

# 제조시점에 따른 섬유상 흡음재의 물리적 특성 변화

## Changes in Physical Properties of Fibrous Sound Absorption Materials According to the Manufacturing Time

정 영 선\* · 김 경 우 †

Young-sun Jeong and Kyoung-woo Kim

(Received June 2, 2014 ; Revised July 4, 2014 ; Accepted July 7, 2014)

**Key Words** : Fibrous Sound Absorbing Material(섬유상 흡음재), Sound Absorption Coefficient(흡음계수), Dynamic Stiffness(동탄성계수), Compressibility(잔류변형), Thermal Conductivity(열전도율)

### ABSTRACT

This study aimed to identify changes in the physical properties of artificial mineral-fiber materials used as building insulation that had been installed in the outer walls of buildings for a long time. To achieve this goal, glass fiber and rock wool were collected from outer walls in actual buildings and their acoustic and thermal performances were measured. These were compared with measurements from similar products manufactured recently. The results showed that old, used samples had a lower sound absorption coefficient compared to recently manufactured materials. The old samples also displayed increased compressibility compared to new materials. For example, the compressibility difference for glass wool was 7.32 mm. Old samples had a dynamic stiffness 1.28 MN/m<sup>3</sup> higher than new material samples. The thermal conductivity of both old and new samples increased within creasing temperature. They showed similar results at temperatures between 0 and 20 °C.

### 1. 서 론

건축물의 실내온도를 일정하게 유지하기 위해서는 주변 외부환경에 의한 실내의 열환경 변화가 크게 일어나지 않도록 조치를 취하여야 한다. 건축물 실내의 열을 지키기 위한 건물 외벽의 단열은 에너지 소비량을 줄이며 이를 통해 냉난방에너지 비용을 감소하게 하여준다<sup>(1)</sup>.

이를 위해 건물 외피(building envelope)인 외벽, 지붕, 바닥에는 단열재가 구성되도록 설계되어 주요 건축자재로 활용되고 있다. 건축물에서의 단열재는

건물의 외부로부터의 열손실을 줄이고 실내의 결로 발생을 방지하며 실외환경의 변화에 대응해 쾌적한 실내조건을 유지하는데 기본적으로 요구되는 사항이다. 또한 단열재의 사용은 실외로부터 그리고 이웃 세대로부터의 불필요한 소음이 전달되는 것을 막아 주는 역할을 하게 된다.

일부 단열재는 실내의 음향적 쾌적감뿐만 아니라 화재로부터 보호하는 방화성능을 가지고 있다<sup>(2)</sup>. 유리섬유나 암면과 같은 인조광물섬유 재료<sup>(3)</sup>는 한국에서 건축용 단열재로 주로 사용되며 건축물의 벽체, 천장, 바닥 등에 설치되고 있다. 또한 흡음이나 바닥충격음 저감을 위해 건축물의 건식벽체 내측 또

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

† Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

는 바닥 밑에 설치하여 완충재로도 사용되고 있다.

지금까지 단열재 또는 흡음재로 사용되는 건축자재의 물성에 관한 몇몇 연구가 발표되어 왔다. 문현준 외<sup>(4)</sup>는 국내에서 생산되는 건축자재 일곱 종류(콘크리트, 석고보드, 천장재, 단열재, 합판, 벽지, 한지)의 열습기 물성을 측정하고 실내의 열 습기 거동을 평가하였다.

김경우 외<sup>(5)</sup>는 51개 완충재료를 대상으로 완충재의 동탄성계수와 중량바닥충격음레벨간의 상관성을 분석하여, 동탄성계수가 낮을수록 중량바닥충격음레벨도 낮아지는 경향이 있음을 나타내었다. Schiavi 외<sup>(6)</sup>는 바닥충격음 완충재로 사용되는 유리섬유 등의 재료를 대상으로 동탄성계수 변화와 바닥충격음 차단성능과의 관계를 연구하였다. 이정옥 외<sup>(7)</sup>는 중공섬유를 활용하여 자동차 흡음재개발에 관한 연구를 수행하였으며, 연준오 외<sup>(8)</sup>는 폐지를 활용한 셀룰로즈 흡음재를 개발하였다. 상기 연구들과 같이 새로운 형태나 재료를 사용한 흡음재 개발 연구가 진행되어 왔다.

섬유상 재료는 단열재와 흡음재 등으로 사용되고 있으나 사용기간이 증대됨에 따른 재료 자체의 물성 변화가 어떻게 발생하는지 검토된 연구는 많지 않다.

