

셀룰로오스 흡음재의 음향적 특성 평가

Evaluations of the Acoustics Characteristics of Cellulose Absorbers

연준오*·김경우*·양관섭*

Joon-oh Yeon, Kyoung-woo Kim and Kwan-seop Yang

(Received March 14, 2012 ; Revised April 16, 2013 ; Accepted April 16, 2013)

Key Words : Cellulose Absorbers(셀룰로오스 흡음재), Absorption Coefficient(흡음률), Sound Transmission Loss(음향투과손실), Dynamic Stiffness(동탄성 계수)

ABSTRACT

Eco-friendly material applied to building would be one of the materials which is must developed for global environmental conservation and reduction of carbon dioxide. For development of eco-friendly material, a cellulose absorber has been developed with waste paper through adjustment of various mix proportions. The developed cellulose absorber has been tested for its acoustic properties such as absorption coefficient and dynamic stiffness. The absorption coefficient was evaluated by developing six samples and using impedance tube and reverberation chamber. As a result of the evaluation, 0.64(NRC) was secured in absorption coefficient and 4.7 MN/m³ was indicated in dynamic stiffness. Also, for practical use of developed absorbers as inner heartwood in drywall, comparison test of sound reduction index was performed with existing glass wool absorbers and constructed dry-wall of gypsum board. The results have shown 55 dB(Rw) of sound reduction index in glass-wool wall and 46 dB(Rw) in cellulose.

1. 서론

친환경, 건강과 웰빙, 지구환경보존, CO₂ 저감과 같은 용어는 범세계적인 요구로 환경과 자연을 중요하게 생각하는 현대인의 필수적인 고려항목이 되고 있다. 최근 다양한 환경인증제도가 도입되고 에너지 절약을 위해 여러 기술과 제도가 시행됨에 따라 이러한 환경개선을 위해서 친환경적인 재료개발에도 관심을 가지게 된다. 과거 비용대비 효율이 낮은 기술들도 환경개선과 보호를 위하여 적용이 고려되는 것과 같이 건축물에 사용되는 재료의 친환경성은 반

드시 고려되어야 한다. 친환경 건축자재 개발을 위해서는 건축물 친환경화, 이산화탄소 배출 저감, 자재제작 에너지 저감 등이 요구되고 있다.

이러한 환경적인 측면을 바탕으로 친환경 건축재료 재료개발을 위하여 버려지는 폐지(셀룰로오스)를 활용하고자 한다. 건축물의 음향적인 조건 개선에 사용될 수 있는 셀룰로오스 흡음재를 연구를 통하여 개발하고 있다.

이 연구는 폐지가 적용된 셀룰로오스 흡음재를 다양한 배합비와 공정을 통하여 개발하고 개발된 흡음재의 음향적인 특성을 분석하여 향후 다양한 친환경 재료 개발의 기초적인 자료로 제공하고자 한다.

† Corresponding Author ; Member, Korea Institute of Construction Technology
E-mail : kwj@kict.re.kr
Tel : +82-31-910-0356, Fax : +82-31-910-0361
* Member, Korea Institute of Construction Technology

A part of this paper was presented at the KSNVE 2013 Annual Spring Conference
‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

2. 셀룰로오즈 흡음재 제조 공정

셀룰로오즈 흡음재의 제조공정은 Fig. 1과 같으며, 6단계의 공정으로 이루어진다. 국내에서 발생하는 폐지를 수거하여 폐쇄의 작업을 거친 후 흡음재로 일정한 규격을 가진 형상을 만들기 위한 공정으로 폐쇄된 폐지와 전분을 혼합하고 두 개의 물질을 하나의 물질로 만드는 펠렛(pellet)의 공정으로 이어진다. 펠렛의 공정이 마무리되면, 제품의 형상을 가지도록 발포를 위한 폴리프로필렌과 추가적으로 혼합하는 과정을 거친다.

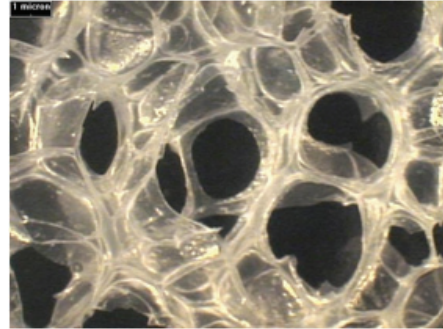
제품은 압출을 통하여 생산하는데 방법은 친환경적이며, 제품의 일정한 밀도 유지를 위하여 수증기를 사용한다.

