

슬래브궤도의 소음저감을 위한 흡음재의 성능에 관한 연구

The study of absorbing material performance for the noise mitigation of slab track

김진호*

Kim, Jin-Ho

이광도**

Lee, Kwang-Do

안광열***

An, Gang-Yell

전우상****

Jun, Woo-Sang

ABSTRACT

The construction of concrete slab track system is increased because the system has advantages which are maintenance free and so on, the other side, the system has weak points such as increase of the cost of the early stage construction and noise levels. The increment of noise is due to the reflection of generated noise on the slab tracks. Therefore the acoustic-absorptive materials are considered to reduce noise level. It has been made clear that acoustic-absorptive materials are effective for reducing the wheel/rail noise on slab tracks. The important performance of the acoustic-absorptive material is absorption rates and absorption rates are verified for the considered absorber elements using acoustic duct method. In addition, the required provisions for installing acoustic-absorptive block on slab tracks are considered.

1. 서론

도시화 및 교통량이 증가하면서 철도가 지속적으로 신설 또는 증설되고 있다. 또한 열차운행 횟수의 증가, 열차의 고속화 및 중량화로 인해 궤도구조는 자갈도상에서 유지보수 측면에서 유리한 콘크리트 도상으로 전환되고 있는 추세이다. 그러나 콘크리트 도상은 자갈도상에 비해 초기 시공비용이 높고 소음에 취약하여 특히 소음으로 인한 민원이 증가하고 있다. 이에 해외 철도선진국들은 콘크리트 슬래브궤도 구간에서의 소음문제를 해결하고자 각 나라의 상황에 적절한 소음저감방안을 마련하고 있다. 독일에서는 흡음블록의 개발에 성공하였으며, 1998년 5월에 개통된 ICE 고속선인 베를린-하노버 구간에 설치를 기점으로 현재까지 다수 구간에 흡음블록을 설치하고 있다. 일본은 재활용 흡음재의 연구가 수행된 바 있으며, 인공경량 골재와 다공질인 시멘트 모르타르 및 FRP 그레이팅을 이용한 흡음재를 개발하여 상용화를 앞두고 있다. 현재 국내에서도 슬래브궤도의 소음레벨을 자갈궤도 수준으로 향상시키기 위한 하나의 방안으로 흡음블록이 고려되고 있다.

흡음블록의 가장 중요한 성능은 흡음률이며, 흡음률에 가장 영향을 주는 흡음골재의 흡음률

* 한국철도기술연구원, 궤도구조연구팀, 정희원

E-mail : ziminpa@krri.re.kr

TEL : (031)460-5774 FAX : (031)460-5814

** 한국철도시설공단

*** 한국철도시설공단

**** (주)GET-pc

에 대하여 심층적인 연구가 요구된다. 이에 본 연구에서 독일 및 오스트리아에서 상용화 된 흡음블록의 흡음골재의 흡음률을 관내법을 이용하여 비교 및 고찰하였다. 또한 흡음재를 궤도에 설치 시 고려되어야 하는 필수적인 요구사항에 관하여 검토하였다.

2. 흡음블록의 흡음메커니즘

흡음블록은 흡음효과를 지닌 천연 또는 인공경량골재에 시멘트, 물, 자갈, 첨가제 등을 혼합하여 제작된 일종의 경량콘크리트 제품으로 볼 수 있다. 현재 알려져 있는 흡음블록은 레일사이 중앙부와 양쪽 바깥부분에 설치되며, 흡음효과를 극대화하기 위하여 슬래브궤도의 상부표면을 흡음블록으로 최대한 덮는 것이 효과적임이 실험결과에 의하여 보고되었다 (그림 1참조).

