도시철도 터널내 흡음재 시험설치 및 소음저감효과 분석에 관한 연구
A Study on an Analysis of Noise Reduction Effects using the tentatively
Installed Sound-absorbing Materials in Metro Tunnel

홍철기\*

정이택\*\*

김병홍\*\*\*

Hong, Chul-kee

Jeong, Ri-taek

kim, Byeong-hong

#### **ABSTRACT**

This research tries to analyze and investigate the effects of the noise reduction test for the sound-absorbing materials installed tentatively on Metro Line 5. Though the noise reduction effects of each sound-absorbing material showed that there was about 2~5 dB compared with before and after of the tentative installation, it shows that the noise reduction effects are reducing because of the section change condition such as dust absorption and the rail abrasion as time passes after the tentative installation. Also, many difficulties are occurring in the maintenance of the orbit facilities because of the installation of sound-absorbing materials.

Though various abroad products for noise reduction are imported like this, the researches for the noise reduction effect increase for this and the improvement direction are being required because of the poor circumstance of the efficiency aspect compared to the economic investment effect because those are not suited to the character of domestic Metro.

\_\_\_\_\_

## 1. 서론

대중교통의 중심이 되고 있는 도시철도 운행시 소음에 대한 승객들의 민원이 증가하고 있으며, 최근 환경소음에 대한 규제가 강화 추세에 있어 소음저감방안은 사회적 이슈로 부각되고 있다. 이에 따라 국내외 도시철도 운영기관 및 소음저감 연구 기관 등에서는 다양한 도시철도 터널내 소음저감을 위한 흡음재를 개발하여 시험운영하고 있다.

본 연구에서는 도시철도 5호선에 시험설치된 흡음재에 대하여 흡음재료별로 소음저감효과 및 유지관리시 현안사항을 종합검토,분석하여 향후 흡음재료등 소음저감장치개발 방향을 제시하고자 한다.

도시철도 5호선에 시험설치된 흡음재는 벽체용으로 A타입을 급곡선부(곡선반경 300m이하)에 1,891m 시험설치하였으며, B타입을 급곡선부에 2,227m 시험설치하였고, 콘크리트도상바닥용으로 C타입을 급곡선부 및 곡선부(곡선반경 1,000m이하)에 7,088m를 시험설치하였다. 그리고, 레일복부용으로는 D타입을 급곡선부 490m에 시험설치하였다. 시험설치 및 실적분석을 통하여 도시철도 5호선에 시험설치된 흡음 재에 대한 흡음재별 설치 전,후의 소음저감효과 비교와 나아가 흡음재 설치후 기간경과에 따른 소음저 감효과 분석하였으며, 또한 흡음재료 설치시 각종 도시철도내 시설물 유지관리에 따른 현안사항을 도출하여 향후 도시철도 터널내 소음저감을 위한 흡음재등 소음장치 개발시 연구개발방향을 제시하고자하였다.

E-mail: track@smrt.co.kr

<sup>\*</sup> 책임저자: 정회원, 서욽시도시철도공사, 토목기술개발TF팀, 팀장

TEL: (02)6311-7563 FAX: (02)6311-4029

<sup>\*\*</sup> 정회원, 서울시도시철도공사, 토목기술개발TF팀, 과장

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 서울시도시철도공사, 시설TF팀, 과장

## 2. 시험설치 추진경과

### 2-1. 흡음재 시험설치 추진경과

2기 지하철은 공사비 절약을 위해 1기 지하철에 비하여 구조물의 규모를 축소하였고, 또한 분진 발생이 적고 유지관리에 편리한 콘크리트 궤도를 채택하였으나, 자갈 궤도구조보다 소음이 다소 높게 나타나고 있어 이를 최대한 저감하기 위하여 레일연마 시행 및 급곡선부 도유기 설치, 운전속도 조정 등가능한 모든 대책을 반영하여 소음을 저감하고 있으며, 이와 병행하여 소음이 비교적 높은 급곡선구간에 흡음재를 시험설치하였다.

