

<논 문>

## 시편의 크기에 따른 흡음계수 변화 연구

A Study on the Sound Absorption Coefficient by Varying Sample Size

정 성 수\* · 이 우 섭\* · 조 문 재\* · 서 상 준\*

Sung Soo Jung, Woo Seop Lee, Moon Jae Jho and Sang Joon Suh

(2001년 2월 7일 접수 : 2001년 7월 5일 심사완료)

**Key Words** : Sound Absorption Coefficient(흡음계수), Reverberation Room Method(잔향실법), Reverberation Time(잔향시간), Edge Effect(모서리 효과),

### ABSTRACT

The sound absorption coefficient of glass wool (bulk density of 48 kg/m<sup>3</sup> and 32 kg/m<sup>3</sup>) was measured by reverberation room method as varying their cross-sectional area. The results show that the absorption is larger for smaller samples because of edge effect. The absorption coefficient with two different kinds of sources, 1/3-octave band and white noise, gives similar values.

### 1. 서 론

흡음재의 음향 특성은 흡음계수로 주로 평가하며, 실제 현장 조건과 비슷한 상황을 설정하기 위해서는 잔향실법을 선택하고 있다. 잔향실법에 의한 흡음계수의 측정에는 ISO 354<sup>(1)</sup>와 KS F 2805<sup>(2)</sup> 등의 규격에 따라 시행하고 있다. 두 규격의 핵심 사항은 비슷하므로 적용성에는 문제가 없지만 세부적 사항을 보면 흡음계수에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 시편의 크기(단면적)를 들 수 있다. 현재 ISO 354에서는 10~12 m<sup>2</sup> 입에 반하여 KS F 2805에서는 8.5~12 m<sup>2</sup>로 규정하고 있어 KS F 2805가 시편 크기의 변화 폭이 크며 이것은 잔향실 체적과 연계된다.

잘 알려진 바와 같이 흡음계수 측정 시 중요한 변수로는 회절음 효과라고 할 수 있다. 이것은 간혹 흡음계수가 1을 초과하는 원인이 되고 있다. 이러한 회절음 효과를 최대한 억제하기 위하여 현재 국내에 있

는 일부 잔향실은 바닥면에 시료를 설치하는 설치부가 아래로 이동할 수 있도록 설계되어 있다. 이럴 경우 설치부를 아래로 이동시켜 흡음재의 위 표면과 잔향실 바닥면이 일치하도록 만들 수 있게된다. 이러한 설치 방법이 현 ISO 354 규정에 의한 시편 설치방법으로 한 경우와 어떤 결과의 차이점을 가져오는지에 대한 검증이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 잔향실법으로 흡음재의 흡음계수를 측정할 경우, 시료의 단면적 크기 변화와 시료 모서리 부분의 회절음 억제를 위한 처리 조건의 영향을 조사하였다. 또한 음원을 1/3-옥타브 밴드 중심주파수를 사용한 경우와 백색잡음을 사용한 경우의 영향 그리고 마이크로폰 설치 위치에 따른 영향 등을 살펴 보았다. 시료는 대표적 흡음재인 유리솜으로 서로 다른 체적밀도 (48 kg/m<sup>3</sup>, 32 kg/m<sup>3</sup>)를 가지는 2 종류를 택하였다.

### 2. 실험 및 결과분석

잔향실법에 의한 흡음계수 측정 방법은 ISO 354 혹은 KS F 2805에 잘 명시되어 있으며, 흡음계수 ( $\alpha_s$ )를 구하는 식은 다음과 같다.

\* 정회원, 한국표준과학연구원 음향진동그룹  
E-mail : jss@kriss.re.kr  
Tel : (042) 868-5301, Fax : (042) 868-5643

$$\alpha_s = \frac{55.3 V}{cS} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (1)$$

여기서  $V$ 는 잔향실 체적 ( $m^3$ ),  $S$ 는 시편의 단면적 ( $m^2$ ),  $c$ 는 음속 ( $m/s$ ),  $T_2$ 는 시료 설치 후 잔향시간 ( $s$ ) 그리고  $T_1$ 은 시료 설치 전 잔향시간 ( $s$ )이다. 식 (1)에서 알 수 있듯이  $V, S, c$  등은 결정되어 있기 때문에 시료 설치 전·후의 잔향시간만 측정하면 흡음계수를 얻게된다. 잔향실법에 의한 흡음계수의 표기는 관내법의 경우와 구별하기 위하여 일반적으로  $\alpha$ 에 첨자 "s"를 부가하여 "통계적(statistical)" 의미를 나타내고 있다.

