

다공판 시스템의 흡음성능에 유동이 미치는 영향 The effect of the flow on the absorption performance of a perforated plate system

허성욱* · 제현수* · 양수영* · 이동훈**

Sung-Wook Heo, Hyun-Su Je, Soo-Young Yang and Dong-Hoon Lee

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

ABSTRACT

This paper is to experimentally investigate the effect of the through-flow and grazing-flow on the absorption performance of a perforated plate system. The experiment is performed through the systematic change of the through-flow velocity, grazing-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 가급적 사용을 피하고 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, 비산 억제성 및 내구성과 같은 다양한 요건을 필요로 하고 있다. 이와 같은 요구조건에 부합하는 흡음재의 대안으로 다공판 시스템이 관심의 대상이 되어 왔으며, 그 동안 다공판 제원변화나 판의 배치방법을 통한 흡음성능 향상에 대한 연구가 다수 수행되어 왔다.⁽²⁻⁵⁾

한편 다공판 시스템의 흡음성능을 향상시키기 위한 또 다른 방법으로는 Hughes 와 Dowling⁽⁶⁾ 그리고 Jing 과 Sun⁽⁷⁾이 연구한 두 방향 유동(bias

flow)을 들 수 있다. 이들은 다공판 구멍을 가로질러 통과하는 관통유동과 구멍의 접선방향으로 흐르는 접선유동을 동시에 작용시키므로서 흡음성능이 향상됨을 파악하였다. 그러나 이들은 접선유동 또는 관통유동 중에서 어떤 방향의 유동이 흡음성능 증가에 더 큰 기여를 하는지를 밝히지는 못하였다.

따라서 본 연구에서는 두 방향 유동 각각에 대하여 흡음성능 실험을 수행하여 어느 방향의 유동이 성능향상에 더 기여하는지를 파악하고자 한다. 또한 유동 효과의 포괄적 이해를 위하여 유동속도 뿐만아니라 입사음의 음압레벨, 공극율 및 구멍지름 등을 변화시키면서 흡음성능을 측정하여 비교하고자 한다.

2. 실험

Fig. 1 은 다공판이 설치된 임피던스관과 측정기기의 구성도를 나타낸 것이다. 임피던스관은 두께 10mm 인 아크릴관으로 단면이 60mm x 60mm 이고, 길이 1300mm 이다. 관의 입구측에는 스피커가 부착되어 있으며, 관통유동이 유입될 수 있도록 구멍이 뚫려있고 다공판과 가까운 관 측면에는 접선유동이 유입될 수 있도록 슬롯형태의 노즐로 되어있다. 음향신호는 신호발생기에서 발생되어

* 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과

E-mail : ldh@snut.ac.kr

Tel : (02) 970-6331, Fax : (02) 949-1458

** 서울산업대학교 기계공학과

증폭기를 거친 후, 스피커를 통해 임피던스관으로 공급된다. 주파수 분석기의 분석범위는 3200Hz 그리고 해상도는 8Hz로 하였다. 출구측에는 다공판이 부착되어 있으며, 다공판 전방에는 전달함수를 구하기 위한 두개의 1/4 인치 압력형 마이크로폰이 설치되어 있다. 또 다공판 후방에는 다공판을 가로지르는 관통유동과 다공판의 접선방향으로 흐르는 접선유동을 얻기 위한 진공펌프와 유량측정용 유량계가 설치되어 있다. 관통유동에 의해 관내로 공급되는 유동의 평균유속은 0~64.8cm/s 이고, 유동방향은 음의 입사방향과 같다. 또한 접선유동에 의해 다공판을 스치는 평균유속은 0~25.5m/s 이고, 유동방향은 음의 입사방향과 서로 교차한다. 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 60mm로 하였다.

