

셀룰로오즈 흡음재의 음향적 특성 평가

Evaluations of the Acoustics Characteristics of Cellulose Absorbers

연준오*·김경우†·양관섭*

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

Key Words : Cellulose Absorbers, Absorption coefficient, NRC, Sound transmission loss, Dynamic stiffness

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 sound-absorbing material has been developed with waste paper through adjustment of various mix proportions. The developed cellulose sound-absorbing material has been tested for its acoustic properties such as acoustic absorptivity and dynamic elastic modulus. The absorptivity 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 absorptivity and 4.7 MN/m^3 was indicated in dynamic elastic modulus. Also, for practical use of developed sound-absorbing material as inner heartwood in drywall, comparison test of sound reduction index was performed with existing glass wool sound-absorbing material and constructed drywall of gypsum board. The results have shown 55dB(Rw) of sound reduction index in glass-wool wall and 46dB(Rw) in cellulose.

1. 서 론

친환경, 건강과 웰빙, 지구환경보존, CO₂저감과 같은 용어는 범세계적인 요구로 환경과 자연을 중요하게 생각하는 현대인의 필수적인 고려항목이 되고 있다. 최근 다양한 환경인증제도가 도입되고 에너지 절약에 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 반드시 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(셀룰로오즈)를 활용하고자 한다. 건축물의 음향적인 조건 개선에 사용될 수 있는 셀룰로오즈 흡음재를 연구를 통하여 개발하고 있다.

본 연구는 폐지가 적용된 셀룰로오즈 흡음재를 다양한 배합비와 공정을 통하여 개발하고 개발된 흡음재의 음향적인 특성을 분석하여 향후 다양한 친환경재료 개발의 기초적인 자료로 제공하고자 한다.

† 교신저자; 정희원, 한국건설기술연구원

E-mail : kwmj@kict.re.kr

Tel : 031-910-0356, Fax : 031-910-0361

* 정희원, 한국건설기술연구원

2. 셀룰로오즈 흡음재 제조 공정

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

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



Fig 1. Manufacturing process of the absorber

3. 음향특성 평가 개요

3.1 개요

본 연구에서 개발한 셀룰로오즈 흡음재의 단면구조를 전자현미경으로 관찰한 결과 Fig 2.와 같이 단한 셀형태로 일반적으로 경량벽체에 사용되는 글라스울의 단면형태와 상반되는 모양을 띠고 있다. 이러한 셀룰로오즈 흡음재의 음향적 특성을 평가하기 위하여 우선적으로 소량의 제품만 소요되고, 수직입사음⁽¹⁾⁽²⁾에 대한 흡음율을 측정할 수 있는 임피던스튜브를 활용하여 흡음율을 측정을 진행하였으며, 임피던스 튜브 측정결과를 토대로 시료를 잔향실법 측정에 필요한 수량만큼 생산하여 잔향실법으로 흡음율 측정 및 평가를 진행하였다.

흡음율 측정 전 흡음율에 영향을 주는 요인으로 흡음재의 두께와 표면형태를 고려하여 흡음재의 두

께 변화와 면의 형태를 변화시켜 흡음율 측정을 진행 하였다.

흡음율 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 1/3octave band로 하였으며, 추가적으로 바닥 완충재로 사용 가능성을 살펴보기 위해서 동탄성계수 측정을 진행하였다.

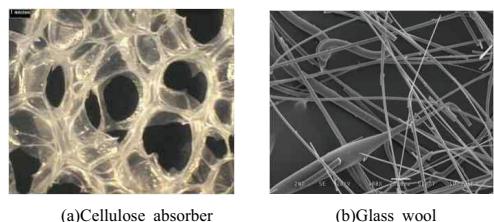


Fig 2. Microphotographic image of absorbers

3.2 시험 항목

(1) 흡음율 측정

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

본 연구에서 흡음율 측정 시 사용한 임피던스 튜브(BSEA SW-260)는 직경 60mm 튜브와 직경 30mm로 직경으로 60mm 는 125Hz~2500Hz 대역, 30mm 는 500Hz~6300Hz 대역의 흡음율 측정 범위를 가지고 있으며, 최종적으로 중첩되는 주파수 대역을 음압에너지 합으로 나타낸다. 흡음율 측정을 위한 시료는 시료를 크기와 동일하게 제단하였으며, 튜브에 삽입할 경우 가장자리 부분에 틈이 생기지 않도록 크림을 도포하여 마무리 하였다.