실험은 한국표준과학연구원 잔향실에서 하였는데 잔향실의 평면도는 Fig. 1과 같다. 잔향실 체적은  $270 m^3$ 의 5각형으로 정상과 형상을 억제하기 위해 대부분의 면들이 경사져있다. 바닥면에서 시료가 설치되는 부분(단면적:  $3 \times 4 m^2$ )인 시료 설치부는 최대 0.3 m 까지 밑으로 이동이 가능하게 되어있다.

음원과 마이크로폰의 위치 설정에 대한 ISO 354 그리고 KS F 2805를 살펴보면, 음원은 벽으로부터 1 m 이상 떨어진 곳에 설치하게 되어있다. 마이크로폰은 음원과 2 m 이상, 벽면과 시료로부터 1 m 이상 떨어진 곳에 설치해야만 한다. 따라서 이러한 조건을 충분히 만족할 수 있는 위치를 선정한 결과 음원 혹은 마이크로폰의 설치 위치를 ●로 표시하였는데 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 물론 음원과 마이크로폰은 각각 다른 지점에 엇갈리게 설치하게 된다. 이 지점을 기본으로 하여 ISO 354에 의한 주파수별 측정회수를 만족하도록 실험하였다. 잔향시간의 측정은 레벨레코더나 디지털 방식을 사용할 수 있는데 여기서는 레벨레코더를 사용하였다. 그리고 본 실험을 하기 전에 잔향실에 대한 안정성 검증을 하기 위해 ISO 354의 규정대로 빈방에 대한 등가흡음면적이 각 1/3-옥타브간 평균치에 비해 15 %가 넘지 않는가에 대한 평가를 선행하였으며, 실험결과 모두 만족함을 확인하였다. 시료는 대표적 흡음재인 유리솜(체적밀도  $48 kg/m^3$ , 두께 0.1 m; 체적밀도  $32 kg/m^3$ , 두께 0.05 m)을 사용하였다. 실험은 1/3 옥타브 밴드별로 주파수 125 ~ 4,000 Hz까지 하였다. 본 연구의 시험결과는 총 15회 측정값(주파수당 5회, 마이크로폰과 스피커의 3가지 조합)에 대한 산술 평균값이다.

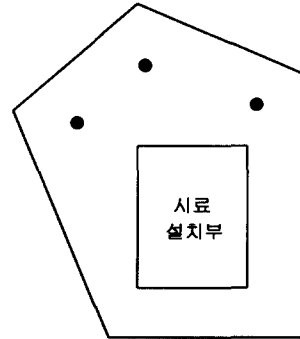


Fig. 1 The position(●) of sound source or microphone for measuring sound absorption coefficient.

우선 체적밀도  $48 kg/m^3$ 인 유리솜을 바닥면에 그대로 설치하여 확산음이 시료의 위면과 옆면 모두 입사될 수 있도록 하였다. 시편 단면적을  $1.8 m^2$ ,  $3.5 m^2$ ,  $5.3 m^2$ ,  $7.1 m^2$ ,  $8.8 m^2$ ,  $12 m^2$  순으로 증가시킨 경우 흡음계수 측정값을 그림 2에 비교하였다. Fig. 2의 결과를 보면 시편의 크기가 작을수록 흡음계수가 1이 넘는 주파수가 많이 나타나고 있다. 이것은 시료의 단면적이 작을수록 시료 옆면으로 입사되는 음 에너지의 비가 상대적으로 크기 때문이다. 시료의 단면적을 점차 증가시키면 흡음계수 값이 전반적으로 감소하지만 이 경우에도 근본적으로 시료 모서리 부근에서 회절되어 시료의 위면으로 들어오는 회절음의 영향은 피할 수 없기 때문에 흡음계수가 1이 넘게 된다.

