

흡음재의 특성평가를 위한 측정방법에 대하여

°김 연수, 서 상준, 조 문제, 황 철호

Measurement Methods of the Acoustic Characteristics of Absorption Materials

Kim Y.S., Suh S.J., Jho M.J., Hwang C.H.

요 약

건축재로서 사용되고 있는 흡음재료의 기본적인 특성을 제시해 주는 요소중의 하나는 흡음계수이다. 본 논문에서는 흡음계수 측정의 새로운 연구결과를 제시하기 보다는 유리면(glass wool)을 대상으로 흡음계수 측정시 현재 주로 이용되고 있는 측정방법중 수직입사와 random 입사 방법의 이론적인 배경과 측정에 따른 문제점등을 간단하게 소개하고자 한다.

1. 서론

교통수단과 산업기계 사용이 급속도로 증가되고 이에 따라 환경소음이 공해문제로 심각하게 대두되고 있는 오늘날의 우리사회는 소음원에 의한 소음피해에 관한한 어떤 문제에서는 이미 선진국 수준에 건줄 수 있는 것으로 평가되고 있다.

소음문제는 소음원의 소음을 줄이는 방법에 의해서 원칙적으로 해결하는 것이 가장 바람직하다.^{*)} 그러나 이 방법은 고도의 공학적인 고려를 필요로 할 뿐만 아니라 기계효율 등의 문제 때문에 시도할 수 있는 범위가 극히 제한되는 경우가 많다. 이러한 이유로 흔히 소음 전파로의 차단과 실내음향 처리등 이차적인 방법에 의해서 소음문제 해결을 시도하고 있다.

이차적인 해결방법등의 목적으로 사용되는 재료의 객관적 평가 방법은 흡음 특성을 측정하여 비교하는 것이다. 그래야만 객관적인 선택방법이 될 수 있고 시공후의 실내 음향 특성에도 문제가 발생치 않게 될 것이다. 따라서 본 논문에서는 흡음재 특성평가 방

법에 대하여 논술하고 측정방법에 따른 차이점과 측정 결과의 이용에 관하여 고찰하였다.

2. 흡음재 특성시험을 위한 이론적 배경

일반적으로 음파가 재료에 입사할때 입사되는 음 에너지의 세기(intensity)를 I_i , 반사되는 음에너지의 세기를 I_r 이라 하면 재료의 흡음계수 α 는 다음과 같이 정의된다.

$$\alpha = \frac{I_i - I_r}{I_i} = 1 - \frac{I_r}{I_i} \quad (1)$$

이와같이 흡음재료의 흡음력은 재료표면에 입사하는 음에너지의 일부를 흡수하여 반사음의 에너지를 감소시킬 수 있는 특성을 말하며, 에너지의 비로서 정의되는 흡음계수 α 는 0과 1사이의 값을 갖게 된다. 또한 이 값은 퍼센트(%)로 나타내기도 한다. 이러한 흡음계수를 측정하는 방법에는 다음과 같은 여러가지가 있다.

- (1) 잔향실을 이용한 random 입사에 대한 측정법 (KSF 2805)
- (2) 임피던스관을 이용한 수직입사에 대한 측정법 (KSF 2814)
- (3) Tone burst를 이용한 사각입사에 대한 측정법
- (4) 균일한 음장에서 음장의 변화를 이용하는 측정법

이중에서 KS 기준에 그 측정방법이 명시되어 있는 random 입사와 수직입사에 의해 측정하는 두가지에 대해 알아보고 차이점을 비교해 보기로 한다.

* 한국표준연구소 음향진동연구소

2-1. 임피던스관을 이용한 간이 측정방법

이 방법은 재료의 표면에 수직으로 입사하는 음파에 대한 흡음계수를 측정하는 방법으로 수직입사 방법에 의한 측정법으로도 불리워지고 있다. 이와 같은 이유때문에 잔향실법에 의한 측정결과와는 주파수에 따른 흡음특성의 경향이 달리 나타나는 것이 보통이다.

그림1은 임피던스관을 이용한 흡음계수 측정장치를 도해적으로 보여주고 있다. 그림1과 같이 관의 한쪽 끝에 시료를 설치하고 스피커에 순음을 입사시키면 관내에는 평면파가 만들어진다. 이 평면파는 재료의 표면에 입사 할 경우 재료의 표면에서 반사되는 반사파와 중첩되어 그림2와 같이 산과 곡이 있는 정재파를 만들게 된다.

