

흡음형 방음벽의 성능향상에 관한 연구

⁰김현실*, 김재승*, 강현주*, 김봉기*, 김상렬*

A Study on Performance Improvement of Sound Absorbing Noise Barrier

Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Hyun-Joo Kang, Bong-Ki Kim, and Sang-Rul Kim

ABSTRACT

A study on performance of the sound absorbing noise barrier is presented. Noise barrier of sound absorbing type is composed of the front panel, sound absorbing material, and back panel. For allowing sound path, front panel is usually perforated. The performance of the noise barrier is governed by the opening ratio of the perforated panel, sound absorption coefficient of the sound absorbing material. In this study, the effects of the opening ratio, diameter of the hole, thickness of the sound absorbing material are investigated. It is found that the thickness of the sound absorbing material must be at least 50 mm to ensure the required minimum NRC value 0.70, and the opening ratio is greater than 0.2. It is shown that the thickness of the back panel is crucial in providing required STL (Sound Transmission Loss) value. The performance of the developed noise barrier is measured, where its sound absorbing coefficient and sound transmission loss satisfy the criteria.

1. 서 론

거주환경에서의 소음공해가 날로 심해짐에 따라 방음벽의 사용이 점차 늘고 있으며 도심에서는 거의 대부분 흡음형 방음벽이 사용되고 있다. 흡음형 방음벽의 요구조건[1]은 NRC 0.70 (250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 흡음률의 평균값) 이상이어야 하며 투과손실은 수음자 위치에서 방음벽에 기대하는 회절감쇠치에 10dB를 더한 값으로 하거나, 500 Hz의 음에 대해서는 25dB 이상, 1000Hz의 음

에 대해서는 30dB 이상을 표준으로 한다. 흡음형 방음벽 시제품을 만들기 전에 설계단계에서 흡차음 성능을 예측하는 과정은 대단히 중요하며 이는 시제품을 만든 후 측정하고 보완하는 단계를 줄일 수 있다는 점에서 경제적 및 시간적으로 큰 이점이 있다. 본 논문에서는 흡음형 방음벽의 흡차음 성능해석을 다루었다. 기존에 널리 사용되는 흡음형 방음벽은 두께가 100 mm이며 흡음재로는 주로 유리섬유를 사용하고 전면판 형상은 슬릿형으로 구멍이 뚫려있다. 본 논문에서 고려하는 방음벽은 외형적인 형상은 기존의 방음벽구조와 유사하며 전면판은 원형 타공판 형상을 하고 있으며 내부

* 한국기계연구원 음향연구그룹

흡음재는 폴리우레탄 폼(Polyurethane foam)을 사용하였다.

2. 방음벽 성능예측

성능해석 대상인 방음벽의 구성은 초안으로 먼저 다음과 같이 가정하였다.

전면 타공판(Al. 0.5mm) + 공기층 10mm + PU foam 40mm + 공기층 23mm + 후면 1.2t 아연도금 강판

전달 매트릭스 방법을 이용하여 방음벽구조의 흡음률을 계산하였는데 후면 1.2t 강판은 강체(rigid body)로 간주하였으며 전면의 알루미늄 타공판은 평판으로 가정하였다.

흡음률에 중요한 인자로 타공판 구멍 직경 d , 개구율 p , 타공판 두께 t 를 들 수 있으며 간격이 L 인 구멍이 격자형으로 배열되어 있을 때 개구율(opening ratio:면적비) p 는

$$p = \pi d^2 / 4L^2$$

로 주어진다. PU 흡음재의 음향학적 거동은 Delany and Bazley 모델[2]을 사용하여 임피던스는 흐름저항치(flow resistivity)에 의해서만 주어진다고 가정하였다.

