

터널내부 소음 저감을 위한 흡음재 요구성능에 관한 연구

A Study on the Performance Requirement of Noise Absorbing Material for Railway tunnel

조준호* 양신추** 김형준*** 윤제원**** 김영찬****
Cho, Jun-Ho Yang, Sin-Chu Kim, Hyung-Jun Yoon, Je-Won Kim, Young-Chan

ABSTRACT

In general, urban railroad in Korea is constructed as a tunnel type under ground due to the various restricted conditions. Passengers in train running through underground tunnel compare to open space are exposed to severe noise environment. In this study, various performance characteristics of many candidate materials are surveyed and analyzed. And some important characteristics are tested. From this study, various performance requirement for noise reduction in railway tunnel were suggested.

1. 서론

국내의 교통여건상 도심의 교통문제의 해결을 위한 중요한 방법으로 중앙정부 및 지자체에서 많은 도시철도 건설을 계획 및 시행 운행하고 있다. 그러나 도시철도 건설시 고려 검토되어야 할 내용들이 설계 시에 반영되지 않음으로 인해 운영시 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다. 최근 환경에 대한 인식 제고에 따른 민원이 급증하고 있고 도시철도에서도 동일한 현상이 빈번하게 발생하고 있다. 환경문제 중 일반 주민이나 승객에게 밀접한 소음분야의 경우 도시철도 건설단계에서 고려되어야 관련 문제를 체계적이고 효율적으로 대처할 수 있음은 잘 알려진 사실이다.

일반적으로 도시철도가 지하터널을 통과할 경우 차량이나 열차에 탑승하고 있는 승객은 개방된 공간과 비교하여 열악한 소음 환경에 노출된다.[1] 이는 제한된 공간을 갖는 지하터널에서는 개방된 공간과는 달리 열차의 운전으로 인해 발생한 소음의 터널 내부 벽면에서의 다중 반사 현상으로 음 에너지의 공간밀도가 상대적으로 높기 때문이다.

이로 인해 적절한 방음대책이 적용되지 않은 지하터널 구간에서는 열차에 탑승하고 있는 승객과 승무원이 과도한 소음에 노출되어 불편함을 느끼게 되며, 심할 경우 혈압상승, 맥박증가, 말초혈관 수축, 호흡회수 증가, 위 수축운동 감퇴, 혈당도 상승의 신체적 변화 외에 대화 곤란 및 정서적 불안 등으로 인한 스트레스로 고통을 겪게 된다. 특히, 분당선을 포함한 국내 도시철도의 경우 미국과 같은 선진국에서의 전동차내 소음 권고치 70dBA는 물론 외국 지하철의 평균 내부소음도 70 dBA~75 dBA 보다도 5 dBA~10 dBA 높은 75 dBA ~ 85 dBA의 소음 분포를 나타내고 있어 승무원과 하루 수백만명의 도시철도 이용 승객이 과도한 소음 환경에 노출되고 있는 실정이다.[2]

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

**** 유니슨기술연구소

따라서, 국내 지하터널 구간을 운행하는 열차의 소음 발생 원인 및 전달 경로를 규명하여 효율적 소음 저감 대책을 수립하는 것이 시급한 실정이다.

본 연구는 터널을 통과하는 열차내부 소음을 저감하기 위한 대책 수립의 선행연구로써, 터널내부 부착용 흡음재에 대해 요구되는 특성을 조사 분석하고 여러 가지 성능 시험결과를 분석함으로써 터널내 부용 흡음재의 요구 성능 제시를 목적으로 수행되었다.

2. 주요 흡음재 종류별 특성

국내외에서 생산되고 있는 흡음재의 종류별 특성을 다음에 기술하였다.

1) 유리면

특수한 조성을 갖는 유리를 용융하여 만든 섬유로 인조섬유 중 재생섬유의 일종인 무기섬유로 분류되며, 가격이 저렴하고 흡음성이 우수하다.

2) 압면

광석에서 인공적으로 만든 내열성이 높은 광물섬유로 이를 다시 모아 입상화한 후 성형가공시켜 만든 제품으로 가격이 저렴하고 흡음성이 우수하다.

