

특집

철도소음의
규제기준 및 저감대책

고속철도에서의 도상흡음판의 적용성

김진호*, 한석윤, 박수진
(한국철도기술연구원)

1. 머리말

철도 선진국에서는 건설비용의 증가에도 불구하고 유지보수 등 여러 이점을 가지고 있는 콘크리트 궤도를 건설·운영하고 있으며 지속적으로 연구 발전시키고 있는 실정이다.

국내의 경우, 경부고속철도 2단계(대구~부산) 구간은 전 구간 콘크리트 궤도로 시공되고 있으며, 호남고속철도의 경우도 전 구간 콘크리트 궤도로 설계되고 있다. 또한 향후 신선의 경우도 콘크리트 궤도의 건설이 적극 고려될 예정이다.

그러나 콘크리트 궤도는 재료적 특성으로 인하여 자갈 궤도에 비하여 음을 반사시키는 특성이 크다. 즉, 흡음률에 있어 일반적으로 도상자갈의 흡음률은 도상의 두께에 따라 달라질 수 있으나 보편적인 자갈 궤도구조의 도상 흡음률은 0.5에서 0.6정도로 알려져 있고, 콘크리트의 경우 흡음률은 0.05 미만으로 자갈이 약 10배 정도 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 콘크리트 궤도가 자갈 궤도에 비하여 반사로 인한 소음이 증가하게 된다. 이로 인하여 터널내부의 반사음장 강도를 높게 만들고 결과적으로 콘크리트 궤도에서의 소음발생은 자갈궤도 대비 3 dB(A)이상 증가하는

것으로 외국에서는 연구 보고 되고 있다.

그림 1~2는 국내의 KTX와 새마을열차 콘크리트 궤도와 자갈궤도의 터널내 실외소음 특성을 비교한 결과이다.

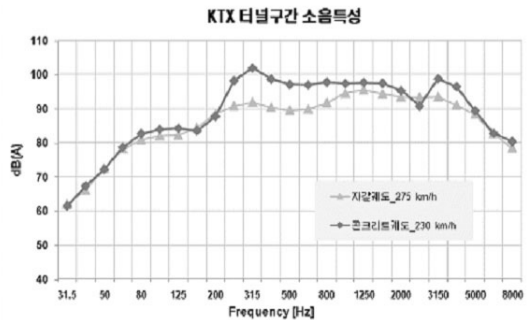


그림 1 KTX 터널구간 소음특성

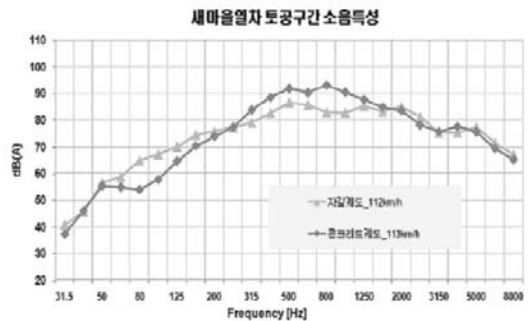


그림 2 새마을열차 토공구간 소음특성

* E-mail : ziminpa@krti.re.kr / (031) 460-5774

KTX의 경우, 속도는 콘크리트 궤도보다 자갈궤도에서 높지만 중, 고주파수 대역에서 콘크리트 궤도의 소음이 높게 나타나 전반적으로 소음이 콘크리트 궤도에서 약 5 dB(A)이상 높게 나타났다. 새마을열차의 경우 콘크리트 궤도와 자갈궤도에서 속도는 거의 비슷하나 KTX의 특성과 마찬가지로 콘크리트 궤도의 소음이 중·고주파수 대역에서 높게 나타나 전반적으로 소음이 자갈 궤도 대비 약 5 dB(A)이상 차이가 나는 것으로 나타나 자갈 궤도에서보다 콘크리트 궤도에서 약 5 dB(A) 이상 소음도가 높게 발생하는 것으로 나타났다.