3. 음향특성 평가 개요

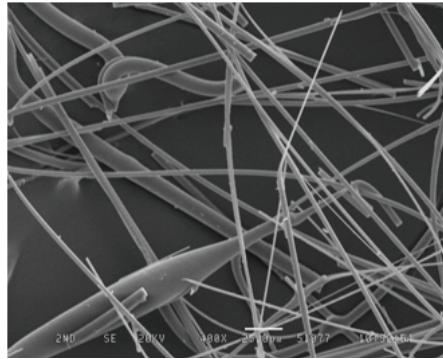
3.1 개요

이 연구에서 개발한 셀룰로오즈 흡음재의 단면구조를 전자현미경으로 관찰(x400)한 결과 Fig. 2와 같이 복합 다공성 셀 형태로 일반적으로 경량벽체에 사용되는 글라스울의 섬유상 단면형태와 상반되는 모양을 띄고 있다. 이러한 셀룰로오즈 흡음재의 음향적 특성을 평가하기 위하여 우선적으로 소량의 제품만 소요되고, 수직입사음^(1,2)에 대한 흡음률을 측정할

수 있는 임피던스 튜브를 활용하여 흡음률 측정을 진행하였으며, 임피던스 튜브 측정결과를 토대로 시료를 잔향실법 측정에 필요한 수량만큼 생산하여 잔향



(a) Cellulose absorber



(b) Glass wool

Fig. 2 Microphotographic image of absorbers



(a) Waste papers



(b) Mixing with starch



(c) Mixing with pellets



(d) Mixing with polypropylene



(e) Expansion by water vapour and extrusion



(f) Finished

Fig. 1 Manufacturing process of the absorber

실험으로 흡음률 측정 및 평가를 진행하였다.

흡음률 측정 전 흡음률에 영향을 주는 요인으로 흡음재의 두께와 표면형태를 고려하여 흡음재의 두께 변화와 면의 형태를 변화시켜 흡음률 측정을 진행 하였다.

흡음률 측정결과를 토대로 건식벽체의 내부 흡음재로 적합한 밀도 및 두께 등을 결정하여 경량 건식벽체에 삽입 후 음향투과손실을 검증하였으며, 일반적으로 건식 경량벽체에 내부 흡음재로 사용되는 글라스울이 삽입된 벽체와 비교하였다. 측정은 1/3 octave band로 하였으며, 추가적으로 바닥 완충재로 사용 가능성을 살펴보기 위해서 동탄성계수 측정을 진행하였다.

3.2 시험 항목

(1) 흡음률 측정

다양한 구성조건을 가진 셀룰로오즈 흡음재의 흡음률 측정은 임피던스 튜브를 활용하여 수직입사음에 대한 흡음률 측정을 진행하였다. 그 결과로 기존 연구⁽³⁾를 통해 랜덤입사의 흡음률을 예측하였다.

이 연구에서 흡음률 측정 시 사용한 임피던스 튜브(BSEA SW-260)는 직경 60 mm 튜브와 직경 30 mm로, 직경 60 mm는 125 Hz~2500 Hz 대역, 30 mm는 500 Hz~6300 Hz대역의 흡음률 측정 범위를 가지고 있으며, 최종적으로 중첩되는 주파수 대역을 음압에너지 합으로 나타낸다. 흡음률 측정을 위한 시료는 시료틀 크기와 동일하게 재단하였으며, 튜브에 삽입할 경우 가장자리 부분에 틈이 생기지 않도록 크립을 도포하여 마무리 하였다.

셀룰로오즈 흡음재의 측정시료 조건은 첫 번째 Table 1과 같이 흡음재의 두께, 밀도 등에 대해 검토하였다. 또한, Fig. 3과 같이 압출되어 나올 때 시료의 표면이 매끈한 경우와 그 면을 수평으로 절삭하여 오픈셀을 유도한 부분으로 구분하여 측정을 진행 하였으며, 그 결과를 토대로 Table 2와 같이 셀룰로오즈 흡음재의 두께 증가와 면의 형태를 변화시켜 글라스울과 폴리에스터의 흡음률 비교를 진행하였다.

셀룰로오즈의 제조상 종이와 전분을 사용하기 때문에 인체에 유해한 황색포도 상구균과 폐렴균의 서식을 방지하기 위하여 흡음재에 항균처리 후 흡음률 측정을 진행하였다. 측정조건은 Table 3과 같다.