Fig. 2의 결과는 음원과 마이크로폰의 위치에 따른 흡음계수 측정값의 평균값이며, 각 경우에 대한 결과로서 3 위치 각각에 대한 결과는 Fig. 3과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 전반적으로 비슷한 값을 보이지만 저주파수 대역에서는 다소 큰 차이를 보이는 경우도 발생하고 있다. 이러한 차이를 최소화하기 위해서는 측정 회수를 증가시키는 것이 필요하다.

ISO 354에 의하면 시편의 측면은 두께 0.02 m가 넘지 않는 단단한 재질로서 둘러싸게 되어 있다. 따라서 Fig. 2에서 사용한 동일한 재료에 대해 그 측면을 두께 0.01 m의 아크릴 판재로서 둘러싸고 측정한 결과를 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 2와 비교하면 옆면으로의 음 입사가 제한되었기 때문에 전반적으로 흡음계수 값이 낮아졌음을 알 수 있다. 하지만 시편의 단면적이 작을수록 흡음계수 값이 1을 넘는 경우가 역

시 많은데 이것은 앞서도 언급하였듯이 시료 모서리 부근에서 음이 회절되어 시료 상부로 흡음되는 것으로서 흔히 모서리효과(edge effect)라고 부른다.

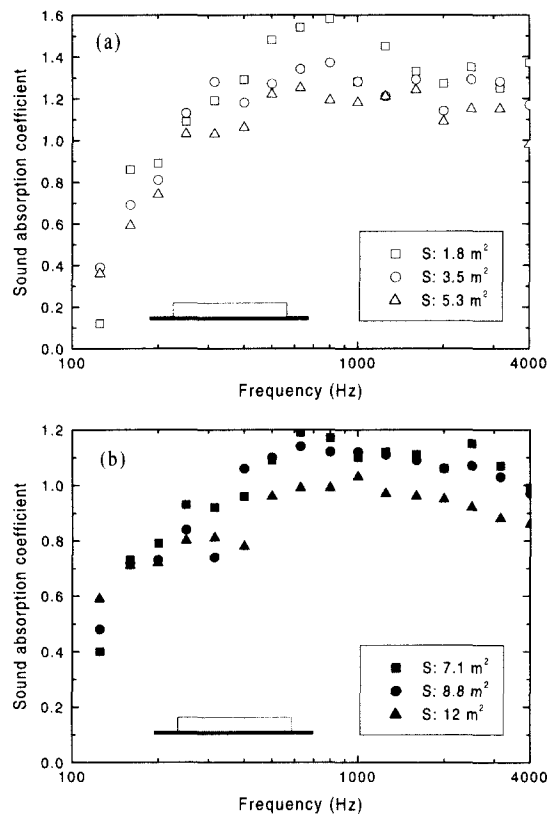


Fig. 2 Sound absorption coefficient of glass wool (density:  $48 \text{ kg/m}^3$ , thickness:  $0.1 \text{ m}$ ) with different cross sectional areas.

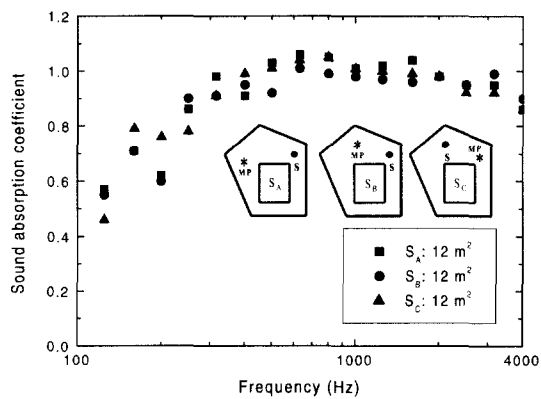


Fig. 3 Sound absorption coefficient measuring at different position of sound source (●) and microphone (\*).