최근에 2006년부터 약 2년 6개월에 걸쳐 중소기업청 구매조건부 신제품 개발사업에 의해 도상흡음판이 개발되었다.

따라서 이 글에서는 콘크리트 궤도를 부설함으로써 발생하는 소음의 저감방안으로써 고속철도에서의 도상흡음판의 적용성에 대하여 살펴 보았다.

2. 도상흡음판의 재료성능시험

도상흡음판의 주요성능은 소음을 흡수하는 것

표 1 재료성능 시험항목

시험항목	측정항목	단위	참고규격
동결융해 저항성	내구성지수	%	KS F 2456
	중량변화율	%	
	균열 및 외관	-	
압축강도	압축강도	MPa	KS F 2405
휨강도	휨강도	N/mm ²	KS F 2408
충격시험	균열 및 외관	%	KS F 4770-3
부착력	부착강도	kg/cm ²	KS F 2761
절연성능	전기절연저항	kΩ	EN13481-5
가스유해성	행동정지시간	분	KS F 2271
흡음성능	흡음률(NRC)	-	KS F 2805

이므로 도상흡음판의 흡음률이 적정한지에 대한 검증이 가장 먼저 요구된다. 그러나 적정한 흡음률에 대한 연구는 아직 수행되고 있지 않다. 또한 콘크리트 궤도에 부설될 도상흡음판에 대하여 요구되는 설치조건 외에 안정성의 확보 측면에서, 일반적으로 수행되고 있는 경량콘크리트 제품으로서의 기계적 성질, 구조적성능, 내마모성 등에 관한 시험이 필수적이다. 따라서 도상흡음판의 재료성능시험을 위해 성능시험 요건을 정립하고 그에 따른 총 8가지의 시험을 수행하였다.

일반적으로 도상흡음판의 시험시편 종류와 재료의 특성이 다양하고 시험 항목은 특정한 품질에 관한 인증절차이므로 재료적 성질, 구조적 성질 등 각각의 결과와 함께 각 분야의 특성을 연계하여 총체적인 결론을 내리는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

이 연구에서는 도상흡음판의 재료성능시험의 필수 항목을 도출하고 항목에 따른 적정한 방법으로 시험을 수행하였다. 또한 항목별 시험결과를 분석하고 품질지침에 필요한 최소한의 요건을 규정하였다. 재료성능 시험항목은 표 1과 같다.

2.1 동결융해저항성 시험

지상에 설치되는 도상흡음판의 경우, 동절기 시 동결융해작용의 반복으로써 내부균열 뿐 아니라 표면박리가 동시에 일어날 수 있다. 동결융해작용은 콘크리트 중의 자유수가 동결되어 약 9%의 체적이 팽창하고 콘크리트 내부에 큰 팽창압력이 발생되어 콘크리트 조직이 파괴된다. 따라서 도상흡음판의 경우 콘크리트조직이 파괴되고 다시 골재의 조직이 파괴되는 문제가 발생할 수 있다. 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 골재 중에 흡수되는 수량과 관계가 있다. 골재 중에 함유되어 있는 수분의 동결에 의한 팽창으로 강도가 약한 골재의 조직이 파괴되므로 동결

표 2 동결융해저항 시험 결과

항목	시험 횟수	시험 결과
압축강도비(MPa)	1	0.93 MPa
	2	0.91 MPa
	3	0.82 MPa
중량변화율(%)	1	0.10
	2	0.33
	3	0.20
시험 후 결모양	1	이상없음
	2	이상없음
	3	이상없음