2.1 타공판 개구율(opening ratio)의 변화:

타공판의 개구율 면적의 변화로 인해 음향학적 특성이 크게 달라지며 일반적으로 1% 미만의 작은 구멍만 뚫어져 있는 경우에는 Helmholtz 공명기(Resonator)[3]의 특성을 보인다. 따라서 특정 주파수에서 높은 흡음을 보이지만 이보다 큰 주파수 대역은 흡음재 고유의 특성에 비해 매우 낮은 흡음률을 갖게 된다. PU foam 두께 50mm에 대해 개구율 p 를 1%에서 30%까지 변화시키며 흡음률에 미치는 영향을 그림 1에 비교하였다. 단 구멍 직경은 $d = 4\text{mm}$ 로 일정한 값을 사용하였다. 개구율 p 가 작으면 Helmholtz 공명기 특성으로 저주파수에서 피크를 보이거나 고주파수에서는 PU foam의 영

향이 나타나지 않는다. 개구율이 커질수록 고주파수에서 흡음이 좋아지며 20% 이상이 되면 거의 같은 값을 보인다.

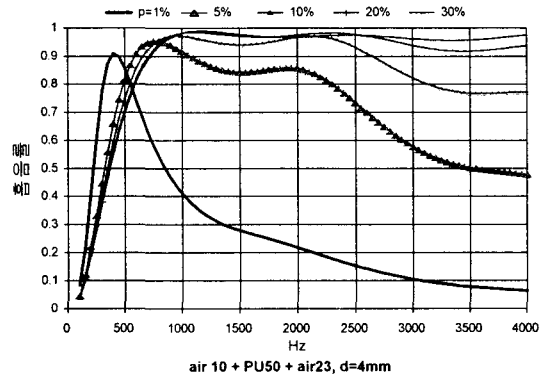


그림 1. PU 50mm 사용시 개구율변화에 따른 흡음률변화(NRC 값은 $p=1, 5, 10, 20, 30\%$ 일 때 각각 0.52, 0.73, 0.75, 0.74, 0.73임)

2.2 타공판 구멍 직경 변화

PU foam 40mm 사용시 개구율 20%를 유지하며 구멍 직경 d 를 변화시키며 흡음률의 변화를 그림 2에 보였다. d 를 1mm, 2mm, 4mm로 변화하였으나 흡음률은 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

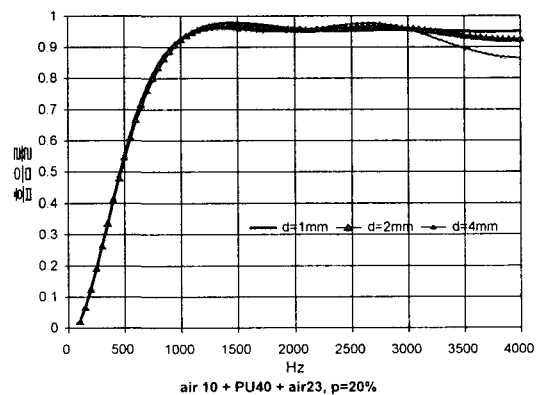


그림 2. PU 40mm 사용시 타공판 구멍직경의 변화에 따른 흡음률($d=1, 2, 4\text{mm}$ 일 때 NRC 값은 각각 0.65, 0.66, 0.66임)

2.3 PU foam 두께의 변화:

일반적으로 흡음재의 두께가 커질수록 저주파수대의 흡음률이 좋아지는 경향을 보이는데 PU foam 두께 40mm에서는 얻을 수 있는 최대 흡음률이 NRC 값으로 0.66이며 기준에서는 0.7이상을 요구하고 있다. 저주파수대의 흡음을 좋게 하기 위해서는 PU foam의 두께가 더 증가해야 하며 PU foam 40mm 및 50mm에 대해 그림 3에 비교하였다. 개구율은 각각 5% 및 20%로 가정하였으며 구멍 직경은 $d=4\text{mm}$ 를 사용하였다. PU foam 50mm ($d=4\text{mm}$, 개구율 20%)에서는 NRC가 0.74로 향상됨을 알 수 있다.