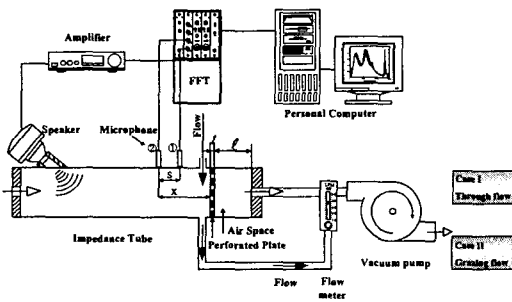


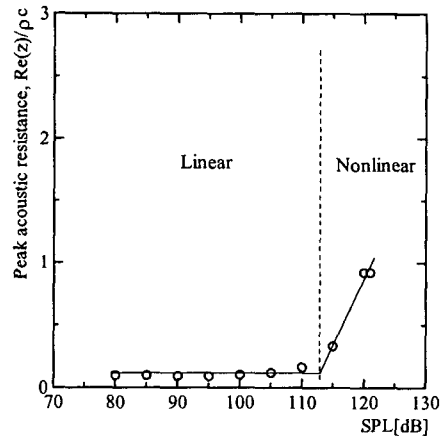
Fig. 1 Experimental setup for measuring absorption coefficient of a perforated plate system with through-flow and grazing-flow, respectively.

3. 결과 및 고찰

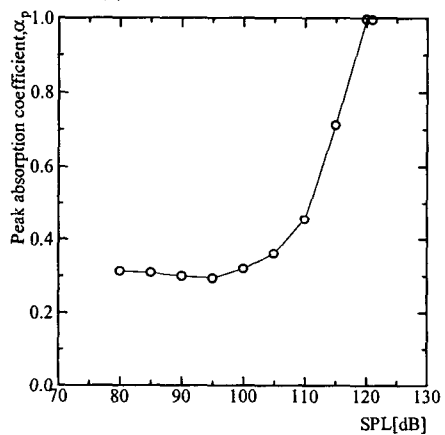
Fig. 2는 입사음의 음압레벨을 증가시키면서 측정한 다공판 시스템의 음향레지스탕스와 흡음계수의 피크값을 도시한 것이다. 다공판의 제원은 공극율 $\sigma=5.59\%$, 구멍지름 $d=2\text{mm}$ 이다.

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 112dB를 경계로 하여 음향레지스탕스 값이 선형영역과 비선형영역으로 구분되는 것을 볼 수 있다. 이러한 선형과 비선형의 경계는 공극율 및 구멍지름과도 밀접한 관련이 있음을 실

험결과로부터 확인하였다. 또한 그림 (b)는 흡음계수에 대한 결과로서 낮은 음압레벨에서는 피크값의 크기가 작지만, 음압레벨이 커질수록 흡음계수의 피크치가 음압에 의존하여 큰 폭으로 증가하는 것



(a) Peak acoustic resistance



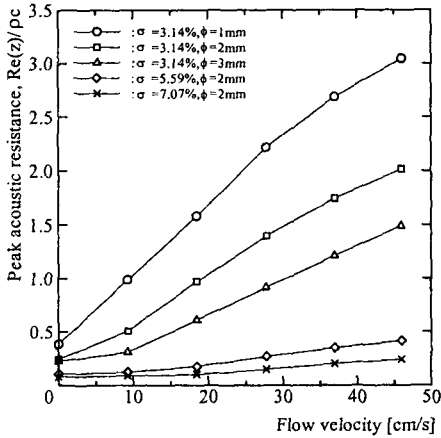
(b) Peak absorption coefficient

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

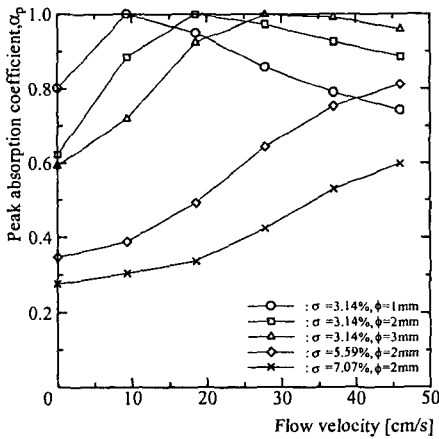
을 알 수 있다. 이와 같이 흡음계수의 피크값이 음압에 크게 의존하는 것은 그림 (a)의 음향레지스탕스 결과에서도 확인할 수 있듯이 구멍에서 강한 비선형 현상이 야기되기 때문이다.

