

# 시뮬레이션과 축소모형을 이용한 지하철 역사 실내음장의 모델링 Acoustic modeling of sound fields in subway platforms using computer simulation and scale model testing

김용희† · 소에타 요시하루\*  
Yong Hee Kim and Yoshiharu Soeta

## 1. 서 론

지하철 역사는 길이방향으로 긴 터널형상의 내부 구조의 특수성(1)과 흡음율이 낮은 마감재료의 사용으로 열차 소음의 증폭과 긴 잔향으로 인한 음성명료도의 저하 등이 설계시 해결해야할 과제(2)로 지적되고 있다. 따라서, 지하철 역사의 음장특성을 정확하게 예측하고 내부 설계요소의 영향을 유의하게 평가할 수 있는 예측방법의 개발이 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구는 지하철 승강장 음장에 대해 현장측정 결과를 바탕으로 도출된 시뮬레이션과 축소모형 평가 방법론에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 지하철 역사 모델링

### 2.1 지하철 승강장 구성요소

대상 지하철 역사의 구조에 따라 승강장의 구조는 Fig. 1과 같이 섬식/상대식으로 구분할 수 있다. 지하철 음장을 평가하기 위해 지하철 모델링에는 전체 승강장과 계단실, 엘리베이터/에스컬레이터 및 수직기둥 등이 포함하였다<sup>(3)</sup>. 터널 부위는 그 단면을 설계안대로 사각형 또는 원형(다면체로 구성)으로 모델링하며, 그 길이는 승강장의 1.5배 이상으로 모델링하였다<sup>(1)</sup>. 터널 끝단은 되돌아 오는 반사음이 없도록 100%에 가까운 흡음구조를 적용하였다<sup>(1)</sup>.

내부 마감재는 현장조사를 통해 부위별로 실제 시공되는 재료를 조사<sup>(4)</sup>하였고, 시뮬레이션 및 축소모형 평가를 위해 이전연구를 참조하여 주파수 대역별 흡음율값을 조사하였다.

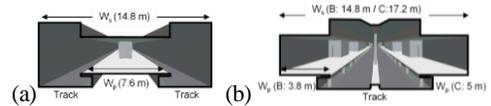


Figure 1 Sections of subway platforms. (a) Island, (b) side

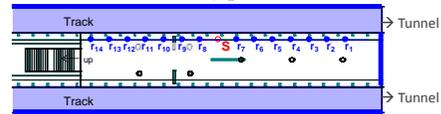


Figure 2 Sound source and receiver positions in subway stations (S: sound source, rx: receivers)

### 2.2 음향지표 및 평가조건

음향지표는 평가목적에 따라 다양하게 설정될 수 있으며, 승강장에서 방송음에 대한 음성명료도는 Fig. 2와 같이 평가할 수 있다. 음원은 방송음을 반영하기 위해 승강장 천장에 위치하며, 수음점은 승강장에서 진입열차를 기다리는 승객을 모사하기 위해 승강장 선단에서 1m 떨어진 지점에서 1.6m 높이로 설정하였다. 승강장 음환경을 평가하기 위해 IEC 60268-16과 ISO 3382-1에 따른 음성명료도(STI), 잔향시간(RT), 음압레벨(SPL), 양이상관도(IACC)의 음향지표를 이용하였다.

## 3. 음선추적법 시뮬레이션 평가

### 3.1 음선추적법 시뮬레이션

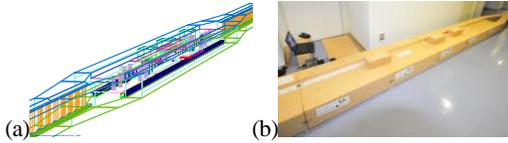
음선추적법 시뮬레이션을 위해 상용 소프트웨어(Odeon v11.23)를 이용하여 Fig. 3(a)과 같이 3D 모델링 및 경계조건을 입력하였다. 지하철 승강장은 용적이 15,000m<sup>3</sup> 이상의 대공간이기 때문에, 적절한 초기음 및 후기음 평가를 위해 허상법을 적용하는 초기반사음의 차수(T.O.)는 1차로 설정하였고, 음선의 개수는 모델링된 면의 개수를 고려하여 12만개로 설정하였다. 또한, IACC계산을 위해 가청화 설정을 적용(HRTF: Kemar HATS, M-factor:0.6, A<sub>pass</sub>: 0.5dB, A<sub>stop</sub>: 40dB)하였다.

