

# 다공판 시스템의 접선입사 흡음성능에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Grazing Incidence Sound Absorption of a Perforated Panel System

제현수\* · 양수영\* · 홍병국\*\* · 송화영\*\* · 이동훈\*\*\*

Hyun-Su Je, Soo-Young Yang, Byung-kuk Hong, Hwa-Young Song and Dong-Hoon Lee

**Key Words** : Absorption Coefficient(흡음계수), Grazing Incidence(접선입사), Normal Incidence(수직입사), Perforated Panel System(다공판 시스템), Transmission loss(투과손실)

### ABSTRACT

This paper introduces an experimental study on the grazing incidence sound absorptions for duct silencers filled with a glass wool and consisted of a perforated panel. The experimental results are discussed in comparison with the normal incidence sound absorption. And also the transmission loss for duct silencers are measured and compared with the sound absorption performances. From the experimental results, it is shown that the resonance frequency bandwidth on the transmission loss and sound absorption coefficient for duct silencers has a good agreement.

### 1. 서 론

최근 생활수준의 향상과 함께 환경에 대한 인식이 확산되면서 도시민들에게 소음문제가 급격히 대두되고 있다. 이들 소음문제를 해결하기 위하여 흡음재인 유리섬유와 폴리우레탄 폼을 대표적으로 사용하지만 내구성, 내습성, 풍화에 의한 비산으로 대기오염 유발 및 화재에 취약하기 때문에 사용을 점차 제한하고 있는 실정이다. 이와 같은 기존 흡음재의 문제점을 해결하기 위한 새로운 대안으로 얇은 판에 작은 구멍을 뚫어 만든 판과 공동(cavity)을 조합한 다공판 시스템이 공학적 과제로 대두되고 있으며, 지금까지 발표된 연구 내용들을 살펴보면 다공판의 제원 변화, 판의 배치 방법, 공간길이 변화, 유동 효과 등에 대한 연구가 다수 수행 되어 왔다.<sup>(1-5)</sup>

그러나 지금까지 발표된 다공판 시스템의 흡음성능에 관한 연구들은 두 개의 음향센서가 부착된 임피던스관내에서 수직입사 흡음성능만 구하여 왔다. 하지만 실제 산업현장에 다공판 시스템이 적용되어질 경우 수직입사 흡음성능으로만 판단하기에는 문제가 될 수 있다. 한 예로 산업현장에

적용되어지는 환기시스템의 덕트 지름이 200mm라면, 평면파 차단주파수  $f_c$ 는 약 1kHz가 되기 때문에 이 주파수 이하에서만 평면파가 전파되고, 그 이상에서는 고차모드가 발생하게 된다. 또한, 공장 설비 시스템의 주 소음원인 흡배기용 팬에서 발생하는 소음은 대부분 1kHz 이하의 저주파수대역에서 발생하는 것을 감안한다면, 덕트계에 설치되어 있는 덕트 소음기 내를 전파하는 음파는 덕트면과 평행한 접선방향으로 입사하게 된다. 그러므로 저주파수 소음을 저감시키기 위한 덕트 소음기를 설계하기 위해서는 수직입사 흡음성능 보다는 접선입사 흡음성능에 대한 평가가 필요한 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 다공판 및 흡음재를 적용한 덕트 소음기에 대한 접선입사 흡음성능을 구하여, 수직입사 흡음성능과 비교하였다. 덕트 소음기 내부에 장착된 흡음재는 밀도 20K(kg/m<sup>3</sup>)인 유리섬유이며, 다공판은 단일 다공판을 비롯한 2개 이상인 다중 다공판으로 구성하였다. 그리고 Chung과 Blaser의 전달함수법<sup>(6)</sup>을 이용하여 덕트 소음기에 대한 투과손실도 측정하였다.