이 연구는 건축물의 단열재로 사용되어 사용기간이 긴 재료와 신규로 생산된 재료간의 흡음계수, 동탄성계수, 잔류변형, 열전도율을 측정하여 사용기간과 재료의 물리적 특성 변화를 살펴보았다.

## 2. 측정개요

### 2.1 측정시료

물리적 특성변화를 살펴 본 시료는 1997년에 지어진 사무소건물의 외벽 내부에 단열재로 사용되었던 유리섬유와 암면을 대상으로 하였다. 습득된 시료와 최근 생산된 유리섬유 단열재(2012년 생산)와 암면(2013년 생산)을 비교 군으로 선정하였다. 건물에 장시간 외벽의 단열재로 사용되었던 유리섬유(그라스울)와 암면은 2012년 시행된 건물의 리모델링 과정에서 습득되었다. 건물의 건설 당시 사용된 유리섬유에 대한 초기 물성 값은 알 수 없는 상태로, 초기 물성 값은 설치 후 시간이 많이 경과하였기 때문에 변화 정도를 파악할 수는 없는 한계가 있었다. 따라서 현재 생산된 유사한 유리섬유와 암면을 대상

**Table 1** Properties of test specimens

Specimen	Thickness [mm]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Fiber orientation
Old-GW	49.7	34.1	Random
New-GW	50.0	30.4	Random
Old-RW	55.1	70.8	Random
New-RW	54.5	79.1	Random

으로 오래된 시료와 최근 생산된 시료간의 물성 특성을 상호 비교하였다.

습득된 오래된 시료는 습득 후 상온에서 보관하고 측정 전에 측정방법에 맞게 시편을 잘라 사용하였다. 열전도율 및 잔류변형을 측정하기 위한 시편의 크기는 300 mm×300 mm, 동탄성계수 측정 시편은 200 mm×200 mm 하였고, 흡음계수는 임피던스 튜브를 사용하여 지름 50 mm 시료로 측정하였다. 측정 시편은 실험측정하기 전에 48시간 동안 상대습도 50±5 % RH, 실내온도 23±2 °C의 항온항습 챔버에서 전처리하였다. 오래된 시료는 샘플 습득 과정에서 많은 양을 구할 수 없어서 각 시험항목별 1회 시험을 실시하였으며, 최근 생산된 제품은 3회 평균한 결과를 사용하였다.

이 논문에서는 건축자재로 과거에 사용되었던 유리섬유(GW)와 암면(RW)은 Old Specimen, 최근에 생산된 제품은 New Specimen로 명명하였다. Table 1은 측정시편의 일반적인 개요를 나타내고 있다.

### 2.2 시험항목

물리적 특성변화를 파악하기 위한 시험항목은 단열재로 건물외벽에 사용된 시료를 대상 열적 성능지표인 열전도율을 측정하였으며, 그라스울과 암면은 건식벽체 내부 흡음재와 국외에서는 바닥 완충재료로 사용하기 때문에 음향적 특성을 나타내는 흡음계수, 잔류변형, 동탄성계수 변화를 측정하였다. 또한 섬유 표면상태를 확인하기 위하여 scanning electron microscope(SEM)으로 사진을 촬영하여 섬유의 표면상태 및 굵기 등을 분석하였다.

## 3. 측정결과

### 3.1 SEM

Fig. 1과 Fig. 2는 측정시편의 표면 상태를 SEM



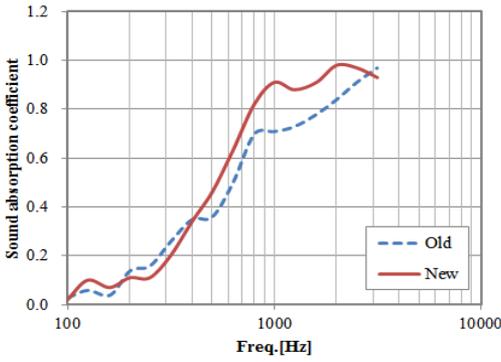


Fig. 3 Sound absorption coefficient(glass wool)

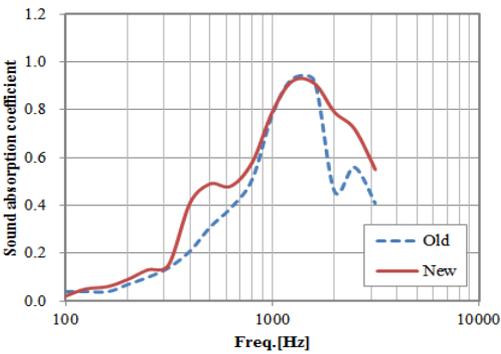


Fig. 4 Sound absorption coefficient(rock wool)

3.3 잔류변형

잔류변형은 바닥충격음 완충재의 물성평가항목 중 하나로 일정 초기 두께와 일정 하중후의 두께 차이를 의미한다. ‘바닥충격음 차단구조 인정 및 관리 기준(국토부 고시 제2013-611호)’에 시료의 두께에 따라 30 mm 미만은 2 mm 이하, 30 mm 이상은 3 mm 이하의 잔류변형이 되도록 규정하고 있다.

