

고속전철용 방음패널의 음향특성 평가

⁰서재갑*, 정성수*, 서상준*, 조문재*, 나희승**, 양신추**

An acoustical characteristics of sound proof panel for high speed train

Jae Gap Suh*, Sung Soo Jung*, Sang Joon Suh*, Moon Jae Jho*, Hee Seung Na**, Sin Chu Yang**

ABSTRACT

In this study, an acoustical characteristics of sound proof panel for high speed train was performed. A sound absorption coefficient and transmission loss of sound proof panels for high speed train were tested in reverberation chambers and compared those of ordinary sound proof panel. The effect of noise barrier was simulated by using ray noise program with measured sound absorption coefficient for high speed train case and for ordinary case.

1. 서론

현재 고속전철 시험선 구간을 비롯하여 본선 구간에 설치 예정인 방음벽에 대한 흡음률 조건은 CEN 10 규정의 아주 높은 흡음계수를 요구하고 있다. 이렇듯이 CEN 10 규정을 만족하는 방음패널은 일반 방음패널에 비해 상당히 높은 흡음계수를 요구하기 때문에 초기에는 방음패널의 두께가 0.2 m에 달하였다. 그 후 관련 업계들의 지속적인 연구개발로 인해 현재는 상당한 두께의 저감을 가져오게 되었다. 일반 방음패널은 겔러리형이 많은데 비해 고속전철용 방음패널의 경우는 원형 다공판이 많으며 겔러리형과 원형 다공판이 합성된 복합형도 개발되고 있다. 타공률의 경우도 흡음력을 확대하기 위해 일반 방음판보다 더 증가시키고 있다.

기본적인 구조는 고속전철용 방음판과 일반 방음벽용 패널이 큰 차이가 없으며 흡음재의 두께, 체적밀도가 다른 흡음재의 혼용, 공기층의 두께 선정 등을 통해 CEN 10 규정의 흡음률을 만족시키고 있다. 흡음재의 외부는 PVF 필름으로 둘러싸임으로서 흡음재 분진의 비산을 막고 있으며, 차량 운행 시 풍압에 의한 필름의 손상을 막기 위해 유리천을 한번 더 에워싸서 시험을 하는 경우도 있으나 CEN 10을 만족하기에는 어려운 점이 있다. 흡음재의 음향특성 시험은 잔향실법으로 흡음시험과 투과손실 시험을 모두 하고 있다.

본 연구에서는 고속전철용 방음패널의 흡음성능과 투과손실을 일반 방음벽용 방음패널의 성능과 비교하며, 흡음계수 측정 결과를 이용하여 상용 프로그램인 Raynoise를 이용하여 현재 고속전철 시험선 구간에 설치되는 수직 일자형 방음벽의 설치 효과를 시뮬레이션하고 그 결과를 분석해 보았다.

* 한국표준과학연구원 음향·진동 그룹

** 한국철도기술연구원

2. 잔향실법에 의한 흡음계수와 투과손실 측정

2.1 흡음계수와 투과손실 측정 방법

잔향실법에 의한 흡음계수 측정은 ISO 354⁽¹⁾와 KS F 2805⁽²⁾에 투과손실의 경우는 ISO 140-3⁽³⁾과 KS F 2808⁽⁴⁾에 규정되어 있다. 시험은 한국표준과학연구원 잔향실에서 하였는데 단면도는 그림 1과 같다. 그림 1에서 보듯이 제 1 잔향실에서는 흡음 시험을 하였으며, 투과손실 시험은 제 1 잔향실(체적 270 m³)과 제 2 잔향실(체적 270 m³) 사이에 시료를 설치하여 시험하였다.

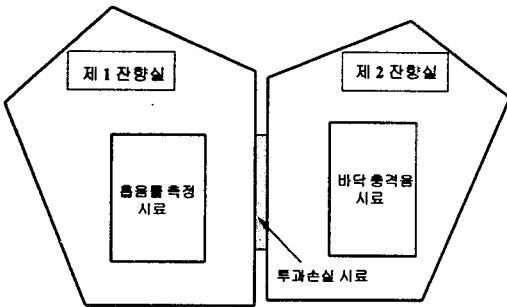


그림 1. 흡음계수와 투과손실 측정을 위한 잔향실 단면도.