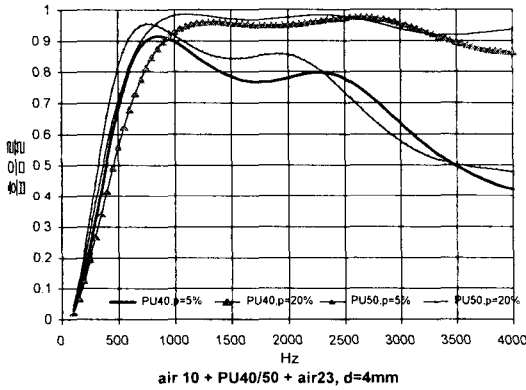


그림 3. PU foam 두께와 흡음률변화(PU 50mm : $p=5\%$, $NRC=0.73$, $p=20\%$, $NRC=0.74$, PU 40mm : $p=5\%$, $NRC=0.65$, $p=20\%$, $NRC=0.66$)

2.4 전면 공기층 두께의 영향

현재 검토대상인 PU foam은 형상이 울퉁불퉁하며 타공판도 컵처럼 움푹 들어가 정확한 전면 공기층 간격을 산정하기 어려우므로 공기층 두께변화에 의한 흡음률을 검토하였다. PU foam 50mm, $d=4\text{mm}$, $p=30\%$ 에서 전면 공기층이 10mm인 경우와 0mm인 경우를 그림 4에 비교하였는데 거의 변화가 없으며 따라서 전면 공기층의 두께는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

비교를 위해 PU foam만 있는 상태의 흡음률과 비교하였는데 방음벽안에 흡음재가 내장된 경우가 흡음률이 더 좋으며 이는 후면 공기층 23mm의 존재로 인해 저주파수 흡음이 더 향상된 결과로 보여진다. 일반적으로 저주파수대의 흡음을 증가시키려면 흡음재 두께를 증가시키거나 배후 공기층 두께를 증가시켜야 한다고 알려져 있다.

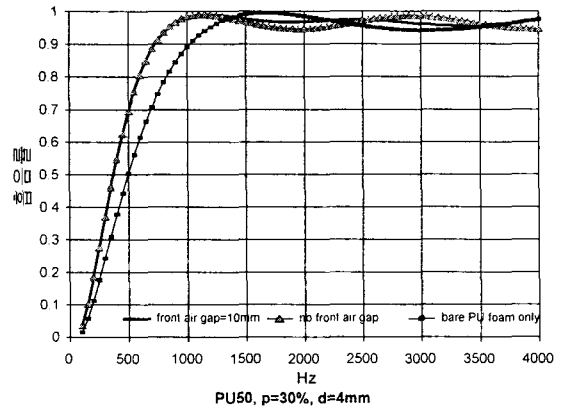


그림 4. 전면 공기층 두께의 영향

2.5 차음성능검토

방음판의 차음성능은 공기밀봉이 중요하며 따라서 구멍이 뚫린 전면판보다는 후면판이 차음성능에 결정적인 영향을 미친다. 또한 차음성능은 방음판의 밀도가 클수록 좋아지는데 흡음재는 별다른 영향을 주지 못한다. 현재 단일 방음판은 $0.5\text{m} \times 2\text{m}$ 의 크기로 방음판의 연결부위가 공기를 누설하지 않도록 세심한 주의를 기울여야 한다.

강판 1mm의 투과손실값을 그림 5에 보였는데 후면판은 현재 두께가 1.2mm로 투과손실값에서 기준과 매우 근접하므로 여유를 위해 1.6mm로 증가하는 것이 바람직한 것으로 보인다. 이 경우 기준(500Hz에서 $STL\ 25\text{dB}$, 1000Hz에서 $STL\ 30\text{dB}$)을 약 2-3dB 정도 여유로 만족할 것으로 예상된다.

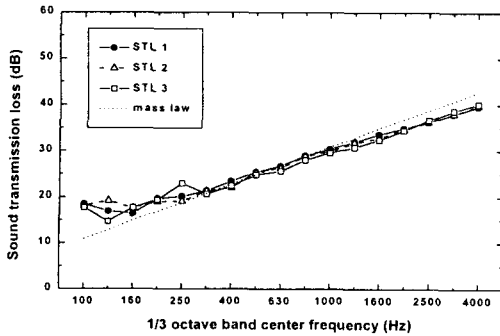


그림 5. 강판의 STL(두께 1 mm)

2.6 초기 설계변수 검토

이상과 같은 여러가지 경우에 대한 예측결과 결론은 다음과 같이 정리된다.