Fig. 3은 선형범위의 낮은 입사음압레벨 조건에서 관통유속을 증가시키면서 측정한 음향레지스탕스와 흡음계수의 피크값을 도시한 것이다. 다공판의 제원은 그림에 표시되었으며, 횡축은 관내의 평균유속을 의미한다. 그림 (a)의 결과에서 공극율 3.14%인 경우에는 유속증가에 따라 음향레지스탕스 값이 큰 폭으로 증가하는 반면에, 공극율이

5.59% 또는 7.07%와 같이 큰 경우에는 유속증가에 따라 음향레지스탕스 값의 증가는 크지 않음을 볼 수 있다. 한편 그림 (a)의 결과를 그림 (b)에 도시된 결과와 비교해 보면, 음향레지스탕스 값이 1에 가까울수록 흡음율도 1에 가까워지는 것을 알 수 있다. 그러나 음향레지스탕스 값이 1을 초과하면서부터 흡음율이 점차 감소하는 것을 알 수 있다.



(a) Peak acoustic resistance

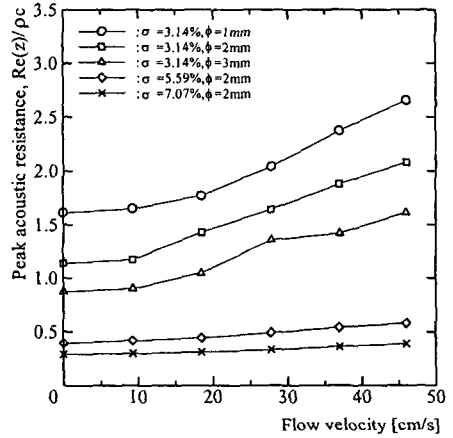


(b) Peak absorption coefficient

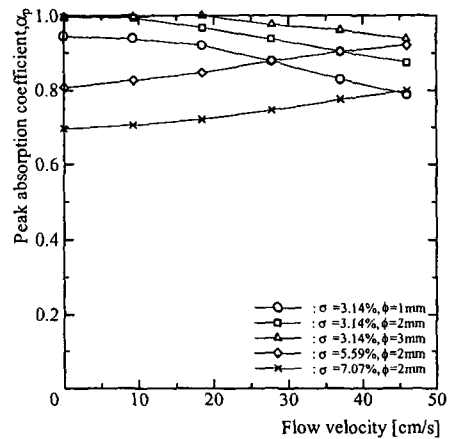
Fig. 3 Effect of the through-flow on the acoustic resistance and absorption coefficient in the case of low sound pressure level.

이와 같이 선형입사음 조건이라도 구멍을 통과하는 관통유동이 존재하게 되면 강한 비선형 현상의 발생으로 음향레지스탕스가 증가하게 되어 흡음율이 향상되는 것을 알 수 있다. 게다가 관통유동에 의한 비선형 현상은 공극율이나 구멍지름이 작을수록 더 낮은 유속에서 발생할 수 있음을 제

시된 결과에서 확인할 수 있다. 또한 이러한 관통 유동의 영향으로 야기된 비선형 현상에 의한 흡음율의 증가는 흡음율의 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 낮은 유속에서 가장 탁월한 흡음성능을 갖게 됨을 볼 수 있다.



