 40-60%사이에서 최대의 확산성능을 보인다. (확산계수의 단일값은 500-3,150Hz대역 평균)

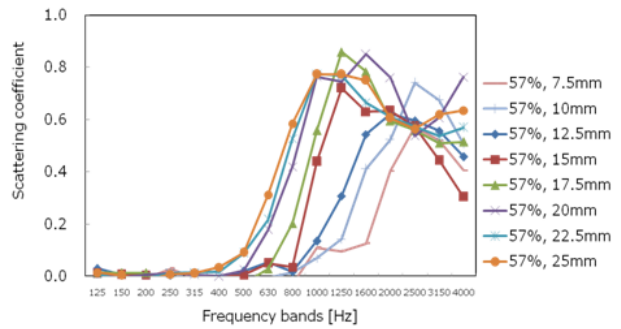


그림 2. 1/10 반구확산체의 높이에 따른 주파수대역별 확산계수⁽⁹⁾. 확산체 높이가 증가할수록 저주파 대역에서의 확산율이 높아진다.

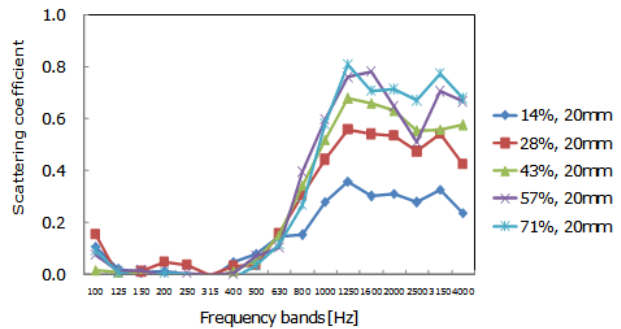


그림 3. 1/10 반구확산체의 점유밀도에 따른 주파수 대역별 확산계수⁽⁹⁾. 점유밀도가 높을수록 확산계수는 증가하나 주파수 특성은 거의 일정하다.

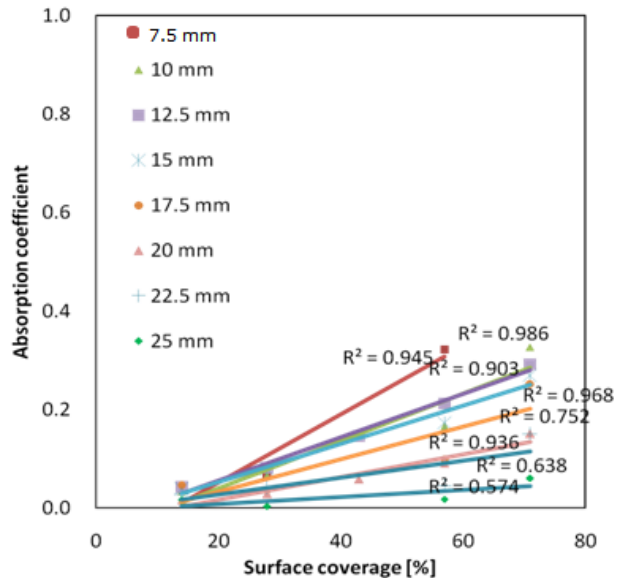


그림 4. 확산체 점유밀도 증가에 따른 흡음율⁽⁹⁾. (흡음율 단일값은 500-3,150Hz대역 평균) 확산체 점유밀도의 증가에 따라 흡음율이 증가하는 경향을 보인다.

주파수 대역별로 살펴보면 그림 2와 같이 확산체의 높이가 높을수록 저주파 대역에서의 확산성능이 높아지는 것을 알 수 있으며, 그림 3과 같이 점유밀도는

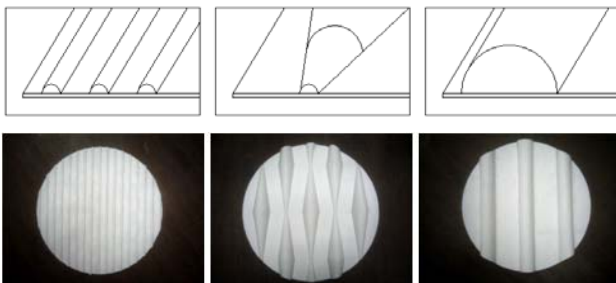
주파수 특성과는 상관없이 확산계수의 크기에 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 4와 같이 확산체 점유밀도의 증가는 확산체의 표면흡음에 의해 그림 4와 같이 흡음력을 증가시키는 단점이 있다.

따라서 슈뢰더 디퓨저와 같은 지향성 확산체의 경우 후기 잔향감의 개선을 목표로 최대의 확산성을 확보하기 위해서는 돌출높이가 높게, 점유밀도가 높더라도 흡음력이 크지 않는 범위 내에서 적절한 점유 밀도로 설계할 필요가 있다. 한편 확산체의 높이가 낮은 경우 고주파대역에서 높은 확산계수를 보였기 때문에 다양한 확산체 크기를 고려할 경우 전 주파수 대역에서의 높은 확산성을 기대할 수 있다.