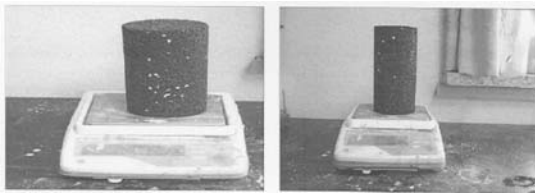


그림 3 동결융해저항 시험 전·후 시험체

융해에 대한 저항성은 보통골재 보다 현저히 적다. 그러나 골재 중에 흡수성향이 적은 경우와 골재 내부에 독립기포가 다수 분포되어 있는 경우에는 골재 자체의 단열성이 증가되며, 동결융해에 대항하는 저항성이 크다. 따라서 다공질 도상흡음판에 대하여 동결융해 저항성을 시험함은 중요하다. 해당 공인 시험규격으로 KS F 2456을 준용하여 시험을 수행하였으며, 시험결과는 표 2와 같다.

2.2 압축강도 시험

도상흡음판을 궤도에 설치 할 경우 도상흡음판은 외부로부터의 충격하중, 장비의 운용, 긴급 상황 또는 선로 보수원의 유지 보수 시 도보하중에 대한 최소한의 강도를 확보해야 한다. 시험 방법은 KS F 2405를 준용하여 시행하였으며, 시험 결과는 표 3과 같다.

표 3 압축강도 시험 결과

항목	시험 횟수	시험 결과(MPa)
압축강도	1	20.51
	2	15.58
	3	19.02

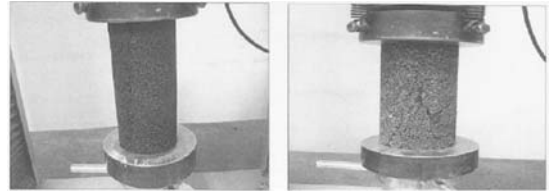


그림 4 압축강도 시험 전·후 시험체

표 4 휨강도 시험 결과

항목	시험 횟수	시험 결과(MPa)
휨강도	1	1.59
	2	1.56
	3	1.90



그림 5 휨강도시험 후 시험체

2.3 휨강도 시험

도상흡음판의 풍압 또는 외부환경에 의한 파손방지를 최소화하기 위하여 적절한 휨강도를 확보하여야 한다. 시험 방법은 KS F 2408을 준용하여 시행하였고, 시험 결과는 표 4와 같다.

2.4 충격 시험

궤도에 설치되는 도상흡음판은 풍압에 의한 변형, 비산물 등에 대한 충격에 저항할 수 있는 구조적성능이 구비되고 안정성을 확보하여 균열

표 5 충격 시험 결과

항목	시험 횟수	시험 결과(MPa)
시험 후 겉모양	1	이상없음
	2	이상없음
	3	이상없음

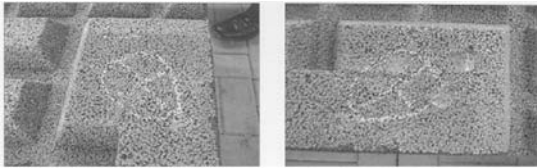


그림 6 충격 시험 전·후 시험체

표 6 부착강도 시험 결과

항목	시험 횟수	시험 결과(MPa)
부착강도	1	2.30

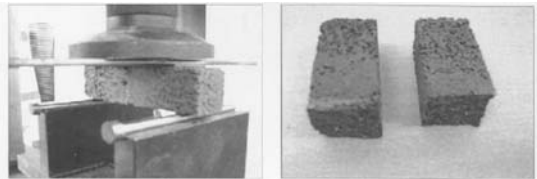


그림 7 부착강도 시험 전·후 시험체

및 파손 등에 의하여 흡음성능, 열차의 주행안전성에 영향을 미치지 않도록 하여야 한다. 이에 대한 성능검증을 위하여 KS F 4770을 준용하여 시험을 수행었고, 그 결과는 표 5와 같다.

