

다공판 시스템의 흡음성능에 관통유동이 미치는 효과

Effect of the through-flow on the absorption performance of a perforated plate system

허성욱* · 이동훈**
Sung-Wook Heo, Dong-hoon Lee

Key Words : Absorption coefficient(흡음계수), Acoustic impedance(음향임피던스), Perforated plate(다공판), Porosity(공극율), Resonator(공명기), Through-flow(관통유동)

ABSTRACT

This paper is to experimentally investigate the effect of the through-flow on the absorption performance of a perforated plate system. The experiment is performed through the systematic change of the through-flow velocity, incident sound pressure level, and the geometrical parameters such as the porosity and hole diameter. From the experimental results, it is found that for the nonlinear relationship between the acoustic resistance and incident sound pressure level there is no influence of the through-flow on the absorption performance, but for the linear relationship between them there is a strong dependence of the absorption performance on the through-flow velocity. It is also shown that the absorption performance is controllable by changing the porosity and hole-diameter in size.

1. 서론

최근 들어 환경과 안전문제로 인하여 전통적으로 쓰여오던 흡음재의 패턴이 크게 바뀌고 있다.⁽¹⁾ 즉 종래의 대표적 흡음재인 유리섬유는 탁월한 흡음성능을 보유하고 있음에도 불구하고, 인체에 유해한 문제점 때문에 법적으로 사용규제를 받고 있으며, 또한 유리섬유와 대등한 흡음성능을 갖는 폴리우레탄 폼 역시 화재의 위험성 때문에 적용범위의 제한을 받고 있다. 따라서 최근의 흡음재는 단순히 흡음성능 뿐만 아니라 적용분야에 따라 난연성, 비산억제성 및 내구성과 같은 다양한 요건을 필요로 하고 있다. 이와 같은 요구조건에 부합하는 흡음재의 대안으로 다공판 시스템이 관심의 대상이 되어 왔으며, 그 동안 다공판 제원 변화나 판의 배치방법을 통한 흡음성능 향상에 대한 연구가 다수 수행되어 왔다.⁽²⁻⁴⁾

한편 다공판 시스템의 흡음성능을 향상시키기 위한 또 다른 방법으로는 Hughes 와 Dowling⁽⁵⁾ 그리고 Jing 과 Sun⁽⁶⁾이 연구한 두방향 유동

(bias flow)을 들 수 있다. 이들은 다공판 구멍을 통과하는 관통유동과 구멍의 접선방향으로 흐르는 접선유동을 동시에 작용시켜 구멍의 음향레지스턴스를 증가시키므로써 흡음성능을 향상시켰다. 그러나 이들 연구만으로는 접선유동 또는 관통유동 중에서 어떤 방향의 유동이 음향레지스턴스 증가에 더 큰 기여를 하는지를 보고하지는 않았다.

따라서 본 연구에서는 두방향 유동중에서 우선 관통유동만을 대상으로 하여, 관통유동이 음향레지스턴스 증가에 어느 정도 기여하는지를 파악하고자 한다. 또한 관통유동 효과의 포괄적 이해를 위하여 입사음의 음압레벨과 유동속도뿐만 아니라 공극율과 구멍지름 등을 변화시키면서 흡음계수를 측정하여 비교하였다.

2. 실험

Fig. 1 은 다공판이 설치된 임피던스관과 측정기기의 구성도를 나타낸 것이다. 임피던스관은 두께 10mm 인 아크릴판으로 단면이 60mmx60mm 이고, 길이 1300mm 가 되도록 제작하였다. 판의 입구측에는 스피커가 부착되어 있으며, 유동이 유입될 수 있도록 구멍이 뚫려있다. 음향신호는 신호발생기에서 발생되어 증폭기를 거친 후, 스피커를 통해 임피던스관으로 공급된다. 주파수분석기

* 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과
E-mail : ldh@snut.ac.kr
Tel : (02) 970-6331, Fax : (02) 949-1458