도시철도 터널내 설치된 흡음재는 1999년 7월 관련분야 전문가 회의와 흡음재 흡음효과 시뮬레이션 의뢰 및 측정을 거쳐 1999년 9월 최종적으로 벽체용으로 2종을 도상용으로는 1종을 선정하여 시험설치를 추진하게 되었다. 이와 병행하여 1999년 7월 5호선 을지로4가 ~ 동대문운동장역간 급곡선부(곡선반경 248m) 레일복부에 외국산 흡음재료 D타입을 490m 시험설치하였으며, 2000년 2월 ~ 8월 5호선 마장~답십리등 2개 급곡선구간(곡선반경 300m이하) 상,하선 콘크리트 도상에 C타입(총연장 1,560m)를 설치하였으며, 급곡선부 벽체에 마장~답십리역구간에는 B타입(760m)을, 을지로4가~동대문운동장역구간에는 A타입(800m)를 구분하여 1차 시험설치하였다. 1차시험설치 전,후 비교결과 도상용 흡음재 C타입은 소음 저감효과가 미흡하여 2차시험시공에는 제외하였다. 2차 시험시공은 벽체용 2종(A타입 및 B타입)을 2001년 5월 ~ 11월 5호선 강동~길동 등 2개 급곡선 구간 상,하선에 B타입으로 1,469m를 추가 시험설치하였으며, 명일~고덕 등 2개 급곡선구간에는 A타입을 1,091m 추가 시험설치하였다. 그러나, 벽체용 2종의 흡음재를 시험설치후 소음측정결과 소음저감효과가 벽체 및 도상에 흡음재를 설치한 구간의 소음저 감효과보다 미흡하여 2002년 1월 ~ 9월 2차 시험설치구간(벽체용 2종만 설치)의 콘크리트도상에 C타입(도상용)을 추가로 시험설치(5,528m)하였다.

#### 2-2. 시험설치 흡음재별 특징

#### ① A타입(벽체용)

A타입의 흡음재는 일본 동북 신간선에 벽체용으로 시험시공한 사례가 있으며, 흡음성 및 시공성이 양호한 양호한 재질로 구성되어 있으며, 시공방법은 별도의 고정 후레임없이 앙카볼트를 이용하여 요철형과 평면형(보조 흡음재)으로 구성하여 부착시키며, 도시철도 터널내에는 궤도시설물 및 신호, 전기시설물 등 유지관리를 고려하여 1.5~ 2.0m 높이로 시공하였다.

도표 1. A타입 흡음재(벽체용)

용도	성분	제조사	규격(mm)	설치 전경(벽체)
벽체용	폴이에스테르계 단섬유	일 본	1500>980>85	

## ② B타입(벽체용)

B타입의 흡음재는 국산제품으로 기계실, 체육관, 발전기실 등에 설치한 사례가 있으며, 내구성이 양호하며, 가볍고 시공성이 양호한 재질로 구성되어 있으며, 시공방법은 부착형 앵글을 셋트앙카를 고정시켜 설치하여 부착시키며, 도시철도 터널내에는 궤도시설물 및 신호, 전기 시설물 등 유지관리를 고려하여 1.3~ 1.5m 높이로 시공하였다.

도표 2. B타입 흡음재(벽체용)

용도	성분	제조사	규격(mm)	설치 전경(벽체)
벽체용	규산칼슘 무기질재료 (초경량 기포 콘크리트)	국 산	450¥50 <b>%</b> 0	

#### ③ C타입(도상바닥용)

C타입의 흡음재는 일본국철에서 시험시공한 사례가 있으며, 내구성 및 내후성이 양호한 재질로 구성되어 있으며, 시공방법은 앙카볼트를 이용하여 부착시켜 시공성이 용이한 특징이 있다. 설치범위는 도상 전체도 시공이 가능하나, 도시철도 터널내에는 궤도시설물 유지관리를 고려하여 레일면 안쪽으로시공하였다.

