

## 재생 자원의 흡음특성에 관한 연구

- 폐지와 담배필터를 중심으로 -

최 창 하 · 조 해 용 · 이 주 민

선문대학교 환경공학과

(2000년 8월 1일 접수)

## Study on the Sound Absorbing Characteristics of Recycled Materials

- Based on used Paper and Cigarette Filters -

Chang-Ha Choi, Hae-Yong Cho, and Joo-Min Lee

Department of Environmental Engineering, SunMoon University

(Manuscript received 1 August, 2000)

In this study, development of new sound absorbent which is safety, economical and efficient with using recycled materials is tried for substitution of commercial sound absorbent. The sound absorbents, used in this investigation, were made of used paper or filters of cigarette butts. With the variation of the material densities, sound absorptions of materials were measured. The impedance tube method is used for measuring sound absorption coefficient of the new sound absorbent materials. The measured frequency range was 250Hz to 4000Hz in 1/3 octave band. The sound absorption coefficient of the commercial materials and that of the materials synthesized in the our laboratory show almost same value.

Key words : sound absorbent, recycled materials, impedance tube, sound absorption coefficient

### 1. 서 론

최근 과학기술의 발전과 생활수준의 향상으로 환경소음을 심각한 공해문제로 인식하게 되었으며 실제로 소음에 의한 피해 문제가 많이 발생하고 있는 것이 현실이다. 또한 건축물 내부의 실내음향과 생활주변에서의 여러 가지 환경소음에 대한 관심이 매우 높아져 조용하고 쾌적한 생활을 할 수 있는 음향환경을 요구하게 되었다. 실내음향에 관한 연구는 폐쇄된 공간에서의 소리의 생성, 전달 및 소멸에 관한 것으로 1922년 W.C. Sabine에 의해 처음으로 조직적 연구가 발표된 이래 K. Schuster, E. Watzman, F.V. Hunt 등 많은 연구자들에 의해서 연구되어 오늘날의 실내 음향학으로 발전하게 되었다.

소음문제는 발생원에서 제거하는 것이 가장 바람직하겠지만, 기술적인 한계 등으로 인하여 제한되는 경우가 많아 소음의 전달과정을 제어하는 이차적인 방법이 주로 사용되고 있다. 이차적인 대책 중 가장 일반적인 것은 흡음재를 이용하여 재료 내부에 입사된 음파의 에너지를 감소시키는 방법이며, 흡음재로 널리 쓰이는 것으로는 비교적 생산성과 경제성이 뛰어나고 흡음특성이 우수한 유리섬유(glass wool)와 암면(rock wool)이<sup>1)</sup> 있다.

유리섬유의 경우 유리입자의 비산으로 인한 인체 유해성 여부로 환경적 제약을 받고 있으며 최근에는 다공질 흡음재질의 발포수지재료(foramed material)<sup>2)</sup>와 섬

유질 흡음재 등이 개발되고 있으나 경제성과 효율면에서 유리면과 암면의 성능에 미치지 못하는 한계를 갖고 있다. 그러므로 인체 유해성, 경제성, 효율성 등이 고려된 새로운 흡음재의 개발이 요구되며, 이러한 시도의 일환으로 폐지와 담배필터 같은 재생 자원을 이용해 볼 수 있겠다.

따라서 본 연구에서는 관내법을 이용하여 폐지와 담배필터의 흡음특성을 분석하며 기존 제품과의 비교를 통해 흡음재로서의 개발 가능성 및 문제점을 파악하고자 한다.