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

하였다.

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

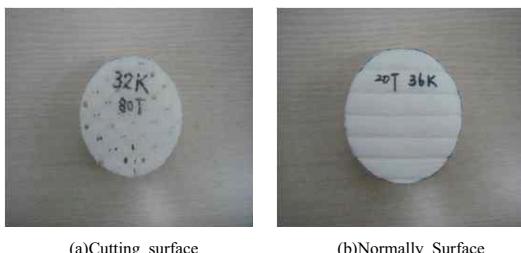


Fig 3. Type of Cellulose absorber surface

임피던스 튜브를 활용한 수직입사에 대한 셀룰로오즈 흡음재의 흡음을 검토 잔향실을 이용하여 KS F 2805⁽⁴⁾에 준하여 잔향실법 흡음을 측정을 진행하였다. 흡음재의 두께는 30mm 두겹을 합친 60mm로 정하였다. 시료의 흡음면은 임피던스 튜브를 활용한 흡음을 측정시와 동일하게 시료가 초기에 만들 어진 상태인 코팅면에서 수평으로 절삭하여 표면을 거칠게 하여 측정하였으며, 고주파수 대역인 2000Hz의 흡음을 높이기 위하여 기준연구⁽⁵⁾를 토대로 Helmholtz resonator 이론식 (1)을 적용하였다.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{t' V}} \quad (1)$$

여기서, c 는 음속이고 2π 는 상수이다. S 는 타공크기를 나타내며, t' 는 타공 깊이이다. 또한, V 는 타공의 볼륨을 타나낸다.

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

Sample	Density	Thickness	Surface type
Cellulose	36 kg/m³	20mm	Normally Surface
	23 kg/m³	40mm	Normally Surface
	23 kg/m³	45mm	Normally Surface
	27 kg/m³	30mm	Normally Surface
	28 kg/m³	25mm	Cutting Surface
	31 kg/m³	25mm	Cutting Surface

상기식에 준하여 시료의 표면에 Ø2, 깊이 25mm를 가진 타공을 타공을 0.34%, 0.68% 1.36% 으로 증가시켜 흡음을 측정을 진행하였다. 또한, 글라스울과 폴리에스터의 흡음을 측정도 타공을 제외하고 동일한 조건에서 측정하여 흡음성능의 차이를 살펴보았다. 측정조건은 Table 4. 와 같다.

Table 2 Experiment condition according to absorbers

Sample	Density	Thickness	Surface type	Note
Cellulose	55 kg/m³	30mm	Cutting Surface	-
	55 kg/m³	60mm	Cutting Surface	-
	55 kg/m³	60mm	Cutting Surface	hole
Glass wool	24 kg/m³	50mm	-	-
Polyester	40 kg/m³	25mm	-	-
	50 kg/m³	40mm	-	-

Table 3 antibiotics ratio of cellulose absorber

Sample	Density	Thickness	Surface type	antibiotics
cellulose	28 kg/m³	30mm	Normally Surface	0.1%
	28 kg/m³	30mm	Normally Surface	0.5%
	28 kg/m³	30mm	Normally Surface	1.0%

Table 4 Experiment condition of absorbers with cellulose aperture ratio

Sample	Density	Thickness	Surface type	Aperture ratio
Cellulose	55 kg/m³	30mm	Cutting Surface	-
		60mm	Cutting Surface	-
				0.34%
				0.68%
				1.36%
Glass wool	24kg/m³	50mm	-	-
Polyester	40kg/m³	25mm	-	-
	50kg/m³	40mm	-	-

(2) 음향투과손실

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

사용된 경량벽체는 스터드 폭 75mm에 양방향으로 각각 15mm 쇡고보드 2장이 붙여지는 구조이다.

동일한 경량벽체의 조건에서 내부에 글라스울을 삽입하고 측정을 진행하였다.

(3) 동탄성계수

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

4. 측정결과 및 분석

4.1 임피던스 튜브를 활용한 흡음을

임피던스 튜브를 활용하여 수직입사 음에 대한 셀룰로오즈 흡음재의 밀도와 두께에 따른 흡음율 결과는 Fig 4. 와 같이 나타났다.