Table 2는 잔류변형 측정결과를 나타내며, 시료의 초기 두께  $d_L$ 과 하중 제거 후 두께  $d_B$ 의 차이로 잔류변형을 계산한다. 잔류변형은 Old-GW은 16.51 mm, New-GW은 9.19 mm, Old-RW은 17.26 mm, New-RW은 12.23 mm로 분석되었다. 시료의 종류에 상관없이 Old 시료는 하중이 제거된 후에 두께의 복원정도가 New 시료의 복원정도에 비하여 낮은 것으로 나타났다. 복원정도가 높지 않은 것은 시료의 탄성이 시간 경과를 통하여 낮아진 원인으로 판단된다.

섬유상 재료는 기공이 많은 재료이며, 잔류변형

Table 2 Compressibility

Specimen	Thickness(mm)		$d_L-d_B$ (mm)
	$d_L$	$d_B$	
Old-GW	44.74	28.27	16.51
New-GW	45.45	36.25	9.19
Old-RW	54.14	36.88	17.26
New-RW	53.60	41.37	12.23

시험의 50 kPa의 높은 하중으로 인하여 섬유조직이 파괴되기 때문에 잔류변형량이 높게 나타난다<sup>(9)</sup>. Schiavi 외<sup>(10)</sup> 연구결과에 그라스울과 암면의 잔류변형은 0.79 mm~5.5 mm로 나타나 이 시험결과에 비하여 낮은 잔류변형을 보이고 있다. 이러한 원인은 사용된 시료의 밀도차이 등에 기인한 것으로 판단되며, 밀도가 110~470 kg/m<sup>3</sup>의 시료가 사용되었다.

3.4 동탄성계수

동탄성계수는 뜬바닥용 재료의 바닥충격음 차단성능을 좌우하는 중요한 물리적 특성으로 동탄성계수가 낮아질수록 바닥충격음 차단성능은 향상된다<sup>(11)</sup>.

동탄성계수는 측정시료를 잔류변형시험 전과 후로 구분하여 각각 측정하여 동탄성계수 변화 정도를 파악하였다. 국내에서 사용되는 바닥구조용 완충재는 완충재 상부에 모르타(40~50 mm)가 설치되기 때문에 완충재의 변형발생여부와 동탄성계수 변화는 바닥충격음 저감과 관련하여 중요한 요소라 할 수 있다.

Fig. 5와 같이 잔류변형 시험전과 후의 동탄성계수를 살펴보면, 잔류변형 시험 후에 동탄성계수가 증가하는 것으로 나타났다. Old-GW 시료는 잔류변형 시험 전에 비하여 14.4 %, New-GW 시료는 58.5 % 증가되었다.

Fig. 6은 암면의 결과로서, Old-RW은 잔류변형 시험 후에 동탄성계수가 0.2 MN/m<sup>3</sup> 증가하였으나, New-RW는 잔류변형 시험전후에 동탄성계수 변화는 발생하지 않았다.

잔류변형 시험은 일정 하중을(50 kPa) 시료에 부가하고 변형된 두께가 얼마나 복원되는지를 확인하는 것이다. 시료에 가해진 하중으로 시료의 섬유조직이 파괴되고 셀과 셀 사이의 공기층이 변형되기 때문에 잔류변형시험 후에 동탄성계수가 변화가 야기된 것으로 판단된다.

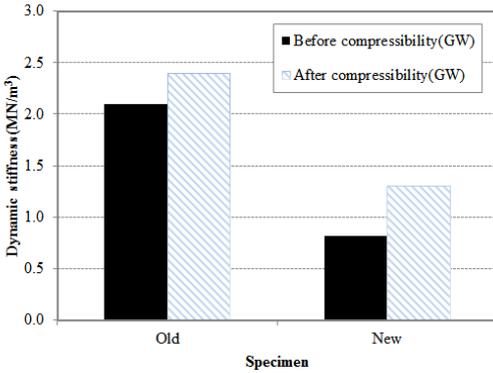


Fig. 5 Dynamic stiffness(glass wool)