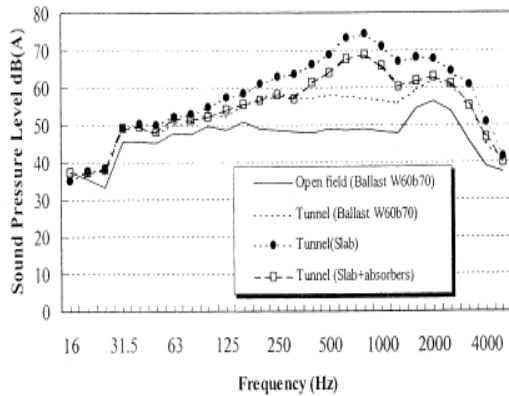


그림 1. 흡음블록의 일반적 형상

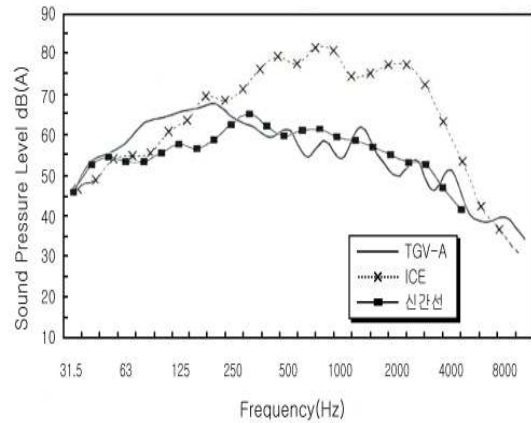
열차가 주행 시 발생하는 소음을 저감하는 메커니즘은, 열차에서 발생하는 소음이 흡음판에 부딪히고 다시 반사되어 열차의 하부에 부딪히는 과정을 반복하면서 흡음판에서 반사되는 동안 에너지가 흡수되도록 설계가 되어 있다. 기존 슬래브 궤도에서는 슬래브에서 반사된 소음이 외부로 퍼져 나가기 때문에 소음레벨이 증가하므로, 이를 흡음판 안쪽으로 계속 유지하면서 소리의 에너지를 흡수하는 방식을 갖게 된다.

3. 흡음률

흡음률은 흡음재의 가장 중요한 요소로서 궤도에 부설되는 흡음블록의 성능은 소재의 흡음률에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 이는 차량과 궤도에서 발생하는 주파수 대역별 소음의 저감성능은 흡음재의 주파수 대역별 흡음률과 깊은 관계가 있음을 유추할 수 있다. 그림 2는 차량과 궤도구간에 따라 주파수 대역별 소음의 분포를 나타내고 있다. 따라서 해외 또는 국내에서 개발된 흡음블록의 효율성에 대한 신뢰도를 확보하기 위해 흡음재의 흡음률과 현장부설 성능시험을 통해 목표저감 레벨에 대한 검증이 필요함을 알 수 있다.



(a) 궤도구간별 소음분포



(b) 차량별 소음분포

그림 2. 차량 및 궤도 구간별 소음분포 특성

3.1 관내법 시험

일반적으로 흡음률시험은 KS F 2805(잔향실내의 흡음률 측정방법)에 따라 수행하나 본 연구에서는 성능이 우수한 흡음재료를 찾기 위해 시험이 간편한 관내법을 통하여 4종류 흡음재의 흡음률을 측정하였다. 전달함수법에 의한 흡음률 시험은 ISO 10534-2 (Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes ; Part 2 - Transfer function method)를 준용하였다. 최근 관내법 시험장비의 정밀도가 높아지고 있으며, 잔향실법에 비해 작은 시험편으로 시험하므로 빠른 시험결과의 도출이 가능하다. 관내법의 흡음률은 다음 식(1), (2)에 의해 결정된다.

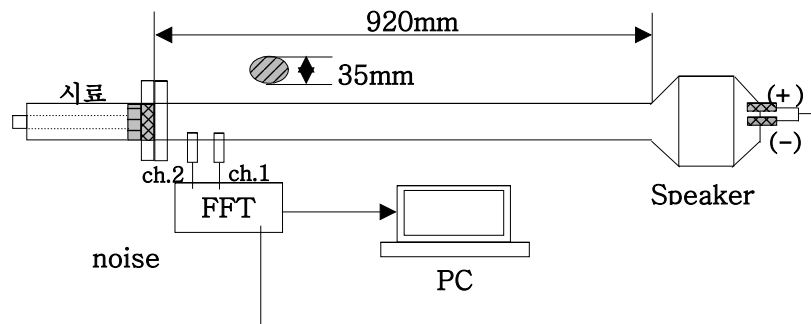


그림 3. 전달함수법에 의한 흡음률 시험장치

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad : \text{흡음률} \quad (1)$$

$$r = |r|e^{j\phi_r} = r_r + jr_i = \frac{\bar{H}_{12} - H_L}{H_R - \bar{H}_{12}} e^{2jk_0x_1} \quad (2)$$

