

# 축소잔향실의 저주파수 확산음장 형성 방법에 대한 연구

## Study on method of build up low-frequency diffuse sound field in a scaled reverberation chamber

강준구† · 강현주\* · 김상렬\* · 최종수\*\*

Jun-Goo Kang, Hyun-Ju Kang, SangRyul Kim and jong-soo Choi

**Key Words** : Diffuse sound field(확산음장), Scaled reverberation chamber(축소잔향실)

### ABSTRACT

This study is dealt with a method to enhance low-frequency diffuse sound field in a scaled reverberation chamber. Because scaled reverberation chamber has not enough room volume, as a result, it shows a few room modes. So it is not build up low-frequency diffuse sound field. A Helmholtz resonator's arrangement is used to improve spatial uniformity of sound pressure at low frequency. The spatial distribution of sound field has been measured before and after control. The standard deviation of sound field has been decreased at 315 Hz 1/3 Octave band.

### 1. 서 론

작은 시편면적을 이용하여 차음성능을 계측함으로써 소요비용 및 시간을 절약하고자 축소잔향실이 개발되었다<sup>(1)</sup>. 하지만 축소잔향실의 작은 실용적(Room volume)으로 인하여 저주파수에서는 대잔향실 측정 결과와의 큰 차이가 발생한다. 이러한 원인은 저주파수 대역에서 적은 질 모드수로 확산음장이 형성되지 못하고 실내 음장에 명료한 정재파가 발생하기 때문이다<sup>(2)</sup>. 확산 음장의 정의는 “음장내 임의의 위치에 입사하는 음은 모든 방향으로 동일한 음의 강도(sound intensity)와 랜덤 위상을 갖는 음장<sup>(3)</sup>”이라고 표현되며, 단순한 척도로서 실내의 음압이 고르게 분포되어 있는 경우라고 말할 수 있다<sup>(3)</sup>. 한편 실내음장을 제어하는 방법으로 벽면에 흡음재를 두어 벽면 경계조건을 변경하는 방법이 주로 사용되어 왔다<sup>(4)(5)(6)</sup>. 또한 ISO 3741에서는 잔향실의 공간적인 음압분포 특성을 향상시키기 위한 방법의 하나로 잔향실의 흡음률을 이용하는 방법을 제안하고 있다<sup>(7)(8)</sup>. 저주파수에서 흡음률을 높이면 공진특성을 약하게 하여 음압의 공간적 분포를 고르게 해주는 효과가 있다<sup>(8)</sup>.

본 연구에서는 축소잔향실의 벽면 경계조건을 변경하여 실내음압이 골고루 분포하는 확산음장 형성에 그 목적이 있다. 이를 위해 흡음시스템을 실내 벽면에 배치하여 저주파수 공진특성정도를 실험적으로 고찰 하고자 한다. 흡음시스템으로는 PU-foam, 저주파수용 공명기 및 공명기 배열을 사용하고 음장내 음압분포 변화를 살펴보았다.

### 2. 실험장치 및 음장제어 방법

축소잔향실은 음원실과 수음실로 나누어져 있으며 음원실의 부피는 2.81 m<sup>3</sup>, 총면적은 11.91 m<sup>2</sup>이고 수음실은 부피 3.25 m<sup>3</sup>, 총면적은 13.09 m<sup>2</sup>으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 먼저 수음실(Receiving room)만을 대상으로 하였으며, Fig. 1과 같은 측정시스템을 이용하여 벽면에서부터 0.20 m 떨어진 3차원 공간(0.9×0.75×0.45)을 관심영역으로 설정하고 관심주파수영역(224 Hz ~ 560 Hz)을 고려하여 0.15 m 간격으로 168개 지점에서 내부 음장을 측정하였다. 소음원은 수음실 벽면으로부터 0.10 m 떨어진 곳에 백색잡음을 발생하였다.