- 흡음형 방음벽 조건에서 요구되는 NRC 0.70 이상을 얻기 위해서는 PU foam의 두께는 최소 50mm 이상이 되어야 함

- 타공판의 구멍 크기는 개구율만 20% 이상 유지하면 큰 영향이 없으나 1mm의 경우 먼지 등 이물질로 인해 막힐 우려가 있으며 다른 타공판의 형상을 참조해 볼 때 4mm - 5mm가 적당함.

- 개구율은 20% 이상이 되어야 함. 직경 4mm인 경우 이에 해당하는 구멍간격은 다음과 같음

개구율 20%, 간격 L = 7.9mm

개구율 30%, 간격 L = 6.5mm

- 타공판의 움푹 패인 중앙부는 PU foam과 바로 접촉하여 지지부 역할을 하는 것이 바람직함

- 후면판은 현재 두께가 1.2mm로 투과손실값에서 기준과 매우 근접하므로 여유를 위해 1.6mm로 증가하는 것이 바람직함. 이 경우 기준을 약 2-3dB 정도 여유로 만족할 것으로 보임.

3. 방음벽 제작 및 성능 계측

위의 항에서 검토한 바를 반영하여 새로운 방음벽을 개발하였으며 그 구성은 다음과 같다. 흡음재로는 두께 50 mm의 폴리우레탄(PU) 재질을 사용하였다.

전면 타공판(Al 1.0mm) + PU foam 50mm + 후면 공기층 20mm + 후면 1.6t 아연도금 강판

전면 타공판은 직경 100mm의 타공된 원형캡이 6mm 간격으로 격자형으로 설치되었으며 원형캡은 직경 8mm의 구멍이 뚫려있다. 전체 면적대비 구멍의 면적비는 약 17.6%이다.

기존 방음판과 새로 개발한 방음판과의 음향성능비교를 위해 본 연구원 음향실험실에서 두 가지 방음판의 흡음과 차음성능을 측정하였으며 결과를 그림 6에 비교하였다. 그림 6에서 gallery는 기존 방음벽으로 표면에는 slit 형태로 개구부(opening)가 있다. 내부에는 두께 50t의 유리섬유(GW: glass wool)가 얇은 film에 쌓여있다. 비교를 위해 폴리우레탄 흡음재(PU)를 기존 gallery type에 넣고 흡음률을 측정하였다(Gallery + PU).

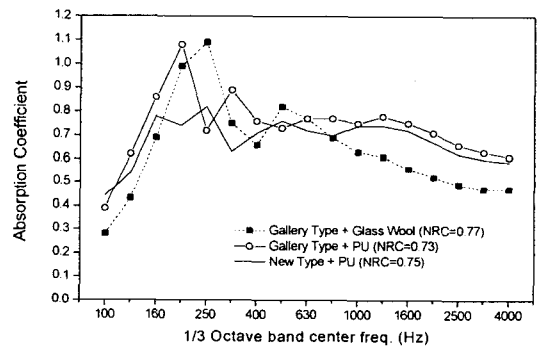


그림 6. 기존 방음벽과 새로 개발된 방음벽의 흡음률비교

그림 6에서 기존 Gallery Type의 형상은 200Hz 또는 250 Hz에서 피크를 보이거나 새로 개발된 형(New Type + PU)은 특정 주파수에서 피크를 보이지 않는다. 세가지 모두 NRC 값은 비슷하며 Gallery + GW(Glass Wool)이 고주파수에서는 가장 흡음률이 떨어지나 250 Hz 값이 NRC에 사용되므로 NRC 값은 높게 평가된다.

방음판 형태의 영향을 배제하고 흡음재만의 효과를 보기위해 유리섬유(GW)와 폴리우레탄(PU)만

잔향실 바닥에 설치하고 측정하였으며 또한 방음판 형상이 후면 공기층을 형성하므로 PU를 바닥에서 40mm 띄우고 흡음률을 측정하였으며 결과를 그림 7에 나타냈다.