(a) Cutting surface



(b) Normal surface

Fig. 3 Type of cellulose absorber surface

임피던스 튜브를 활용한 수직입사음에 대한 셀룰로오즈 흡음재는 난입사음에 대한 흡음률 검토를 위해 잔향실을 이용하여 KS F 2805⁽⁴⁾에 준해 측정을 진행하였다. 흡음재의 두께는 30 mm 두께를 합친 60 mm로 정하였다. 시료의 흡음면은 임피던스 튜브를 활용한 흡음률 측정시와 동일하게 시료가 초기에 만들어진 상태인 코팅면에서 수평으로 절삭하여 표면을 거칠게 하여 측정하였으며, 고주파수 대역인 2000 Hz의 흡음률을 높이기 위하여 기존연구⁽⁵⁾를 토대로 Helmholtz resonator 이론식 (1)을 적용하였다.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{l'V}} \tag{1}$$

여기서, c 는 음속이고 2π 는 상수이다. S 는 타공크기를 나타내며, l' 는 타공 깊이이다. 또한, V 는 타공의 볼륨을 나타낸다.

상기식에 준하여 시료의 표면에 Ø2, 깊이 25 mm를

Table 1 Experiment condition of cellulose absorber with density, thickness and surface type

Sample	Density	Thickness	Surface type
Cellulose	36 kg/m ³	20 mm	Normal surface
	23 kg/m ³	40 mm	Normal surface
	23 kg/m ³	45 mm	Normal surface
	27 kg/m ³	30 mm	Normal surface
	28 kg/m ³	25 mm	Cutting surface
	31 kg/m ³	25 mm	Cutting surface

Table 2 Experiment condition according to absorbers

Sample	Density	Thickness	Surface type	Note
Cellulose	55 kg/m ³	30 mm	Cutting surface	-
	55 kg/m ³	60 mm	Cutting surface	-
	55 kg/m ³	60 mm	Cutting surface	Hole
Glass wool	24 kg/m ³	50 mm	-	-
Polyester	40 kg/m ³	25 mm	-	-
	50 kg/m ³	40 mm	-	-

Table 3 antibiotics ratio of cellulose absorber

Sample	Density	Thickness	Surface type	Antibiotics
Cellulose	28 kg/m ³	30 mm	Normal surface	0.1 %
	28 kg/m ³	30 mm	Normal surface	0.5 %
	28 kg/m ³	30 mm	Normal surface	1.0 %

Table 4 Experiment condition of absorbers with cellulose aperture ratio

Sample	Density	Thickness	Surface type	Aperture ratio
Cellulose	55 kg/m ³	30 mm	Cutting surface	-
		60 mm	Cutting surface	-
				0.34 %
				0.68 %
				1.36 %
Glass wool	24 kg/m ³	50 mm	-	-
Polyester	40 kg/m ³	25 mm	-	-
	50 kg/m ³	40 mm	-	-

가진 타공을 타공률 0.34 %, 0.68 %, 1.36 %으로 증가시켜 흡음률 측정을 진행하였다. 또한, 글라스울과 폴리에스터의 흡음률 측정도 타공을 제외하고 동일한 조건에서 측정하여 흡음성능의 차이를 살펴보았

다. 측정조건은 Table 4와 같다.

(2) 음향투과손실

일반적인 경량벽체용 내부 흡음재로 사용중인 글라스울을 대신하여 대체 사용의 검증을 위해 음향투과손실량 측정을 셀룰로오스 흡음재를 삽입하고 측정하였다. 측정방법은 KS F 2808⁽⁶⁾, 평가방법은 KS F 2862⁽⁷⁾에 준하였다.

사용된 경량벽체는 스티드 폭 75 mm에 양방향으로 각각 15 mm 석고보드 2장이 붙여지는 구조이다. 동일한 경량벽체의 조건에서 내부에 글라스울을 삽입하고 측정을 진행하였다.

(3) 동탄성계수

셀룰로오스 흡음재의 바닥충격음 완충재의 활용성 부분을 확인하기 위하여 동탄성계수 측정을 진행하였다. 측정 방법은 KS F 2868⁽⁸⁾에 준하여 하였으며, 시료는 밀도 55 kg/m³, 두께는 30 mm의 시료를 사용하였다. 또한, 비교대상인 EPS, EVA는 1종씩 선정하여 동탄성계수를 비교 분석하였다.