(a) Peak acoustic resistance

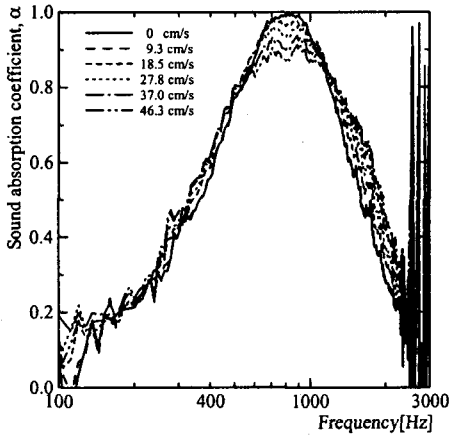


(b) Peak absorption coefficient

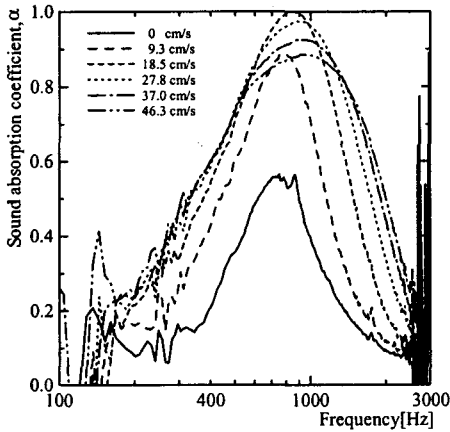
Fig. 4 Effect of the through-flow on the acoustic resistance and absorption coefficient in the case of high sound pressure level.

Fig. 4는 비선형 범위의 높은 입사음압레벨 조건에서 관통유속을 증가시키면서 측정된 음향레지스탕스와 흡음계수의 피크값을 도시한 것이다. 다공판의 제원과 유속은 Fig. 3의 조건과 같다. 결과에서 보듯이 높은 입사음압레벨 조건에서는 선

형범위에서보다 높은 음향레지스턴스 값을 가지게 되어 유속증가에 따른 음향레지스턴스 값의 증가는 크지 않음을 볼 수 있다. 즉 높은 입사음압에 의해 야기된 비선형조건에서는 관통유동이 음향레지스턴스에 미치는 영향은 작다고 할 수 있다.



(a) High sound pressure

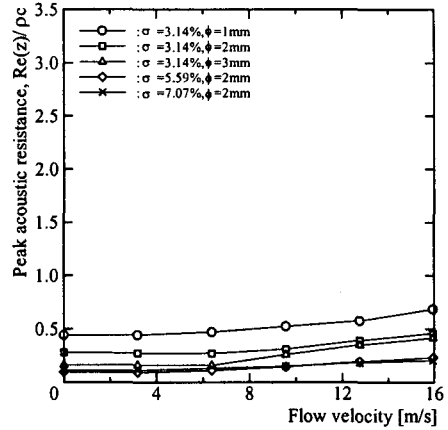


(b) Low sound pressure

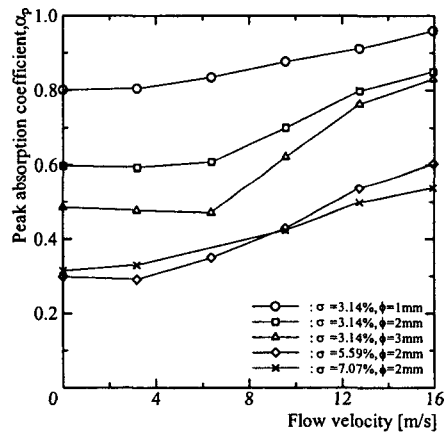
Fig. 5 Variation of the absorption coefficient with through-flow velocity for a perforated plate system.