3) 발포알루미늄

알루미늄을 용탕 중에 기포를 발생시켜 균일하게 분포시킨 후 냉각하여 제작하며, 다공질재의 특성을 가지고 있고 또한 금속의 구조적 특성을 가지고 있는 다기능성 재료이다. 그러나 가격이 타 흡음소재에 비해 고가인 단점이 있다.

4) 나무뿌리

나무뿌리의 섬유질을 무기질 시멘트와 혼합하여 고열과 고압으로 특수가공하여 제조하며, 가격이 저렴한 장점이 있으나 습기 및 화재에 약한 단점이 있다.

5) 콘크리트

기포제와 시멘트를 혼합하여 다공성의 특성을 갖도록 제조한 것으로 불연성이고, 내구성이 양호하며, 가격이 저렴한 특성을 갖는다. 그러나, 흡음률은 섬유질 흡음재에 비해 다소 떨어지는 단점이 있다.

6) 흡음블럭

흡음블럭은 시멘트, 모래를 이용하여 제조한 흡음, 차음효과가 뛰어난 방음자재로 공장건물, 기계실 등의 내장재로 사용된다. 일반 블록쌓기 시공법과 동일하므로 시공성이 우수하고 반영구적이며, 저주파 대역에서 흡음특성이 우수(크기가 4"일 경우 NRC 0.8)하고 가격이 저렴한 특성을 갖는다. 그러나, 단위 블록의 크기가 작아 시공성이 떨어지고 높이(두께)가 다른 흡음재에 비해 높은 단점이 있다.

7) 폴리에스테르

폴리에스테르 섬유로 만든 흡음재로 유리면, 압면 등의 대체 흡음재로 널리 사용되고 있다. 이 흡음재는 인체에 무해하면서 취급이 용이하고 배수성이 타 흡음소재에 비해 우수한 특성이 있다. 그러나, 유리면이나 압면이 난연1급을 만족하는 것에 비해 폴리에스테르 흡음재는 소방법시행령에 의한 방염성을 만족하고 있어 내연성은 유리면에 비해 떨어지는 것으로 조사되었다.

이와같은 주요 흡음재의 종류별 특성을 정리하면 아래의 표와 같다. 가격이나 난연성 측면에서는 유리면이나 압면이 우수한 반면 가공성이나 작업성 등은 폴리에스테르 흡음재가 우수한 것으로 나타났다. 또한, 우레탄폼은 가연성인 단점이 있다.

표 1 흡음재의 종류별 특성

항 목	폴리에스테르	유리면	암면	우레탄폼
제조 방법	Pet를 carding 공정을 거쳐 web 상태로 만들어 적층시켜 열압착한 후 판상 형태로 만든 제품	특수한 조성을 갖는 유리를 용융하여 만든 섬유로, 인조섬유 중 재생섬유의 일종인 무기섬유로 분류됨	광석에서 인공적으로 만든 내열성이 높은 광물섬유로, 이를 다 시 모아 입상화한 후 성형가공시켜 만든 제품	부 가 반 응 으 로 isocyanate와 폴리에스테르와의 주반응에 촉매, 발포제, 정포제 등을 가해 만들어지는 발포고분자 화합물
재 질	Polyester	SiO2	SiO2+Al2O3 무기질	독립된 형태의 유기질
흡음률	NRC 0.70~0.75	NRC 0.80~0.85	NRC 0.75~0.80	NRC 0.75~0.80
재활용/환경성	재사용 및 소각이 용이하며, 미립자 발생이 없어 환경친화적	재사용 및 소각이 어렵고 풍화시 비산으로 대기오염 유발	재사용 및 소각이 어렵고 풍화시 비산으로 대기오염 유발	재사용 및 소각이 어렵고, 풍화에 의한 비산의 염려가 없음
취급/시공 용이성	운반 및 취급시 제품손상이 없고 보호장구가 필요없이 작업이 용이함	형태안정성 저하, 파손우려, 피부접촉 시 가려움, 알레르기 발생됨	형태안정성 저하, 파손우려, 피부접촉 시 가려움, 알레르기 발생됨	시공 용이
인 체 유해성	이미 의복용 소재로 널리 사용중임	장기간 취급시 인체 유해가 우려됨	장기간 취급시 인체 유해가 우려됨	연소시 유독가스 발생 (CO, Cyan 가스)
배 수/흡수성	인장강도와 결합력이 우수하며, 배수시간이 짧고 형태안정성이 우수하여 흡음성이 양호함	시공후 물을 흡수하면 배수성 불량으로 처지며 흡음성이 저하됨. 형태 붕괴	시공후 물을 흡수하면 배수성 불량으로 처지며 흡음성이 저하됨. 형태 붕괴	Close Cell 구조
내열성	유기물질로 자기소화성과 불꽃을 내지 않으며 약 230℃에서 형태가 변함	무기질 섬유로 불연성이 양호하나 약 350℃에서 형태가 변형됨	무기질로 불연성이며 약 400℃에서 형태가 변형됨	열에 약함(내열온도 100℃)