밀도를 23kg/m³, 27kg/m³, 36kg/m³으로 변화시킨 시료의 흡음계수는 0.18이하로 미비하게 나타났으며, 두께 증가에 따른 흡음계수 상승도 미비하게 나타났다. 그러나 시료의 표면을 원래상태에서 2mm 가량 수평으로 절삭하여 흡음율을 측정한 결과 절삭되기 전 상태보다 315Hz에서 1250Hz 대역의 NRC 증가로 0.30 이상으로 NRC가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 표면 절삭을 통한 내부 셀을 노출시켜 나타난 결과로 판단된다. 또한, 표면이 절삭된 동일한 시료에서 밀도가 28kg/m³에서 31kg/m³로 증가 시킨 경우는 0.06 정도 NRC가 증가하는 것으로 나타났다.

추가적으로 셀룰로오즈 표면을 절삭한 흡음재 밀도 및 두께를 55 kg/m³ 와 30mm, 60mm 으로 측정한 결과는 Fig 5. 와 같이 큰 영향은 없게 나타났다. 그러나 글라스울과 폴리에스터의 NRC는 0.62로 셀룰로오즈 흡음재보다 높게 나타났다.

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

임피던스 튜브를 활용하여 셀룰로오즈 흡음재의 두께, 밀도, 표면형태 등을 변화시켜 측정한 결과 잔향설법 측정 시 NRC 최대 0.50 이상 측정 될 것으로 예상된다.

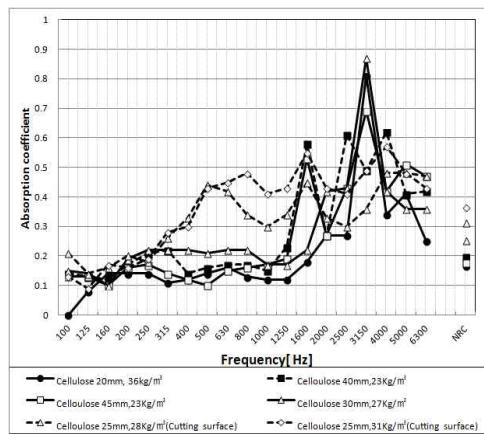


Fig 4. The results of cellulose absorber with density, thickness and surface type at impedance tube

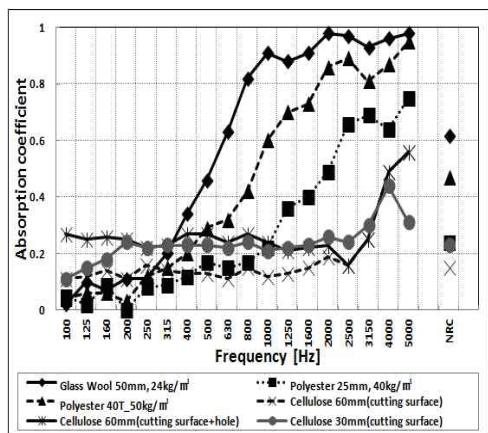


Fig 5. The results of absorbers at impedance tube

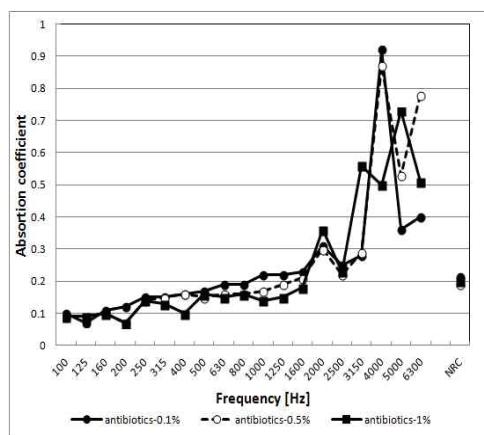


Fig 6. The results of Cellulose absorber with antibiotics ratio at impedance tube