† 충남대학교 항공우주공학과 대학원  
E-mail : jungoo@cnu.ac.kr  
Tel : (042-868-7466)

\* 한국기계연구원 음향/소음팀  
\*\* 충남대학교 항공우주공학과

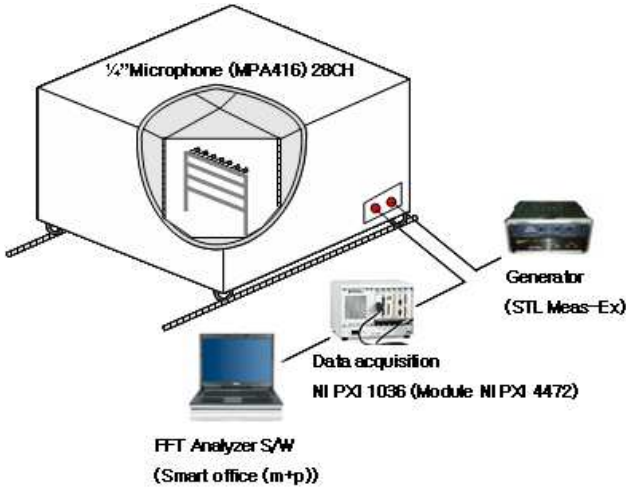


Fig. 1 Measurement system.

실내 음장 제어를 위해 벽면에 배치한 흡음재로 PU-foam(100mm), 약 280 Hz 공명주파수를 가지고 있는 헬름홀츠 공명기 그리고 315 Hz에서 500 Hz 1/3 옥타브 밴드내에 다수의 공명주파수를 가지고 있는 공명기 배열형 패널<sup>(9)</sup>을 사용하였다. Fig. 2은 이번 실험에 사용된 공명기 배열형 패널의 수직입사흡음률을 나타낸다.

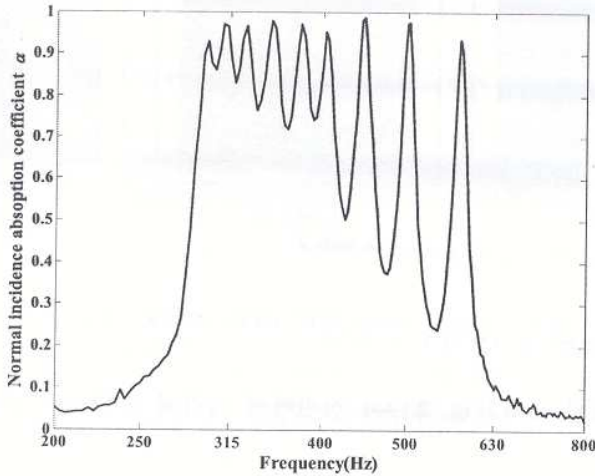


Fig. 2 Normal incidence absorption coefficient of Helmholtz Resonator Array panel<sup>(9)</sup>

실내 음장 제어에서 흡음재의 종류도 중요하지만 흡음재의 위치와 배치에 따라 제어 효과가 다르게 나타나게 된다<sup>(6)</sup>. 참고문헌에 따르면 여러 모드를 동시에 제어하는 관점에서 보았을 때는 공통적인 변경 위치가 존재하고 그 위치는 음압의 최대값이 위치하는 모서리나 구석임을 알 수 있다<sup>(6)</sup>. 이를 구석효과(corner effect)라고 정의하고 있다. 이

러한 관점에서 본 연구에서도 Fig. 3과 같이 흡음재를 축소 잔향실의 구석에 배치하여 그 영향을 살펴보았다.

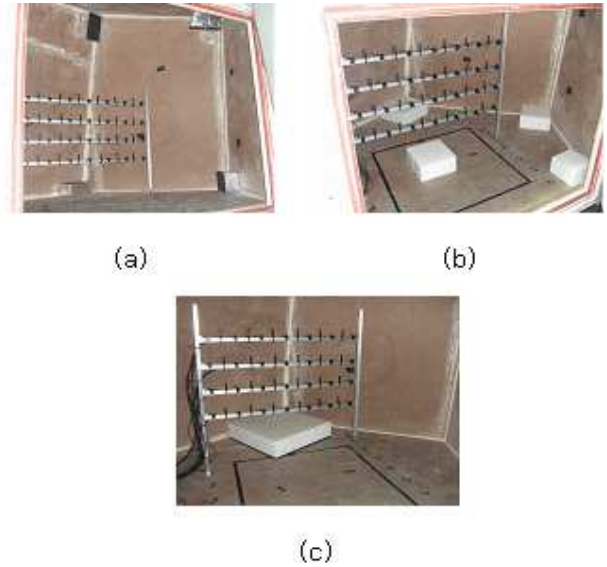


Fig. 3 Position of absorptive materials.  
(a) PU-foam 100mm (b) Resonator  
(c) Resonator array panel