† 교신저자; 정희원, 한국건설생활환경시험연구원

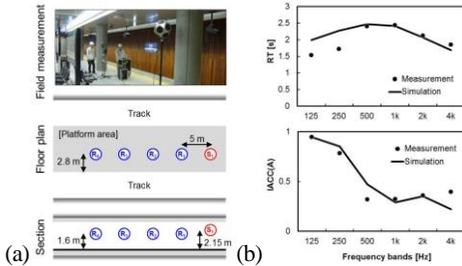
E-mail : yhkim@kcl.re.kr

Tel : 043-210-8922, Fax : 043-210-8929

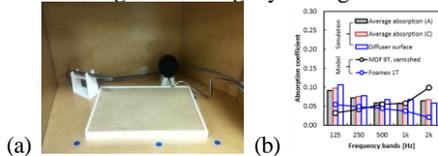
\* National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan



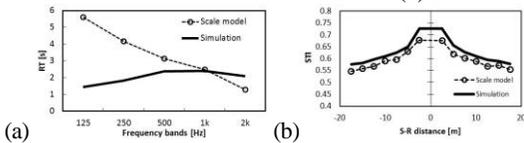
**Figure 3** (a) 3D ray-tracing simulation and (b) 1/25 scaled acoustic models of subway platform



**Figure 4** (a) Field acoustic measurement and (b) acoustic fitting results using ray-tracing simulation



**Figure 5** (a) Measurement of absorption coefficients of the model materials in 1/25 scale and (b) the results



**Figure 6** Comparison of (a) RT and (b) STI simulation and scale model testing

### 3.2 현장측정과의 피팅

시뮬레이션 모델의 검증은 위해서 실제 지하철 현장측정 결과와의 음향지표 비교를 진행하였고, 각 음향지표의 최소인저한계(jnd)보다 측정치-예측치간의 차이가 작을 때를 그 기준으로 설정하였다. 본 연구에서는 Fig. 4(a)과 같이 건축이 완료된 일본의 한 지하철에서 진행된 음향측정 결과를 바탕으로 음향 피팅을 진행하였고, 그 시뮬레이션 결과는 Fig. 4(b)와 같이 RT(500-1kHz 평균)와 IACC(500-2kHz 평균) 모두 jnd 이내의 차이값을 보였다.

## 4. 1/25 축척 축소모형 평가

### 4.1 모형재료의 선정

축소모형은 시뮬레이션으로 예측하기 어려운 음향 확산이나 세부형상의 설계요소에 관한 평가에 도움을 준다. 지하철 승강장의 경우 대상 길이가 100m

이상이기 때문에, 이를 고려하여 Fig. 3(b)와 같이 1/25 축척으로 재현하였다. 축소모형 형상의 재현과 더불어 모형재료의 음향특성을 맞추는 것이 중요하기 때문에, Fig. 5(a)와 같이 1/25축척의 소형 잔향챔버를 제작하여 모형에 사용되는 재료의 음향특성을 사전에 측정하였고, 시뮬레이션 입력값과 Fig. 5(b)와 같이 비교하였다.

### 4.2 축소모형 측정

상사의 범칙에 따라 평가대상 주파수대역보다 모형의 축척을 고려한 높은 주파수 대역을 측정해야 한다. 본 연구에서는 192kHz의 샘플레이트로 고성능 트위터 스피커(Clarion)와 1/4인치 마이크로폰(B&K)을 이용하여 3,840Hz까지 측정(1/1옥타브 밴드 2kHz)하였다.

### 4.2 시뮬레이션 모델과의 비교

축소모형의 유효성을 검증하기 위해 동일 조건의 시뮬레이션 모델에서의 음향지표와 Fig. 6(a)와 같이 비교하였다. 현재 중주파수 대역을 제외하고, 저주파수 대역에서 RT가 큰 차이를 보이고 있는데, 이것은 축소모형의 주재료인 MDF의 1/25 축척의 저주파 흡음율이 매우 낮기 때문이며, 향후 정밀도 향상을 위해 이 부분의 표면흡음처리가 필요하다. 하지만, Fig. 6(b)와 같이 STI의 경우 거리별 분포가 시뮬레이션과 매우 유사하게 나타났기 때문에 향후 축소모형을 이용하여 음성명료도를 유용하게 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구를 바탕으로 시뮬레이션 및 축소모형을 이용하여 지하철 승강장 내부의 음환경을 효과적으로 개선할 수 있는 확산체, 스크린도어, 흡음구조, 소음 저감구조 등을 연구하여, 공공공간의 음환경 발전에 기여하고자 한다.

### 참고문헌

- (1) J. Kang, *Acoustics of Long Spaces – Theory and design practice* (Thomas Telford, 2002).
- (2) R. Shimokura, Y. Soeta, Characteristics of train noise in above-ground and underground stations with side and island platforms, *J. Sound Vib.*, 330(8), pp.1621-1633 (2011).
- (3) Y.H. Kim, Y. Soeta, Design of diffusive surfaces for improving sound quality of underground stations, *Proceeding of International Symposium on room acoustics (ISRA)*, Toronto (2013).
- (4) Y.H. Kim, Y. Soeta, Architectural treatments for improving sound fields for public address announcements in underground station platforms, *Appl. Acoust.* 74(11), pp.1205-1220 (2013).