

점토 소결재의 흡음특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Sound Absorption Property of a Sintered Clay Material

양 윤 상* · 이 동 훈† · 서 은 성**

Yoon-Sang Yang, Dong-Hoon Lee and Eun-Sung Seo

(Received January 24, 2013 ; Revised March 22, 2013 ; Accepted March 26, 2013)

Key Words : Sintered Clay Material(점토 소결재), Reverberation Chamber(잔향실), Acoustic Transfer Function(음향전달함수), Sound Absorption Coefficient(흡음률)

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a sound absorbing material for indoor which manufactured by a clay and binding material. The seven kind of sound absorbing specimens which sintered through a mold process at high temperature were manufactured for the purpose of testing sound absorption performance. The random and normal sound absorption coefficients were measured for the sintered clay sound absorbing specimens with different particle size, density and mixture ratio. From the experimental results, it was found that its particle size was closely related to the sound absorption performance. It was shown that the sintered clay sound absorbing specimen had the sound absorption properties of a fiber-type or a resonance-type sound absorbing material depending on the particle size.

1. 서 론

생활수준의 향상으로 정온한 환경과 안전에 대한 요구가 커짐에 따라 흡음재의 흡음성능과 함께 환경 및 화재 등에 안전한 복합기능을 갖는 실내용 흡음재의 개발에 관심이 집중되고 있다^(1,2).

실내용 흡음재는 도서관, 공연장, 전시관, 지하철역사, 오피스 등에서 쓰이고 있으며, 그 수요가 지속적으로 증가하는 추세에 있다. 특히 실내의 다양한 분야에 적용하기 위해서 실내용 흡음재는 흡음성능 외에도 친환경성, 내구성, 단열성, 방습성, 난연

성, 재활용성, 전기 절연성 및 디자인 다양성 등과 같은 기능을 요구하고 있다^(3,4).

이와 같은 다양한 기능을 만족하는 대표적인 소재로는 점토를 들 수 있다. 다만 점토를 이용하는 경우 만족스러운 흡음성능을 갖는지 또는 흡음재료의 제조가 가능한지 등에 대한 국내외 연구문헌이 없어 이 논문에서는 점토 소결재에 대한 흡음재료의 타당성 연구를 진행하였다.

따라서 이 연구에서는 분쇄된 점토를 바인딩(binding)재료와 배합하여 몰드(mold)를 이용하여 성형한 후, 소결과정을 통하여 점토 소결 흡음시료를 제조하였다. 흡음성능은 입자크기, 점토와 바인딩

† Corresponding Author ; Member, Dept. Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology
E-mail : ldh@seoultech.ac.kr
Tel : +82-2-970-6331, Fax : +82-2-979-7331

* Dept. Energy System Engineering, Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology

** RMS Technology Co.,LTD

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

재료의 조성비 그리고 밀도 등이 각기 다른 총 7종의 흡음시료에 대하여 수직입사조건에서 측정하였다. 이중에서 한 종류의 시료조건에 대해서는 가로, 세로 각각 3×3.5 m²로 제조하여 잔향실에서 난입사 조건에서 흡음률을 측정하고, 수직입사 흡음률과 비교하였다.

2. 관련이론

관내법을 이용하여 흡음재의 흡음률을 측정하는 방법에는 정재파법(standing wave ratio method), 음향전달함수법(acoustic transfer function method)이 있고, 흡음재의 특성임피던스와 전파상수를 측정하는 방법은 두 개의 동일두께 흡음시료를 이용한 흡음률 측정법(two-thickness method), 두 개의 공동을 이용한 흡음률 측정법(two-cavity method) 등이 있다. 이중에서 동질성을 갖는 두 개 이상의 흡음시료 확보가 곤란한 경우는 Utsuno 등⁽⁵⁾ 이 제안한 두 개의 공동법을 이용하여 측정된 특성임피던스와 전파상수로 흡음률을 계산하는 방법이 권장되고 있다.