### 2. 실험

Fig. 1은 수직 및 접선입사 흡음성능을 구하기 위한 임피던스관과 측정기기에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 임피던스관의 단면은 60mm x 60mm이며, 두께는 10mm인 아크

\* 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과  
E-mail : suya309@orgio.net  
Tel: (02)970-6331, Fax: (02)979-7331

\*\* 서울산업대학교 에너지환경대학원

\*\*\* 서울산업대학교 기계공학과/에너지환경대학원

릴판으로 제작하였다. 수직입사 흡음성능을 구하기 위한 임피던스관의 길이는 1300mm이며, 접선입사 흡음성능을 구하기 위한 임피던스관의 상류단과 하류단의 길이는 1000mm이다. 관의 입구측에는 스피커가 부착되어 있으며, 임피던스관 내부에는 시험대상체인 다공판 시스템이 설치되어 있다. 또한 다공판 뒤에는 음의 누출이 없도록 O링이 부착된 강체피스톤으로 밀봉하였다. 측정주파수의 상한범위는 3200Hz로 하였으나, 본 연구에 쓰인 사각형 임피던스관의 등가지름이 67.7mm이므로 고차모드에 의한 차단주파수를 감안하면, 평면파 음장조건을 유지하는 주파수의 상한범위는 2900Hz가 된다.

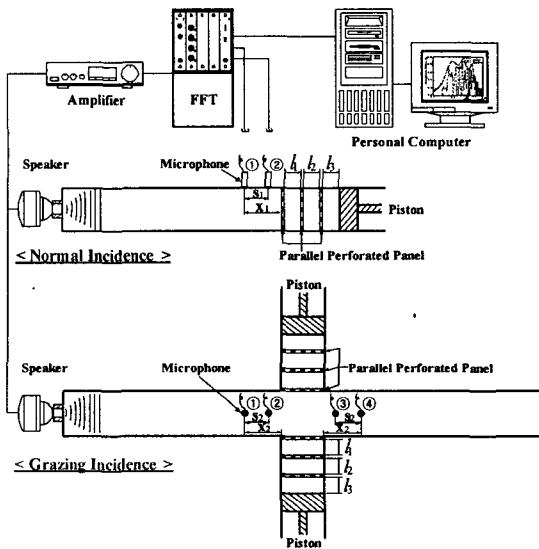


Fig. 1 Experimental setup for measuring absorption coefficient of a perforated panel system with normal incidence and grazing incidence, respectively.

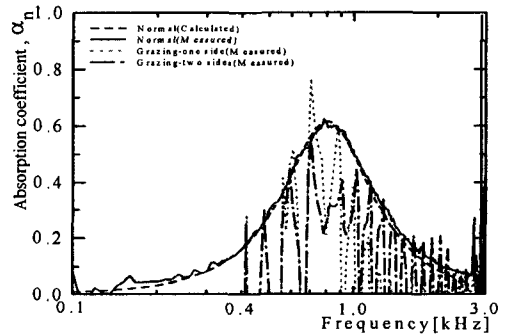
수직입사 흡음계수를 구하기 위한 마이크로폰의 위치는  $X_1=100\text{mm}$ 와  $S_1=40\text{mm}$ 이며, 접선입사 흡음계수를 구하기 위한 마이크로폰의 위치는  $X_2=40\text{mm}$ 와  $S_2=20\text{mm}$ 이다. 마이크로폰은 B&K Type 4938 1/4인치 압력형 마이크로폰을 사용하였다.

실험에 쓰인 다공판의 재질은 아연도강판이며, 판두께  $t=1\text{mm}$ 이고 구멍지름  $f=2\text{mm}$ 인 다공판을 공극율  $\sigma=1.4\%$ ,  $\sigma=3.14\%$  그리고  $\sigma=5.59\%$ 가 되도록 제작하였다.