4. 지향성 확산체의 확산율

4.1 확산체 프로파일

지향성 확산체의 기본 형상은 확산성능의 방향적 목표에 따라 수평(horizontal)이나 수직(vertical) 확산체로 활용할 수 있는 반원기둥(semicylinder)으로 설정하였다. 즉, 지향성 확산체를 2D 형상으로 설계하였고, 1/10 축소모형 반원기둥 시료는 그림 5와 같이 반구 확산체 실험에서 사용한 최대 높이(25mm, 그림 5(a) Profile 1)와 최소 높이(5mm, 그림 5(c) Profile 3)에 따라 2종류로 준비하였고, 점유밀도는 흡음특성을 고려하여 40%로 통일하였다. 또한 높이가 다양한 반원기둥의 확산효과를 알아보기 위해 최소 돌출높이가 5mm이고 최대 돌출높이가 25mm인 반원뿔대(그림 5(b) Profile 2)도 측정하였다. 반원뿔대 형상의 확산체에서 골과 골 사이의 간격은 저주파 대역 (125Hz)에 대응하도록 144mm로 배치하였다. 시료의 재료는 단단한 폼보드에 두꺼운 마분지로 형상을 만들어 표면은 석고가구(Gesso)로 코팅하였고, 모서리는 밀폐하였다.



(a) Profile 1 (b) Profile 2 (c) Profile 3
 반원기둥 h=5mm 반원뿔대 h=5-25mm 반원기둥 h=25mm
 그림 5. 1/10 지향성 확산체 프로파일.

4.2 확산계수 측정결과

그림 6은 각 확산체 프로파일의 확산계수를 측정한 결과이다. Profile 1의 반원기둥인 경우 확산체 돌출높이가 낮아 평균 확산율이 0.22로 낮게 나타났으나, 2,000Hz 이상의 고주파수 대역에서는 0.5 이상의 높은 확산계수를 보였다. 반면 Profile 3의 반원기둥인 경우에는 높은 돌출높이로 1,000Hz 이상의 고주파수 대역에서는 0.6이상, 300Hz 이상의 중주파수 대역에서도 0.4에 가까운 높은 확산특성을 보였다.

한편 낮은 높이부터 높은 높이가 반복되는 형상인 Profile 2의 반원뿔대형인 경우, 500Hz 이상에서는 높이 25mm의 Profile 3과 거의 동일한 확산계수를 보였다. 다만 Profile 2의 경우 250-400Hz 대역에서의 확산계수는 낮은 것으로 나타났다. 각 확산체의 흡음율은 500-4,000Hz대역에서 유사하게 0.2 이하로 나타났다.

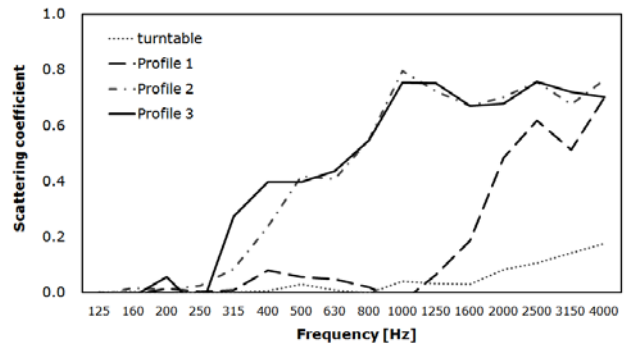


그림 6. 1/10 지향성 확산체의 1/3 옥타브밴드 확산계수 측정결과. Profile 1의 확산계수는 0.22, Profile 2의 확산계수는 0.63, Profile 3의 확산계수는 0.64이다.

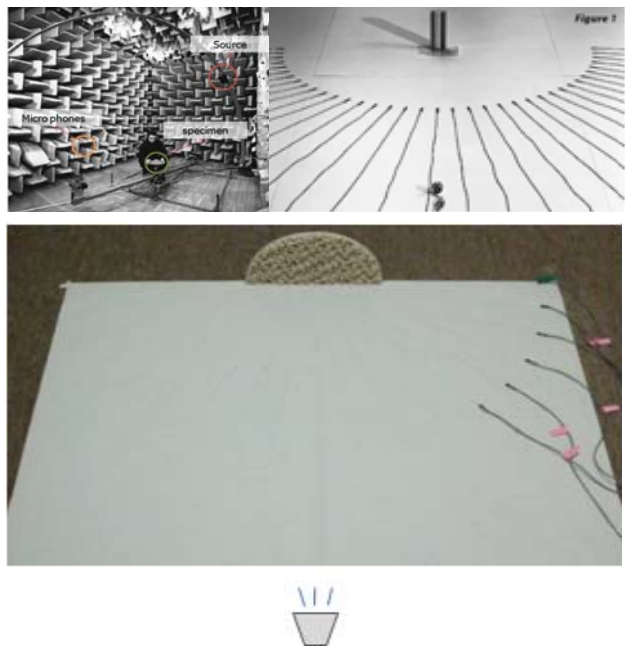


그림 7. Diffusion coefficient 측정 장치 (측정 세팅 미완료). 상부 이미지는 Hargreaves 등의 실험 셋업⁽¹⁰⁾

4.3 지향특성의 측정

확산계수는 서론에서 언급한 바와 같이 확산음장에서 확산체의 확산효과에 의해 감소하는 후기음 양을 측정하기 때문에 초기반사음의 확산에 대한 정보는 포함하고 있지 않다. 이런 지향특성은 diffusion coefficient의 측정을 통해 규명할 수 있으며, 그림 7은 간이 실험실에서 세팅 중인 diffusion coefficient의 측정 예시를 보여준다.