** 서울산업대학교 기계공학과

의 분석범위는 3200Hz 그리고 해상도는 8Hz 로 하였다. 출구측에는 다공판이 부착되어 있으며, 다공판 전방에는 전달함수를 구하기 위한 두개의 1/4 인치 압력형 마이크로폰이 설치되어 있다. 또 다공판 후방에는 다공판을 가로지르는 관통유동을 얻기 위한 송풍기와 유량측정용 유량계가 설치되어 있다. 관내로 공급되는 유동의 평균유속은 0~23.1cm/s 이고, 유동방향은 음의 입사방향과 같다. 다공판은 공극율 3.14%인 조건에서 구멍지름 1mm, 2mm 및 3mm 그리고 구멍지름 2mm 인 조건에서 공극율 5.59%와 7.07%인 판을 사용하였다. 실험에 이용한 모든 다공판의 두께는 1mm 이며, 공동깊이는 60mm 로 하였다.

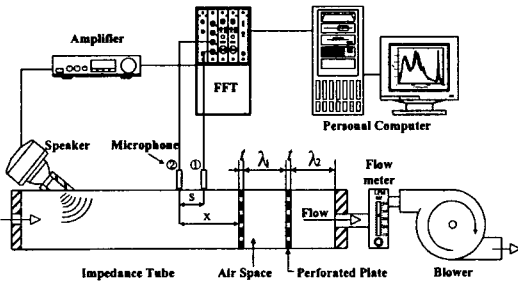
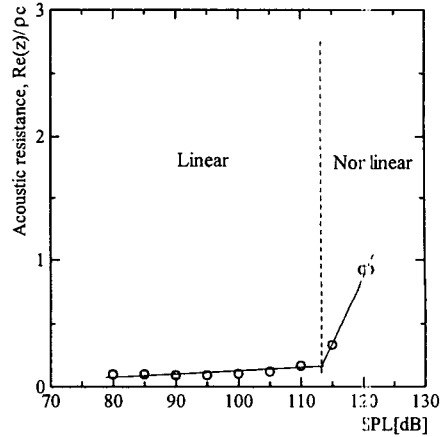


Fig. 1 Experimental setup for measuring absorption coefficient of a perforated plate system with through-flow.

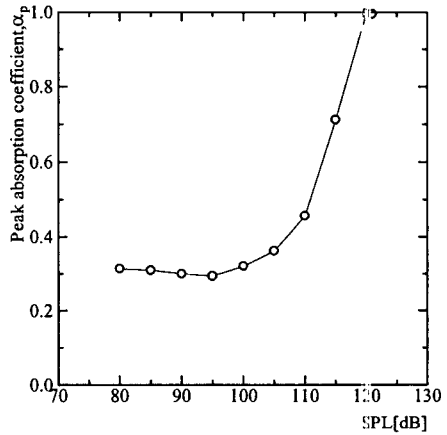
3. 결과 및 고찰

Fig. 2 는 입사음의 음압레벨을 증가시키면서 측정된 다공판 시스템의 음향레지스탕스와 흡음계수의 피크값을 도시한 것이다. 다공판의 제원은 공극율 $\sigma=5.59\%$, 구멍지름 $d=2\text{mm}$ 이다.

먼저 그림 (a)는 입사음의 총음압레벨과 음향레지스탕스와의 관계를 도시한 것으로서 종축에는 다공판 시스템의 음향레지스탕스 $Re(z)$ 를 공기의 특성임피던스 ρc 로 표준화하여 나타내었다. 결과에서 보듯이 112dB 를 경계로 하여 음향레지스탕스값이 선형영역과 비선형영역으로 구분되는 것을 볼 수 있다. 이러한 선형과 비선형의 경계는 공극율 및 구멍지름과도 밀접한 관련이 있음을 실험결과로부터 확인하였다. 또한 그림 (b)는 흡음계수에 대한 결과로서 낮은 음압레벨에서는 피크값의 크기가 작지만, 음압레벨이 커질수록 흡음계수의 피크치가 음압에 의존하여 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 흡음계수의 피크값이 음압에 크게 의존하는 것은 그림 (a)의 음향레지