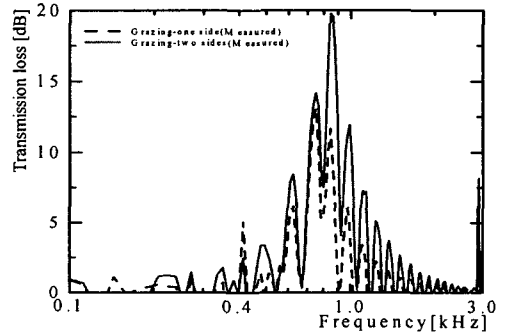
### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 공극율  $\sigma=3.14\%$ , 공동깊이  $f=50\text{mm}$ 를 갖는 단

일 다공판 시스템의 수직 및 접선입사 흡음계수와 투과손실에 대한 결과를 도시한 것이다. 제시된 결과에서 그림 (a)는 수직입사와 접선입사 흡음계수를 비교한 것이며, 접선입사 흡음계수는 저주파수대역을 제외하면 수직입사 흡음계수와 전반적으로 비슷한 패턴을 가지지만, 흡음성능은 낮음을 알 수 있다. 여기서, 접선입사 흡음계수값이 -값을 가지는 이유는 임피던스관의 하류단으로부터 전파하는 반사파의 영향이 포함되었기 때문이며, 저주파수대역에서 흡음계수 값이 잘 나타나지 않는 이유는 마이크로폰의 위치와 관련된 문제인 것으로 사료된다. 또, 접선입사 흡음성능은 다공판을 사각 덕트 소음기의 한면에만 설치하였을 경우 보다는 양면 모두 설치하였을 경우의 흡음성능 폭이 증가하며, 그 흡음성능은 수직입사 흡음성능과 유사함을 확인할 수 있다. 또한, 수직입사 흡음계수는 계산결과와 측정결과가 상호 잘 일치하는 것을 알 수 있다.



(a) Sound absorption coefficient



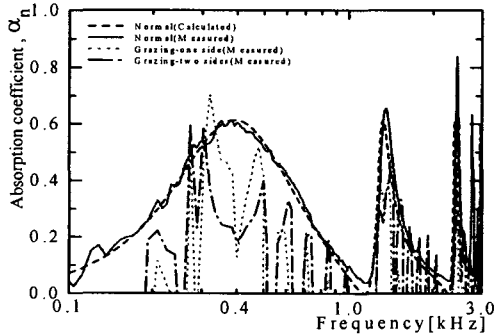
(b) Sound transmission loss

Fig. 2 Comparisons between the absorption coefficients and transmission losses of a single perforated panel system. ( $\sigma=3.14\%$ ,  $f=50\text{mm}$ )

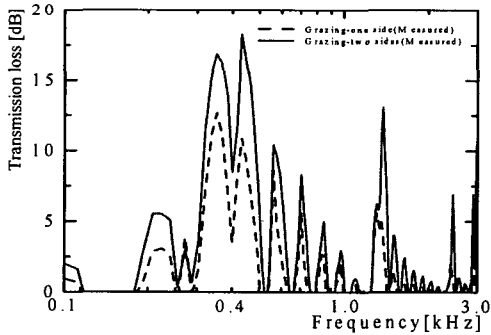
그림 (b)는 투과손실에 대한 결과로서 그림 (a)의 결과에서 나타나는 흡음계수의 공명주파수대역이 잘 일치하며, 특정 주파수대역뿐만 아니라 전 주파수대역에서도 잘 일치함

을 알 수 있다.

Fig. 3은 공극률  $\sigma=3.14\%$ , 공동깊이  $l=150\text{mm}$ 를 갖는 단일 다공판 시스템의 수직 및 접선입사 흡음계수와 투과손실에 대한 결과이다. 그림 (a)와 그림 (b)의 결과를 보면 Fig. 2의 결과에서 고찰한 것과 같이 접선입사 흡음계수는 수직입사 흡음계수와 비슷한 패턴을 가지며, 흡음성능은 낮아짐을 알 수 있다. 뿐만아니라 흡음계수와 투과손실의 공명주파수영역이 비교적 잘 일치 하는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 공동깊이가 증가함으로써 기본모드뿐만 아니라 다수의 고차모드가 발생하며, 흡음계수의 피크값에 해당하는 모든 주파수가 낮은 주파수대역으로 이동하는 것을 알 수 있다. 또한, 수직입사 흡음계수의 계산결과와 측정결과를 잘 일치하는 것을 알 수 있다.