Fig. 5 는 관통유속에 따른 흡음계수를 구한 것으로서 공극율 3.14%, 구멍지름이 2mm 인 다공판을 사용하였다. 그림 (a)는 높은 입사음압레벨 조건에서 그리고 그림 (b)는 낮은 입사음압레벨 조건에서 구한 결과이다. 높은 음압레벨 조건인 그림 (a)의 결과에서는 높은 음압으로 인한 비선형 현상의 야기로 흡음율 피크치가 1 에 도달된 상태에서 유동이 증가할수록 음향레지스턴스의 증가로 오히려 흡음율이 감소하는 것을 볼 수 있다. 그림

(b)의 결과에서는 유속이 증가함에 따라 흡음율이 1 까지 증가하였다가 점차 감소하면서 흡음대역폭이 넓어지는 것을 볼 수 있다. 더구나 유속이 커질수록 흡음율의 성능곡선이 높은 주파수측으로 다소 이동하는 대류효과도 관찰할 수 있다.



(a) Peak acoustic resistance

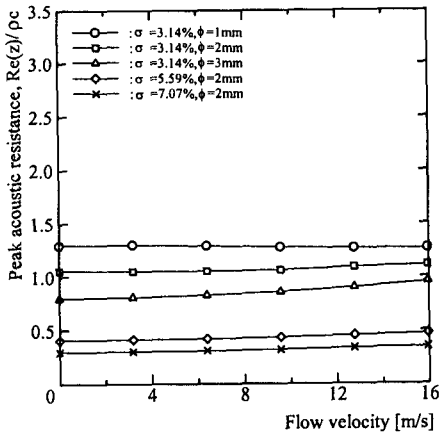


(b) Peak absorption coefficient

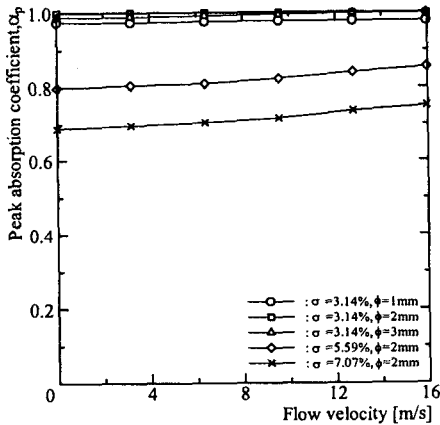
Fig. 6 Effect of the grazing-flow on the acoustic resistance and absorption coefficient in the case of low sound pressure level.

Fig. 6 은 선형범위의 낮은 입사음압 조건에서 유동속도를 증가시키면서 측정한 음향레지스턴스와 흡음계수 피크값을 도시한 것이다. 다공판의 제원은 그림에 표시되었으며, 횡축은 다공판의 접선방향으로 흐르는 평균유속을 의미한다. 그림 (a)의 결과에서 공극율이나 구멍지름이 작을수록 음향레지스턴스는 높은 값을 갖지만, 관통유동에 비해 접선유동에 의한 음향레지스턴스의 증가폭은 작게 나타났다. 이것은 관통유동이 다공판 구멍에 미치는 효과에 비해 다공판의 접선방향으로 흐르는 접선유동이 구멍에 미치는 효과가 작기 때문이

다. 그림 (b)는 흡음성능을 나타내는 것으로서 음향레지스탄스 값이 1에 가깝게 됨에 따라 다공판의 흡음성능이 가장 좋은 것을 알 수 있다.