### 3. 실험 결과

잔향실의 유효성을 판단하기 위해 ISO 3741 부속서 E에서 광대역 소음을 측정하는 경우 음장의 특성은 측정된 음압의 표준편차로 적합성을 판단하도록 권고하고 있다<sup>(7)</sup>. 표준편차의 계산식은 다음과 같다.

$$S_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_s} (L_{\pi} - L_{p_m})^2}{(N_s - 1)}}$$

여기서,

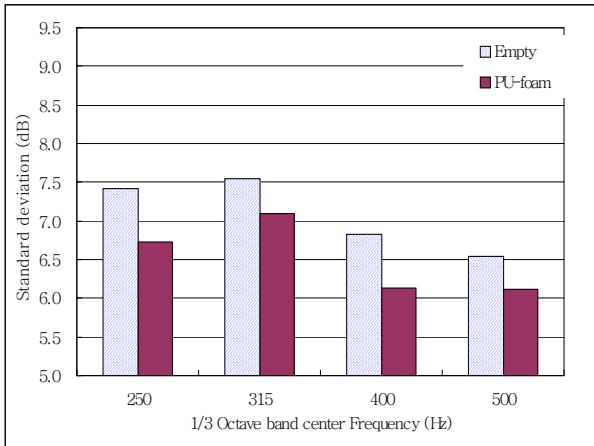
$S_s$  : 표준편차(dB)

$L_{p_i}$  : 측정지점에서의 음압레벨

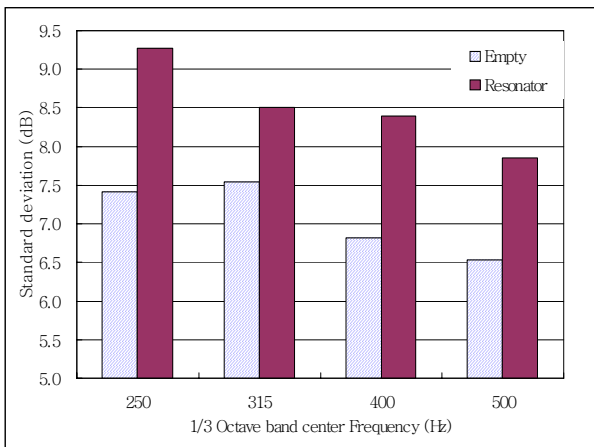
$L_{p_m}$  : 측정된 음원 혹은 마이크의 위치

$N_s$  : 측정 음원 혹은 마이크의 위치

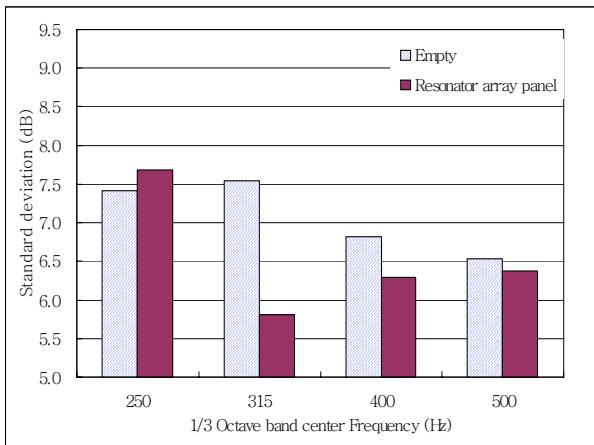
벽면에 배치한 흡음재의 종류에 따라 음압분포를 각 1/3 옥타브 밴드별로 비교해 보았다. Fig. 4는 흡음시스템 설치 전후의 168개 지점에서 측정된 데이터의 표준편차를 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz 1/3 옥타브 밴드에서 비교한 결과이다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Comparison between standard deviation of empty and (a) PU-foam (b) Resonator (c) Resonator array panel