(a) Sound absorption coefficient

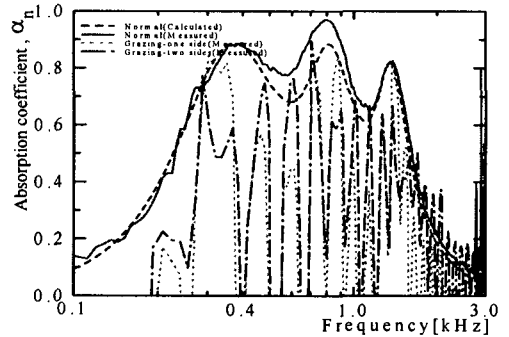


(b) Sound transmission loss

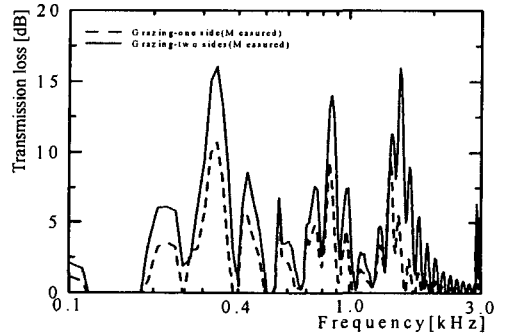
Fig. 3 Comparisons between the absorption coefficients and transmission losses of a single perforated panel system. ( $\sigma=3.14\%$ ,  $l=150\text{mm}$ )

Fig. 4는 세 개의 다공판을 공극율이 큰 것부터 작은 순으로 각각 배치하였을 때의 흡음계수와 투과손실에 대한 결과이다. 다공판의 제원과 설치조건은  $f=1\text{mm}$ ,  $d=2\text{mm}$ 이며, 공동깊이는 모두  $50\text{mm}$ 이다. 제시된 그림 (a)와 그림 (b)의 결과를 보면 단일 다공판을 설치하였을 때 보다 세

개의 다공판을 설치하였을 경우가 수직입사나 접선입사 모두 더 넓은 주파수대역까지 확장되는 것을 알 수 있다. Fig. 2와 Fig. 3의 결과에서 고찰한 것과 같이 접선입사 흡음계수는 수직입사 흡음계수와 비슷한 패턴을 가지며, 수직입사에 비하여 흡음성능이 낮음을 알 수 있다. 또한 흡음계수와 투과손실의 공명주파수대역이 제시된 결과에서 보듯이 비교적 잘 일치 하는 것을 확인 할 수 있다.



(a) Sound absorption coefficient



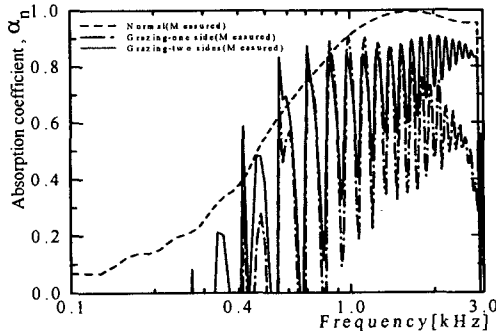
(b) Sound transmission loss

Fig. 4 Comparisons between the absorption coefficients and transmission losses of a triple perforated panel system. ( $\sigma_1=5.59\%$ ,  $\sigma_2=3.14\%$ ,  $\sigma_3=1.4\%$ ,  $l_1=50\text{mm}$ ,  $l_2=50\text{mm}$ ,  $l_3=50\text{mm}$ )