4.2 잔향실법을 활용한 흡음을

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

시료의 두께 30mm, 절삭한 면일 경우 NRC 0.37로 나타났으며, 동일한 시료의 두께를 60mm로 증가시켰을 경우 1000Hz 이하에서 흡음계수 증가로 NRC 값이 0.46으로 증가되었다. 또한, Helmholtz식에 따라 2000Hz 증가 유도를 위해 두께 60mm 시료면에 Ø2, 깊이 25mm, 간격 30mm로 타공율을 0.34%로 한결과 NRC 0.55로 약 0.1 NRC 값이 증가한 것으로 나타났다. 그러나 예상했던 2000Hz의 흡음계수는 미미하였지만, 500Hz 대역의 흡음계수가 나타났다. 추가적으로 타공율을 0.68%과 1.36%로 증가시킨 결과 NRC 0.61, 0.64로 흡음계수 증가량이 대동소이하였으며, 최초 타공율 0.34%일 경우와 동일하게 500Hz 대역 이상에서 흡음계수가 증가하였다. 예상했던 흡음계수의 증가가 2000Hz가 아닌 500Hz 대역에서 증가된 것은 시료의 특성과 타공 시 사람이 인위적으로 타공하여 간격 및 정확한 타공이 되지 않았고, 타공부위 주변의 처리가 미비했기 때문이라고 사료된다.

단면구조가 단한 구조인 셀룰로오즈 흡음재와 오픈셀인 글라스울, 폴리에스터의 흡음을 비교한 결과 글라스울이 NRC 0.84로 가장 높게 나타났다. 또한, 추가적으로 폴리에스터 두께 25mm에서는 NRC 0.60, 40mm에서는 0.72로 셀룰로오즈 흡음재보다 NRC가 높게 나타났다.

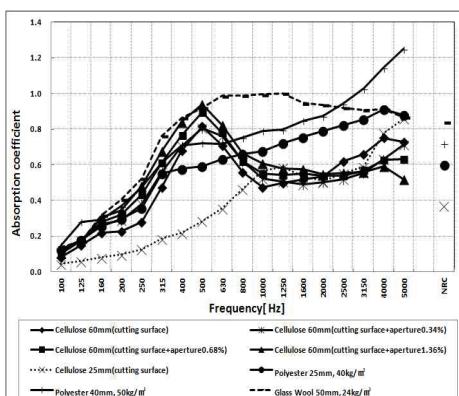


Fig 7. The result of absorbers at reverberation chamber

4.3 건식벽체를 통한 음향투과손실량

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

실험에 사용된 경량벽체 타입에서 글라스울이 삽입된 경량벽체의 경우 55dB(Rw)로, 셀룰로오즈 흡음재가 삽입된 46dB(Rw) 보다 현저하게 높게 나타났다. 이러한 결과는 두 개의 시료의 밀도 차이는 크지만, 셀룰로오즈 흡음재의 경우에 글라스울 흡음재와 달리 저항재의 역할보다는 구조재의 역할로 석고보드의 Sound bridge 역할로 500Hz부분의 중음역 대역에서 차음성능을 높이지 못한 결과로 사료된다.

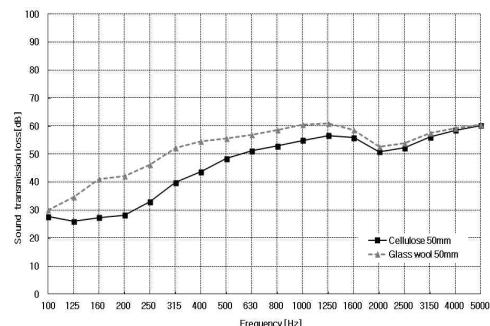


Fig 8. The result of sound transmission loss

4.4 동탄성계수 측정결과

완충재로서의 활용성을 확인하기 위하여 셀룰로오즈 시료의 동탄성계수 측정하였다. 측정결과 4.7MN/m^3 로 바닥충격음 완충재인 EPS와 EVA 시료와 유사하게 나타났다. 향후, 완충재로서 사용하기 위해서는 동탄성계수 이외의 잔류변형이나 흡수율 등 기타 물리적 성질에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

Table 5 The result of Dynamic stiffness

Sample	동탄성계수	Density	Thickness	비고
Cellulose	4.7MN/m^3	55Kg/m^3	30mm	평판
EPS	2.6MN/m^3	10Kg/m^3	30mm	평판
EVA	5.1MN/m^3	45Kg/m^3	35mm	요철

5. 결 론

셀룰로오즈 흡음재의 흡음율, 음향투과손실 및 동탄성계수를 포함한 음향적 특성을 평가하였다.

(1) 임피던스튜브를 활용하여 수직입사음에 대한 흡음율 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 60mm, 밀도 55kg/m^3 의 시료면을 절삭하고 타공율 1.34%로 구성된 시료에서 NRC 0.64로 가장 높은 흡음율을 보였다.

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

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

셀룰로오즈 흡음재의 흡음율 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 Absortion 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 korea 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"