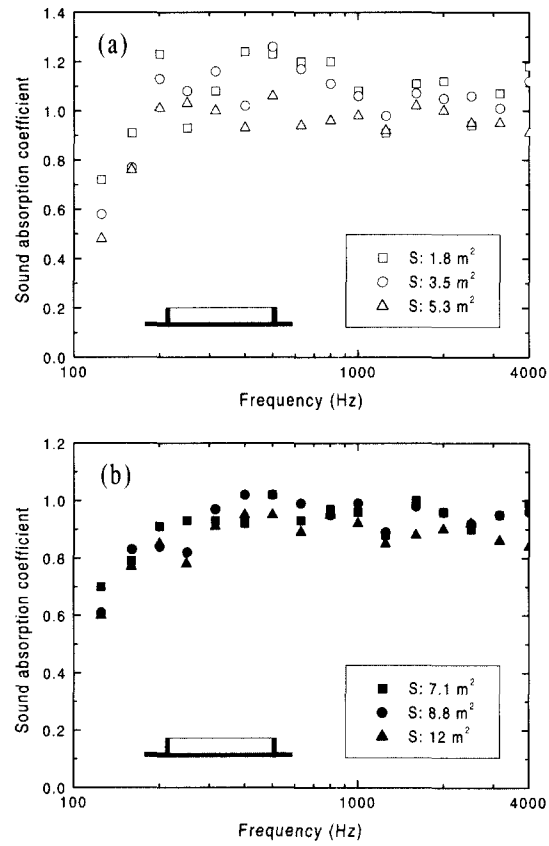


Fig. 4 Sound absorption coefficient for the same sample of Fig. 2. The sides of sample are covered with acrylic plate (thickness:  $0.01 \text{ m}$ ).

다음은 시료를 바꿔 체적밀도  $32 \text{ kg/m}^3$ , 두께  $0.05 \text{ m}$ 인 유리솜에 대해 실험을 하였다. 시편 주위에 역시 아크릴판(두께  $0.01 \text{ m}$ )을 설치하고 단면적을  $1.8 \text{ m}^2$ ,  $3.6 \text{ m}^2$ ,  $5.4 \text{ m}^2$ ,  $7.2 \text{ m}^2$ ,  $9.1 \text{ m}^2$ ,  $12 \text{ m}^2$ 으로 증가시켰다. 그 결과를 Fig. 5에 나타냈는데 시편의 크기가 작을수록 흡음계수가 1이 넘는 경우가 역시 많이 나타나고 있다.

지금까지의 실험결과로부터 한가지 중요하게 고려할 문제가 있는데 그것은 ISO 354 혹은 KS F 2805의 적용 시 시편의 크기에 대한 문제이다. 즉, 어느 경우이던 최소한의 시편 크기와 최대의 시편 크기를 택한 경우 흡음계수 결과에 큰 차이가 날 수 있기 때문이다. Fig. 4(b)에서 시편의 단면적이  $8.8 \text{ m}^2$ 과  $12 \text{ m}^2$ 인 경우 그리고 Fig. 5(b)에서 단면적이  $9.1 \text{ m}^2$ 와  $12 \text{ m}^2$ 인 경우 실제 흡음계수 값이 차이가 나고 있다. 이것은 시편의 크기에 따라 흡음력이 선형적 비례 관

계가 아님을 뜻한다. 이처럼 시료의 크기에 따른 회절음 효과를 보정하기 위해 이론적 해석<sup>(3)</sup>이 시도된 바 있지만 측정값과는 다소 차이를 보이고 있다. 따라서 시편 크기에 따른 보정에 대한 연구는 이론과 실험적으로 병행되어야 할 것으로 사료된다.

한편, Fig. 2의 경우처럼 시편 옆면으로 음이 과도하게 흡수되는 것을 보상하기 위한 방법으로 옆면의 단면적도 총 흡음 면적에 포함시켜 보았다. 그 결과를 Fig. 6에 비교하였는데 Fig. 2에 비해서는 흡음계수 값이 낮아졌으며 Fig. 4의 결과와는 유사하지만 다소 낮은 값을 가진다. 이것은 결국 시료 옆 면적을 총 흡음면적에 포함시켜 보상하는 것도 하나의 방법이 될 수 있지만, 근본적으로 흡음률이 다른 시료 모서리에서의 회절현상에 대한 정확한 해석이 필요함을 알 수 있다.