4. 측정결과 및 분석

4.1 임피던스 튜브를 활용한 흡음률

임피던스 튜브를 활용하여 수직입사음에 대한 셀룰로오스 흡음재의 밀도와 두께에 따른 흡음률 결과는 Fig. 4와 같이 나타났다.

밀도를 23 kg/m³, 27 kg/m³, 36 kg/m³로 변화시킨 시료의 흡음계수는 0.18이하로 미비하게 나타났으며, 두께 증가에 따른 흡음계수 상승도 미비하게 나타났다. 그러나 시료의 표면을 원래상태에서 2 mm 가량 수평으로 절삭하여 흡음률을 측정한 결과 절삭되기전 상태보다 315 Hz에서 1250 Hz 대역의 흡음계수 증가로 0.30 이상 NRC가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 표면 절삭을 통한 내부 셀을 노출시켜 나타난 결과로 판단된다. 또한, 표면이 절삭된 동일한 시료에서 밀도를 28 kg/m³에서 31 kg/m³로 증가시킨 경우는 0.06 정도 NRC가 증가하는 것으로 나타났다.

추가적으로 셀룰로오스 표면을 절삭한 흡음재 밀도 및 두께를 55 kg/m³와 30 mm, 60 mm로 측정한 결과는 Fig. 5와 같이 큰 영향은 없게 나타났다. 그러나

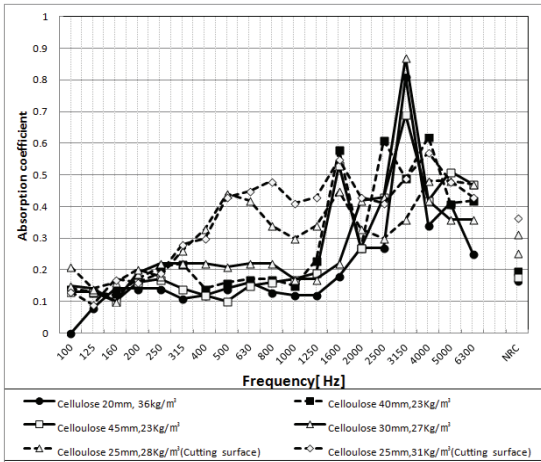


Fig. 4 The results of cellulose absorber with density, thickness and surface type at impedance tube

