

환기팬 시스템의 소음특성과 저감에 관한 실험적 연구

† 이 종 석*, 김 덕 한*, 이 동 훈**, 권 혁 정***, 김 동 윤***

*서울산업대학교 산업대학원 기계공학과 석사과정, **서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과, ***(주) 엑 타 기술연구소

An Experimental Study on the Noise Characteristics and Reduction of a Ventilating Fan System

Jong-Seok Lee*, Deok-Han Kim*, Dong-Hoon Lee**, Hyuk-Jung Kwon***, Dong-Yun Lee***

ABSTRACT: This paper introduces an experimental study for the noise characteristics and reduction of a ventilating fan system. For the purpose of noise reduction of it, an absorptive duct silencer filled with a glass fiber has been conventionally utilized. However, a glass fiber has some disadvantages like hygiene and secondary pollution problems. In order to overcome these problems, in this paper, a perforated duct silencer has been applied to the ventilating fan system. For the designing of a perforated duct silencer, the transmission losses for various perforated panel systems are measured and compared with their sound absorption performances.

Key words: Absorption Coefficient(흡음계수), Grazing Incidence(접선입사), Normal Incidence(수직입사), Perforated Panel System(다공판 시스템), Perforated Duct Silencer(다공형 덕트 소음기), Transmission loss(투과손실), Ventilating Fan System(환기팬 시스템)

1. 서 론

최근 생활수준의 향상과 함께 환경에 대한 인식이 확산되면서 도시민들에게 실내 공기질 문제가 급격히 대두되고 있다. 실제로 환기를 적절하게 실시하지 않는 건물에서 재실자가 장시간 거주할 경우 거주자의 신진대사 활동을 억제시키거나, 각종 건축자재와 마감재료, 가구, 조리기구 등으로부터 방출되는 열, 이산화탄소, 먼지 및 VOC 등이 건물증후군을 유발시키고, 최근에는 화학물질 과민증을 유발시키는 것으로 알려지고 있다.⁽¹⁾ 이 때문에 병원, 호텔, 지하주차장, 대형 유통센터, 체육관, 반도체공장, 전자부품 생산공장, 지하철, 문화회관, 초고층 오피스텔 등 환기가 필요한 모든 공간에서는 법적으로 환기 시스템의 채택을 의무화하고 있으며, ⁽²⁾ 점차 그 규제범위를 확대

하려는 추세에 있다.

환기 시스템은 대개 팬과 덕트로 구성되어 있으므로 팬에 의해 공기를 공급할 때 강한 팬소음과 유동소음을 유발시키게 되므로 불가피하게 팬의 전방과 후방에 유리섬유 흡음재를 장착한 흡음형 덕트 소음기를 설치하여 소음저감을 시도하고 있다. 그러나 시간이 지남에 따라 소음기 내부의 흡음재는 비산되어 재실자의 호흡기를 상하게 하거나 정밀부품의 생산에 상당한 지장을 초래하는 주된 요인이 되고 있는 실정이다.

따라서 이와 같은 기존 흡음재의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 형태의 흡음재에 대한 대안으로서 얇은 판에 작은 구멍을 뚫어 만든 판과 공동을 조합한 다공판 공명 시스템이 음향 연구자들의 관심을 끌고 있다. 다공판 공명 시스템은 일종의 헬름홀츠 공명기로서 오래전에 Blackman⁽³⁾은 제트연소에서 발생하는 스크리치음(screech tone)을 감소시킬 목적으로 단일 다공판 공명 시스템의 흡음특성에 대한 연구를 수행한 바 있

† Corresponding author
Tel.: 02-970-6331; Fax: 02-979-7331
E-mail address: 2205cmd@hanmail.net