두 개의 공동을 이용한 흡음률 측정법은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 시료 뒤의 배후 공기층 길이 L1 일 때의 표면음향임피던스 Z_{a1}과 배후면의 표면음향 임피던스 Z_{b1} 그리고 배후 공기층 길이 L2일 때의 표면음향임피던스 Z_{a2}와 배후면의 표면음향임피던스 Z_{b2}를 이용하여 흡음시료의 특성임피던스 Z_c와 전파 상수 γ를 계산하는 방법으로 관계식은 다음과 같다.

$$Z_c = \pm \left(\frac{Z_{a1}Z_{a2}(Z_{b1} - Z_{b2}) - Z_{b1}Z_{b2}(Z_{a1} - Z_{a2})}{(Z_{b1} - Z_{b2}) - (Z_{a1} - Z_{a2})} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{1}{2l} \ln \left(\frac{Z_{a1} + Z_c}{Z_{a1} - Z_c} \frac{Z_{b1} - Z_c}{Z_{b1} + Z_c} \right) \quad (2)$$

식 (1)의 괄호 앞의 부호는 특성임피던스의 실수 부가 양(+)의 부호를 갖도록 선택되며, 식 (2)의 l은 흡음시료의 두께를 나타낸다. 또 식 (1)과 식 (2)에 제시된 흡음시료의 표면음향임피던스 Z_{a1}과 Z_{a2}는 측정을 통하여 구하는 반면에, 배후면의 표면음향 임피던스 Z_{b1}과 Z_{b2}는 다음의 식으로 구한다.

$$Z_{b1} = -jZ_{air} \cot kL_1 \quad (3)$$

$$Z_{b2} = -jZ_{air} \cot kL_2 \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서 k는 공기의 파수, Z_{air}는 공기의 특성임피던스 그리고 j = √-1을 뜻한다.

한편, 흡음시료의 특성임피던스와 전파상수를 알면 시료의 두께가 다르거나 배후면의 공기층 길이가 다른 경우의 표면음향임피던스 Z_s는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$Z_s = Z_c \frac{Z_{b1} \cosh(\gamma l) + Z_c \sinh(\gamma l)}{Z_{b1} \sinh(\gamma l) + Z_c \cosh(\gamma l)} \quad (5)$$

또, 식 (5)의 표면음향임피던스 값을 식 (6)에 대입 하면 수직입사 흡음률 α_n가 얻어진다.

$$\alpha_n = 1 - \left| \frac{Z_s - Z_{air}}{Z_s + Z_{air}} \right|^2 \quad (6)$$

한편, 난입사 조건에서의 입사각 θ에 따른 흡음률은 다음과 같다⁽⁶⁾.

$$\alpha_\theta = 1 - \left| \frac{Z_s \cos \theta - Z_{air}}{Z_s \cos \theta + Z_{air}} \right|^2 \quad (7)$$

식 (7)을 식 (8)에 대입하면 난입사 흡음률 α_R을 구할 수 있다.

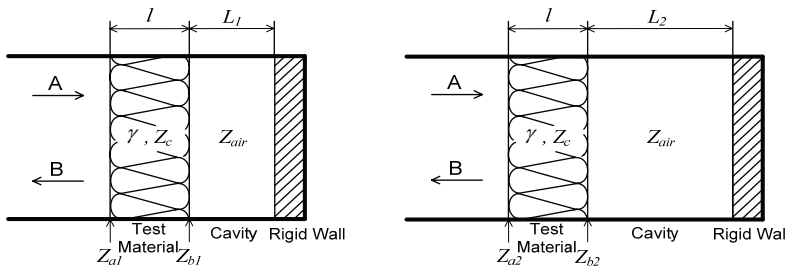


Fig. 1 Configurations of the two-cavity method

$$\alpha_R = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \alpha_{\theta} \cos\theta \sin\theta d\theta \quad (8)$$

3. 실험

Table 1은 점토 소결재의 흡음특성을 파악하기 위하여 사용한 흡음시료의 제원을 나타낸 것이다. 흡음시료는 점토를 분쇄하여 입자크기별로 바인딩한 후에 소결하여 제작하였다. 흡음시료 No. 1~3은 조성비와 밀도를 일정하게 한 상태에서 입자크기만을 0.3 mm에서 2.0 mm까지 변화시킨 경우이다. 흡음시료 No. 2,4,5는 입자크기와 밀도를 일정하게 한 조건에서 바인딩 비율을 25 %에서 10 %까지 변화시킨 경우이다. 또한 흡음시료 No. 5~7은 입자크기와 조성비를 일정하게 한 조건에서 밀도만을 1247 kg/m³에서 1559 kg/m³까지 변화시킨 경우이다.