(a) Acoustic resistance



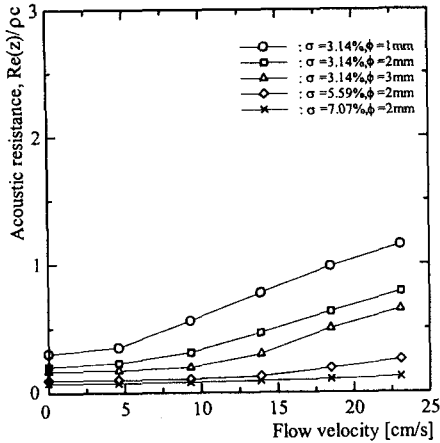
(b) Peak absorption coefficient

Fig. 2 Measured acoustic resistance and peak absorption coefficient for various incident sound pressure levels

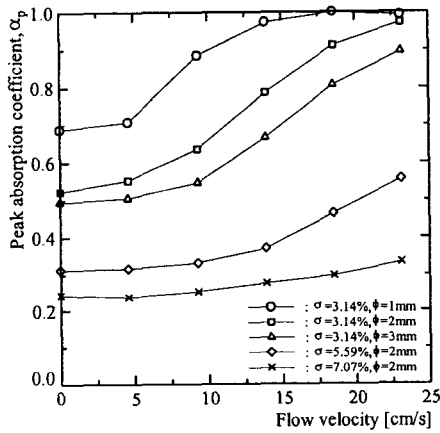
스탕스 결과에서도 확인할 수 있듯이 구멍에서 강한 비선형 현상이 야기되기 때문이다.

Fig. 3 은 선형범위의 낮은 입사음압레벨 조건에서 유동속도를 증가시키면서 측정된 음향레지스탕스와 흡음계수의 피크값을 도시한 것이다. 다공판의 제원은 그림에 표시되었으며, 횡축의 유동속도는 관내의 평균속도를 의미한다. 그림 (a)의 결과에서 공극율이 작은 경우는 유동속도의 증가에 따라 음향레지스탕스도 증가하지만, 공극율이 5.59% 또는 7.07%와 같이 크게 되면 유동속도가 증가하더라도 음향레지스탕스에는 큰 변화가 없음을 볼 수 있다. 또 공극율 3.14%의 경우를 보면 같은 유동조건일지라도 구멍지름이 작은 경우가 큰 경우보다 더 큰 음향레지스탕스값을 갖는 것을 알 수 있다.

이와 같이 선형입사음 조건이라도 구멍을 통과



(a) Acoustic resistance

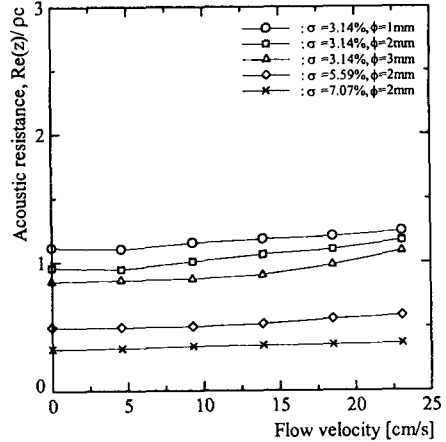


(b) Peak absorption coefficient

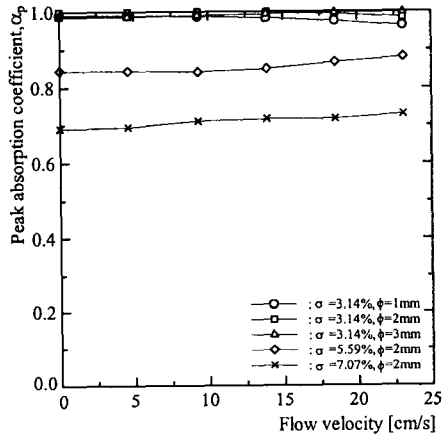
Fig. 3 Effect of the through-flow on the acoustic resistance and absorption coefficient under the low sound pressure level