다. 또한 최근에 Maa^(4,5) 등은 이중 다공판 공명 시스템의 흡음성능에 대하여 한층 발전된 연구결과를 제시한 바 있으며, 특히 그리고 Jing과 Sun⁽⁶⁾ 등은 다공판 구멍을 통과하는 관통유동과 구멍의 접선방향으로 흐르는 접선유동을 동시에 작용시켜 다공판 공명 시스템의 흡음성능을 향상시킨 연구결과를 발표한 바 있다. 또 Lee^(7,8) 등은 다중 다공판 시스템의 다양한 조합조건에 따른 흡음특성과 성능을 구한 바 있으며, 다공판 시스템의 흡음성능을 편리하게 계산할 수 있는 전달행렬법을 제시한 바 있다. 이와 같이 다공판 공명 시스템에 대하여 그 동안에 많은 연구가 수행되어 왔음에도 불구하고 이들에 의해 파악된 설계인자는 수직 또는 난입사 조건에서 수행한 결과이므로 이를 실제의 소음기설계에 곧바로 적용할 수 없다고 판단된다. 즉 음파가 환기팬 시스템에 입사할 경우 입사음은 수직입사 또는 난입사만 하는 것이 아니라 접선입사도 하게 되므로 환기팬 시스템의 소음저감을 위해서는 접선입사음 조건에 대한 흡음성능 자료도 필요하다.

따라서 본 연구에서는 다공판 공명 시스템의 제원을 변경시키면서 접선입사와 수직입사 조건에서 구한 흡음계수 그리고 투과손실 데이터를 환기팬 시스템의 소음저감 설계에 적용하는 것을 연구목표로 하였다. 흡음계수는 다공판의 주요제원인 공극율과 공동깊이를 변화시키면서 구하였으며, 특히 임피던스관의 한쪽 또는 양쪽 측면 모두에 다공판 공명 시스템을 설치하여 흡음계수와 투과손실을 구하여 상호비교 하고, 이 결과를 환기팬 시스템의 소음저감 설계에 반영하였다. 환기팬 시스템의 소음특성은 무향실에 시스템을 설치하여 소음저감 정도와 지향성을 측정하였다.

2. 실험

Fig. 1은 수직 및 접선입사 흡음성능을 구하기 위한 임피던스관과 측정기기에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 임피던스관의 단면은 60mm x 60mm이며, 두께는 10mm인 아크릴판으로 제작하였다. 수직입사 흡음성능을 구하기 위한 임피던스관의 길이는 1300mm이며, 접선입사 흡음성능을 구하기 위한 임피던스관의 상류단과 하류단의 길이는 1000mm이다. 관의 입구측에는 스피커가 부착되어 있으며, 임피던스관 내부에는 시험대상체

인 다공판 시스템이 설치되어 있다. 또한 다공판 뒤에는 음의 누출이 없도록 O링이 부착된 강제피스톤으로 밀봉하였다. 측정주파수의 상한범위는 3200Hz로 하였으나, 본 연구에 쓰인 사각형 임피던스관의 등가지름이 67.7mm이므로 고차모드에 의한 차단주파수를 감안하면, 평면파 음장 조건을 유지하는 주파수의 상한범위는 2900Hz가 된다.

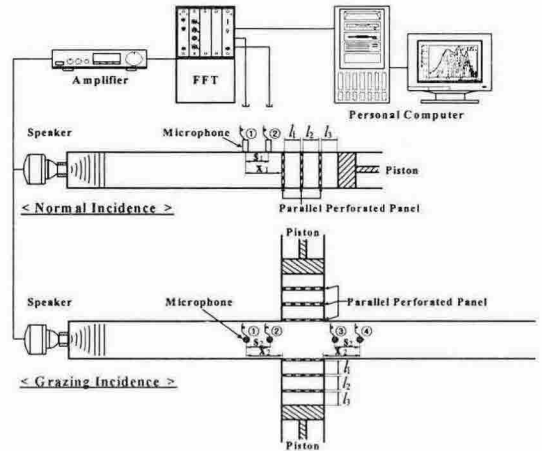


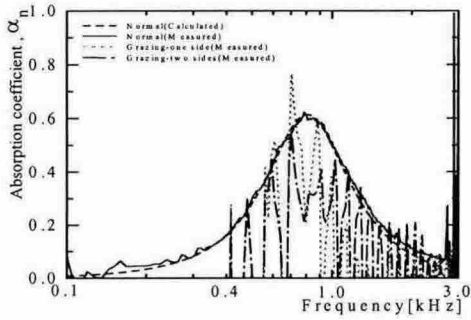
Fig. 1 Experimental setup for measuring absorption coefficient of a perforated panel system with normal incidence and grazing incidence, respectively.

