

# 음향반사판의 밀도별 특성

## Effect of surface density on sound absorption of acoustical reflectors

정정호† · 진진용

Jeong Ho Jeong and Jin Yong Jeon

**Key Words** : Acoustic reflector(음향반사판), Sound absorption(흡음), Surface density(면밀도), Room acoustics(실내음향)

### ABSTRACT

공연장음향성능에 영향을 미치는 중요한 부자재중의 하나인 음향반사판의 면밀도 변화에 따른 흡음특성 변화를 조사하였다. 음향반사판은 목질계반사판으로 밀도 변화는  $11 \text{ kg/m}^2 \sim 41 \text{ kg/m}^2$ 으로 총 3개의 시료를 대상으로 측정하였다. 저주파 대역에서의 흡음률을 측정하기 위하여 서브우퍼와 무지향성 스피커를 사용하였으며 측정결과 중고주파수 대역의 흡음률은 면밀도 변화에 따라 큰 차이가 없었으나 저주파수 대역의 흡음률은 면밀도 변화에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 향후 음악 공연 공간내의 음향반사판의 면밀도 변화에 따른 실내 음향 특성 변화 및 설계지침에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

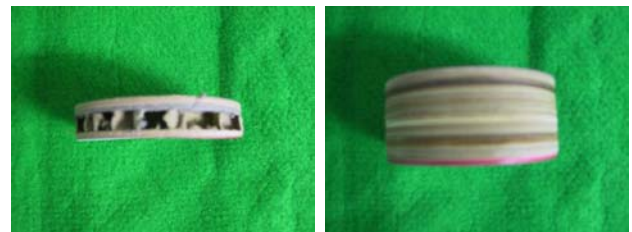
### 1. 서론

콘서트 홀 및 다목적 공연장의 실내 음향 및 음향 설계에서 가장 중요한 부분은 무대음향이다. 무대음향의 정량적 평가를 위해 ST(Stage Support)<sup>1,2</sup>가 제안되었으며 최근 ISO에 규정될 예정이다. 또한 무대에서의 연주자간 커뮤니케이션이 연주에 미치는 영향<sup>3</sup>, 스케일 모델을 활용한 무대음향 특성<sup>4,5</sup> 및 확산체가 미치는 영향<sup>6</sup>에 대한 연구가 수행되고 있다. 또한 무대음향에 대한 무대 반사판의 영향 및 배치형태에 따른 영향에 대한 연구<sup>7,8</sup>가 수행되었다. 그러나 무대 및 오케스트라 셸을 구성하는 음향 반사판 자체에 대한 연구 및 재질에 대한 연구는 부족한 실정이다. 또한 무대 음향 반사판을 선정하기 위한 밀도 등의 기준이 서로 상이하여 이에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 무대 또는 오케스트라 셸을 구성하는 음향 반사판의 밀도(면밀도) 변화에 따른 흡음특성을 조사하고자 한다.

### 2. 수직입사 흡음계수

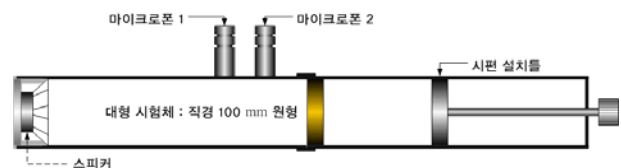
다목적 공연장 및 콘서트 홀의 무대에 사용되는 음향 반사판의 면밀도별 흡음특성을 비교하기 위하여 목질계

음향반사판 2종을 대상으로 수직입사 흡음계수를 측정하였다. 수직입사 흡음계수 측정을 실시한 목질계 음향 반사판 2종은 Fig. 1에서와 같다. Fig. 1 (a)은 일반적으로 다목적 공연장에 사용되고 있는 음향반사판으로 면밀도는 약  $11 \text{ kg/m}^2$ 으로 합판, 차음시트 및 허니콤 구조로 구성되었으며, 반사판의 두께는 18mm 이다. Fig. 1 (b)는 면밀도가  $41 \text{ kg/m}^2$ 인 음향반사판으로 펠라민 판, 합판 및 MDF를 8겹 순대로 적층한 반사판이다. 적층형 반사판의 두께는 약 40.8mm이었다.