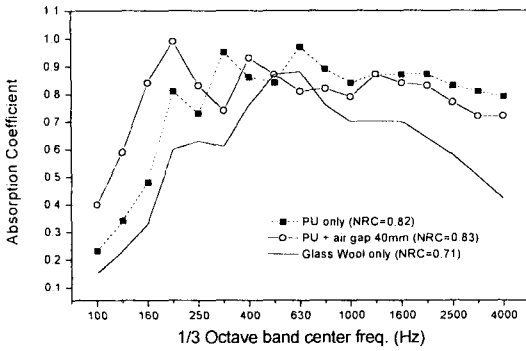


그림 7. 유리섬유(GW)와 폴리우레탄 흡음재(PU)의 흡음률비교

그림 7에서 유리섬유(Glass Wool)가 가장 흡음률이 나쁘며 PU를 바닥에서 40mm 띄우면 저주파수대의 흡음률이 좋아지나 고주파수대는 별로 변화가 없다.

방음판 틀이 흡음에 미치는 효과를 보기위해 흡음재만 있는 경우와 방음판에 내장하였을 때를 비교하였는데 그림 8에는 PU와 New Type Frame + PU를, 그림 9에는 GW와 Gallery Frame + GW를 나타냈다. 두 경우 공통적으로 흡음재만 있는 경우보다는 방음판 틀에 삽입하면 흡음율이 저주파수대에서는 후면 공기층 때문에 좋아지나 고주파수에서는 나빠지는 경향을 보인다.

기존 Galley type과 새로 개발한 원형 타공판 Type의 틀(전면 판)이 흡음률에 미치는 영향을 보기 위해 흡음재 없이 방음판 틀만 설치하고 흡음률을 측정하였으며 결과를 그림 10에 나타냈다.

그림 10에서 보면 기존 gallery type이나 원형 타공판 type이나 방음벽 틀만의 흡음률은 거의 같은 값을 주는 것을 알 수 있다.

또한 폴리우레탄은 임피던스튜브를 이용하여 수직 입사 흡음률을 측정하였으며 이를 잔향실법 결과와 그림 11에 비교하였다. 당 연구원이 보유한 임피던스 튜브는 두가지로 고주파수용은 직경 28mm, 길이 1m, 상한주파수는 3.4kHz이며 저주파수용은 직경 102mm, 길이 2m, 상한주파수 1.6kHz이다.

방음판의 흡음성능을 예측한 결과와 잔향실에서 측정한 값(New Type + PU 50t)을 비교하면 예측치는 저주파수대에서는 낮은 값을, 고주파수대에서는 지나치게 높은 값을 주는 경향을 알 수 있다.