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 아연도 강판이며, 판두께 $f=1\text{mm}$ 이고 구멍지름 $\phi=2\text{mm}$ 인 다공판을 공극율 $\sigma=1.4\%$, $\sigma=3.14\%$ 그리고 $\sigma=5.59\%$ 가 되도록 제작하였다.

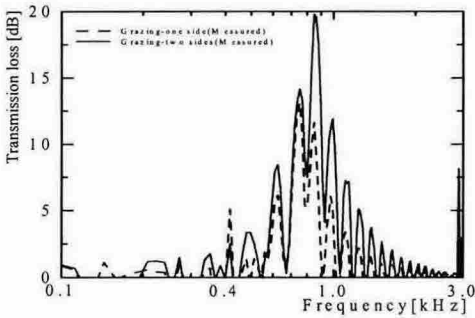
3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 공극율 $\sigma=3.14\%$, 공동깊이 $f=50\text{mm}$ 를 갖는 단일 다공판 시스템의 수직 및 접선입사 흡음계수와 투과손실에 대한 결과를 도시한 것이다. 제시된 결과에서 그림 (a)는 수직입사와 접선입사 흡음계수를 비교한 것이며, 접선입사 흡음

계수는 저주파수대역을 제외하면 수직입사 흡음계수와 전반적으로 비슷한 패턴을 가지지만, 흡음성능이 낮음을 알 수 있다. 여기서, 접선입사 흡음계수값이 낮음을 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 한면에 설치하였을 경우 보다는 양면 모두 설치하였을 경우의 흡음성능 폭이 증가하며, 그 흡음성능은 수직입사 흡음성능과 유사함을 확인 할 수 있다. 또한, 수직입사 흡음계수는 계산결과와 측정결과가 상호 잘 일치하는 것을 알 수 있다.



(a) Sound absorption coefficient



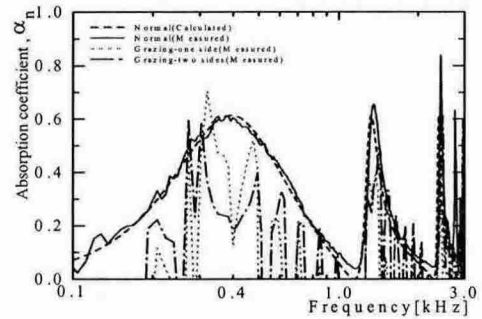
(b) Sound transmission loss

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

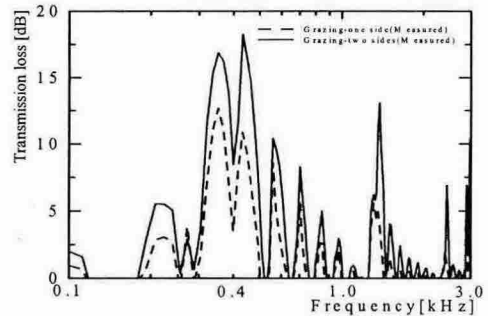
그림 (b)는 투과손실에 대한 결과로서 그림 (a)의 결과에서 나타나는 흡음계수의 공명주파수대

역과 잘 일치하며, 특정 주파수대역뿐만 아니라 전 주파수대역에서도 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 3은 공극율 $\sigma=3.14\%$, 공동깊이 $f=150\text{mm}$ 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 공명주파수대역이 비교적 잘 일치하는 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 측정결과는 잘 일치하는 것을 알 수 있다.