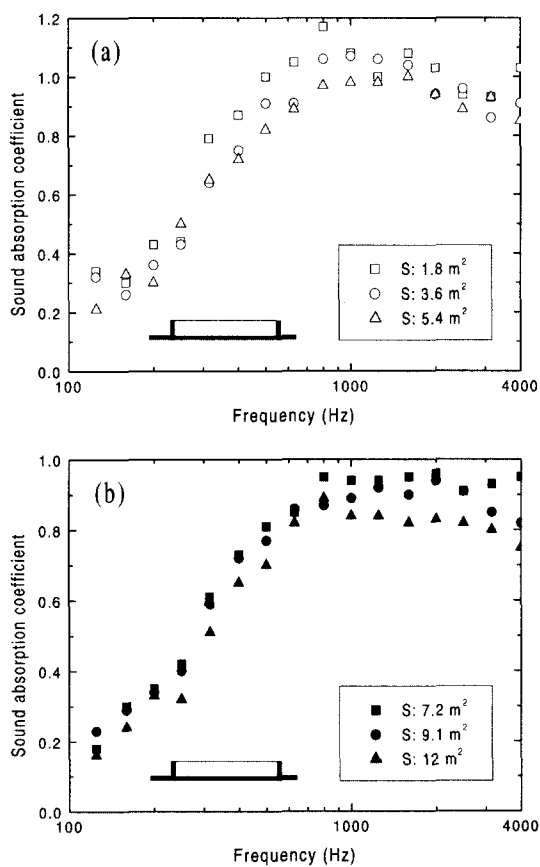


Fig. 5 Sound absorption coefficient of glass wool(density: 32 kg/m<sup>3</sup>, thickness: 0.05 m) with different cross sectional areas. The sides of sample are covered with acrylic plate.

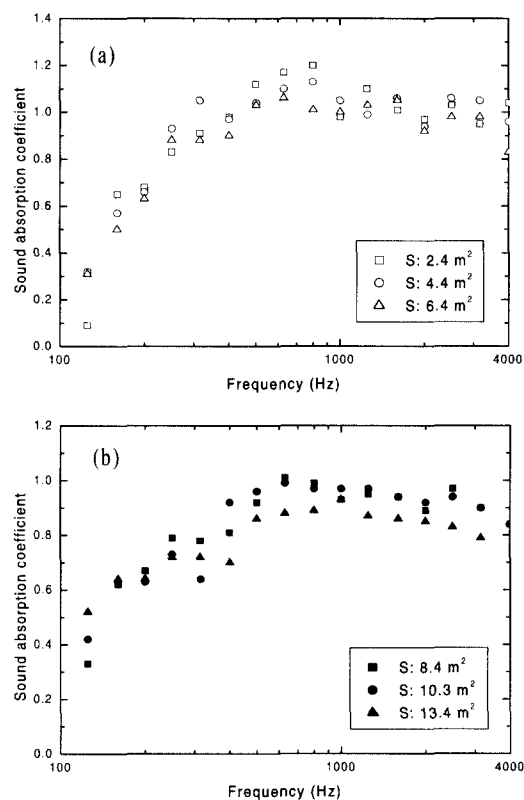


Fig. 6 Sound absorption coefficient for the same sample of Fig. 2. But the cross sectional area of the sides are considered.

다음은 시편부를 아래로 이동시켜 시편의 위 표면이 잔향실 바닥면과 일치하는 경우와 바닥면보다 낮은 경우에 대해 살펴보았다. 비교를 위해 시편 옆면에 아크릴 판재를 시편 두께와 같게 설치한 경우와 시편 두께보다 높게 설치한 경우도 고려하였다. 체적 밀도 32 kg/m<sup>3</sup>, 두께 0.05 m, 단면적 12 m<sup>2</sup>인 유리솜에 적용한 결과를 Fig. 7에 비교하여 나타냈다. 결과를 보면 현 ISO 354처럼 아크릴을 시료 두께만큼 옆면에 설치한 경우가 전반적으로 가장 높은 흡음계수 값을 보이고 있는데 이것은 회절음 영향을 가장 많이 받기 때문이다. 시편부를 아래로 이동시킨 경우 혹은 아크릴 판이 시료 위로 나오게 설치한 경우는 옆면으로의 회절음 영향을 적절히 차단시켜 줌으로서 확산음이 시료 위면에 그대로 입사되는 것으로 판단된다. 따라서 기존의 ISO 354에서 시료 설치에 따른 회절음 효과를 최소화하기 위한 연구가 심도있게 이루어져야만 할 것이다.