잔향실법에 의한 흡음계수와 투과손실 측정방법에 대해서는 이미 잘 알려져 있기 때문에 자세한 설명은 생략하고 수식적인 것만 요약하면 다음과 같다. 잔향실법에 의한 흡음계수 측정은 시료 설치 전·후 잔향실에서 1/3-옥타브 밴드별로 잔향시간을 측정함으로써 기본적인 측정이 끝나게 된다. 자료 처리 방법은 측정된 잔향시간을 이용하여 등가 흡음면적(equivalent sound absorption area of a room)을 결정하게 되는데, 시료가 없는 잔향실에 대한 등가흡음면적을 A_1 , 시편을 설치한 잔향실의 경우를 A_2 로 표시하면 다음 식으로 표현된다.

$$A_{1,2} = \frac{55.3V}{cT_{1,2}} \quad (1)$$

여기서 V 는 빈 잔향실의 체적(m³), c 는 공기중에서의 음속(m/s)이며, 첨자 1, 2는 빈방과 시료가 설치된 경우를 각각 뜻한다.

그러면 구하고자 하는 등가흡음면적은 식 (2)로 다시 쓸 수 있으며, 시료의 흡음계수는 시편의 등가흡음면적을 시편의 면적(S)으로 나눈 값 α_s 로 식 (3)으로 정의된다.

$$A = 55.3 \frac{V}{c} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2)$$

$$\alpha_s = \frac{A}{S} \quad (3)$$

투과손실(TL)의 경우는 다음 식으로 결정된다.

$$TL = L_{1r} - L_{2r} + 10 \log_{10} (S_t / A_r) \quad (4)$$

여기서 L_{1r} 과 L_{2r} 는 음원실과 수음실에서 마이크로폰으로 측정되는 평균 음압레벨(dB)을 각각 뜻하며, S_t 는 시편의 단면적, A_r 은 수음실에서의 등가 흡음면적이 된다. 시편의 단면적은 흡음계수 측정은 12 m², 투과손실은 10.5 m²으로 하였다.

2.2 흡음계수와 투과손실 측정 결과 및 분석

그림 2에서 나타냈듯이 일반 방음벽용 방음패널의 경우는 전면 패널을 갤러리형으로 많이 사용하고 있으며(그림 2(a)), 근래에는 그림 2(b)와 같은 원형 다공형의 사용도 증가하고 있다. 갤러리형의 경우는 빗물의 침투를 극소화 하기 위해 사각형의 타공된 부분이 아래로 경사지게 구부러져 있다. 따라서 잔향실에서 흡음시험을 할 경우 입사되는 음의 각도가 제한을 받게 되므로 실제 기공률이 30% 이상 되더라도 음이 다공판 내로 입사되는 유효 기공률은 절반 이상으로 떨어지게 된다.

일반 방음벽용 패널로서는 NRC 0.7 이상을 만족하는데 별다른 문제가 없지만 고속전철용 방음패널로 사용하기 위해서는 더 많은 기공을 만들어

야 효과적이다. 따라서 현재는 기공률을 증가시키기 위해 나머지 빈 공간에 원형 타공을 하는 경우가 있다. 이러한 갤러리 형 외에도 많은 경우는 그림 2(b)와 같은 원형 타공패널을 사용하고 있다. 원형 타공패널의 경우는 충분히 높은 기공률을 유지할 수 있지만 빗물의 침투가 항상 존재하기 때문에 꼭 흡음재를 보호막 필름으로 에워싸게 된다.

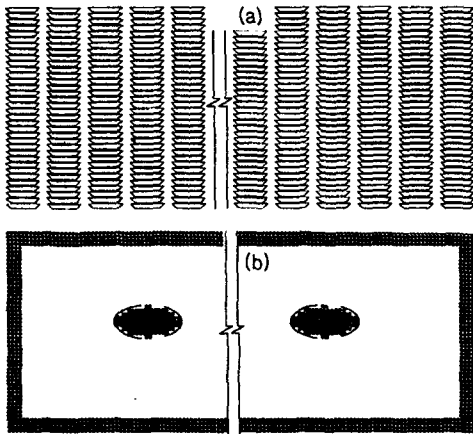


그림 2. 방음패널의 전면 형상. (a) 갤러리형, (b) 원형 다공형.