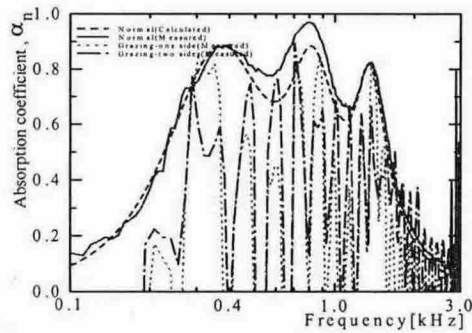
(a) Sound absorption coefficient



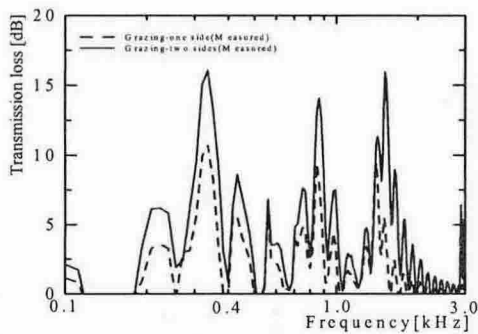
(b) Sound transmission loss

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

Fig. 4는 세 개의 다공판을 공극율이 큰 것부터 작은 순으로 각각 배치하였을 때의 흡음계수와 투과손실에 대한 결과이다. 다공판의 제원과 설치조건은 $f=1\text{mm}$, $\varnothing=2\text{mm}$ 이며, 공동깊이는 모두 50mm이다. 먼저 수직입사에 대한 결과를 살펴 보면, 공동의 수와 일치하는 공명주파수에서 흡음계수의 피크가 되는 것을 알 수 있다. 또 접선입사의 경우는 임피던스관의 고유주파수와 공동의 공명주파수와의 보강간섭 및 소멸간섭으로 인하여 흡음계수의 산과 골이 반복하여 나타나는 것을 볼 수 있다.⁽⁹⁾ 보강간섭에 의한 흡음계수의 피크치는 수직입사 흡음계수 만큼이나 크지만, 전반적으로 수직입사의 흡음계수보다는 낮아지는 것을 알 수 있다.



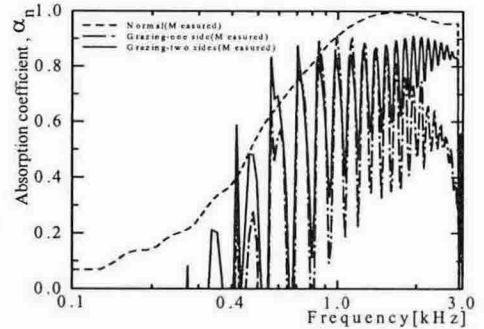
(a) Sound absorption coefficient



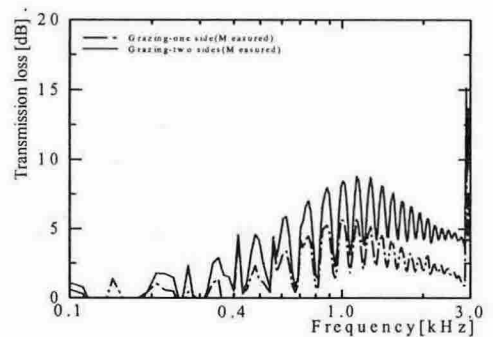
(b) Sound transmission loss

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 밀도 40kg/m^3 그리고 두께 50mm인 유리섬유를 공동에 설치하고 흡음계수와 투과손실을 측정된 결과이다. 수직 입사시에 대한 유리섬유의 흡음계수는 음의 입자속도가 최대로 되는 입사음의 1/4파장에 해당하는 주파수인 1700Hz에서 피크가 되는 것을 알 수 있다. 그러나 유리섬유를 임피던스관의 측면에 설치하여 음파가 유리섬유의 접선방향으로 통과하도록 하는 경우에는 다공판 시스템의 경우에서와 같이 임피던스관의 고유주파수와 유리섬유가 채워진 공동의 공명주파수에 의존하여 흡음계수의 산과 골이 반복하여 나타나는 것을 볼 수 있다. 또 그림 (b)의 투과손실의 피크는 다공판 시스템의 경우와 마찬가지로 흡음계수 피크와 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다.