도표 3. C타입 흡음재(도상바닥용)

용도	성분	제조사	규격(mm)	설치 전경(도상바닥)
도상용	특수 우렌탄 칩성유 및 기포제를 혼입한 평판 경량 발포 몰탈	일 본	625≯1400≯40	

#### ④ D타입(레일복부용)

D타입의 흡음재는 독일 베를린 Dirtmund역과 Hoesh역사이에 Getzner사가 시험시공한 사례가 있으며, 재진재의 탄성에 의해 열차차륜의 회전에 의한 소음과 레일과의 마찰소음을 저감시키는 효과가 있으며, 도시철도 터널내에는 레일용접부 및 전기,신호 시설물 설치 부위 등을 제외하고 레일과 웹댐퍼 고무층과의 접착을 원활히 하기 위하여 댐핑고무의 표중에 화학약품 처리를 하여 접착식으로 설치하였다.

도표 4. D타입(레일복부용)

용도	성분	제조사	규격(mm)	설치단면(레일복부)
레일 복부용	Steel과 폴리우레탄계열의 BASF의 탄성재 8705B 등으로 구성	독일	1000 ≯00 ≯0	मध इसम नहान प्रक्रिय सं-चनन संनय सहाम सह

# 3. 시험설치 흡음재별 소음저감효과

### 3-1. 소음저감효과 측정방법

도시철도 터널내 시험설치된 흡음재에 대하여 소음저감효과 분석을 위하여 A, B, C, D타입의 흡음재에 대하여 1999년 8월에서 2002년 6월에 걸쳐 3차에 걸쳐서 소음을 측정하였다. D타입의 흡음재는 실내와 열차바퀴 및 대차하부에서 주파수대역과 병행하여 소음도를 측정하였다. A, B, C 타입의 흡음재 3종은 열차주행중 실내소음을 5초 평균 등가소음 레벨을 측정하였으며, 소음원이 가장 큰 구동차량에서 측정하였다.

### 3-2. 도시철도 터널내 시험설치 흡음재별 소음측정결과

#### ① A타입 흡음재 및 C타입 흡음재

2001년 A타입(벽체용) 흡음재를 시험설치(명일~고덕, 을지로4가~종로3가)하고 소음측정한 결과, 레일연마에 의한 소음저감효과가 기간경과에 따라 미비해짐에 따라 1.5~2.6dB의 소음저감효과가 나타났다.

도표 5. A타입(벽체용) 흡음재설치 전,후 소음측정결과

7 7	고기미거	레일도유	레이어레피아	소음	측정일	2 0 기 2 구기
구간	곡선반경	유무	레일연마일	설치전	설치후	소음감소효과
명일~고덕	200	시행	2000년 11월16일	90011년 6일 1이	2001년 11월 8일	상선 2.6dB
명일~꼬덕	300m	// %	2000년 6월2일	2001년 0월 1월	2001년 11월 6월	하선 2.4dB
을지로4가	250m	시행	2000년 5월14일	2001년 6월 1일	2001년 11월 8일	1.5dB
~종로3가	250111	7138	2000년 5년14년	2001년 0년 1년	Z001 U 11 U U U	1.Jub

2002년도에 A타입(벽체용) 흡음재만 설치한 구간에 C타입(도상용) 흡음재를 추가설치하고 소음측정한 결과 A타입(벽체용)흡음재만 설치한 경우와 비교 0.3~0.9dB의 추가 소음저감효과가 나타났다.

도표 6. A타입(벽체용)+C타입(도상용) 흡음재 설치 전,후 소음측정결과

7 7)	고거미거	레일도유	케이어 하다 이	소음	よりひょうコ	
구간	곡선반경	유무	레일연마일	설치전	설치후	소음감소효과
명일~고덕	300m	시행	2000년 11월16일	2001년 6월 1일	2002년 6월 10일	상선 3.5dB
85.74	300111	/1%	2000년 6월2일	2001년 0월 1월	2002년 0 월 10 월	하선 3.1dB
을지로4가	250m	   시행	2000년 5월14일	2001년 6월 1일	2002년 6월 10일	1.8dB
~종로3가	250III	718	2000 년 5월14월	2001년 0월 1월	2002년 0월 10월	1.00D

#### ② B타입 흡음재 및 C타입 흡음재

B타입(벽체용) 흡음재와 C타입(도상용) 흡음재를 2000년 시험설치한 구간(마장~답십리 상,하선)에 대하여 소음측정한 결과 4.7~8.5dB의 소음저감효과를 나타났다.