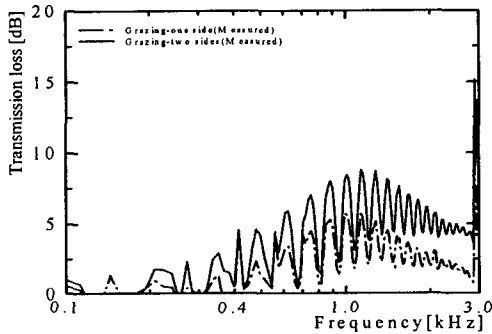
Fig. 5는 두께  $50\text{mm}$ 인 유리섬유의 흡음계수와 투과손실의 측정 결과이다. 그림 (a)의 결과를 보면 다공판 시스템의 결과에서 고찰한 것과 같이 접선입사 흡음계수는 수직입사 흡음계수와 비슷한 패턴을 가지지만, 흡음성능은 낮아짐을 알 수 있다. 또한, 접선입사 흡음성능은 유리섬유를 사각 덕트 소음기의 한면에만 설치하였을 경우 보다는 양면 모두 설치하였을 경우의 흡음성능 폭이 증가하며, 수직입사 흡음성능에 더 가까워짐을 알 수 있다. 그림 (b)는 투과손실을 측정된 결과이며, 다공판 시스템의 측정결과와 마찬가지로 공명주파수대역은 흡음계수 결과와 비교적 잘 일

치하는 것을 알 수 있다.

그 흡음성능은 수직입사의 경우와 유사하였다.



(a) Sound absorption coefficient



(b) Sound transmission loss

Fig. 5 Comparisons between the absorption coefficients and transmission losses for a duct silencer filled with a glass wool.

#### 4. 결론

본 연구에서는 다공판 및 흡음재를 적용한 덕트 소음기에 대한 점선입사 흡음성능을 구하여, 수직입사 흡음성능과 비교하였다. 또한, 덕트 소음기에 대한 투과손실을 구하여 흡음성능 결과와 비교 하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 흡음재 또는 다공판이 설치된 공명형 덕트 소음기는 음파가 점선으로 입사되더라도 소음기 공동부에서의 반사로 인한 공명효과 때문에 음파가 흡음되는 것을 확인하였다. 다만, 흡음성능은 수직으로 입사되는 경우보다 낮았다.

(2) 점선입사 흡음성능은 다공판이나 흡음재를 사각 덕트의 한면에 설치하였을 경우보다는 양면 모두 설치하였을 경우가 흡음성능과 흡음대역폭이 증가함을 알았다. 또한,

(3) 다공판 및 흡음재가 설치된 덕트 소음기에 대한 투과손실과 흡음계수의 공명주파수대역은 비교적 잘 일치하였다.

#### 참고 문헌

- (1) Maa, D. Y., 1998, "Potential of Microperforated Panel Absorber", J. Acoust. Soc. Am, 104(5), pp.2861~2866.
- (2) Kang, J. and Fuchs, H. V., 1999, "Predicting the Absorption of Open Weave Textiles and Micro-perforated Membranes Backed by an Air Space", Journal of Sound and Vibration, 220(5), pp.905~920.
- (3) 이동훈, 허성춘, 권영필, 2002, "전달행렬법을 이용한 다중 다공판 시스템의 흡음성능 예측", 한국소음진동공학회 논문집 제 12권 제 9호, pp.709~716.
- (4) 허성춘, 이동훈, 권영필, 2002, "다중 다공판 시스템의 흡음성능 예측을 위한 계산모델 개발", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp.877~882.
- (5) 허성욱, 제현수, 양수영, 이동훈 2003, "다공판 시스템의 흡음성능에 유동이 미치는 영향", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집.
- (6) Chung, J. Y. and Blaser, D. A., 1980, "Transfer Function Method of Measuring In-Duct Acoustic Properties. II. Experiment", J. Acoust. Soc. Am, 68(3), pp.914~921.