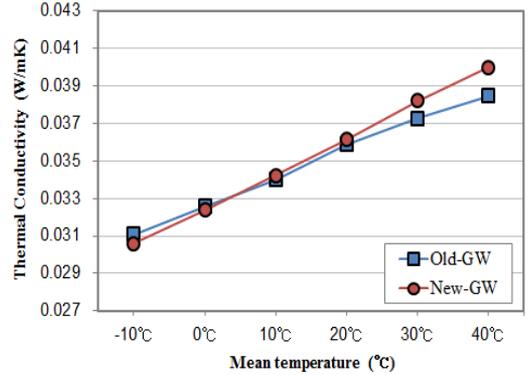


Fig. 7 Thermal conductivity(glass wool)

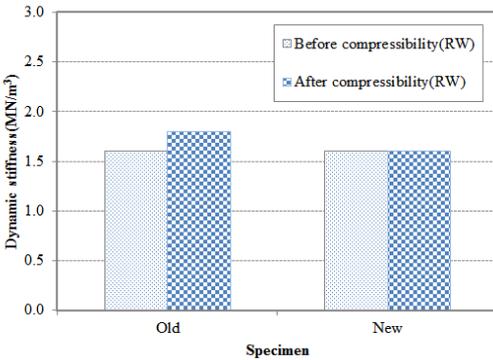


Fig. 6 Dynamic stiffness(rock wool)

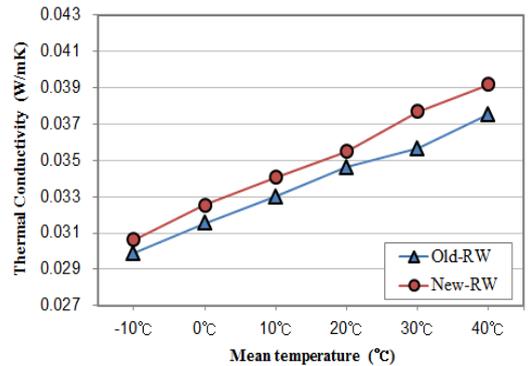


Fig. 8 Thermal conductivity(rock wool)

동탄성계수는 뜬바닥구조로 사용되는 완충재료를 평가하는 물리적 특성으로 국내는 그라스울이나 암면은 공동주택 바닥 완충재로 거의 사용하지 않고 있으나 국외는 완충재료로 사용되고 있다. Schiavi 외<sup>(10)</sup> 연구결과와 같이 밀도가 이 연구에서 사용된 시료보다 높은 그라스울과 암면의 동탄성계수가 14~48 MN/m<sup>3</sup>로 높게 측정되었다.

그라스울과 암면의 잔류변형 시험 전·후의 압축강도(compressive strength) 변화 연구<sup>(12)</sup>에서도 잔류변형시험으로 인해 압축강도가 83~85% 감소되는 것으로 나타나 잔류변형 시험으로 재료의 물리적 특성이 변화됨을 알 수 있다.

### 3.5 열전도율

측정 평균온도를 변화시켜 Old 시료와 New 시료의 열전도율을 측정한 결과는 Figs. 7, 8과 같다. 측정결과는 측정온도가 높아 감에 따라 측정된 열전

도율 값은 증가하고 있음을 보여준다. 측정온도에 따른 열전도율의 측정값은 선형으로 증가하는 것으로 나타났다.

유리섬유 시편의 측정된 열전도율 값은 온도 -10°C에서 1.6% 차이로 Old-GW 시편이 높게 나타났으며, 온도 30°C에서 2.5%, 40°C에서는 4.0%의 차이를 보이며 New-GW 시료의 열전도율이 높았다. 그러나 온도 0~20°C 사이에서는 두 시편의 열전도율 측정값이 매우 동일하게 나타났다. 측정 온도 20°C에서 측정된 결과는 KS L 9012에서 규정한 유리섬유의 열전도율 특성 값인 0.036 W/mK 이하를 모두 만족하고 있다. 이러한 결과들로부터 장기간 건축물에 사용되었던 Old-GW가 열성능이 나빠지지 않았음을 알 수 있다.

암면 시편의 측정된 열전도율 값은 유리섬유 시편과 다르게 New-RW 시편이 모든 측정온도 조건에서 Old-RW보다 2.6~5.6% 높게 나타났다. 0~20°C 조건

에서는 차이가 유사하나 30 °C에서 5.6 % 높게 나타나는 결과를 보였다. KS 규격에서 제시하는 밀도 71~100 kg/m<sup>3</sup>인 암면의 열전도율 특성 값인 0.037 W/mK 이하를 두 시편 모두 만족하고 있다.