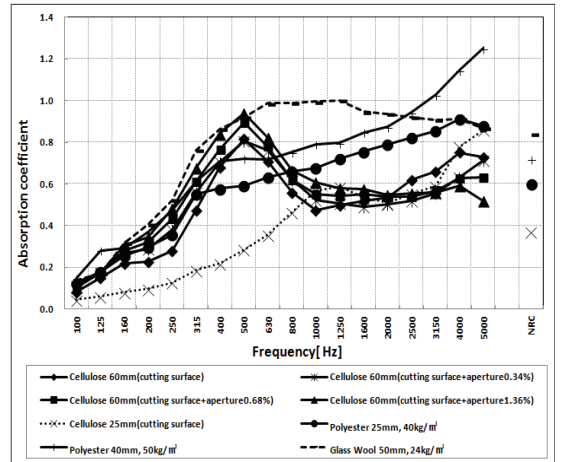


Fig. 7 The result of absorbers at reverberation chamber

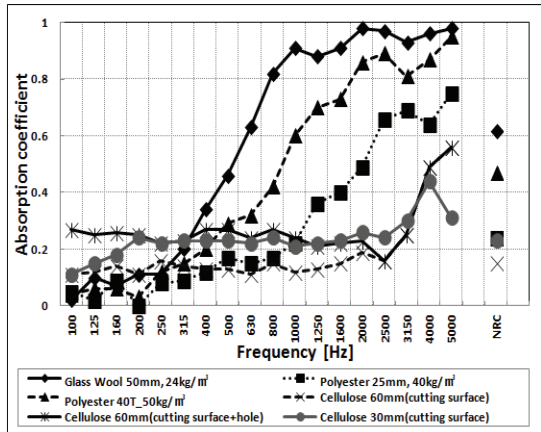


Fig. 5 The results of absorbers at impedance tube

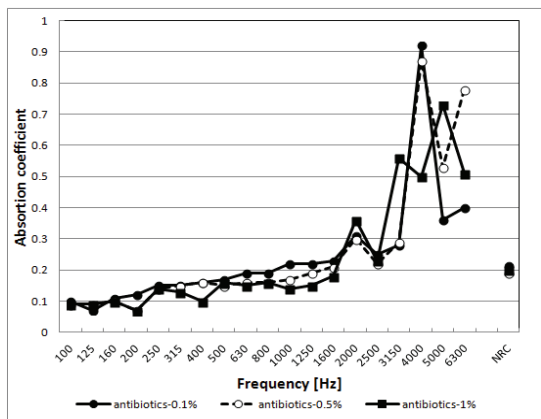


Fig. 6 The results of Cellulose absorber with antibiotics ratio at impedance tube

글라스울과 폴리에스터의 NRC는 0.62로 셀룰로오즈 흡음재보다 높게 나타났다.

셀룰로오즈 흡음재에 antibiotics를 첨가하여 흡음을 측정결과는 Fig. 6과 같이 나타났으며, 흡음계수에는 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 파악 되었다.

임피던스 튜브를 활용하여 셀룰로오즈 흡음재의 두께, 밀도, 표면형태 등을 변화시켜 측정된 결과 잔향실법 측정 시 NRC가 최대 0.50 이상 나타날 것으로 예상된다.

4.2 잔향실법을 활용한 흡음률

임피던스 튜브를 활용한 흡음률 측정 결과를 토대로 셀룰로오즈 흡음재의 밀도를 55 kg/m^3 로 정하였으며, 두께는 30 mm, 60 mm로 했다. 또한, 표면의 절삭과 절삭면에 타공하여 흡음면적을 최대한 증가시켜 흡음계수를 측정된 결과는 Fig. 7과 같다.

시료의 두께 30 mm, 절삭한 면일 경우 NRC 0.37로 나타났으며, 동일한 시료의 두께를 60 mm로 증가시켰을 경우 1000 Hz 이하에서 흡음계수 증가로 NRC값이 0.46으로 증가되었다. 또한, Helmholtz 식에 따라 2000 Hz 증가 유도를 위해 두께 60 mm 시료면에 $\varnothing 2$, 깊이 25 mm, 간격 30 mm로 타공률을 0.34%로 한 결과 NRC 0.55로 약 0.1 NRC값이 증가한 것으로 나타났다. 그러나 예상했던 2000 Hz의 흡음계수는 미미하였지만, 500 Hz 대역의 흡음계수가 높게 나타났다. 추가적으로 타공률을 0.68%과 1.36%로 증가시킨 결과 NRC 0.61, 0.64로 흡

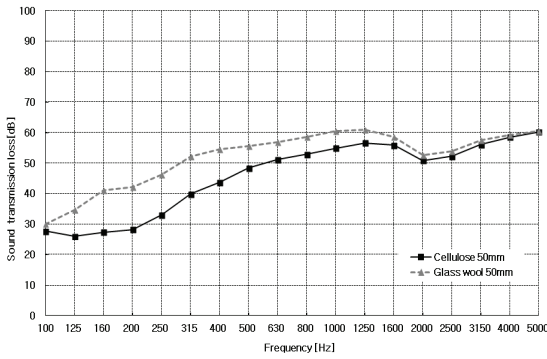


Fig. 8 The result of sound transmission loss

Table 5 The result of dynamic stiffness

Sample	Dynamic stiffness	Density	Thickness	Note
Cellulose	4.7 MN/m ³	55 kg/m ³	30 mm	Flat
EPS	2.6 MN/m ³	10 kg/m ³	30 mm	Plat
EVA	5.1 MN/m ³	45 kg/m ³	35 mm	Uneven

흡음계수 증가량이 대동소이하였으며, 최초 타공률 0.34 %일 경우와 동일하게 500 Hz 대역 이상에서 흡음계수가 증가하였다. 예상했던 흡음계수의 증가가 2000 Hz가 아닌 500 Hz 대역에서 증가된 것은 시료의 특성과 타공 시 사람이 인위적으로 타공하여 간격 및 정확한 타공이 되지 않았고, 타공부위 주변의 처리가 미비했기 때문이라고 사료된다.

단면구조가 닫힌구조와 열린구조의 복합 셀 구조를 갖는 다공성 셀룰로오스 흡음재와 섬유상 구조의 폴리에스터의 흡음률을 비교한 결과 글라스울이 NRC 0.84로 가장 높게 나타났다. 또한, 추가적으로 폴리에스터 두께 25 mm에서는 NRC 0.60, 40 mm에서는 0.72로 셀룰로오스 흡음재보다 NRC가 높게 나타났다.