도표 7. B타입(벽체용)+C타입(도상용) 흡음재 설치 전,후 소음측정결과

7 7	고기미거	레일도유	게 이 어린 다	소음측	· 추정일	2 0 7 2 2 7
구간	곡선반경	유무	레일연마일	설치전	설치후	소음감소효과
마장~답십리	300m	시행	미실시	1999년 2월 26일	2000년 7월 200	상선 4.7dB
म् अविधि	300111	/1%	미'편기	1999년 2월 20월	2000년 7월 20월	하선 8.5dB

2001년 B타입(벽체용) 흡음재만 시험설치(강동~길동, 까치산~신정)후 소음측정한 결과 0~1.0dB의소음저감효과가 나타나 1차 측정결과와는 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다.

도표 8. B타입(벽체용) 흡음재 설치 전,후 소음측정결과

7 7	2711174	도유기	레이어에	소음	) O D ) - D	
구간	곡선반경	유무	레일연마일	설치전	설치후	소음감소효과
강동~길동	300m	설치	2000년 5월21일	2001년 6월 1일	2001년 11월 8일	상선 0.0dB 하선 0.9dB
까치산~신정	300m	설치	2000년 4월21일	2001년 6월 1일	2001년 11월 8일	상선 1.0dB 하선 0.1dB

2002년 B타입(벽체용) 흡음재만 설치한 구간에 C타입(도상용) 흡음재를 추가설치하고 소음측정한 결과 B타입(벽체용) 흡음재만 설치한 경우와 비교 -0.6~4.2dB의 추가 소음저감효과가 나타났으며, 까치산~신정역구간에서 소음저감효과가 비교적 크게 나타난 사유는 C타입(도상용) 흡음재 설치전에 레일연마가 시행되어 나타난 것으로 추정되었다.

도표 9. B타입(벽체용)+C타입(도상용) 흡음재 설치 전,후 소음측정결과(2차)

7 7	고기미권	도유기	3) () (d a) ()	소음측정일		) O D ) - D
구간	곡선반경	유무	레일연마일	설치전	설치후	소음감소효과
강동~길동	300m	설치	2000년 5월21일	2001년 6월 1일	2002년 6월 10일	상선 2.6dB
70 0 2 0	JOOH	[ 결계	2000년 5월21월	2001년 0월 1월 	2002년 0월 10월	하선 0.3dB
71. 키 시나, 시 건	300m	설치	2002년 2월28일	2001년 6월 1일	2002년 6월 10일	상선 4.5dB
까치산~신정	300111	'코시	2002년 2월20월	2001년 0월 1월 	2002년 0월 10월	하선 4.5dB

### ③ D타입 흡음재

D타입(레일복부용) 흡음재에 대하여 시험설치 전,후 소음측정 비교한 결과 시험설치전과 거의 차이가 없고 일부 주파수 대역에서는 더 높은 소음도를 나타냈다. D타입의 흡음재를 외국에서 시험설치한 결과 1.6klb에서 2klb까지의 스퀼소음을 저감시켜 준 예가 있으나, 도시철도 터널내 D타입(레일복부용) 흡음재시험설치구간의 주파수 대역은 일반적인 스퀼소음에 비하여 낮은 주파수 대역에 위치하여 그 효과가 미비한 것으로 추정되었다.



그림1. D타입(레일복부용) 흡음재 설치 전후 소음측정결과

### 3-3. 흡음재 소음측정결과 분석 및 고찰

#### ① A, B, C타입 흡음재

A, B, C 타입의 흡음재 시험설치후 소음저감효과를 비교한 결과, 2001년도와 2002년도에 레일연마를 시행하지 않은 경우의 소음저감효과는 1.8~3.5dB로 나타났으며, 흡음재를 설치 전,후의 소음측정결과가 구간별로 상이하게 나타난 원인은 구조적인 측면(구배, 곡선반경, 구조물 단면의 차이, 환기구 인접여부 등)과 열차운행 측면(열차운행속도, 급가감속, 자동 또는 수동운전)과 궤도시설물 유지관리적인 측면(레일의 마모 진행, 레일도유성능, 파상마모, 궤도틀림상태 등) 등 각종 조건의 상이로 동일한 흡음 재의 경우라도 소음저감효과가 상당한 차이를 나타내고 있으며, 기간경과에 따른 레일마모와 레일연마등으로 인한 차륜과 레일의 접촉점의 변화로 주된 소음원의 발생 주파수대역의 변화, 터널내 분진 등의 흡착으로 인한 흡음재료의 성능 저하, 차량내부 각종 부품의 노후화로 인한 차량내부 소음의 변화 등 변화요인이 다양하여 보다 정확한 소음저감효과 분석에 한계가 있는 실정이다.