2.5 부착강도 시험

도상흡음판을 궤도에 설치하는 일반적인 방법은 침목, 콘크리트 도상에 접착제를 사용하여 부착하며 안정적 위치 고정 및 열차의 운행 중 발생하는 양력(lift-up force)에 대하여 충분한 저항력을 갖기 위해 적정한 부착강도를 확보하여야 한다. 이에 대한 시험방법은 KS F

표 7 가스유해성 시험 결과

항목	시험 횟수	시험 결과
취 행동정지 시간 (분:초)	1	14:56
	2	14:25

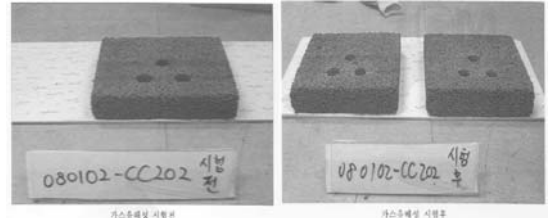


그림 8 가스유해성 시험 전·후 시험체

4918을 준용하여 시행하였고 시험결과는 표 6과 같다.

2.6 가스유해성 시험

터널 내 도상흡음판을 설치한 후 화재가 발생할 경우, 적절한 안전조치를 취하도록 하기 위하여 유독성 또는 유해성 가스가 방출될 수 있는 가능성에 대하여 안전함을 확보하여야 한다. 시험체의 제작 및 시험은 KS F 2271에 의거하여 시행하였고, 행동정지 시간이 9분 보다 클 경우 적절한 것으로 판정 한다.

2.7 전기절연성 시험

전기절연성능 시험은 현장에서 레일체결장치의 전기절연저항력이 낮아질 수 있는 극단적인 환경조건에 노출되었을 때 신호시스템에 영향을 미치지 않는 최소의 전기절연성능을 확보하고 있는지를 평가하는 시험으로 다음과 같은 이유에서 검토하게 된다.

- 보안 시스템이 궤도회로에 의존한 경우 신호전류의 절연에 의거 좌우레일의 절연이 필요하다.
- 교류 구간에서의 통신 유도장에 대책과 직류 구간에서의 궤도재료 전식 대책으로서 변전

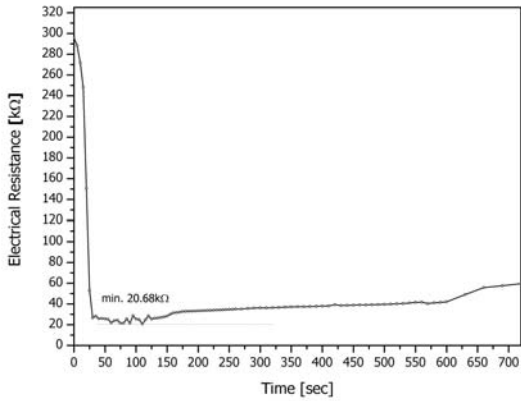
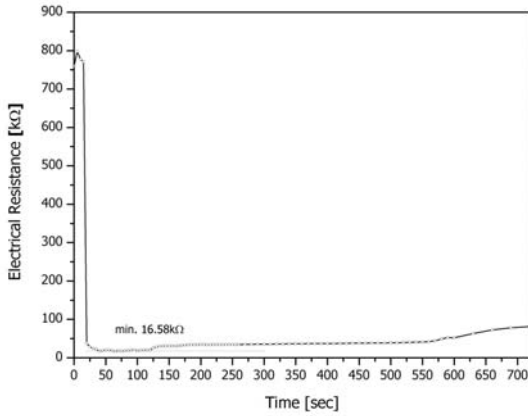


그림 9 전기저항 시험 결과

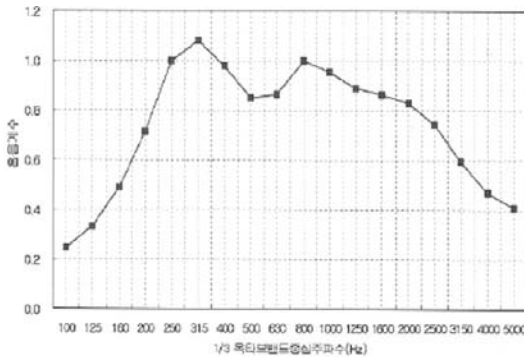


그림 10 흡음계수 측정 결과

소로의 귀선전류 누전을 방지하는 즉 레일과 대지와의 절연이 필요하다.
시험방법으로 EN13481-5를 준용하여 시험을 수행하였고, 결과는 그림 9와 같다.