평면파의 세기(intensity)는 음압의 자승에 비례하므로 식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha_n = 1 - \frac{P_r^2}{P_i^2} \quad (2)$$

여기서 p_i 와 p_r 각각 입사음과 반사음의 음압 진폭이다. 즉 입사음과 반사음의 음압 진폭의 비를 알면 수직 입사파에 대한 흡음계수를 결정할 수 있다. 이 비는 다음과 같이 정의 되는 정재파비(standing wave ratio)에 의해서 측정할 수 있다.

$$SWR = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{P_i + P_r}{P_i - P_r} \quad (3)$$

관내의 정재파는 스피커에 의해서 발생하는 단일주파수의 순음에 의해서 형성되며, P_{max} 와 P_{min} 은 이 정재파의 음압 최고치와 최저치를 각각 나타낸다. 식(3)에서 P_{max} 과 P_{min} 의 비를 구하여 식(2)에 대입하면 다음과 같이 된다.

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

$$= \frac{4n}{n^2+2n+1}$$

SWR은 관내 정재파 음압의 최고치와 최저치를 측정하여서 결정할 수 있으므로 비교적 쉽게 흡음계수를 결정할 수 있는 방법이라고 볼 수 있다. 특히 일단 설치된 시료에 대해서는 측정의 반복성이 매우 높아서 다음에서 논술하는 잔향실 방법에 비해 신빙성 있는 흡음 데이터를 구할 수 있다. 그러나

시료를 다시 설치하는 경우에는 다소 문제가 발생할 수 있다. 그 이유는 임피던스 관에 의해서 측정되는 흡음계수는 관내의 시료설치 상태에 따라서 비교적 민감하게 변하기 때문이다. 특히 재질이 유연한 다공성 흡음재를 관내에 설치할때 시료 변두리와 관과 만나는 부분의 틈을 처리하는 정도에 따라서 동일한 재료일지라도 측정결과에 상당한 변화가 나타날 수 있다. 이 문제는 임피던스관을 이용한 방법의 근본적인 단점이라기 보다는 활용상의 문제이며, 이를 피하는 방법은 많은 측정과 경험에 의해 객관적인 설치기준을 연구자 스스로 결정하는 것이다. 이 문제를 떠나서 아마도 임피던스관을 이용한 측정방법의 가장 큰 단점은 수직입사 흡음계수만을 측정할 수 있다는 한 계성일 것이다. 실제로 흡음재가 사용되는 환경에서 소음이 흡음재면에 수직으로만 입사하는 경우는 없을 것이다. 재료의 흡음력은 재료면에 입사하는 소음의 입사각에 따라서 변할 수 있다. 이 가능성은 다공성 재료의 경우에 더욱 심하다. 이것을 설명하기 위한 것이 그림3이다.

표1은 수직 입사음에 대한 유리면의 흡음율이다.

표1. 정상파관을 이용했을때의 흡음율

주파수(Hz) 시료	125	160	200	315
· 32K50T	18	21	27	30
· 40K50T	15	21	25	22
· 60K50T	15	19	24	29

주파수(Hz) 시료	400	500	630	800
· 32K50T	39	84	89	92
· 40K50T	47	73	78	85
· 60K50T	39	71	80	89

주파수(Hz) 시료	1.0k	1.25k	1.6k	2.0k
· 32K50T	92	91	87	87
· 40K50T	86	90	88	91
· 60K50T	94	97	99	96

주파수(Hz) 시료	2.5k	3.15k	4.0k
· 32K50T	91	91	96
· 40K50T	93	93	97
· 60K50T	97	95	99

다공성 재료에 의한 흡음은 재료에서의 점성 마찰에 의한 운동에너지 손실때문에 일어난다. 이때 입자속도 의 최고치가 재료내부에서 발생할때 운동에너지의 손실 은 커진다.

입자속도의 최고치는 파장이 1/4되는 곳에서 처음 나타나며, 1/4의 기수배가 되는 위치에서 흡음력이 가장 좋다. 그림3에 의하면 수직입사 소음에 비해서 비스듬 하게 입사하는 소음이 재료내에서의 유효 진행거리가 길다. 즉 입사각 θ 가 커질수록 재료의 두께가 증가하는 것처럼 나타나서 흡음력이 증가하게 된다. 이 효과는 수직 입사로서는 흡수가 잘 안되는 저주파 소음에서 현저하게 나타난다.