하는 관통유동이 존재하게 되면 강한 비선형현상의 발생으로 음향레지스탕스가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 게다가 관통유동에 의한 비선형현상은 공극율이나 구멍지름이 작을수록 더 낮은 유속에서 발생할 수 있음을 제시된 결과에서 확인할 수 있다. 또한 이러한 관통유동의 영향으로 야기된 비선형 현상에 의한 흡음계수의 증가는 흡음계수의 피크값과 유속과의 관계를 나타낸 그림 (b)에서 분명히 확인할 수 있다. 도시된 결과에서 공극율 3.14%, 구멍지름 1mm 인 다공판이 관통유동에 의한 비선형 현상으로 인하여 가장 탁월한 흡음성능을 갖게 됨을 볼 수 있다.

Fig. 4 는 비선형 범위의 높은 입사음압레벨 조건에서 유동속도를 증가시키면서 측정한 음향레지스탕스와 흡음계수의 피크값을 도시한 것이다. 다



(a) Acoustic resistance

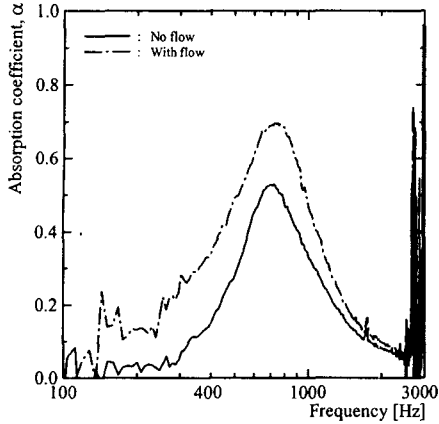


(b) Peak absorption coefficient

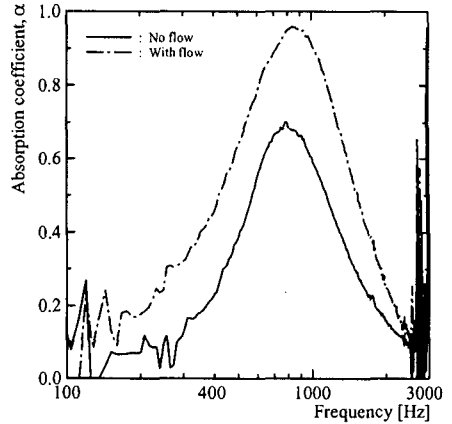
Fig. 4 Effect of the through-flow on the acoustic resistance and absorption coefficient under the high sound pressure level

공판의 제원과 유속은 Fig. 3 의 조건과 같다. 결과에서 보듯이 높은 음압레벨 조건에서는 유동속도를 증가시키더라도 Fig. 3 처럼 음향레지스탕스가 증가하는 경향은 찾아 볼 수 없다. 다만, 공극율과 구멍지름이 작은 다공판에 한하여 높은 유속의 유동이 통과할 때 음향레지스탕스값이 조금 증가하는 것을 볼 수 있다. 이상의 결과를 종합해보면 선형범위의 낮은 입사음압 조건하에서는 관통유동에 의해 흡음성능이 향상되지만, 비선형범위의 높은 입사음압 조건하에서는 관통유동에 의한 효과는 거의 없다는 것을 알았다.

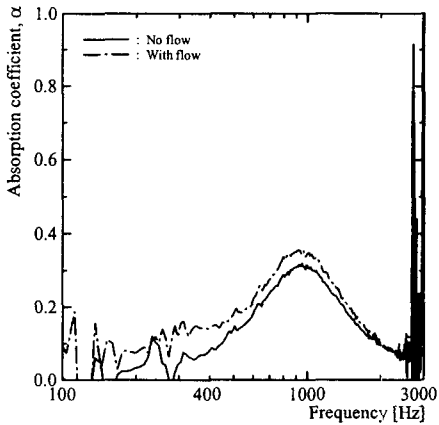
Fig. 5 는 선형범위의 낮은 입사음압을 공급하면서 유동이 있을 때와 없을 때의 흡음계수를 각각의 공극율 조건에서 구하여 비교도시한 것이다.