### 2. 실험 방법과 장치

#### 2.1. 흡음재의 특성

소음 감쇠 목적으로 사용되는 흡음재료로는 다공질형, 공명형, 판형등 그 종류가 매우 많고, 흡음구조도 다양하게 고안되어 있지만 이 중에서 유리섬유, 암면, 석면, 발포재 등과 같은 다공질형 재질을 들 수 있다. 이러한 흡음재의 흡음특성은 음에너지를 열에너지로 바꾸는 것인데, 그 원리를 살펴보면 흡음재를 구성하는 매질 사이에는 공기층이 존재하게 되며 이 공기층 사이로 음파가 이르면, 미세한 공기속의 공기운동에 대해 마찰 저항이 작용하고 섬유자체도 진동하기 때문에, 음의 일부가 열에너지로 변환되어 흡음이 된다. 이와 같은 흡음재의 흡음

은 일반적으로 저 주파수 대역에서는 그 효과가 적지만 중간주파수 대역과 고 주파수 대역에서는 효과가 크게 나타난다. 일반적으로 흡음재의 기본적인 특성을 제시해주는 요소 중의 하나로 흡음계수가 사용되며, 흡음계수의 측정 방법으로는 (1)잔향실법(KSF 2805)<sup>3)</sup> (2)균일한 음장에서 흡음재로 인한 음장의 변화를 이용한 방법<sup>4)</sup> (3)톤 버스트(tone burst)신호를 이용한 반사파의 음압측정<sup>5)</sup> (4)정재파 관(impedance tube)을 이용한 정재파 비(standing wave ratio : SWR)<sup>6-8)</sup> 등의 다양한 방법이 사용되고 있다. 본 연구에서는 정재파관을 이용한 방법으로 흡음계수를 산출하고자 한다.

2.2. 정재파관을 이용한 측정방법

입의의 각도에 대한 경사 입사 흡음률을 정확하게 측정하는 것은 현실적으로 매우 어렵지만, 재료의 표면에 수직으로 입사하는 음파의 흡음계수를 측정하는 수직입사 방법은 비교적 용이하다. 이 방법은 음의 파장에 비해 직경이 매우 작은관을 이용하여 평면파의 입사 조건을 만들고, 이 평면파가 흡음재 표면에 입사할 경우 표면에서 반사되는 반사파와 중첩되어 Fig. 1과 같은 음압의 극대치(Pmax)와 극소치(Pmin)가 있는 정재파를 만들게 된다.

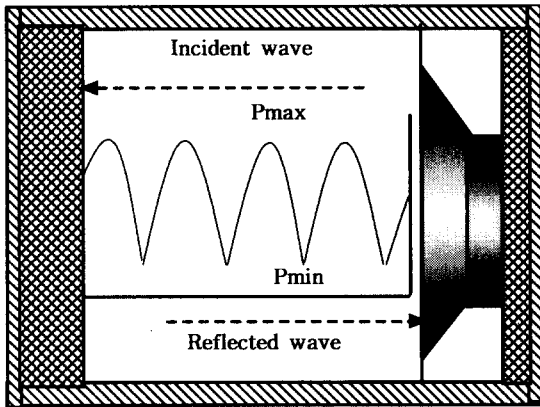


Fig. 1. Standing wave pattern in a test tube.

입사음과 반사음의 음압 진폭비를 알면 수직 입사파에 대한 흡음계수를 구할 수 있으며 이 비는 식(1)과 같은 정재파비 n(standing wave ratio)에 의해 측정 가능하다.

$$SWR = \frac{P_{max}}{P_{min}} = n \quad (1)$$

Pmax와 Pmin은 이 정재파의 음압 최고치와 최저치를 각각 나타내며 식 (1)의 정재파비를 식 (2)에 대입하여 흡음계수를 구할 수 있다.

$$\alpha_n = 1 - \left(\frac{SWR-1}{SWR+1}\right)^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = \frac{4n}{n^2+2n+1} \quad (2)$$

이 방법은 일단 설치된 시료에 대해서는 잔향실 방법에 비해 신뢰성 있는 데이터를 구할 수 있지만 시료를 다시 설치하는 경우에는 문제가 될 수 있으며 수직 입사 흡음 계수만을 측정할 수 있다는 한계성을 갖고 있다.

2.3. 실험장치 및 재료

흡음재의 흡음을 측정은 시료의 제작이 간편하고 관 내에서 음에너지의 손실을 최소화할 수 있는 관내법을 이용하여 측정하였다.