2-2. 잔향실법

잔향실을 이용한 흡음계수 측정에 대해 ISO (International Organization for Standardization) 기준인 ISO/R 354에 의하면 잔향실의 체적은 최소한 180 m 이상을 사용토록 규정하고 있다. 잔향실법에 의한 흡음측정은 재료의 표면에 random하게 입사하는 소음의 흡수능력을 측정하는 것이다.

잔향실은 확산음장을 만드는 시설이다. 확산음장은 다음과 같은 조건을 만족시키는 음장을 말한다. (1) 실내의 전 공간에서 음에너지의 분포가 균일하다. (2) 공간내 임의의 점에서의 파동진행 방향 이 모든 방향으로 균일하다.

이같은 음장은 실제로 소음이 문제시되고 있는 소음 현장과는 상당한 차이가 있다. 그러나 흡음재료의 객관적인 특성평가를 위한 비교측정을 할 수 있는 기준 음장으로서 확산음장이 적당하다.

특히 확산음장은 무지향성 random 입사소음을 줄 수 있는 유일한 음장이다. 이러한 이유로 ISO 기준에서는 잔향실을 이용한 흡음특성 측정을 원칙으로 하고 있다.

잔향실을 사용한 재료의 흡음특성 측정은 실내에 시료가 있을때와 없을때의 잔향시간 차이에 바탕을 둔다. 아무리 성능이 좋은 잔향실이라도 실내에 흡음재료가 설치되면 한 방향으로의 음향에너지에 net flow가 생겨서 앞서 언급한 확산음장의 제2조건을 만족시킬 수 없게 된다.

현재의 측정절차를 따르는 한 이 문제는 피할 수 없으며 이 효과를 최소화하는 수 밖에 없다. 이렇게하기 위해 측정에 쓰이는 시료는 잔향실 크기에 비해서 지 나치게 크지 않도록 한다. 반면에 너무 작은 시료를 사용할때는 시료 설치전후의 잔향시간의 차이가 작아 저서 측정 resolution 한계에 의한 오차가 발생할 수 있다. 또한 시료 변두리에서의 파동회절에 의한 edge effect에 의해서 측정흡음계수는 실제 흡음계수보다 높게 나타나는 경향이 있으며 이 차이는 시료 크기가 작을수록 심해진다. 이러한 이유들 때문에 잔향실 측정방법에 쓰이는 시료는 너무 작지 않아야 한다.

따라서 ISO 기준에서는 180 m³ 이상 규모 잔향실의 경우에 10-12 m² 면적의 시료를 사용하도록 정하고 있다. 또한 이 기준에 따르면 시료의 배치 형태는 정방형이 바람직하며, 시료 변두리면은 비흡음성재료(예컨대 철판)로서 처리해야 한다. 이같이 시료처리 방법을 비교적 엄하게 규정한 것은 가능한한 객관적으로 흡음계수를 결정하자는 목적 때문이지만 잔향실 측정법에서는 설치 시료에 의한 확산음장 교란을 피할 수 없기 때문에 잔향실 측정법으로 결정된 흡음계수 사용 시에는 그에 내포되어 있는 작은 측정오차를 항상 고려해야 한다.

잔향실내에 시료 설치전과 후의 잔향시간을 각각 T_1 과 T_2 라고 할때 이 시료의 전체 흡음력은 다음과 같이 주어진다.

$$A = \frac{4\pi V}{c} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (5)$$

여기서 A는 시료의 전체 흡음력, V는 잔향실 부피이고 C는 음속이다. 이 식은 Sabine의 확산음장 음향이론에 바탕을 둔것으로서, 확산음장 조건만 만족한다면 오차없이 재료의 흡음 특성을 나타낼 수 있다. 잔향시간 측정에 의한 흡음력 결정은 옥타브밴드 소음을 이용해서 수행한다.

재료의 흡음계수는 입사소음에 대한 단위 면적당 흡음력으로서 정의된다. 따라서 식(5)으로 주어지는 전체 흡음력을 흡음면적으로 나누면 흡음계수를 결정할 수 있다. 즉,

$$\alpha = \frac{A}{S} = \frac{(f \cdot 3V)}{CS} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (6)$$

여기서 S는 흡음면적이다.