(a) Sound reflector (b) Laminate reflector

**Fig. 1** Section detail of normal incidence sound absorption coefficient test specimens



**Fig. 2** Normal incidence sound absorption coefficient test setup (KS F 2814-2)

† 정정호; 방재시험연구원

E-mail : jhjeong92@hanmail.net

Tel : (031) 881-6010, Fax : (031) 884-8102

\* 한양대학교 건축대학

수직입사 흡음계수 측정은 KS F 2814-2:2002<sup>9)</sup>의 전달수법에 따라 측정하였다. Fig. 2는 수직입사 흡음계수 측정을 위한 임피던스 튜브의 실험을 도식화하여 나타낸 것이다.

음향반사판의 수직입사 흡음계수 측정은 배후 공기층의 유무 및 크기에 따라 3가지 경우를 대상으로 실시하였다. 배후 공기층을 고려하여 측정한 이유는 실제 음향반사판이 설치되는 경우 배후에 공기층이 형성되기 때문이다. Fig. 3 ~ 5는 배후공기층이 없는 경우와 배후공기층이 각각 50 mm, 100mm인 경우의 수직입사 흡음계수를 비교하여 나타낸 것이다. 수직입사 흡음계수의 측정은 측정주파수 대역별로 따라 대형시험체(직경 100 mm)와 소형시험체(직경 29mm)를 각각 측정하여 통합한다. 그러나 본 실험에서는 중·저주파수 대역의 수직입사 흡음특성을 비교하기 위하여 대형시험체만을 대상으로 50 ~ 1600 Hz 범위를 대상으로 측정하였다. 수직입사 흡음계수는 2 Hz간격으로 측정된 결과를 1/3 옥타브 밴드로 환산하여 비교하였다.

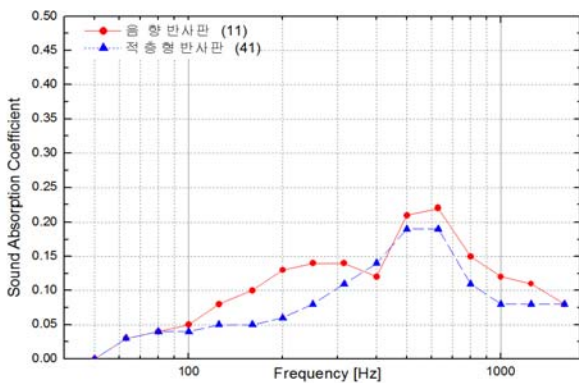


Fig. 3 Normal incidence sound absorption characteristics of sound reflector and laminated reflector (without air-space)

Fig. 3은 배후공기층이 없는 경우의 음향반사판과 상대적으로 면밀도가 높은 음향반사판의 수직입사 흡음특성을 비교한 것이다. Fig. 1에서와 같이 일반적인 음향반사판과 면밀도가 높은 적층형 반사판의 흡음특성을 비교하면 대부분의 주파수 대역에서 면밀도가 높은 적층형 반사판의 흡음특성이 낮은 것으로 나타났다. 평균적으로 일반적인 음향반사판이 적층형 반사판 보다 0.02 정도 높은 수직입사 흡음특성을 갖는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 시험체 배후공기층이 50 mm인 경우의 수직입사 흡음특성을 비교한 것이다. 적층형 반사판의 경우 100 Hz와 125 Hz 대역에서 일반적인 음향반사판보다 각각 0.09, 0.07 높은 값을 갖는 것으로 나타났다. 나머지 대역에서는 일반적인 음향반사판의 흡음계수가 더 높

게 나타났다. 측정 주파수 대역의 평균 흡음계수의 경우 일반형 음향반사판은 0.18, 적층형 반사판은 0.14로 적층형 반사판의 흡음률이 0.04 정도 낮게 나타났다.