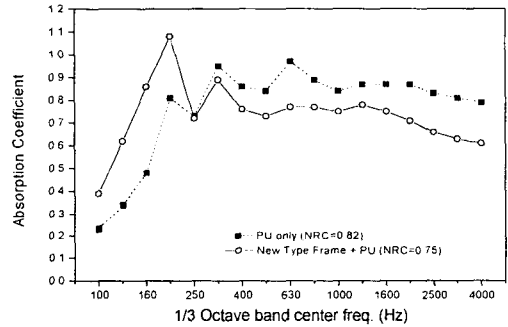


그림 8. PU만 있는 경우와 PU를 방음판 틀에 내장한 경우의 흡음률변화

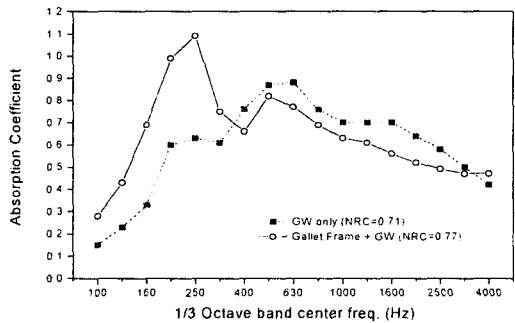


그림 9. GW(Glass wool)만 있는 경우와 GW를 방음판 틀에 내장한 경우의 흡음률변화

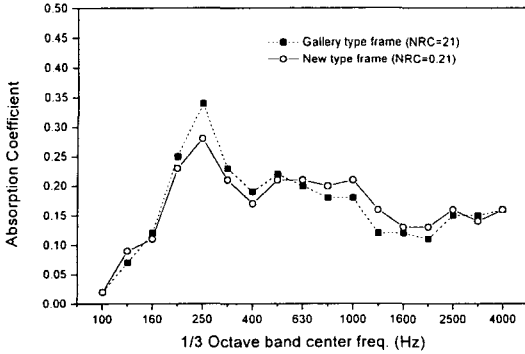


그림 10. Gallery type frame과 new type frame의 흡음률

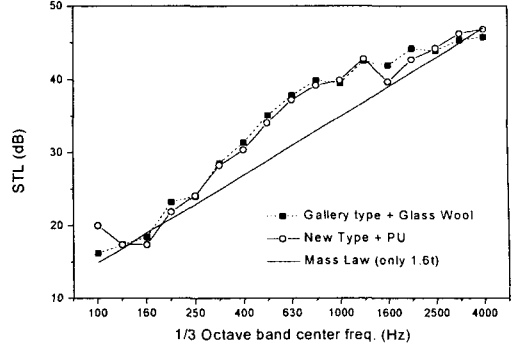


그림 12. 기존 방음판과 새로 개발된 방음판의 차음손실비교

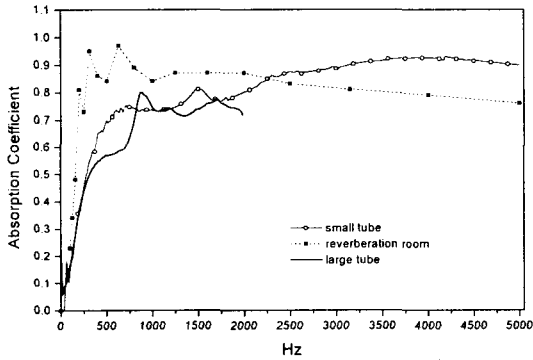


그림 11. 임피던스 튜브와 잔향실법을 이용한 PU의 흡음률측정

기존 방음벽과 새로 개발한 방음벽의 차음성능을 본 연구원의 잔향실에서 측정하였으며 그 결과를 그림 12에 비교하였다. 방음판의 차음성능은 공기밀봉이 가장 중요하며 전면의 구멍 뚫린 알루미늄판은 영향을 주지 못한다. 또한 흡음재와 방음판 사이에도 공간이 있으므로 결국 차음성능은 후면의 1.6t 강판에 의해 지배된다. 마찬가지로 방음판과 방음판사이의 간격이 없게 잘 밀봉하는 것이 중요하다. 그림 12에서 보면 두 경우 차음성능은 거의 같음을 알 수 있다.

4. 결론

흡음형 방음벽 조건에서 요구되는 NRC 0.70 이상을 얻기 위해서는 흡음재의 두께가 매우 중요하며 PU foam의 경우 두께는 최소 50mm 이상이 되어야 한다. 타공판의 구멍 크기는 개구율이 매우 작을 때에는(1% 미만) Helmholtz 공명현상이 나타나지만 고주파수에서 흡음률이 떨어진다. 따라서 고주파대의 흡음률을 크게 하기 위해서는 개구율이 커야하며 20% 이상은 되어야 한다.

투과손실은 후면판의 두께에 의해 결정되므로 충분한 두께가 요구된다.

참고 문헌

- [1] 환경부 고시 제 1998-150호, 방음시설의 성능 및 설치기준, 제2장 방음벽의 음향성능 및 재질
- [2] M. E. Delany and E. N. Bazley, "Acoustical Properties of Fibrous Absorbent materials," Applied Acoustics, Vol. 3, 105-116, 1970.
- [3] A. D. Pierce, Acoustics: An Introduction to its Physical Principles and Applications, Acoustical Society of America, 1989.