PU-foam을 사용한 경우 빈방에서보다 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz 1/3 옥타브 밴드에서  $-0.7$  dB,  $-0.46$  dB,  $-0.69$  dB  $-0.42$  dB의 성능 향상이 이루어졌으나 하나의 공명주파수를 가지는 공명기를 사용한 경우  $+1.85$  dB,  $+0.96$  dB,  $+1.57$  dB,  $+1.31$  dB로 오히려 제어 전보다 음압의 표준편차가 더 커졌다. 반면 315 Hz ~ 500 Hz 1/3 옥타브 밴드에 공명주파수를 가지고 있는 공명기 배열형 패넬을 사용한 경우  $+0.27$  dB,  $-1.74$  dB,  $-0.54$  dB,  $-0.17$  dB로 315 Hz 1/3 옥타브 밴드에서 탁월한 성능향상을 보였다.

일반적으로 다공질의 흡음재는 중고주파수 영역에서 흡음능력이 높게 나타나기 때문에 저주파수 영역을 제어하기 어렵다. 또한 하나의 공명주파수를 가지는 공명기는 공명주파수에서만 흡음능력이 높게 나타난다. 따라서 넓은 저주파수 영역을 동시에 제어하기 어렵다. 축소간향실의 수음실에서 315 Hz 1/3 옥타브 밴드 전체를 제어하기 위해서는 Fig. 2에서 315 Hz 1/3 옥타브 밴드에서 수직입사흡음률이 광대역으로 높은 공명기 배열형 패넬을 사용해야 한다. 서로 다른 공명주파수를 가진 공명기의 사용으로 흡음능력을 넓은 주파수영역에서의 높게 유지 할 수 있으므로<sup>(9)</sup> 저주파수 광대역 소음제어를 통해 확산음장을 형성하는데 가장 효과적이라 할 수 있다.

#### 4. 요약 및 결론

본 논문에서는 축소간향실의 저주파수 성능 향상을 위하여 PU-foam, 공명기 및 공명기 배열을 이용하여 음압분포변화를 살펴보았다. 실험결과 다양한 공명주파수를 가지는 공명기 배열형 패넬이 가장 큰 효과가 있음을 확인하였다. 이는 공명기 배열형 패넬이 해당주파수(315 Hz 1/3 옥타브 밴드)에서 가장 높은 흡음률을 가지기 때문이다. 따라서 저주파수에서 더 많은 공명주파수를 가지는 공명기 배열형 패넬을 사용할 경우 더 향상된 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 향후에는 공명주파수 분포와 공명기 배열에 따른 음장변화 및 수음실/음원실 음장분포 향상에 따른 차음성능 향상에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 후 기

본 논문은 산업자원부의 신기술실용화 기술개발사업으로 지원되어 수행하였습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) 강현주, 김봉기, 김재승, 2005, “간이 잔향실의 음향 성능”, 2005년도 추계학술대회논문집(수송기계편) 한국소음진동공학회, 101~104
- (2) 강현주, 김봉기, 오영근, 2006, “축소잔향실의 저주파수 차음성능평가에 관한 고찰,” 2006년도 춘계학술대회논문집 한국소음진동학회
- (3) T. J. Schultz, 1971, "Diffusion in reverberation rooms," J. Sound Vib. 16, 17~28
- (4) T.C. Yang, C. H. Tseng, and S. F. Ling, 1995 "A boundary-element-bases optimization technique for design of enclosure acoustical treatments," J. Acoust. Soc. Am. 98, 302~312
- (5) 박주배, 2003 "정숙 공간 형성을 위한 흡음재 배치 방법론," 한국과학기술원 박사학위 논문
- (6) 조성호, 2005 "전역 및 광대역 실내 소음 제어를 위한 흡음재 배치 방법론," 한국과학기술원 박사학위 논문
- (7) ISO 3741:1999, Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for reverberation rooms.
- (8) 김영기, 오시환, 문상무, 임종민, 김홍배, 2004, "능동 소음제어를 이용한 잔향실의 저주파 특성 개선 가능성," 2004년도 추계학술대회논문집 한국소음진동공학회. pp. 791~796
- (9) 김상렬, 2006, "저주파수 흡음을 위한 헬름홀쯔 공명기 배열형 패널의 설계 방법론," 한국과학기술원 박사학위논문