#### 4. 결 론

실제 건물의 외벽에서 건축용 단열재로서 사용기간이 오래된 유리섬유의 열적 및 음향적 성능을 생산된 지 얼마 되지 않은 동일재질의 시료와 비교하여 그 재료적 특성 변화를 살펴보았다.

재료의 물리적 특성 중에서 흡음계수, 잔류변형, 동탄성계수, 열전도율을 측정된 결과, 오래된 시료에서 흡음계수, 잔류변형, 동탄성계수의 성능이 저하된 것으로 나타났다. 열전도율은 사용기간에 따라 큰 변화는 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

상기의 결과는 오랜 시간 사용된 시료와 최근 생산된 시료의 물리적 물성을 비교 시험한 결과로서 과거와 최근 생산된 재료간의 제조공법과 투입 재료량 등 기본 물성이 동일한지 여부를 확인하지 못한 채 사용시간만을 변수로 고려하여 측정대상 시료에 제한되어 나타난 평가결과이다. 따라서 제조 당시의 물성이 서로 상이하여 물리적 물성 변화가 발생할 수 있는 한계를 가지고 있다. 동일하게 생산된 재료를 대상으로 외기에 노출 유무에 따라 발생하는 변화를 다양한 재료를 대상으로 파악할 필요가 있다.

#### 후 기

이 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(공동주택 층간소음 해소방안 연구)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

(1) McMullan, R., 2007, Environmental Science in Building, Sixth Edition, PALGRAVE MACMILLAN, NewYork, United Kingdom, p. 14.  
 (2) Al-Homoud, M. S., 2005, Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials, Building and Environment,

Vol. 40, No. 3, pp. 353~366.

(3) Korean Agency for Technology and Standards (KATS), 2011, Korean Standard (KS) L 9102:2011 Artificial Mineral Fiber Thermal Insulation Materials.

(4) Moon, H. J., Ryu, S. H. and Kim, S. K., 2012, Measurement and Application of Hygrothermal Properties of Building Materials for Moisture and Biological Contaminations Control in Built Environment, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 28 No. 3, pp. 227~234.

(5) Kim, K. W., Jeong, G. C., Yang, K. S. and Sohn, J. Y., 2009, Correlation between Dynamic Stiffness of Resilient Materials and Heavyweight Impact Sound Reduction Level, Building and Environment, Vol. 44, No. 8, pp. 1589~1600.

(6) Schiavi, A., Pavoni, B. A. and Francesco R., 2005, Estimation of Acoustical Performance of Floating Floors from Dynamic Stiffness of Resilient Layers, Building Acoustics, Vol. 12, No. 2, pp. 99~113.

(7) Lee, J. W., Lee, S. N., Shim, J. H., Jung, P. K., Lee, W. K. and Bang, B. J., 2011, The Study on Improvement of Acoustic Performance or Automobile Sound-absorbing Materials Using Hollow Fiber, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21 No. 9, pp. 850~857.

(8) Yeon, J. O., Kim, K. W. and Yang, K. S., 2013, Evaluations of the Acoustics Characteristics of Cellulose Absorbers, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23 No. 5, pp. 456~462.

(9) Bettarello, F., Caniato, M., Monte, R. D., Kaspar, J. and Sbaizero, O., 2010, Preliminary Acoustic Tests on Resilient Materials: Comparison between Common Layers and Nano-structure Layers, Proceedings of 20th International Congress on Acoustics.

(10) Schiavi, A., Pavoni Belli, A., Corallo, M. and Russo, F., 2007, Acoustical Performance Characterization of Resilient Materials Used Under Floating Floors in Dwellings, Acta Acustica United with Acustica, Vol. 93, pp. 477~485.

(11) Cremer, L., Heckel, M. and Ungar, E. E., 1998, Structure-borne Sound, 2nd Ed. Springer-Verlag, Berlin.

(12) Dikavicius, V., Miskinis, K. and Stankevicius, V., 2010, Influence of Mechanical Deformation on Compressive Strength of Open and Closed Cells

Resilient Materials, Materials Science(Medziagotyra),  
Vol. 16, No. 3 pp. 268~271.



**Kyoung-woo Kim** received Ph.D. in architecture engineering from Hanyang University in 2009. He was working at KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) as a research fellow. his research inter-

ests include floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.



**Young-sun Jeong** received Ph.D. in architecture engineering from University of Seoul in 2010. He was working at KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) as a senior researcher. his research interests

include thermal properties of building materials, building energy saving technology and CO<sub>2</sub> emission in building.