필름의 경우 현재 PVF를 사용하고 있으며 이는 전량 수입에 의존하고 있다. 필름을 흡음재에 둘러싸는 경우 필름에 의한 효과가 거의 없다는 주장도 있지만 실험을 하면 주파수 별로 다소 차이는 있지만 고주파수 대역의 흡음력이 감소하게 된다. 그림 3은 두께 0.05 m인 우레탄 폼의 흡음계수와 그 위에 PVF 필름을 둔 경우 관내법으로 측정된 흡음계수를 나타낸 것이다. 결과에서 비교할 수 있듯이 필름을 둔 경우는 고주파수 대역에서 다소 흡음력이 감소함을 볼 수 있다. 하지만 필름의 두께가 얇은 경우(예를 들어, wrap 필름)는 흡음률에 영향이 없게 된다.

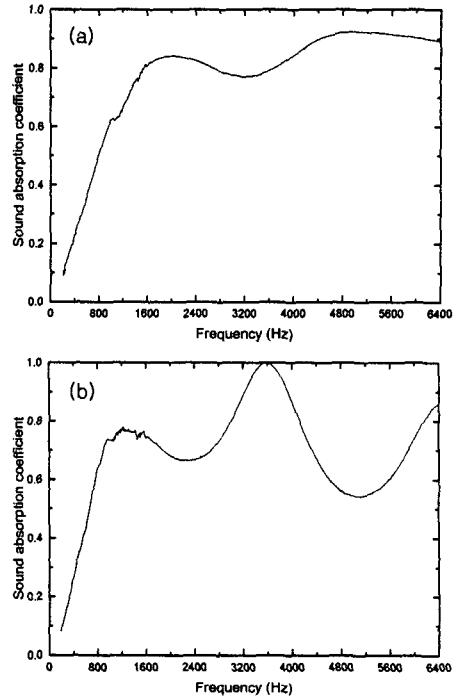


그림 3. 두께 0.05 m인 우레탄 폼과 우레탄 폼 위에 PVF 필름을 둔 경우 흡음계수 비교. (a) 우레탄 폼, (b) 우레탄 폼 위에 PVF 필름이 있는 경우.

일반 방음패널의 경우 흡음계수는 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz에 대한 평균값으로서 0.7 이상을 요구하고 있다. 하지만 고속전철용 방음패널에 대한 흡음계수의 요구값은 CEN 10 이상으로서 옥타브 밴드별로 되어 있는데 표 1과 같다.

표 1. 고속전철용 방음패널의 흡음계수.

주파수 (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
흡음계수	0.5	0.8	0.9	0.95	0.9	0.7

한편, 투과손실의 경우는 일반 방음패널에서는

500 H에서 25 dB 이상, 1 kHz에서 30 dB 이상으로 되어 있으며, 고속전철용 방음패널의 경우도 동등하게 규정하고 있어 다소 수정될 필요가 있을 것으로 보인다.

다음은 실제 고속전철용 방음패널 중 원통 타공판을 사용한 패널에 대한 흡음계수와 투과손실 측정값에 대해 몇 개 시료의 평균한 값을 표 2에 정리하였다. 표 2에서 볼 수 있듯이 모두 CEN 10 규정을 넘고 있으며, 투과손실의 경우는 500 Hz에서 37 dB, 1 kHz에서는 38 dB 이상을 나타내고 있다. 전반적으로 흡음계수와 투과손실 모두 1 kHz 부근의 최고 값을 나타낸 후 4 kHz로 근접할수록 낮아지고 있다. 이러한 원인은 흡음계수의 경우는 흡음재 전면의 PVF 필름에 의해 고주파 음이 투과하기 어렵기 때문이며, 투과손실의 경우는 방음패널의 일치효과 현상이 이 대역에서 발생하는 것으로 보인다. 투과손실의 경우는 일치효과 주파수 이상에서는 다시 증가할 것으로 예상된다.