Table 1 Specification of sintered sound absorbing material

	Thickness (mm)	Particle size (mm)	Mixture ratio (wt%)		Density (kg/m ³)	
			Binding(%)	Clay(%)		
No.1	25	1.0-2.0	25	75	1559	
No.2		0.6-1.0				
No.3		0.3-0.6				
No.4		0.6-1.0	15	85		
No.5		0.6-1.0	10	90		1559
No.6						1403
No.7						1247

흡음성능은 수직입사 조건과 난입사 조건에서 측정을 수행하였다. 먼저 Fig. 2는 수직입사 조건에서 흡음시료의 흡음률을 측정하기 위한 실험장치의 개략도를 도시한 것이다. 임피던스관의 길이는 1 m이고, 지름은 0.07 m이다. 관 입구측에는 스피커가 부착되어 있으며, 스피커를 통해 주파수분석기의 신호 발생기에서 발생한 광대역음이 관내로 공급된다. 그리고 하류측 관단에는 이송이 가능한 강체피스톤이 설치되어 있다. 강체피스톤 전방부에 흡음시료를 설치한 후, 배후 공기층 길이를 변화시키면서 흡음시료의 표면음향임피던스를 측정하였다. 두께 1인 흡음시료를 관출구에 장착하고 시료 배후면의 공기층 길이를 L₁과 L₂로 바꾸면서 측정된 전달함수로부터 흡음시료의 표면음향임피던스 Z_{s1}과 Z_{s2}를 구한다. 공기층 길이는 L₁=0.02 m 그리고 L₂=0.06 m로 하였다.

Fig. 2에서와 같이 두 마이크로폰간에 측정된 전달

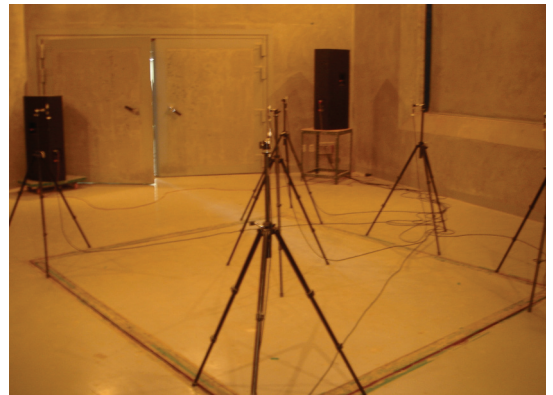


Fig. 3 Experimental view for random incidence sound absorption coefficient measurement

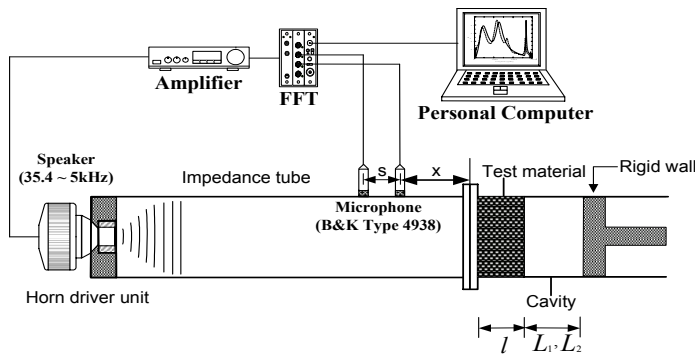


Fig. 2 Experimental apparatus for the normal incidence sound absorption coefficient measurement of sintered sound absorbing material

합수 H 는 표면음향임피던스와 다음의 관계식을 갖는다⁽⁷⁾.

$$Z_{s1}, Z_{s2} = j Z_{air} \frac{\sin[k(x-s)] - H \sin(kx)}{H \cos(kx) - \cos[k(x+s)]} \quad (9)$$

식 (9)에서 x 는 흡음시료로부터 첫 번째 마이크로폰까지의 거리이고, s 는 마이크로폰 간격이다.

또한 Fig. 3은 난입사 조건에서 흡음시료의 흡음률을 측정하기 위한 것으로서, 난입사 흡음률의 측정은 KS F-2805⁽⁸⁾에 의거하여 측정하였다.