여기서 $\bar{H}_{12} = H_{12} / H_C$: 마이크로폰 사이의 위상차 보정전달함수

$$H_{12} = |H_{12}|e^{j\phi} = H_R + jH_i$$

$$H_I = e^{-jk_0s}, \quad H_R = e^{jk_0s}$$

s : 두 마이크로 폰 사이의 거리[m]

x_1 : 시료와 채널 1번 마이크로 폰 사이의 거리[m]

H_{12} : 마이크로폰 1번과 2번과의 전달함수

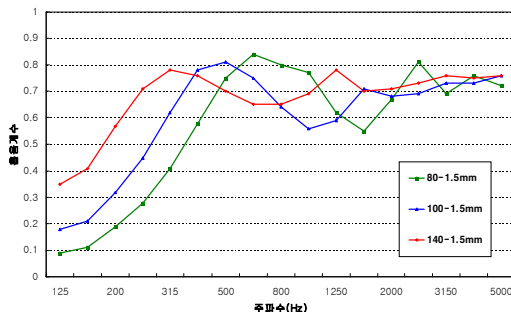
독일의 A사에서 개발하여 상용화된 흡음블록의 인공경량골재와 오스트리아 B사의 흡음재의 골재에 대해서 흡음률 시험을 수행하였다. 흡음률에 대한 경량골재의 입도와 두께의 영향을 고찰하기 위하여 표 1과 같이 시험체의 두께 및 골재의 입도를 고려하였다.

표 1. 시험체의 두께 및 입도

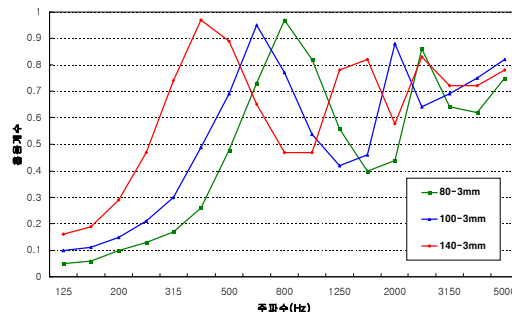
구 분	두께(mm)	입도(mm)
독일 A사	80	1.5
	100	3.0
오스트리아 B사	140	8.0
	80	4.0
	100	10.0

3.2 시험 결과 및 분석

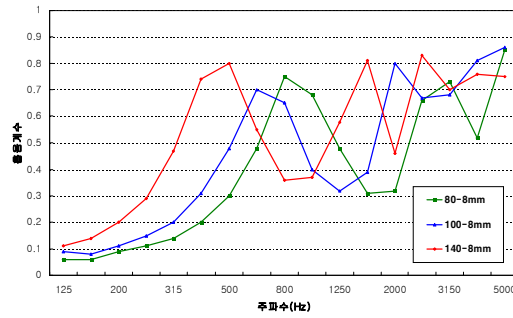
그림 4와 그림 5는 각각 A사와 B사의 경량골재에 대해 주파수 대역별 흡음률을 나타내고 있다. 흡음재의 흡음률은 골재의 입도와 시험체의 두께에 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다. 동일 입도의 경우 시험체의 두께가 증가할수록 저주파대역의 흡음률을 상승시키고 있으나, 두께가 증가해도 일률적으로 흡음률이 상승하지는 않았다. 또한 대역별 흡음률 차이는 있으나 전반적인 흡음률의 경향은 비슷하게 나타났다. 동일 두께의 경우 골재의 입도에 따라 흡음률의 차이를 보이고 있다. 특히 A사의 경우 3mm 입도에서 양호한 흡음률을 보이고 있으며 대체적으로 입도가 2~3mm 일때 흡음률에 유리함을 알 수 있었다. A사의 흡음률은 300Hz ~ 1200Hz대역에서 높게 나타나고 있으며 B사의 경우 입도가 4mm인 경우 300Hz ~ 800Hz에서 높게 나타나고 있다.