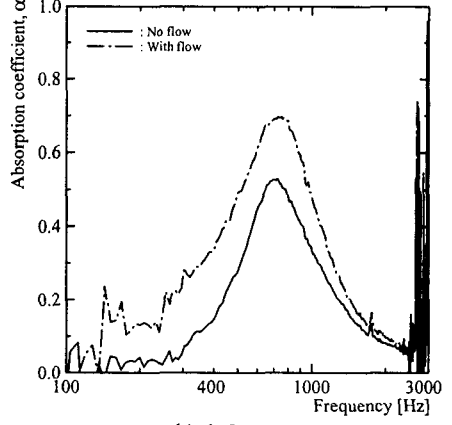
a) $\sigma = 3.14\%$



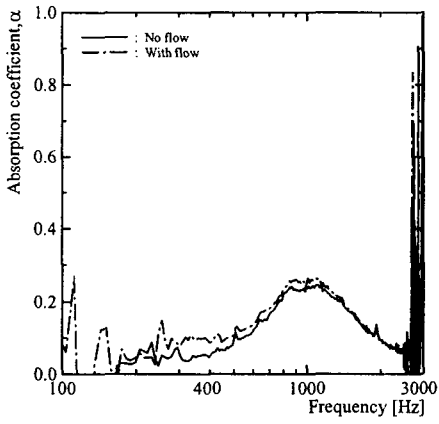
a) $d = 1\text{mm}$



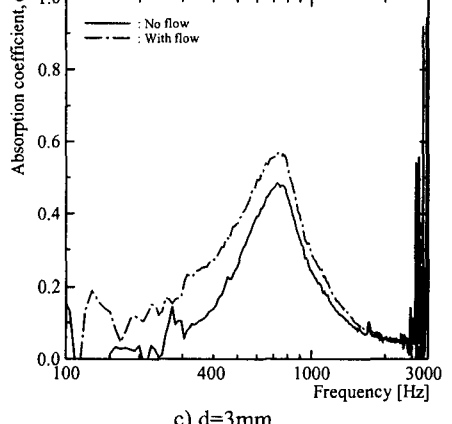
b) $\sigma = 5.59\%$



b) $d = 2\text{mm}$



c) $\sigma = 7.07\%$



c) $d = 3\text{mm}$

Fig. 5 Effect of the through-flow on the absorption coefficient of perforated plate systems with different porosity.

참고로 관내로 공급되는 유동의 평균유속은 10.3 cm/s 이며, 다공판의 구멍지름은 모두 2mm 이다. 제시된 세가지 결과를 비교해 보면 공극율

Fig. 6 Effect of the through-flow on the absorption coefficient of perforated plate systems with different hole-diameter.

이 작을수록 관통유동에 의한 흡음계수의 증가폭이 크게 되는 것을 알 수 있다. 특히 공극율 7.07% 정도가 되면 관통유동에 의한 흡음계수의

증가는 거의 없는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 5와 같은 조건에서 구멍지름이 다른 다공판의 흡음계수를 구하여 비교도시한 것이다. 관내로 공급되는 평균유속은 10.3 cm/s 이며, 다공판의 공극율은 3.14%이다. 제시된 세가지 결과를 비교해 보면 구멍지름이 작을수록 관통유동에 의한 흡음계수의 증가폭이 크게 되며, 구멍지름이 클수록 흡음계수의 증가폭은 적다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 유동속도에 따른 흡음계수를 구한 것으로서 그림 (a)는 높은 입사음압레벨 조건에서 그리고 그림 (b)는 낮은 입사음압레벨 조건에서 구한 결과이다. 높은 음압레벨 조건인 그림 (a)의 결과에서는 유동속도가 증가한 만큼의 흡음계수의 증가는 볼 수 없으나, 낮은 음압레벨 조건의 결과인 그림 (b)에서는 유동속도가 증가함에 따라 전 주파수대역에서 흡음계수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 더구나 유동속도가 커질수록 흡음계수의 성

능곡선이 높은 주파수측으로 다소 이동하는 대류효과도 관찰할 수 있다.