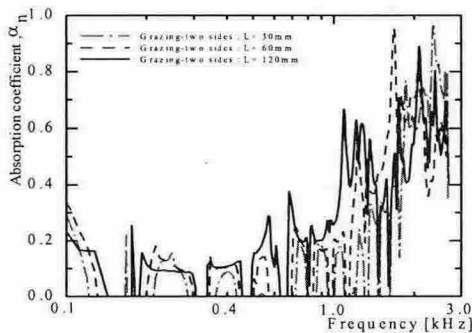
(a) Sound absorption coefficient



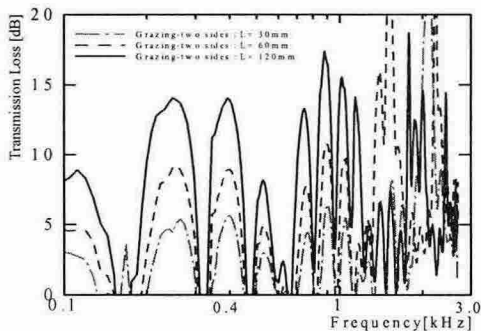
(b) Sound transmission loss

Fig. 5 Comparisons between the absorption coefficients and transmission losses for the rectangular impedance tube filled with a glass wool.

Fig. 6은 다공판의 공동깊이를 변화시키면서 흡음계수와 투과손실을 측정한 결과이다. 다공판의 제원은 공극율 10%, 구멍지름 1mm, 공동깊이 $L=30, 60, 120$, 다공판 공명 시스템의 크기는 $300\text{mm} \times 60\text{mm}$ 이다. 그림 (a)의 흡음계수 결과에서 공동깊이가 커질수록 흡음계수와 흡음대역폭이 증가하는 하는 것을 알 수 있다. 그림 (b)의 투과손실 결과에서도 공동깊이가 커질수록 투과손실도 함께 커지는 것을 볼 수 있으며, 또한 투과손실의 대역폭과 흡음대역폭이 거의 일치하는 것을 알 수 있다.



(a) Sound absorption coefficient

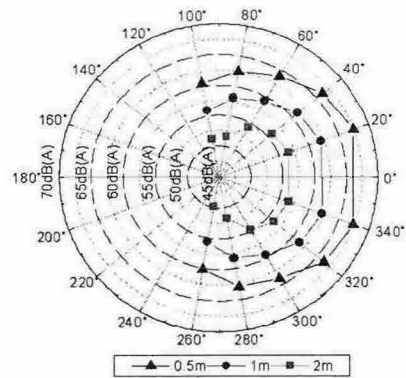


(b) Sound transmission loss

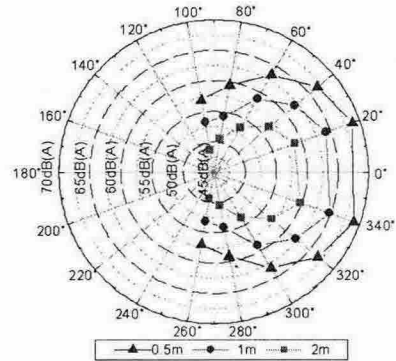
Fig. 6 Comparisons between the absorption coefficients and transmission losses of a single perforated panel system with different cavity depth

Fig. 7은 다공형 덕트 소음기를 환기팬 시스템에 부착하고 입구와 출구로 방사되는 소음의 지향성을 거리별로 측정한 결과이다. 소음기의 공극율은 25%, 구멍지름 2mm이다. 제시된 두 결

과에서 보듯이 입구측이 출구측보다 더 강한 지향성을 나타냄을 알 수 있다. 즉 입구측의 지향성은 유동의 유입방향으로 강한 소음을 방사시키는 반면에, 출구측의 지향성은 모든 방향으로 거의 같은 세기로 방사하는 무지향성 음원에 가까운 것을 알 수 있다.