흡음재는 밀도가 31K, 27K, 24K 및 20K인 종이 흡음재 네 가지와 22K와 20K인 담배필터 흡음재를 만들어 사용하였으며, 두께는 모두 2.5cm로 규정하였다. 종이 흡음재는 종이, 물 그리고 가교제와 경화제 등을 사용하여 일정 비율로 혼합하고 교반한 후 경화과정을 거쳐 제조하였다. 이 과정에서 가교제의 사용량이 증가함에 따라 가교결합에 의한 hard segment의 증가로 밀도가 증가하게되며 발포제는 사용하지 않았다. 실험에 사용된 담배필터는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 제품으로 내부에 활성탄이 첨착된 탄소 복합 필터이다.

흡음을 측정은 신호분석과 신호발생이 동시에 가능한 신호분석기(HP35670A)를 사용하여 백색소음(white noise)을 발생케 하였으며 관내의 음압이 흡음재로부터의 거리에 따라 변하므로 마이크로폰을 이동하여 정재파의 최대 음압(Pmax)과 최소음압(Pmin)를 구하였다. 측정주파수 대역은 250Hz부터 4KHz까지의 1/3옥타브밴드 중심주파수에 대해 실시하였으며 Fig. 2는 실험장치를 나타낸 구성도이다.

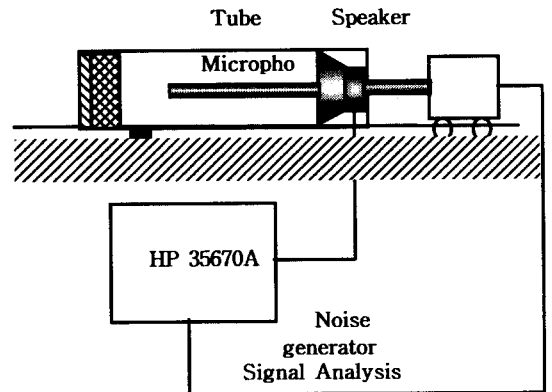


Fig. 2. Experimental setup.

3. 실험결과 및 고찰

상기의 실험방법을 통하여 종이흡음재와 담배필터를 이용한 흡음재의 주파수별 최대음압과 최소음압이 발생되는 측정지점과 측정값을 측정하여 식 (1)과 (2)에 의해 계산된 각 흡음재료의 정재파 비(standing wave ratio)와 흡음률을 Table 1과 2에 표시하였다. 실험에서 측정된 각 흡음재들의 흡음성능을 비교하기 위해 다양한 상용 흡음재들의 측정결과 또한 주파수별 흡음률<sup>9)</sup>을 Table 3에 나타내었다.

Table 1. Sound absorption coefficient of four paper absorbent material samples

Frequency		Band center frequency(Hz)				
		250	500	1000	2000	4000
Paper (31K)	SWR(n)	8.55	6.75	5.87	5.38	4.37
	$\alpha$ n(%)	37.5	45	49.7	52.9	60.2
Paper (27K)	SWR(n)	12.8	8.33	4.15	3.38	2.92
	$\alpha$ n(%)	27	38	63	71	76
Paper (24K)	SWR(n)	13.6	9	3.8	3.08	2.77
	$\alpha$ n(%)	25.5	36	66	74	78
Paper (20K)	SWR(n)	13.86	9.31	3.56	2.8	2.6
	$\alpha$ n(%)	25.1	35	68.5	77.5	80.2

Table 2. Sound absorption coefficient of two cigarette filter absorbent material samples

Frequency		Band center frequency(Hz)				
		250	500	1000	2000	4000
cigarette filters (22K)	SWR(n)	8.51	4.15	3.17	2.37	1.98
	$\alpha$ n(%)	37	63	73	84	89
cigarette filters (20K)	SWR(n)	5.76	4.4	3.62	2.91	2.62
	$\alpha$ n(%)	50.4	60.13	67.8	76.1	80