이 연구에서 이용한 잔향실은 배경소음 레벨이 20 dB(A) 이하인 잔향실로서 실제적은 249 m³이고, 바닥면적은 43.7 m²이다. 차단주파수는 100 Hz이고 표준편차는 ±1.5 dB/100 Hz 조건이었다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 4는 흡음시료 No. 1~No. 3에 대한 수직입사 흡음률을 측정하여 비교한 결과이다. 결과에서 입자크기가 커질수록 공명주파수대역에서 흡음률이 커지는 공명형 흡음재의 흡음특성을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이것은 흡음재가 큰 입자로만 구성되면 공명현상이 쉽게 유발되어 음에너지와 입자와의 강한 마찰작용으로 인하여 음 소산이 활발히 일어나기 때문이다. 반면에 입자크기가 작은 No. 3의 경우는 단순히 음에너지와 입자와의 마찰작용으로 인하여 음이

소산되므로 섬유질 계통의 흡음성능 형태를 나타낸다.

Fig. 5는 밀도와 입자크기가 동일한 조건에서 조성비에 따른 흡음률을 측정하여 비교한 결과이다. 바인딩 재료를 적게 사용한 흡음시료 No. 5의 경우가 No. 2에 비하여 매우 우수한 흡음성능을 나타내었다. 이것은 바인딩 재료를 적게 사용할수록 입자간의 기공확보가 잘 되어서 음 소산이 더 한층 촉진되기 때문이다.

Fig. 6은 흡음시료 No.5~No.7에 대한 수직입사 흡음률을 측정하여 비교한 결과이다. 밀도가 낮을수록 흡음률이 높아지면서 공명주파수가 고주파수 대역으로 이동하였다. 이와 같이 밀도가 낮을수록

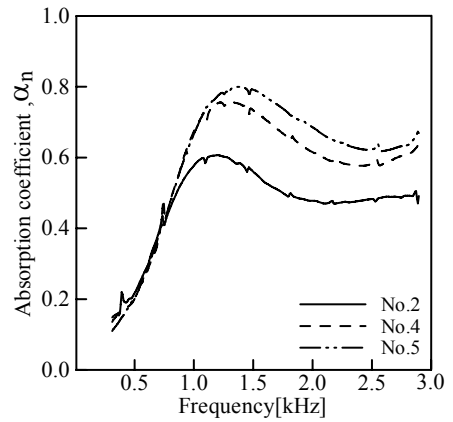


Fig. 5 Effect of the mixture ratio of sintered sound absorbing material on the absorption coefficient

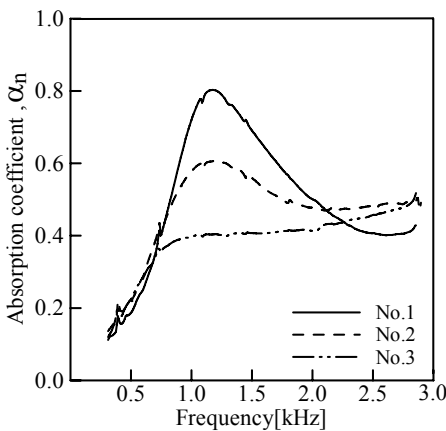


Fig. 4 Effect of the particle size of sintered sound absorbing material on the absorption coefficient

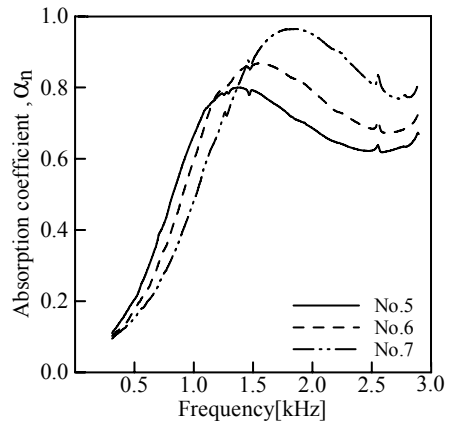
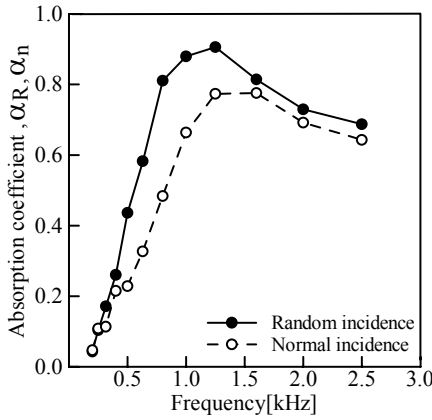