(a) Peak acoustic resistance

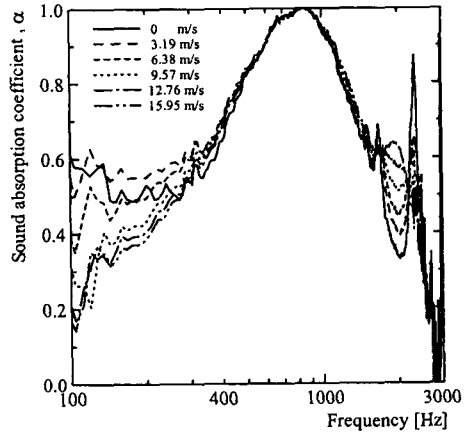


(b) Peak absorption coefficient

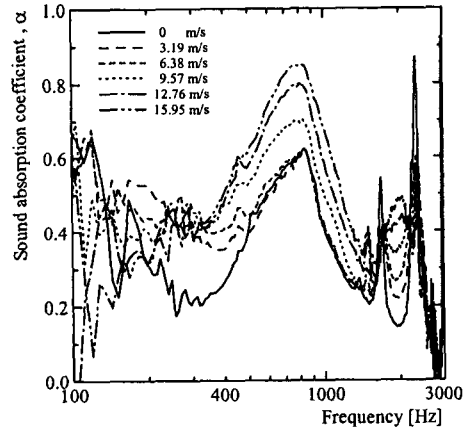
Fig. 7 Effect of the grazing-flow on the acoustic resistance and absorption coefficient in the case of high sound pressure level.

Fig. 7은 비선형 범위의 높은 입사음압레벨 조건에서 접선유동속도를 증가시키면서 측정된 음향레지스탄스와 흡음계수의 퍼크값을 도시한 것이다. 다공판의 제원과 유속은 Fig. 6의 조건과 같다. 결과에서 보듯이 높은 음압레벨조건에서 유동속도 증가에 따른 음향레지스탄스 값의 변화는 큰 차이가 없었다. 단지 음압에 의한 비선형 현상으로 공극율이나 구멍지름이 작을수록 음향레지스탄스가 증가하는 것을 볼 수 있고, 접선유동에 의한 효과는 공극율이 다소 큰 5.59%, 7.07%일 때 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 비선형 범위에서 음압과 유속의 비선형 효과가 동시에 작용하여 공극율이나 구멍지름 변화에 따른 음향레지스탄스의 변화

가 거의 없으며, 다만 공극율이 다소 큰 다공판에 대해서는 접선유동에 의한 효과가 약간 있음을 알 수 있었다.



(a) High sound pressure



(b) Low sound pressure

Fig. 8 Variation of the absorption coefficient with grazing-flow velocity for a perforated plate system.

Fig. 8은 접선유동속도에 따른 흡음계수를 구한 것으로서 다공판의 제원은 공극율이 3.14%이고, 구멍지름은 2mm이다. 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 없었고, 낮은 음압레벨 조건의 결과인 그림 (b)에서는 유동속도가 증가함에 따라 흡음계수가 증가하는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

비선형 범위의 높은 입사음압 조건에서는 관통 유동으로 인하여 음향레지스턴스는 증가하지만 음향레지스턴스 값이 1 을 지나 커질수록 흡음성능 피크치는 낮아지면서 흡음대역폭이 넓어지는 것을 알았다. 선형범위의 낮은 입사음압 조건에서는 다공판에 관통유동을 작용시키면 음향레지스턴스가 증가되어 흡음성능이 크게 향상되는 것을 알았다. 또한 음향레지스턴스는 공극율이나 구멍지름이 작을수록 그리고 유동속도가 커질수록 더 효과적으로 증가되었다. 또 유동속도 증가에 따른 대류효과도 흡음계수 곡선에서 확인할 수 있었다.

선형범위의 낮은 입사음압 조건에서는 다공판에 일정속도 이상의 접선유동을 작용시키면 음향레지스턴스가 증가되어 흡음성능이 향상되는 것을 알았다. 또한 공극율이 작을수록 더 효과적으로 음향레지스턴스가 증가되었다. 비선형범위의 높은 입사음압 조건에서 공극율이나 구멍지름이 다소 큰 다공판에 유속을 작용시키면 유동에 의한 흡음성능이 향상되는 것을 알았다.

참고문헌

- (1) 허성욱, 주경민, 허성춘, 용호택, 이동훈, 2002, “금속와이어 흡음재의 음향성능 측정”, 대한설비공학회 추계학술대회 논문집, pp.438-443.
- (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.