적층형 반사판이 100 Hz와 125 Hz 대역에서 높게 나타난 것은 배후 공기층에서 발생하는 공명현상으로 인한 흡음현상이 더 명확하게 나타났기 때문으로 사료된다. 일반형 반사판은 합판, 차음시트 및 허니콤으로 구성된 복합재료로 반사판 내부에도 허니콤에 의한 공간이 구성되어 특정대역에의 공명흡음 현상이 덜 발생되며 전 주파수 대역에서 고르게 높은 흡음 특성을 갖는 것으로 판단된다.

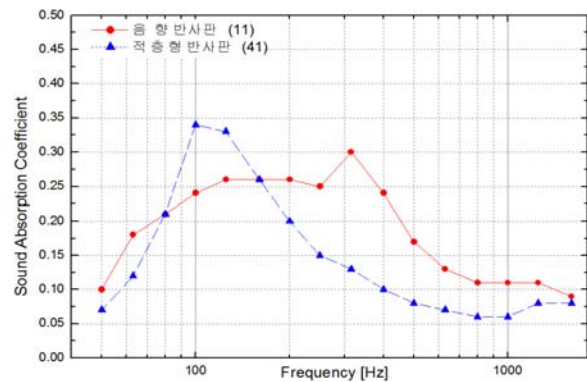


Fig. 4 Normal incidence sound absorption characteristics of sound reflector and laminated reflector (50 mm air-space)

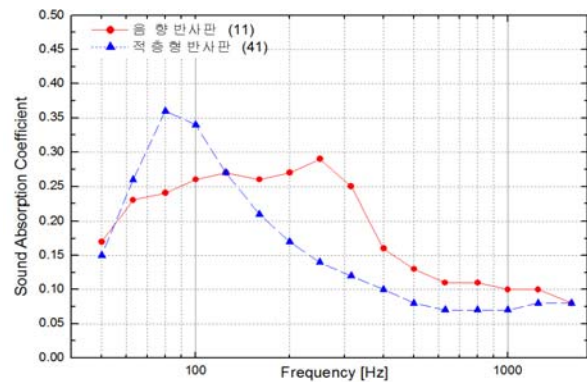


Fig. 5 Normal incidence sound absorption characteristics of sound reflector and laminated reflector (100 mm air-space)

Fig. 5는 시험체 배후공기층이 100 mm인 경우의 수직입사 흡음특성을 비교한 것이다. 적층형 반사판의 경우 63 ~ 100 Hz 대역의 흡음계수가 일반형 음향반사판보다 높은 것으로 나타났다. 이는 공기층이 50 mm인 경우와 비교할 경우 100 Hz에서 80 Hz대역으로 공기층의 증가에 따라 변화된 것을 알 수 있다. 일반형 반사판의

경우 적층형 반사판보다 평균 0.03정도 높은 흡음계수를 갖는 것으로 나타났다.

수직입사 흡음계수 측정결과 일반형 반사판의 흡음특성이 적층형 반사판보다 전체적으로 높은 것으로 나타났다. 또한 배후 공기층이 증가함에 따라 저주파 대역의 흡음률이 증가하였다. 음향반사판이 실제 설치되는 경우 배후 공기층이 매우 큰 경우이기 때문에 적층형 반사판의 경우 가장 높은 흡음계수 값을 갖는 주파수 대역이 매우 낮게 변화될 것이다. 그러나 일반형 반사판의 경우 전주파수 대역에서 고른 흡음특성을 갖으며 배후 공기층 변화에 따른 흡음특성변화가 적다. 이상의 결과를 통해 적층형 반사판이 실제 공간에서 사용될 경우 저주파 대역에서도 낮은 흡음특성을 갖으며 일반형 음향반사판의 경우는 상대적으로 저주파 대역에서 높은 흡음특성을 갖을 것으로 판단된다.