3. 터널부착용 흡음재의 요구성능

터널내부용 흡음재의 선정 시 단순히 흡음성능만을 강조해서는 안되며, 터널이라는 특수한 조건을 충분히 감안하여 흡음재의 방염성, 비산방지성 등을 더욱 중요하게 고려해야 한다. 또한, 주기적으로 이루어지는 터널 내부의 벽면 및 바닥의 유지보수를 위해 흡음재의 탈착이 용이하여야 한다. 다음은 터널내부에 흡음재 설치 시 고려사항 및 흡음재 설치 후 나타났던 문제점 등을 정리한 것이다.

1) 흡음재 설치 시 고려사항

- 난연성 재료이어야 함
- 유해물질(냄새)이 없어야함
- 미세먼지 발생 등 2차 환경저해요소가 없어야 함
- 물청소가 가능하여야 함
- 내구성이 있어야 함
- 열차 풍압 또는 진동 등에 견딜 수 있는 구조이어야 함
- 가능한 한 구조물에 Anchoring 개소 최소화하도록 함
- 하자보수 등 유사시 철거 및 부착이 용이하여야 함

- 건축한계에 저촉되지 않아야 함
- 도상구간 설치 시 유지보수 공사에 의하여 훼손되지 않도록 설치해야 함
- 기타 터널환경 저해요인이 없어야 함

2) 흡음재 설치 시 문제점

- 흡음재 훼손으로 인한 탈락 시 열차 안전운행에 지장초래
- 도상 물청소 시행 불가
- 레일 및 침목 교체작업 시행 곤란
- 훼손, 탈락에 따른 교체비용 추가 소요
- 도상균열, 타이바 훼손 등 이상유무 확인 및 보수 곤란
- 분진 등 흡착이 용이한 흡음판 설치 후 청소 곤란으로 환경오염 우려
- 구조물 균열, 누수 등의 이상유무 확인 및 보수 등 유지관리 곤란

3) 흡음재의 성능비교 및 요구조건

상기 언급되었던 사항을 항목별로 선정한 후 흡음소재별 특징을 살펴보면 다음의 표와 같다. 표에서 보는 바와 같이 유리면이나 압면의 경우에는 방염성이나 흡음성, 가스유해성 측면에서 다른 소재에 비해 매우 우수한 반면 방수성이나 내후성 측면에서는 단점을 가지고 있다. 그리고, 발포알루미늄 흡음재의 경우에는 흡음성 및 경제성 측면에서, 콘크리트 흡음재의 경우에는 경제성 측면에서 매우 우수한 반면 흡음성 및 방수성 측면에서 좋지 못한 단점을 갖고 있다.