표 2. 원형 타공 방음패널의 흡음계수 측정값.

주파수 (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
흡음계수	0.55	0.83	0.94	0.95	0.91	0.78
투과손실	20	28.6	37.6	38.2	42.7	40.3

갤러리형 패널의 경우 결과를 보면 표 3과 같다. 역시 CEN 10 규정을 만족하고 있음을 볼 수 있으며, 구조상 흡음률의 증가를 위해 갤러리형이 원형 타공패널에 비해 두껍기 때문에 투과손실이 높은 것으로 사료된다.

표 3. 갤러리형 방음패널의 흡음계수 측정값.

주파수 (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
흡음계수	0.75	0.9	0.94	0.97	0.9	0.72
투과손실	27	33	44	43	48	49

지금까지 관련 업계에서 많은 시험을 하였는데 CEN 10의 흡음계수를 만족하기 어려운 주파수는 1 kHz와 2 kHz로 나타났다.

일반 방음벽용 패널에 대한 것은 표 4에 나타냈는데 고속전철용 방음패널에 비해 흡음력과 투과손실이 모두 낮은 상태이다.

표 4. 일반 방음벽용 방음패널의 흡음계수 측정값.

주파수 (Hz)	125	250	500	1 k	2 k	4 k
흡음계수	0.27	0.88	0.81	0.62	0.55	0.51
투과손실	16	25	32	33	34	36

다음은 실제 이들 방음벽을 고속전철 구간에 설치한 경우 어떤 차이점이 있는지를 Raynoise 프로그램을 사용하여 살펴보았다. 그림 4(a)는 고속전철용 방음패널의 흡음계수를 사용한 경우이고 그림 4(b)는 일반 방음벽용 방음패널의 흡음계수를 사용하여 구한 수음점 지역에서의 총 음압레벨 분포를 나타낸다. 여기서 음향파위는 두 방음벽의 설치효과를 비교하기 때문에 실측값 대신 임의값으로 설정하였다. 한편, 음원의 설정은 바퀴 부분과 판트그래프 부위에 각각 점 음원으로 두었으며, 차량은 총 16 량으로 가정하였다.

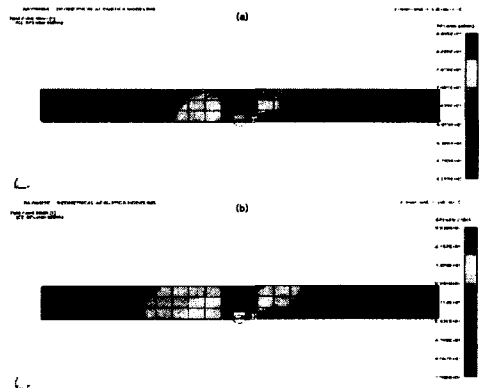


그림 4. Raynoise로 예측한 방음벽 효과 시뮬레이션. (a) 고속전철용, (b) 일반용.

시뮬레이션 결과를 보면 두 경우 모두 비슷한 음압레벨 분포를 보여주고 있다. 여기서 시뮬레이션 변수로서 흡음계수만 사용하였고 투과손실 값은 사용하지 않았다.

4. 결론

본 연구에서는 고속전철용 방음패널의 흡음계수와 투과손실을 일반 방음벽용 방음패널과 비교하였다. 겔러리형과 원형 다공 방음패널 모두 CEN 10 규정의 흡음계수를 만족하지만 상대적으로 후자가 더 유리함을 볼 수 있었다. 고속전철용 방음패널과 일반 방음벽용 방음패널의 흡음계수를 이용하여 Ray Noise로 설치효과를 예측한 바 상호 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- (1) ISO 354, 1985, "Acoustics - Measurements of sound absorption in a reverberation room"
- (2) KS F 2805, 1972, "잔향실 내의 흡음률 측정방법"
- (3) ISO 140-3, 1995, "Acoustics - Measurements of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements"
- (4) KS F 2808, "실험실에 있어서의 음향투과손실 측정 방법"
- (5) User's manual, 1998, LMS international, Raynoise Rev. 3.0