### 3. 잔향실법 흡음계수

음향 반사판의 밀도변화에 따른 수직입사 흡음특성 측정결과를 바탕으로 실제 공간에서의 특성을 조사하기 위하여 잔향실에서 난입사 흡음계수를 측정하였다. 잔향실법 흡음계수 측정은 총 3종의 음향 반사판을 대상으로 실시하였다. 수직입사 흡음특성 조사에 사용된 일반형 음향 반사판(면밀도 11 kg/m<sup>2</sup>)과 이보다 면밀도가 다소 높은(14 kg/m<sup>2</sup>)인 일반형 음향 반사판 그리고 적층형 반사판을 대상으로 하였다. Fig. 6은 잔향실법 흡음계수 측정에 상용된 반사판 3종의 단면 구성을 나타낸 것이다. 일반형 반사판은 멜라민판, 합판, 차음시트 및 허니콤으로 구성되었으며, 면밀도 변화를 위해 차음시트를 추가로 적용하였다. 적층형 반사판은 멜라민 판, 합판, MDF 적층 구조를 8겹 적층하여 구성하였다.

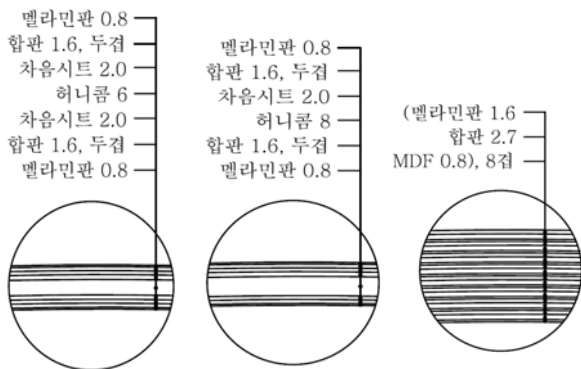


Fig. 6 Section detail of test specimens

잔향실법 흡음계수 측정은 KS F 2805:2004<sup>10</sup>를 적용하여 실시하였다. 잔향실법 흡음계수 측정에 사용된 음향 반사판의 크기는 수평투영 크기로 2.4 m × 1.12 m

3개, 0.6 m × 1.12 m 3개를 Fig. 7, 8과 같이 배치하여 3 m × 3.36 m의 시험체를 구성하였다. 단위 음향 반사판의 형상은 Fig. 9에서와 같이 아치형태를 갖도록 구성되었다. 각각의 음향반사판은 테두리에 알루미늄 재질의 틀로 마감되었다.

잔향실법 흡음계수 측정시 저주파 대역의 흡음특성을 보다 정확하게 측정하기 위하여 서브 우퍼(Velodyne)를 사용하였다. 일반적인 무지향성 스피커는 단위 유니트의 크기가 제한되어 80 Hz 이하 대역의 음향 에너지가 충분하지 못하다. 이를 보완하기 위하여 서브 우퍼를 사용하여 저주파 대역의 에너지를 충분히 재생하였다.



Fig. 7 Installation of acoustic reflector for the measurement of random incidence sound absorption



Fig. 8 Installation of laminated reflector for the measurement of random incidence sound absorption

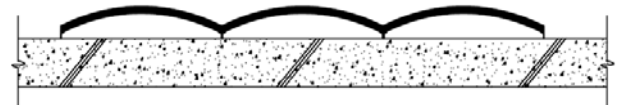


Fig. 9 Shape of acoustic and laminated reflectors

Fig. 10은 음향반사판 3종에 대한 잔향실법 흡음계수 측정결과를 나타낸 것이다. 잔향실법 흡음계수 측정결과 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz 흡음계수의 산술평균값인 NRC(Noise Reduction Coefficient)는 각각 0.07, 0.06, 0.06으로 유사한 것으로 나타났다. 그러나 500 Hz 이하 대역의 평균 흡음률은 11 kg/m<sup>2</sup>인 음향 반사판은 0.12, 면밀도 14 kg/m<sup>2</sup>의 음향 반사판은 0.10 그리고 적층형 반사판의 저주파 대역 평균 흡음률은 0.08로 나타났다. 특히 100 Hz 대역의 경우 반사판의 면밀도 변화에 따라 최대 0.1 이상의 흡음계수 변화가 발생하는 것으로 나타났다.