Table 3. Sound absorption coefficient of absorbent materials

Material	thick-ness (mm)	DensityK (kg/m <sup>3</sup> )	Band center frequency(Hz)				
			250	500	1000	2000	4000
			Glass wool	25	16~24	12	30
Glass wool	25	32~48	30	65	80	85	85
Rock wool	25	40~140	35	75	85	85	85
Urethane Foam	20		20	40	55	70	70

주파수별 종이흡음재와 상용흡음재의 흡음률 변화를 나타낸 Fig. 3을 보면, 종이흡음재의 경우 우레탄 폼이나 밀도가 낮은(16~24K) 유리섬유보다는 전 주파수대역에서 높은 흡음성능을 보이는 반면 압면과 밀도가 큰(32~48K) 유리섬유 보다는 저주파대역, 즉 250Hz 부근에서 거의 비슷하거나 높게 흡음률이 나타났다. 특히 밀도가 31K인 종이흡음재 경우 250Hz 부근에서 다른 상용흡음재에 비해 높은 흡음률이 나타났다. 종이흡음재 경우 밀도에 따른 변화를 살펴보면 밀도가 클수록 저주파대역에서 흡음률이 높게 나타나고 고주파대역에서는 밀도가 작을수록 높은 흡음성능이 나타났다. Fig. 4는 주파수별 담배필터를 이용한 흡음재와 상용흡음재의 흡음률 변화를 나타낸 것으로 고주파에서는 담배필터로 만

든 흡음재가 기존 상용흡음재와 비슷한 흡음성능을 보였다. 저주파대역의 경우는 종이흡음재와 마찬가지로 상용흡음재의 흡음률 보다 높게 나타났다. 전반적으로 모든 주파수대역에서 밀도가 32~48K인 유리섬유와 40~140K인 압면이 가장 좋은 흡음률을 기록하였고

그 외의 흡음재에서는 흡음성능의 차이가 크지 않음을 볼 수 있다. Fig. 3, 4에서 밀도가 높은(32~48K) 유리섬유와 40~140K압면이 주파수 전 대역에서 높은 흡음률을 보이고 있는데 이는 흡음재의 흡음률이 유동저항(flow resistance)에 크게 의존하기 때문인 것으로 여겨진다. 유동저항이란 일정한 유속으로 음이 흡음재를 지날 때 음압의 감소비로 종이흡음재의 경우 유동저항이 너무 커 음이 흡음재 내부로 들어가지 못하고 표면에서 많은 반사가 이루어져 흡음률이 나빠지는 원인이 되었다. 한편 흡음재의 흡음은 재료의 내부구조와도 밀접하게 관계하고 있는데 유리섬유나 압면 그리고 담배필터로 만든 흡음재들의 흡음성능이 종이로 만든 흡음재 보다 높은데서 알 수 있다. 유리섬유와 압면 같은 다공질형 흡음재의 기공도(porosity)는 거의 95%이상이고 내부는 사방으로 공기 층이 잘 연결되어 있다. 따라서 음이 흡음재 내부로 잘 진행할 수 있게되며 이때 내부조직과의 마찰로 인해 음 에너지가 열 에너지로 전환되어 좋은 흡음 효과를 나타내게 되는 것이다. 밀도가 31K인 종이흡음재 보다 20K인 종이흡음재의 흡음률이 더 높은 것도 20K종이흡음재에는 인위적으로 기공률을 만들어 주어서 흡음재 내부에서의 음파의 전달이 잘 이루어질 수 있도록 개선해 주었기 때문이다. 하지만 밀도가 낮은 다공질형 종이는 밀도가 높은 종이에 비해 흡음률은 더 높게 나오더라도 그로 인해 인장강도와 같은 기계적 성질의 약화가 발생하는 문제점이 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 현재 흡음재로 가장 많이 사용되는 유리섬유, 압면과 재활용 자원을 이용한 종이, 담배필터의 흡음률을 비교하여 보았다. 실험을 통하여 담배필터의 경우에는 기존의 흡음재들과 비슷한 흡음성능을 보여 주었다. 하지만 실제 활용에 있어서 담배필터는 자원의 재활용이라는 긍정적인 면이 있지만 회수 방법 및 양적인 면에서 많은 제약이 뒤따를 수 있다.