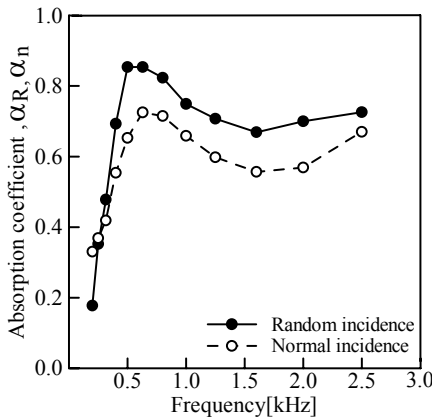
Fig. 6 Effect of the porosity of sintered sound absorbing material on the absorption coefficient

흡음률이 높아지고 고주파수대역으로 이동하는 것은 섬유질 흡음재에서도 볼 수 있는 흡음특성이다.

이상의 Figs. 4~6의 결과를 종합해 보면, 점토 소결재는 다공성 흡음재의 흡음특성과 같이 바인딩 재료를 적게 사용하고 밀도를 낮게 할수록 우수한 흡음성을 가지며, 입자크기에 따라 소결 흡음재의 흡음특성을 공명형 또는 섬유질형 흡음재의 성격을 갖도록 설계할 수 있음을 알았다. 또한 입자크기 0.6-1 mm의 시편을 바인딩 비율을 15% 미만으로 제작할 경우 공명주파수대역에서 흡음성능이 탁월하면서 고주파수대역까지 높은 흡음률을 유지하는 것을 확인하였다.



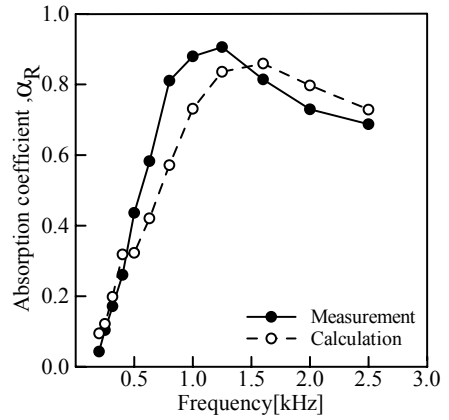
(a) No airspace



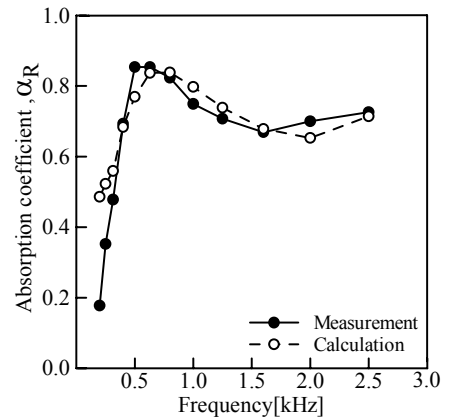
(b) 25 mm airspace

Fig. 7 Comparison of the random and normal incidence sound absorption coefficients measured by the impedance tube method and the reverberation method(No. 5)

Fig. 7은 흡음시료 No. 5에 대하여 수직입사 흡음률을 narrow band로 측정하여 1/3옥타브대역 중심주파수로 변환한 결과와 난입사 조건에서 흡음률을 1/3옥타브대역 중심주파수로 측정한 결과를 비교한 것이다. Fig. 7(a)는 배후 공기층이 없을 때이고, Fig. 7(b)는 흡음시료 배후에 25 mm의 공기층을 두었을 때이다. 또한 ●는 난입사 흡음률을 나타내며, ○은 수직입사 흡음률을 나타낸다. 결과에서 보듯이 배후 공기층 유무에 상관없이 난입사의 경우가 수직입사보다 전반적으로 흡음률이 더 높게 나타났다. 특히 소음저감계수(NRC)기준으로 비교해보면 난입사의 경우가 수직입사보다 약 25% 정도



(a) No airspace



(b) 25 mm airspace

Fig. 8 Comparison of the random incidence sound absorption coefficients for sintered sound absorbing material with and without backed cavity, respectively(No.5)

증가하였다. 이것은 수직입사보다 난입사의 경우가 흡음시료로 입사되는 음의 입사각 유효범위가 넓기 때문이다⁹⁾.