음파의 파동성을 무시한 일차적 근사로서는 재료의 흡음면적은 재료의 실제 면적이 될 것이다. 그러나 변두리에서의 음파의 회절현상때문에 실제 흡음면적은 시료의 면적과 다르다. 이 효과를 edge effect라고 부르며 재료의 흡음특성 평가에서 중요한 의미를 갖기 때문에 이에 대해서 아래에 논술한다.

• 음파 회절에 의한 edge effect

그림4는 시료 변두리에서의 edge effect에 의한 실제 흡음면적 변화를 설명하고 있다.

이 그림에서 입사하는 소음의 세기가 같다고 한다면 흡음재 위에 직접 입사하는 소음 I, 중 흡수되고 남은 에너지는 반사소음 R, 으로 다시 실내로 진행한다. 그러나 시료 변두리에 인접한 구간의 잔향실 바닥에 입사하는 소음 I, 의 일부는 직접 반사되는 소음 R₀로서 실내로 진행하지만 일부는 회절에 의해서 시료면 위로 넘어들어 갈 수 있다. 이같이 시료위로 넘어온 소음 에너지의 일부는 흡수되고 나머지는 R₀로서 반사된다.

회절에 의해서 시료로 넘어오는 소음의 양은 시료 변두리 바로 밖에 입사하는 소음에 대해서는 크지만 입사위치가 변두리로부터 멀수록 점차 감소하여서 궁극적으로는 무시할 수 있다. 이 한계는 분명하지 않지만 대체로 시료 변두리로부터 파장의 1/4 내지 한 파장되는 범위로 알려져 있다. 즉 시료의 흡음면적은 실제 면적보다 다소 크게 가정되어야 한다.

실제 면적을 S₀, 회절효과를 나타내는 가상면적을 S₁ 이라고 할때 앞의 식(8)은 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\alpha = \frac{A}{S_0 + S_1} \quad (7)$$

S₁은 파장이 짧수록 커지기 때문에 저주파로 갈수록 증가한다. 그러나 회절은 복잡한 물리현상이기 때문에 가장 간단한 형태의 시료에 대해서도 S₁의 크기를 정확하게 결정하는 것은 대단히 힘들다. 이러한 이유

로 ISO 기준에서는 사용 기준이 애매한 S₁을 무시하고 시료의 실제면적 S₀만에 의해서 흡음계수를 결정하도록 규정하고 있다. S₀가 작을수록 S₁의 중요성이 상대적으로 커지기 때문에 S₁의 무시에 의한 오차를 줄이기 위해서 시료면적 S₀는 충분히 커야 한다. 그러나 앞서 언급한바와 같이 지나치게 큰 시료에 의한 확산음장 교란을 방지하기 위해서 ISO 기준은 시료면적으로서 10-12 m²로 정하고 있다.

이상 논술한 바와 같이 ISO 기준에 의해서 측정되는 흡음계수는 실제보다 높게 나타나는 경향이 있으며 잔향실을 이용한 흡음데이터에서 흡음력이 좋은 재료의 경우 저주파 영역의 흡음계수가 1보다 크게 나오는 것을 볼 수가 있다.

이같은 불합리성에도 불구하고 ISO 기준은 흡음계수를 측정할 그대로의 값으로서 제시하도록 정하고 있다. 동시에 측정에 사용한 시료면적을 명시하기 때문에 흡음데이터의 사용자는 자신이 필요로 하는 흡음능력에 대한 여러가지 재료들의 특성을 객관적으로 비교할 수 있다. 또한 특정 목적의 흡음장치 개발 과정에서는 여러가지 가능성에 따른 효과의 상호비교가 중요하기 때문에 ISO 기준의 근사가정에 따른 문제들은 실제로 중요하지 않다.

표2에 random입사음에 대한 유리면의 밀도에 따른 흡음율을 보여주고 있다. 이 표에서도 볼 수 있듯이 500 Hz부근의 주파수에서 흡음율이 가장 좋으며 또한 100% 이상의 값이 나타나기도한다. 잔향실법에 의한 측정 결과에는 이러한 현상이 종종 보이고 있는데 이것은 앞에서 언급한 edge effect에 의한 영향으로 사료된다.