폴리에스테르(섬유질) 흡음재의 경우에는 다른 흡음소재에 비해 특히 미흡한 항목이 없음을 알 수 있으며, 따라서 최적의 터널내부용 흡음소재로서 매우 적절하리라 판단된다. 단, 이 소재의 경우 유리면이나 압면에 비해 방염성능은 떨어지나 소방법에서 정하는 방염성능을 만족하며 유독가스의 발생이 없으므로 문제가 되지 않으리라 판단된다. 또한, 폴리에스테르 흡음재의 경우에는 흡음성능이 유리면이나 압면에 비해 낮기 때문에 흡음성능을 개선할 필요가 있으나, 흡음재를 적절하게 조합하는 흡음구조로 하는 경우 흡음성능이 매우 개선되기 때문에 전혀 문제가 되지 않으리라 판단된다.

표 2 흡음재의 선정기준에 따른 성능 비교

순번	항 목	유리면·압면	발포수지	폴리에스테르	발포알루미늄	콘크리트
1	방 염 성	○	×	△	○	○
2	가스유해성	○	×	△	○	○
3	흡 음 성	○	△	△	×	×
4	가 공 성	○	△	△	○	△
5	비산방지성	×	△	△	○	×
6	방 수 성	×	△	○	○	×
7	경 제 성	○	△	△	×	○
8	내 후 성	×	△	△	○	×
9	시 공 성	×	△	△	○	△
10	무 계	△	○	△	△	○

*) '○' : 우수, '△' : 보통, '×' : 미흡

다음 표는 터널내부 소음저감용 흡음재에 요구되는 성능항목 및 평가기준, 시험방법을 나열한 것이다. 그러나 하기 항목이 터널내부용 흡음재로서 요구되는 모든 사항을 포함하는 것은 아니며, 지속적

인 연구를 통하여 시공성, 유지보수성과 같은 항목 등을 추가해 나가야 할 것이다.

표 3 터널내부 소음저감용 흡음재의 성능 및 평가기준

항 목	평 가 기 준	관련규격
방 염 성	잔염시간 20초 이내, 잔진시간 30초 이내, 탄화면적 50cm ² 이내, 탄화길이 20cm 이내이어야 함	KS L 2513
가스유해성	가스 유해성분이 없어야 함	KS F 2271
흡 음 성	NRC 0.85 이상이어야 함	KS F 2805
비산방지성	브러쉬의 왕복횟수를 1,000회로 시험하여 무게변화가 1% 이내이어야 함	KS M 5000
방 수 성	발수도 95% 이상이어야 함	KS L 9101
내 후 성	촉진내후성 시험전·후에 대한 물성변화가 작아야 함	KS F 2274

4. 결 론

본 연구에서는 터널을 통과하는 철도내부에서의 소음을 저감하기 위한 터널부착용 흡음재의 제성능을 자료 및 시험을 통해 분석하였으며, 실제 철도터널 내에서 요구되는 성능을 국내 공업규격을 바탕으로 제시하였다. 터널 벽체용으로는 제반 성능이 좋은 폴리에스테르 재질이 추천되나, 화재나 시공 및 유지보수성 등을 추가로 정밀하게 검토할 필요가 있다.

참고문헌

- 1) 문경호, 유원희, 김재철, 국내 여객열차 실내소음 평가, 한국소음진동공학회 2001년도 춘계학술대회 논문집, 2001, pp1241-1246
- 2) 삼성건설(주) 기술연구소, 분당선 소음 진동 저감 대책에 관한 연구, 1994
- 3) KS F 2805 : 잔향실내의 흡음률 측정방법
- 4) ISO 10534-2 : Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes ; Part 2 - Transfer function method
- 5) KS F 2271 : 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법
- 6) KS L 2513 : 유리섬유 일반 시험방법
- 7) KS L 9101 : 규산칼슘 보온재
- 8) KS M 5000 : 세척성 시험기(washability apparatus)
- 9) ASTM C 209 : Standard test methods for cellulosic fiber insulating board
- 10) KS F 4770 : 방음판 - 금속재
- 11) KS D 0060 : 옥외폭로시험방법 통칙

후 기

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설기술연구원에서 위탁 시행한 건설기술연구개발사업에 의해 수행된 연구결과물의 일부로 관계자에게 감사드립니다.