표 8 재료성능 시험 결과

시험항목	측정항목	단위	기준치	시험 결과	비고
동결융해 저항성	내구성지수	%	60 이상	88	100 cycle법 시행
	중량변화율	%	1.5 이하	0.21	
	균열 및 외관	-	이상 유무	이상 없음	
압축강도	압축강도	MPa	10 이상	18.37	
휨강도	휨강도	N/mm ²	1.5 이상	1.68	
충격시험	균열 및 외관	%	이상 유무	이상 없음	
부착력	부착강도	kg/cm ²	7~10	23	10 mm/min 재하 속도
절연성능	전기 절연저항	kΩ	5 이상	5 이상	
가스 유해성	행동 정지시간	분	9 이상	14.41	
흡음성능	흡음률 (NRC)	-	0.85 이상	-0.91	

2.8 흡음률 시험

도상흡음판에 사용되는 흡음재에 대하여 공인된 시험규격(KS F 2805)에 따라 잔향시험을 수행하였고, 측정 결과는 그림 10과 같다.

2.9 재료성능 시험 결과

이 연구에서는 재료성능시험에 필요한 시험항목을 도출하고 시험을 수행하였다. 동결융해 시험, 압축강도, 부착강도 등 도출된 항목시험의 결과는 기존의 연구에서 정립된 기준값을 모두 만족하였다. 재료성능 시험결과는 표 8과 같다.



그림 11 도상흡음판 시공 위치 개략도



그림 12 도상흡음판 시공 및 운반에 필요한 장비



그림 13 도상흡음판 운반 과정

3. 도상흡음판의 현장부설 성능시험

3.1 도상흡음판의 현장부설 개요

현장부설 성능시험 평가를 위해 콘크리트 궤도 터널구간인 황학터널, T2구간, 217k888~218k788에 도상흡음판을 부설하였다(그림 11).

도상흡음판을 콘크리트 궤도에 부설하기 위한 과정으로 도상흡음판의 운반 및 시공 과정이 필요하며 그림 12는 도상흡음판 시공 및 운반에 필요한 장비를 나타내고 있다. 문형크레인은 도상흡음판 시공, 궤도 포크레인은 도상흡음판 운반 및 시공, 간이 궤도 트로이는 시공장소까지 도상흡음판을 운반하는 장비로 사용되었다.

도상흡음판 설치는 다음과 같은 과정으로 진행되었다.

- ① 사갱안으로 운반 또는 적재되어 있는 도상흡음판을 궤도 포크레인을 이용하여 궤도 트로이에 상차(그림 13, 14)
- ② 도상흡음판 접착이 용이하게끔 도상흡음판이 설치될 침목 표면 청소
- ③ 궤도 트로이를 궤도 포크레인을 이용하여 도상흡음판 설치장소까지 운반
- ④ 도상흡음판 설치장소에 기 설치된 문형크레인으로 도상흡음판 설치(그림 15)