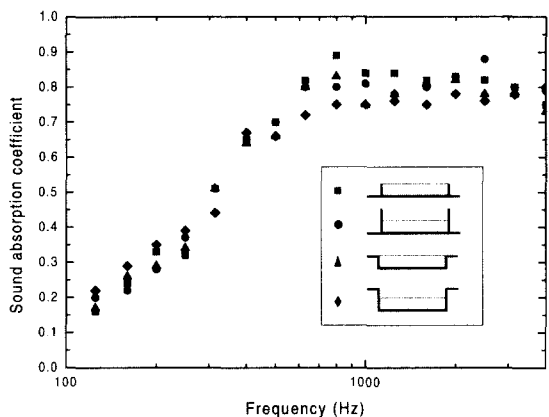


Fig. 7 Sound absorption coefficient of glass wool(density: 32 kg/m<sup>3</sup>, thickness: 0.05 m) with different set-up conditions.

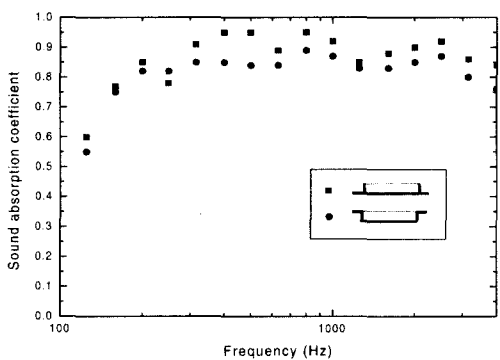


Fig. 8 Sound absorption coefficient of glass wool(density: 48 kg/m<sup>3</sup>, thickness: 0.1 m) with different set-up conditions.

체적밀도 48 kg/m<sup>3</sup>, 두께 0.1 m, 단면적 12 m<sup>2</sup>인 유리솜에 적용한 결과는 Fig. 8에 나타냈는데 이 결과에서도 역시 시편부를 아래로 이동시킨 경우의 값이 작게 나오고 있다.

지금까지는 음원을 모두 1/3-옥타브 밴드 음을 사용하였다. 다음은 음원을 백색잡음을 사용할 경우 어떤 영향이 있는 지 단면적 12 m<sup>2</sup>이고 체적밀도 48 kg/m<sup>3</sup>인 유리솜에 대한 흡음계수 측정값은 Fig. 9에 그리고 체적밀도 32 kg/m<sup>3</sup>인 시료에 대한 것은 Fig. 10에 각각 나타냈다. 여기서 시료는 ISO 354 규정대로 시편의 4 측면을 아크릴(두께 0.01 m)로 둘러싼 경우이다.

Fig. 9와 Fig. 10의 결과를 보면 1/3-옥타브 밴드의 음원을 사용하는 경우나 백색잡음을 사용하는 경우, 일부 주파수 영역에서는 다소 값의 차이가 나지

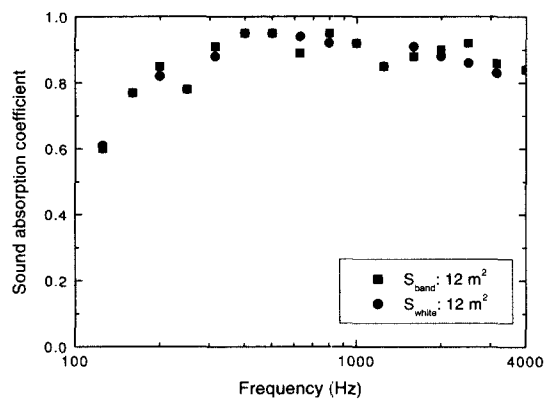


Fig. 9 Sound absorption coefficient of glass wool(density: 48 kg/m<sup>3</sup>, thickness: 0.1 m) with different sound source, set-up  
■: 1/3 octave band noise, ●: white noise.