(a) 골재 입경 1.5mm

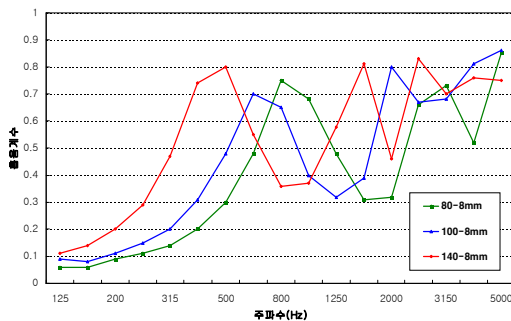


(b) 골재 입경 3.0mm

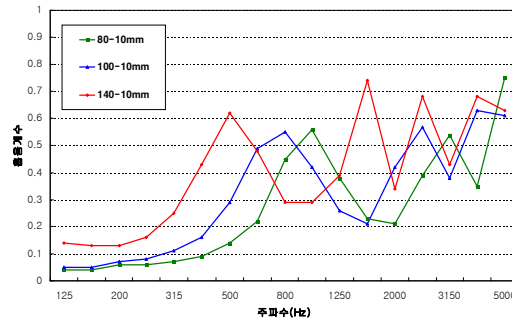


(c) 골재 입경 8.0mm

그림 4. A사의 인공경량골재 흡음률



(a) 골재입경 4mm



(b) 골재입경 10mm

그림 5. B사의 인공경량 골재의 흡음률

4. 흡음블록의 설치요구조건

2절에서 언급한 바와 같이 흡음블록의 주요성능은 소음을 흡수하는 것이므로 흡음블록에 사용된 흡음재에 대하여 흡음률 측정시험을 통해 흡음률이 적정한지에 대한 검증이 요구된다. 또한 슬래브케도에 부설될 흡음재의 완성품인 흡음블록에 대하여 요구되는 현장적용시험 외에 안정성의 확보 측면에서 일반적으로 수행되고 있는 경량콘크리트 제품으로서의 기계적 성질, 화재안전, 내마모성 등에 관한 시험이 수행되어야 한다.

본 절에서는 흡음소재와 완성된 흡음블록에 대하여 수행되어야 할 시험항목에 대하여 검토하였고, 흡음블록이 실제 슬래브케도에 부설되어 직면하는 환경적 요소에 대한 안정성과 유지관리성을 위하여 다음과 같은 시험항목을 정리하였다.

1) 동결융해저항성 시험 :

흡음블록의 특성으로 인한 다공질에 대해서 온도차로 인한 동결융해저항성에 대한 안전성이 검증되어야 한다.

2) 강도 시험

외부로부터의 충격하중, 긴급상황 또는 선로 보수원의 유지보수 시 도보하중에 대한 최소한의 강도를 확보해야 한다.

3) 화재관련 시험

개활지, 교량구간 외 특히 터널구간에서의 화재 발생 시 대피 등을 위해 연소성, 화염전파, 유독성 등에 대하여 안전성이 확보되어야 한다.

4) 수분흡수도

궤도에서 배수에 지장이 생길 시 주행안전성, 유지관리에 영향이 있으므로 흡음블록의 배수성능에 대한 검증이 요구된다.

5) 양력

열차가 주행 시 하부에 생기는 기류로 인하여 궤도 바닥면에 양력(lifting force)이 생기게 되며 이로 인하여 흡음블록이 들어 올려지는 효과가 발생한다. 따라서 이에 대한 적절한 저항력을 갖추어야 한다.

5) 내충격성

열차 또는 주변 환경으로 부터 발생할 수 있는 충격에 대해서 안전성을 확보해야 한다.

6) 전기절연성

궤도에 부설 시 전기저항에 안전함을 확보하여야 한다.

5. 결론

소음에 대하여 불리한 콘크리트 슬래브궤도의 단점을 보완할 수 있는 흡음블록의 흡음률과 궤도에 설치 시 안전성 및 유지보수성을 위해 검증되어야 하는 항목을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 흡음재의 흡음률은 골재의 종류, 두께와 골재입도가 주요 요소임을 시험결과로부터 알 수 있었으며, 향후 현장적용을 위하여 저감 목표대상의 차량, 궤도의 종류에 따른 소음특성을 정확히 파악하여 흡음재의 흡음대역을 조절함으로써 궤도소음 저감의 효율성을 높일 수 있음을 유추할 수 있다.

2) 흡음블록을 궤도에 설치 시 주행안전성, 적절한 유지관리를 위하여 내구성, 양력 등에 대한 검증이 필요함을 알 수 있다.

참고문헌

1. KS F 2805, 잔향실내의 흡음률 측정방법
2. ISO 10534-2, Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes ; Part 2 - Transfer function method
3. ISO 9613-1, "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere", International Standard Organization, Geneva, 1993
4. 조준호(2001), "터널내부 소음저감을 위한 흡음기술 개발", 한국철도기술연구원
5. J. J. A. Van Leeuwen, "Noise prediction models to determine the effect of barriers placed alongside railway lines" Journal of Sound and Vibration, Vol. 193, No. 1, pp. 269-276, 1996