Fig. 8은 흡음시료 No.5에 대하여 식 (6)으로부터 구한 수직입사 흡음률 결과를 식 (8)에 대입하여 구한 난입사 흡음률 계산결과와 난입사 조건에서 측정된 결과를 1/3옥타브대역 중심주파수별로 비교한 것이다. Fig. 8(a)는 배후 공기층이 없을 때이고, Fig. 8(b)는 흡음시료 배후에 25 mm의 공기층이 있을 때이다. 또한 ●는 ○는 각각 난입사 흡음률의 측정결과와 계산결과를 나타낸다. Fig. 8(a)의 배후 공기층이 없는 경우에는 계산결과와 측정결과가 전반적으로 일치하는 경향을 보이거나, 주파수대역에 따라 최대 30%의 오차를 나타내었다. 또한 Fig. 8(b)와 같이 배후 공기층이 있는 경우는 200 Hz대역에서 오차를 보이는 것을 제외하면, 전체적으로 계산결과와 측정결과가 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 측정결과와 계산결과 간에 오차를 갖는 것은 난입사 측정대상 시료의 제작과정에서 비롯된 균질성 문제인 것으로 확인하였다.

5. 결 론

이 연구에서는 점토를 입자크기별로 가공하여 바인딩 한 후에 소결과정을 거쳐 제조한 점토 소결 흡음체에 대한 흡음성능을 측정하고 고찰하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 점토 소결 흡음체는 입자크기에 따라 서로 다른 음 소산기구에 의해서 흡음 작용하는 것을 확인하였다. 입자크기가 크면 입자간의 공간이 확보되어 공명현상이 쉽게 일어나 음에너지와 입자와의 강한 마찰작용으로 인하여 음 소산이 활발하게 일어나 공명주파수대역에서 흡음률이 커지는 것을 확인하였다. 반면에, 입자크기를 작게 하면 음 소산이 단순히 음에너지와 입자와의 마찰작용으로 인하여 섬유질 계통의 흡음체와 같이 주파수 증가와 함께 흡음률도 증가하는 특성을 나타내었다.

(2) 소결 흡음체는 바인딩 재료를 15% 미만으로 사용하면 공명주파수대역 뿐만 아니라 고주파수대역까지 높은 성능이 확보되는 것을 확인하였다. 또한 밀도를 낮게 할수록 입자간 기공확보에 의한 음 소

산 촉진으로 흡음성능이 향상됨을 알았다.

(3) 소결 흡음체 역시 섬유질 흡음체와 같이 난입사 흡음률이 수직입사 흡음률보다 20% 이상 증가하는 것을 확인하였다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 일부 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, D. H., Hur, S. C. and Kwon, Y. P., 2002, Estimation of the Sound Absorption Performance for Multiple Layer Perforated Plate Systems by Transfer Matrix Method, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 709~716.
- (2) Heo, S.-W. and Lee, D.-H., 2003, Effect of the Through-flow on the Absorption Performance of a Perforated Plate System, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 163~167.
- (3) Song, H.-Y., Seo, E.-S., Kim, H.-T., Lee, S.-M., Lee, D.-H., 2009, An Experimental Study on the Absorption Performance of Ceramic Materials, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 163~167.
- (4) Lee, S. U., Park, S.-J., Lee, D.-H., Phae, C.-G. and Kim, M.-B., 2001, Acoustical Properties of Steel-wire Sound Absorbing Materials, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 1341~1346.
- (5) Utsuno, H., Tanaka, T., Fujikawa, T. and Seybert, A. F., 1989, Transfer Function Method for Measuring Characteristic Impedance and Propagation Constant of Porous Materials, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 86, No. 2, pp. 637~643.
- (6) Beranek, L. L. and Istvan, L. ver, 1992, Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Applications, pp. 216~222.
- (7) Chung, J. Y. and Blaser, D. A., 1980, Transfer Function Method of Measuring in-Duct Acoustic Properties. Theory, II Experiment, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 68, No. 3, pp. 907~921.

(8) Measurement of Sound Absorption in a sound absorbing material. Reverberation Room, KS F 2805:2009.

(9) Faulkner, L. L., 1976, Handbook of Industrial Noise Control, Industrial Press Inc., pp. 152~158.



Yoon-Sang Yang is a graduate student in Department Energy System Engineering, Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology. He has studied for sound absorption properties of



Dong-Hoon Lee received his MS and PhD degrees from Soongsil University. Since 1995 he has been working for professor of Mechanical and Automotive Engineering at Seoul National University of Science and Technology. He has researched sound absorbing material and Helmholtz resonator.