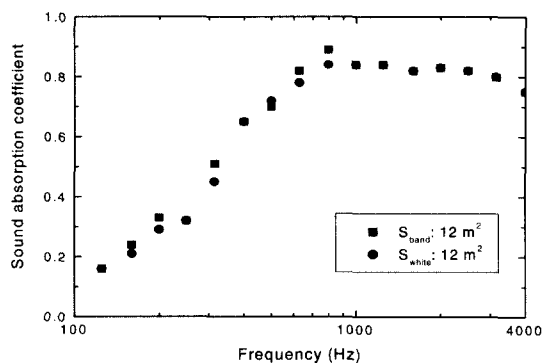


Fig. 10 Sound absorption coefficient of glass wool(density: 32 kg/m<sup>3</sup>, thickness: 0.05 m) with different sound source, set-up  
■: 1/3 octave band noise, ●: white noise.

만 전반적으로는 비슷한 흡음계수 값을 가짐을 알 수 있다. 이것은 곧 어떤 음원을 사용해도 큰 문제가 없음을 뜻하며, 실험 시간만을 고려할 때는 백색잡음을 사용하는 것이 좋으나 음향 출력은 오히려 1/3-옥타브 밴드 음이 더 좋기 때문에 사용자가 상황에 맞게 선택하는 것이 바람직하다 하겠다. 음원을 백색잡음을 사용하는 것은 현 ISO 354에는 없지만 새로운 개정안에서는 포함되어 현재 회원국들의 의견을 수렴하는 과정에 있으며, 본 연구결과 백색잡음 음원을 수용하는데 별다른 문제가 없을 것으로 판단된다.

한편, 시험 시 잔향실 내 온도와 상대습도에 따라 흡음률이 영향을 받을 수 있는데 대략 2 kHz 이상에

서 발생하게 된다. 하지만 대부분 잔향실 환경은 높은 습도가 기본이므로 시험 시간 동안 잔향실 내 온도와 습도 변화율은 시험에 영향을 줄 정도로 크지 않기 때문에 이로 인한 오차는 무시할 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 ISO 354에 기초한 잔향실법에 의한 흡음재의 흡음계수 측정에 대해 살펴보았다. 시료의 단면적 크기 변화에 따라 실험한 결과 시료의 단면적이 작을수록 회절음의 효과가 크게 작용함을 확인하였다. 회절음의 효과를 최소화하기 위해서는 ISO 354 규정대로 시료 주위에 단단한 재질로서 둘러싸는 것이 필요하며, 특히 시편의 크기에 따른 회절음 효과를 보정하여 시편의 크기에 관계없이 같은 값을 얻을 수 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 옆면을 음장에 그대로 노출시킬 경우는 시료 옆 단면적을 총 흡음면적에 포함시킴으로서 어느 정도 과도 입사되는 음에 대한 효과를 보정할 수 있지만 시료마다 흡음률

이 다르기 때문에 모서리에서의 회절현상에 대한 연구를 통해 좀더 정확한 보상이 필요할 것으로 사료된다. 시료 설치부를 아래로 이동시켜 시료 위 면을 잔향실 바닥면과 일치시킨 경우는 회절음 효과를 최소화 할 수 있음을 알 수 있었다. 음원에 있어서는 1/3-옥타브 밴드 혹은 백색잡음 중 어떤 음원을 사용 하여도 무방함을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- (1) International Standard ISO 354, 1985, "Acoustics - Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room".
- (2) KS F 2805, 1991, "잔향실 내의 흡음률 측정 방법".
- (3) W. Lauriks, A. Cops, Ph. Belien, 1990, "The Influence of the Edge Effect on the Statistical Absorption Coefficient," *Acustica*, Vol. 70, pp. 155~159.