(a) Directivity in the direction of fan inlet

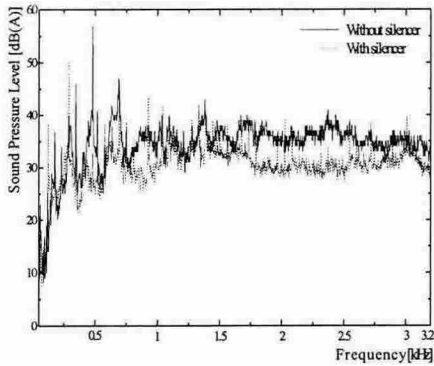


(a) Directivity in the direction of fan outlet

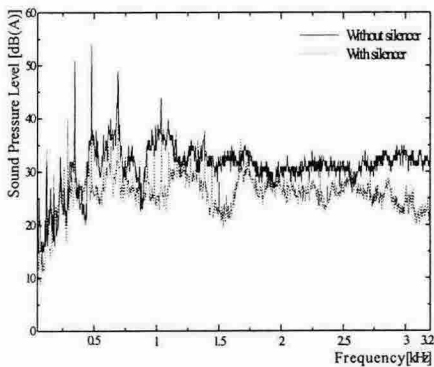
Fig. 7 Comparison of the directivity patterns in the direction of fan inlet and outlet

Fig. 8은 환기팬 시스템의 입구와 출구측에 다공형 덕트 소음기를 부착하였을 때와 부착하지 않았을 때의 소음 스펙트럼을 측정하여 비교한 결과이다. 소음 스펙트럼은 시스템의 입구와 출구면의 중심축으로부터 30도 방향으로 1m떨어진 지점에서 측정하였으며, 소음기의 공극율은 10%, 두께 0.7mm, 구멍지름은 1mm이다. 제시된 소음

스펙트럼에서 소음기가 없는 경우, 입구측과 출구측으로 저주파수 성분의 강한 날개통과주파수음이 발생하여 전파되고 있음을 볼 수 있다. 그러나 다공형 소음기를 부착한 경우의 스펙트럼에서는 이러한 날개통과주파수음을 포함하여 최고 10dB 이상 저감된 것을 볼 수 있다. 그리고 전반적으로 모든 주파수대역에서 소음저감 효과를 확인할 수 있다.



(a) Noise spectra from the fan inlet



(b) Noise spectra from the fan outlet

Fig. 8 Comparison of the sound pressure levels for noises emitted from the inlet and outlet of ventilating fan system

4. 결론

(1) 다공판 공명 시스템의 접선입사 흡음계수는 임피던스관의 종방향에서 야기되는 다중개의 고유주파수와 다공판 시스템의 공명주파수간에

보강간섭과 소멸간섭하므로서 흡음계수의 피크가 증가하거나 감소하였다.

(2) 다공판 시스템의 연구결과로부터 다공형 덕트 소음기를 설계하여 환기팬 시스템에 부착하므로써 팬의 날개통과주파수음을 포함하여 최고 10dB 이상의 소음이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 다공형 덕트 소음기가 부착된 환기팬 시스템으로부터 방사되는 소음은 주로 축방향으로 방사하는 지향특성이 있음을 알았다.

참 고 문 헌

- (1) 윤동원, 2002, "주택 내부의 실내공기오염 특성과 대책", 대한설비공학회 설비저널, 제31권, 제 121호, pp.23-31
- (2) 환경부, 2004, "다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법", <http://www.me.go.kr> 현행법령
- (3) Blackman, A. W., 1960, "Effect of Nonlinear Losses on the Design of Absorbers for Combustion Instabilities", ARS Journal, pp.1022~1028.
- (4) Maa, D. Y., 1998, "Potential of Microperforated Panel Absorber", J. Acoust. Soc. Am., 104(5), pp.2861-2866.
- (5) Maa, D. Y., 1987, "Microperforated-Panels Wide band Absorber", Noise Control Engineering Journal, Vol. 29, No. 3, pp.77-84.
- (6) Jing, X. and Sun, X., 1999, "Experimental Investigation of Perforated Liners with Bias Flow", J. Acoust. Soc. Am., 106(5), pp.2436-2441.
- (7) 이동훈, 허성춘, 권영필, 2002, "전달행렬법을 이용한 다중 다공판 시스템의 흡음성능 예측", 한국소음진동공학회 논문집, 제12권, 제9호, pp.709-716.
- (8) Lee, D.H. and Kwon, Y.P., 2004, "Estimation of the Absorption Performance of Multiple Layer Perforated Panel Systems by Transfer Matrix Method", Journal of Sound and Vibration, 278, pp.847-860.
- (9) 체현수, 2004, "환기팬 시스템의 소음저감에 관한 연구", 서울산업대학교 석사학위 논문