표2. 잔향실법을 이용했을때의 흡음율

주파수(Hz) 시료	125	160	200	250
. 32K50T	69	66	69	74
. 40K50T	60	51	69	86
. 60K50T	61	73	74	84

주파수(Hz) 시료	315	400	500	630
. 32K50T	87	96	87	84
. 40K50T	82	92	97	89
. 60K50T	99	109	108	91

주파수(Hz)	800	1.0k	1.25k	1.6k
시료				
32K50T	79	75	70	70
40K50T	60	92	92	92
60K50T	61	82	87	87

주파수(Hz)	2.0k	2.5k	3.15k	4.0k
시료				
32K50T	73	76	75	79
40K50T	84	80	68	60
60K50T	80	77	78	80

3. 결론

실내음향 처리를 효과적으로 처리하기 위해서는 실내마감재, 흡음재료의 선택에 신중을 기해야 한다. 먼저 사용하고자 하는 목적과 장소에 따라 측정방법을 달리해야 하는 경우도 있기 때문이다.

잔향실을 이용한 random 입사방법은 시편이 커야 되는 단점이 있으나 실제 사용되는 장소에서의 흡음특성과 비슷한 특성을 나타내므로 결과 활용에 애로가 없으나 수직입사 방법에 의한 흡음결과는 사용상 약간의 문제점을 내포하고 있다. 이러한 수직입사 방법의 흡음계수 활용에 한계가 있음에도 불구하고 이 측정방법은 흡음장치 또는 흡음재 개발과정에서 중요하게 이용되고 있다.

또한 잔향실법의 경우 10-12m' 의 큰 시편을 제작해서 측정하여야 하므로 현적으로 많은 어려움이 따른다. 반면에 수직입사 방법은 작은 시료로서도 흡음계수 측정이 가능하다.

이러한 두가지 측정방법에 대해 KS에서는 기준이 정해져 있으나 ISO등의 국제 기준에는 잔향실법을 이용한 측정방법만 명시되어 있다. 이것은 잔향실내의 확산음장이 각종 소음환경과 가장 유사하므로 이 방법에 의해 측정된 흡음율이 실제 소음방지대책 자료로서 활용될수 있기 때문이다.

참고 문헌

- 1) W. Koidan, G. Hruska, and M. Pickett, "Wedge Design for National Bureau of Standard Anechoic Chamber," J. Acoust. Soc. Am. 52, 1071 (1972).

2) L.L. Faulkner "H.B of Industrial Noise Control" (1976).

3) 차일환, 소음.진동, (세림사, 1980).

4) 은희준외, 건축음향 KSRI-ET-58 (한국표준연구소, 1984).

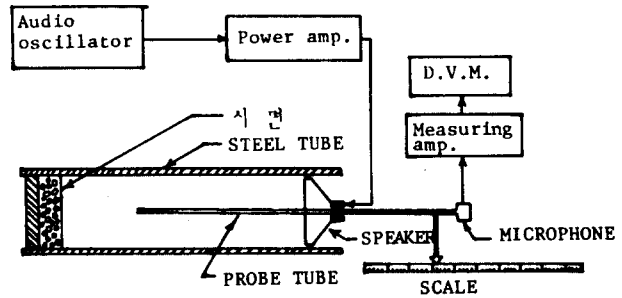


그림 1. 임피던스관에 의한 흡음계수 측정시스템.

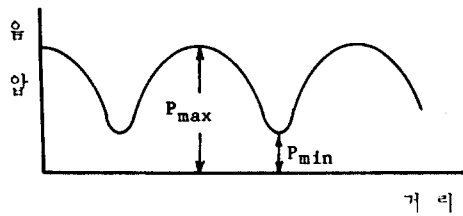


그림 2. 임피던스 관내에서 생기는 음파의 산과 곡.

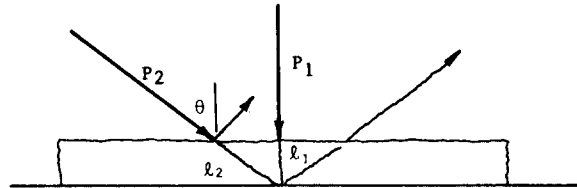


그림 3. 다공성 재료면에 대한 입사각에 따른 흡음과정.

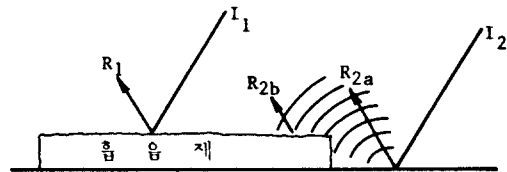


그림 4. 재료 변두리에서의 음파의 회절효과.