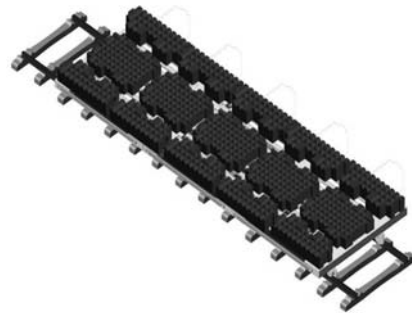


그림 14 도상흡음판 상차 및 운반 과정

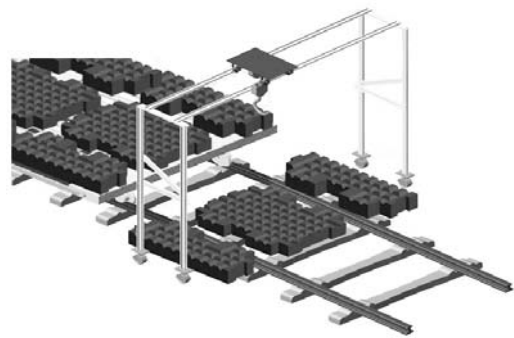


그림 15 도상흡음판 설치 과정

※ 상황에 따라 궤도 포크레인으로 도상흡음판 설치

그림 16은 현장부설 성능시험 평가를 위해 도상흡음판이 최종적으로 부설된 현장을 보여주고 있다.



그림 16 도상흡음판 현장 부설

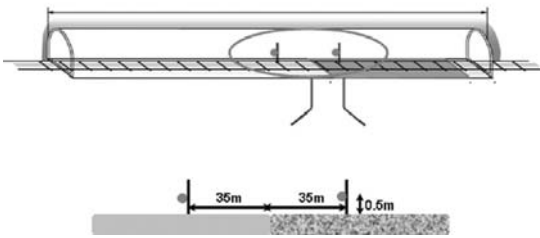


그림 17 마이크로폰 설치 위치 개략도

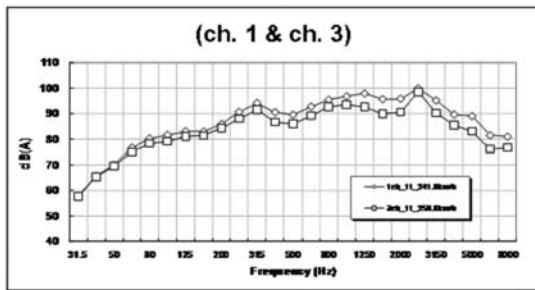


그림 18 도상흡음판 부설, 미부설 구간 소음결과(0.5 m 높이)

3.2 도상흡음판의 현장부설 성능시험

도상흡음판의 소음저감 성능 검증을 위하여 도상흡음판 부설구간과 미부설구간에 마이크로폰

을 설치하여 측정을 실시하였다. 현장부설된 흡음판의 소음저감성능을 검증하기 위하여 총 25회에 걸쳐 도상흡음판 부설구간과 미부설 구간의 소음을 동시 측정하였다.

도상흡음판이 부설된 지점을 중심으로 부설구간과 미부설구간에 각 35 m씩 이격하여 마이크로폰을 설치하였고 마이크로폰은 궤도에서 0.5 m의 높이에 설치하였다. 도상흡음판은 소음저감 성능검증 시험을 위해 상행구간(T2)에만 부설되었기 때문에 상행구간에서 소음 측정을 실시하였다. 측정 위치에 대한 개략도는 그림 17과 같다.

도상흡음판 현장부설 성능시험 결과는 그림 18과 같다. 성능시험 결과를 보면 0.5 m에서 주파수별 소음도의 저감형태가 중주파수 대역에서부터 고주파수 대역까지 도상흡음판을 설치했을 경우 저감이 되었고, overall값을 산정하면 약 3 dB(A) 정도 저감이 되는 것으로 나타났다.

4. 맺음말

콘크리트 궤도의 소음저감을 위하여 선진국에서 사용 중인 흡음판에 대하여 현재 국내에서도 그 사용여부를 적극 고려하고 있으며, 기존의 정립된 도상흡음판의 품질지침을 참고하여 재료 성능에 필요한 시험항목 및 시험을 수행하였다. 동결융해시험, 압축강도, 부착강도 등 도출된 항목시험의 결과는 기존의 연구에서 정립된 기준값을 모두 만족하였으며, 현장부설성능시험을 통하여 그 성능이 입증됨으로써 국내에서도 도상흡음판의 사용이 가능할 것으로 판단된다. 