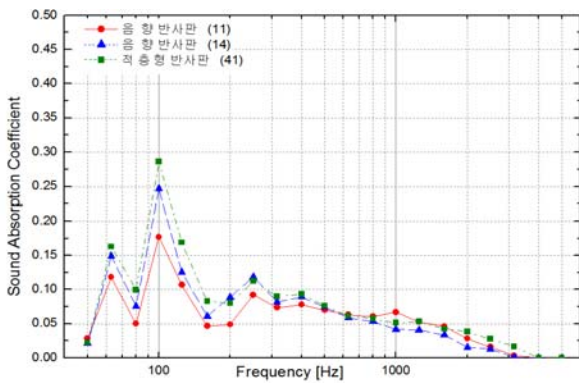


Fig. 10 Sound absorption characteristics of acoustic and laminated reflectors

잔향실법 흡음계수 측정결과에서도 수직입사 흡음계수 측정결과와 마찬가지로 음향 반사판의 면밀도가 증가함에 따라 저주파대역의 흡음계수가 감소되는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

최근 다목적 공연장 및 콘서트홀 음향에 대한 관심이 증가하고 있다. 콘서트 홀에서의 실내음향 특성 중 가장 중요한 요소는 무대음향이다. 무대음향이 좋은 공연장의 경우 연주자가 최고의 기량을 발휘할 수 있도록 할 수 있기 때문이다. 무대를 구성하는 많은 요소 가운데 무대를 둘러싸는 음향 반사판 또는 오케스트라 셸의 형태 및 재질이 전체적인 무대음향에 중요한 역할을 한다. 그러나 아직까지 무대를 구성하는 음향반사판에 대한 기준이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 무대 음향 반사판의 특성 중 면밀도 변화에 따른 흡음특성을 조사하였다. 이를 위해 면밀도가 다른 3종의 음향 반사판에 대하여 수직입사 흡음계수와 잔향실법 흡음계수를 각각 측정하여 비교하였다. 잔향실법 흡음계수 측정 시에는 저주파 대역의 충분한

음향에너지 재생을 위해 무지향성 스피커와 서브우퍼를 동시에 사용하였다.

음향반사판의 면밀도 변화에 따라 흡음계수가 변화되는 것으로 나타났다. 특히 500 Hz이하 대역에서는 면밀도가 증가함에 따라 흡음계수는 감소되는 것으로 나타났다. 그러나 500 Hz 이상의 대역에서는 면밀도 변화에 따른 흡음계수의 변화는 적은 것으로 나타났다.

향후 음향 반사판의 지지구조, 설치 방법 등의 변화에 따른 흡음특성 조사가 수행되어야 한다. 또한 공연 및 음악 장르별로 요구되는 음향반사판의 특성을 수립하여야 한다.

#### 참 고 문 헌

- (1) A. C. Gade, 1989, "Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part 1 : Method and laboratory experiments", *Aucstica*. Vol. 65, pp. 193~203.
- (2) A. C. Gade, 1989, "Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. Part 2 : Field experiments and synthesis of results", *Aucstica*. Vol. 69, pp. 249~262.
- (3) M. Barron, 1993, *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, E&FN SPON.
- (4) J. Y. Jeon, 2000, "Measurements of stage support on a 1/25 scale model of an orchestra platform", *The 140th Meeting*, Newport Beach, Vol.108, No.5, pp. 2647.
- (5) J. Y. Jeon, J. K. Ryu and B. C. You, 2003, "Using an 1:50 scale model for predicting acoustical characteristics of concert hall", *Transactions of the Architectural Institute of Korea*. Vol. 19, No. 1, pp. 217~224.
- (6) J. Y. Jeon, J. K. Ryu and Y. H. Kim, 2006, "Objective and subjective evaluations of a scattered sound filed using a scale model", *Transactions of the Architectural Institute of Korea*. Vol. 22, No. 10, pp. 271~278.
- (7) Y. H. Kim, S. Y. Kim and J. Y. Jeon, 2003, "The effects of stage reflectors on stage acoustics in concert halls", *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, pp. 87~91.
- (8) J. S. Bradley, 1996, "Some effects of orchestra shells", *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 100, No. 2, pp. 889~898.
- (9) KS F 2814-2:2002, *Acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2 : Transfer-function method*.
- (10) KS F 2805-2:2004, *Acoustics-Measurement of sound absorption in a reverberation room*.