종이로 만든 흡음재는 기존의 유리섬유나 압면보다 낮은 흡음성능을 보였는데 이는 실험에 사용된 종이 흡음재의 유동저항이 매우 높고 재료 내부의 기공률이 낮아 음에너지가 열에너지로의 전환되는 과정이 잘 이루어지지 않았기 때문이다.

따라서 종이를 겔 상태의 혼합물로 만든 후 발포제를 이용하여 기포를 발생시키는 등의 물리적·화학적 방법이 적용된다면 흡음성능의 증가와 함께 흡음재로서 충분한 경쟁력을 갖추 수 있을 것으로 기대되며 특히 재활용 자원을 이용한 흡음재의 경우 저주파대역에서 높은 흡음성능을 나타내므로 고체진동소음을 차단하는데 유용할 것으로 판단된다.

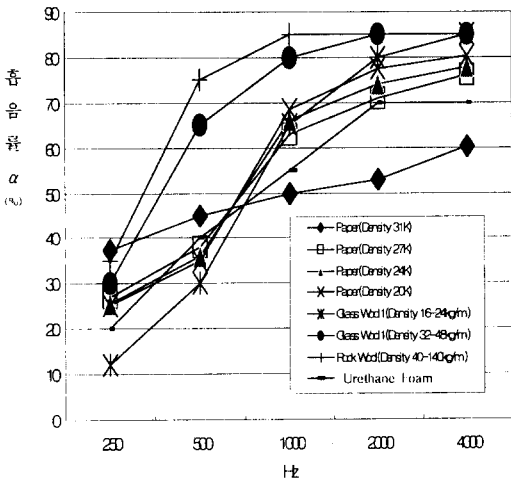


Fig. 3. Comparison between the measured absorption coefficient of four paper absorbent samples.

참고문헌

- 1) Delany, M. E. and Bazley, E. N., 1970, Acoustical properties of fibrous absorbent material, Applied Acoustics, 3, 105~116pp.
- 2) Biot, M. A., 1956, Theory of propagation of waves in a fluid-saturated porous solid, J. Fig. 4. Comparison between the measured absorption coefficient of two cigarette filter absorbent samples.
- 3) KS F 2805 잔향실법 흡음률의 측정방법, 한국산업규격.
- 4) Porges, G., 1997, Applied Acoustics, Edwars Arnold, 94pp.
- 5) Cremer, L., Muler, H., 1982, Principles and Application

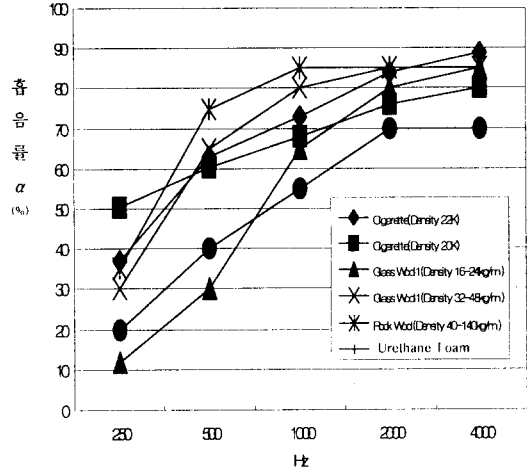


Fig. 4. Comparison between the measured absorption coefficient of two cigarette filter absorbent samples.

- of Room Acoustics, Applied Science publishers, 145pp.
- 6) KS F 2814, 1996, 관내법에 의한 건축 재료의 수직 입사 흡음률 측정 방법, 한국산업규격.
- 7) ASTM C 284-90a, 1990, Standard Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method (American Society of Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1990).
- 8) JIS, A., 1405, 1994, Methods of Test for Sound Absorption of Acoustical Materials by the Tube Method, JS Association, Japan.
- 9) 박철휘 외, 1995, 소음·진동 편람, 한국소음진동공학회, 99-101pp.