4.3 건식벽체를 통한 음향투과손실량

실제로 글라스울이 적용된 벽체와 셀룰로오스 흡음재가 적용된 벽체의 차음성능을 상호 비교하였다. 결과는 Fig. 8과 같이 나타났다.

실험에 사용된 경량벽체 타입에서 글라스울이 삽입된 경량벽체의 경우 55 dB(Rw)로, 셀룰로오스 흡음재가 삽입된 46 dB(Rw) 보다 현저하게 높게 나타났다. 이러한 결과는 두 개의 시료의 밀도 차이는 크

지만, 셀룰로오스 흡음재의 경우에 글라스울 흡음재와 달리 저항재의 역할보다는 구조재의 역할로 석고보드의 sound bridge 역할로 500 Hz부분의 중음역 대역에서 차음성능을 높이지 못한 결과로 사료된다.

4.4 동탄성계수 측정결과

완충재료로서의 활용성을 확인하기 위하여 셀룰로오스 시료의 동탄성계수를 측정하였다. 측정결과 4.7 MN/m³로 바닥충격음 완충재인 EPS와 EVA 시료와 유사하게 나타났다. 향후, 완충재로서 사용하기 위해서는 동탄성계수 이외의 잔류변형이나 흡수율 등 기타 물리적 성질에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

셀룰로오스 흡음재의 흡음률, 음향투과손실 및 동탄성계수를 포함한 음향적 특성을 평가하였다.

(1) 임피던스튜브를 활용하여 수직입사음에 대한 흡음률 측정결과 시료의 두께와 밀도 증가에 따라 NRC는 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 표면 형상의 변화에 따라 흡음재의 면이 절삭된 경우 NRC 값이 0.1 가량 증대되었다.

잔향실 측정결과, 두께 60 mm, 밀도 55 kg/m³의 시료면을 절삭하고 타공률 1.34 %로 구성된 시료에서 NRC 0.64로 가장 높은 흡음률을 보였다.

(2) 건식벽체 차음성능 측정결과, 글라스울이 내부 심재로 적용된 벽체보다 약 10 dB 차음성능이 저하되었다.

(3) 셀룰로오스 흡음재의 동탄성계수는 바닥충격음 완충재로 사용되는 EPS, EVA 시료와 유사한 수치를 보이고 있었다.

셀룰로오스 흡음재의 흡음률 개선과 적용분야 확대를 위하여 추가적인 연구가 진행중에 있다.

후 기

이 연구는 환경부 환경산업선진화 기술개발사업의 일부로 수행되었습니다(과제번호:402-111-006).

참 고 문 헌

(1) Scott, R. A., 1946, The Absorption of Sound in a Homogeneous Porous Medium, Proc. Phys. Soc. London. Vol. 58. pp. 165~183.

(2) Yaniv, S., 1973, Impedance Tube Measurement of the Propagation Constant and Characteristic Impedance of Porous Materials, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 54, pp. 1138~1142.

(3) Olynyk, D. and Northwood, T. D., 1964, Comparison of Reverberation-room and Impedance-tube Absorption Measurements, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 36, No. 11, pp. 2171~2174.

(4) KS F 2805: 2004, Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room.

(5) Song, H. Y. and Lee, D. H., 2008, A Study on the Acoustic Absorption Performance of a Helmholtz Resonator, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No. 1, pp. 71~79.

(6) KS F 2808: 2011, Laboratory Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Elements.

(7) KS F 2862: 2002, Rating of Airborne Insulation in Buildings and of Building Elements.

(8) KS F 2868: 2003, Determination of Dynamic Stiffness of Materials Used Under Floating Floors in Dwellings.



Kyoung-woo Kim received PhD in architecture engineering from hanyang university in 2009. He is working at KICT(Korea Institute of Construction Technology) as a senior researcher. His research interests are floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.



Jun-oh Yeon received master degrees from hanyang university in 2010 and he is currently majoring in floor impact sound and vibration in apartment. He especially is interested in sound characteristics due to insulation assembly.



Kwan-seop Yang is senior research fellow and director at Korea institute of construction technology. He received his PhD in architecture engineering from chonbuk university in 1997. His research interests are floor impact sound, noise reduction in apartment, especially base on architecture environment.