현재 아헨공대의 Institute of Technical Acoustics(ITA)에서 제작한 노우즈 마이크로폰을 이용하여 측정하고 있으며, 음원은 MLS 음원을 확산계수 측정시에 사용하였던 소형 트위터 스피커를 이용하여 재생하였다.

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 반구확산체의 확산특성을 기반으로 지향성 확산체로 사용되는 반원기둥형 확산체의 확산특성을 측정하였다. 후기음의 확산도인 확산계수의 경우, 1/10 축소모형 확산체에서 최대 높이가 25mm일 때 최대 확산도를 보였다. 특히 5mm와 25mm가 엇갈리는 반원뿔대형 확산체도 거의 동일하게 높은 확산특성을 보였다.

diffusion coefficient는 자유음장에서 측정해야하지만 현재 잔향시간이 0.1초의 흡음실에서 실험세팅을 하고 있기 때문에 그림 8과 같이 1차 반사음을 일정하게 추출해 내는데 어려움이 있다. 이 부분을 보완하여 초기음의 지향특성이 높은 확산체를 제안할 수 있을 것으로 사료된다.

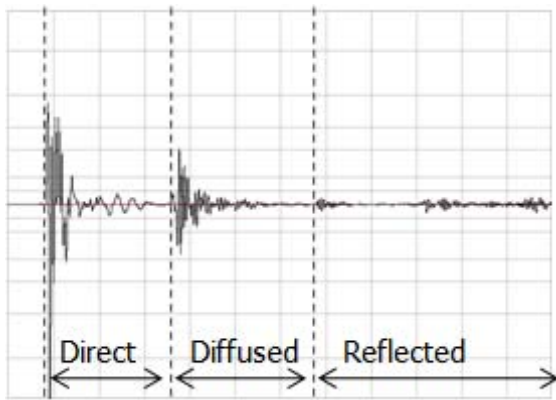


그림 8. Diffusion coefficient 측정시 수음한 임펄스 리스텐스에서의 직접음, 일차반사음, 후기 반사음 요소.

확산체는 본 연구와 같이 실험실에서의 확산계수뿐만 아니라 향후 콘서트홀 및 다목적홀 축소모형에 적용하여 실내 음장에 작용하는 현장 표면확산 특성을 규명함으로써 공연장 음향의 음질을 향상시키는데 기여

하는 노력이 필요하다.

후기

이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (F01-2006-000-10187-0)

Reference

- (1) P. D'Antonio and T. J. Cox, "Two decades of sound diffuser design and development. Part 1: applications and design," J. Audio Eng. Soc., 46, pp.955-976, (1998).
- (2) P. D'Antonio and T. J. Cox, "Diffuser application in rooms," Appl. Acoust., 60(2) pp.113-142 (2000).
- (3) T. J. Cox and P. D'Antonio, "Acoustic absorbers and diffusers - Theory, design and application," Spon Press (2004).
- (4) ISO 17497-1, "Acoustics-Measurement of the sound scattering properties of surfaces." (2002).
- (5) T. J. Cox, B. I. L. Dalenback, P. D'Antonio, J. J. Embrechts, J. Y. Jeon, E. Mommertz, M. Vorländer, "A Tutorial on Scattering and Diffusion Coefficients for Room Acoustic Surfaces," Acta Acustica united with Acustica, 92(1), pp.1-15 (2006).
- (6) J. Y. Jeon, S. C. Lee and M. Vorländer, "Development of scattering surfaces for concert halls," Appl. Acoust., 65, pp.341-355 (2004).
- (7) AES-4id-2001, "AES information document for room acoustics and sound reinforcement systems - characterisation and measurement of surface scattering uniformity," J. Audio Eng. Soc., 49(3), pp.149-165 (2001).
- (8) S. Sato and J. Y. Jeon, "Design of the diffuser with hemispheres using 1:10 and real scale models," J. Acoust. Soc. Am. 120, pp.3186 (2006).
- (9) 셸달 꾸마르, 김용희, 전진용, "확산체의 표면적 변화에 따른 흡음 및 확산계수 측정," 한국소음진동 공학회 추계학술발표대회, (2007).
- (10) T. J. Hargreaves, T. J. Cox, Y. W. Lam and P. D'Antonio, "Surface diffusion coefficients for room acoustics: free field measures," J. Acoust. Soc. Am. 108(4), pp.1710-1720 (2000).