4. 결론

비선형 범위의 높은 입사음압 조건에서는 관통유동으로 인하여 흡음성능이 향상되지는 않았으나, 선형범위의 낮은 입사음압 조건에서는 다공판에 관통유동을 작용시키면 음향레지스탕스가 증가되어 흡음성능이 크게 향상되는 것을 알았다. 이러한 음향레지스탕스는 공극율이나 구멍지름이 작을수록 그리고 유동속도가 커질수록 더 효과적으로 증가되었다. 또 유동속도 증가에 따른 대류효과도 흡음계수 곡선에서 확인할 수 있었다.

참고문헌

- (1) 이 승, 박상준, 이동훈, 배재근, 김민배, 2001, "금속와이어 흡음재의 음향특성", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp.1341-1346.
- (2) 이동훈, 허성춘, 권영필, 2002, "전달행렬법을 이용한 다중 다공판 시스템의 흡음성능 예측", 한국소음진동공학회 논문집, 제 12 권, 제 9 호, pp.709~716
- (3) Maa, D.Y., 1998, "Potential of Microperforated Panel Absorber", J. Acoust. Soc. Am., 104(5), pp.2861~2866.
- (4) Kang, J. and Fuchs, H.V., 1999, "Predicting the Absorption of Open Weave Textiles and Microperforated Membranes Backed by an Air Space", Journal of Sound and Vibration, 220(5), pp.905~920.
- (5) Lee, F.C. and Chen, W.H., 2001, "Acoustic Transmission Analysis of Multi-Layer Absorbers", Journal of Sound and Vibration, 248(4), pp.621~634.
- (6) Hughes, I.J. and Dowling, A.P., 1990, "The Absorption of Sound by Perforated Linings", J. Fluid Mech., Vol. 218, pp.299~335.
- (7) Jing, X. and Sun, X., 1999, "Experimental Investigation of Perforated Liners with Bias Flow", J. Acoust. Soc. Am., 106(5), pp.2436~2441.

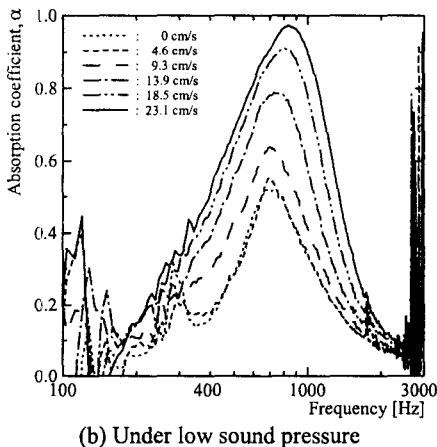
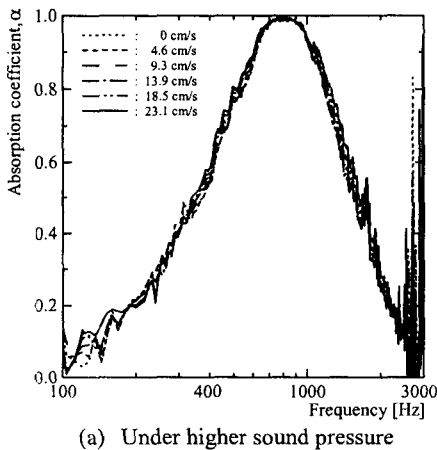


Fig. 7 Variation of the absorption coefficient with through-flow velocity for a perforated plate system