#### ② D타입 흡음재

D타입의 흡음재 소음저감효과가 미비한 것은 외국 MBTA Green Line Goverment Center역에 설치된 흡음 재의 소음저감효과와 같이 중주파수대역에서의 소음저감효과는 있으나, 저주파 대역에서의 소음저감효과는 미비하여 도시철도 5호선에 시험설치된 구간에서와 같이 저주파수 대역에서는 소음저감효과를 발휘하지 못하는 것으로 추정되며, 향후 레일 웹대퍼 개발시에는 선행적으로 설치구간의 주파수 특성을 분석하여 주파수 특성에 맞는 흡음재질을 선택하여 추진하는 방향이 요구된다.

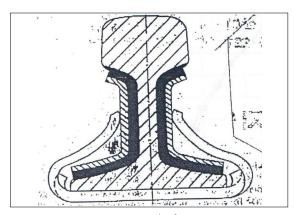


그림2. MBTA 설치 흡음재

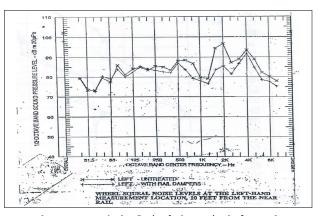


그림3. MBTA 설치 흡음재의 소음저감 효과

#### 3-4. 터널내 흡음재 설치시 유지관리상 현안 문제점

도시철도 터널내 흡음재 시범설치 및 운용에 따른 주요 현안사항을 열차안전운행, 시설물 유지관리 및 흡음재료 유지관리측면에서 검토분석한 결과는 다음과 같다.

## ① 열차안전운행측면

터널내 구조물 벽체에 부착하는 흡음재가 열차운행시 발생되는 열차풍에 의거 흡음재료 일부가 탈락되어 열차안전운행 저해요인으로 작용하는 사례가 발생되고 있음.

#### ② 시설물 유지관리측면

흡음재가 구조물 벽체 및 콘크리트 궤도도상에 부착되어 있어 구조물 및 궤도도상에 균열,누수발생시 유지보수공사 시행이 곤란하고, 또한 터널내 환경개선을 위한 물청소 시행이 곤란하고, 나아가 터널내 레일연마작업시 발생되는 불꽃발생등 기타 화재시 대처가 곤란한 실정임.

### ③ 흡음재료 관리측면

흡음재료 유지관리상 열차운행에 따른 먼지축적 및 재료노후화등에 따른 물청소 및 재료관리가 어려운 실정이며, 재료기능 성능유지가 곤란한 실정임.

# 4. 향후 연구과제

도시철도 터널내 소음저감을 위한 향후 소음장치개발은 흡음기능 향상 및 소음저감 효과증대는 물론 터널내 설치시 열차안전운행, 시설물 유지관리 및 흡음재료 기능 적정관리 측면에서 종합검토 연구가 필요하며, 또한 소음저감효과의 과학적인 분석을 위하여는 소음측정방법(등가속도 측정방법상이 : 예 1 초, 5초, 10초 등)과 주된 소음원에 대한 주파수 분석방법 및 분석기법에 대한 표준화에 대한 연구와 레일 마모진행과 레일 연마 시행 등 다양한 소음원 변화 요인에 대한 특성을 고려한 흡음재료의 개발이 요구된다.

### 참고문헌

- 1. 장서일 (1999), "지하철 5호선 소음측정결과", 서울시립대학교 환경공학부.
- 2. 서울시 지하철 건설본부(2002), "지하철 소음저감을 위한 관계자 회의자료" 시설개량부