

축소모형과 시뮬레이션을 이용한 고속열차 speech privacy 음환경 설계

Acoustical design of a high-speed train passenger car for speech privacy improvement using 1:10 scale model and simulation

김재현* · 김호준* · 장형석* · 전진용†

Jae Hyeon Kim, Ho Jun Kim, Hyung Suk Jang and Jin Yong Jeon

1. 서 론

현재 고속열차 내부소음 연구의 대부분은 배경소음 레벨 제어에 관한 연구에 집중되어 있고, 객차 내부 음장 및 speech privacy에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 KTX 객차 내부 음장 및 speech privacy 평가 및 개선을 시뮬레이션 모델과 축소모형을 제작하였다.

2. 축소모형 및 시뮬레이션 모델 구축

2.1 KTX 실제 마감 재료 측정

고속열차 내부 음환경 평가를 위한 시뮬레이션 모델과 축소모형을 구축하기 위하여 실제 KTX 객차 마감재인 노멕스 허니컴 (Nomex Honeycomb, NH)의 흡음계수를 Impedance tube (B&K 4206)로 측정하였다. KTX 마감부위별로 다르게 적용된 마감재료의 흡음특성을 고려하여 모के트 (M), 노멕스 허니컴 (NH), 글라스울 (GL)의 복합재료를 측정하였다. NH 자체의 흡음특성을 조사하기 위한 시료 (NH only), 차음구조를 고려한 NH+GL, 모के트 직물이 표면에 부착된 M+NH+GL의 시료를 제작하였다.

시뮬레이션 모델 및 축소모형 평가 재료 선정에 사용하기 위하여 측정된 수직입사 흡음계수를 잔향실법 흡음계수로 변환하였다. 식 (1)의 London 변환식⁽¹⁾을 바탕으로 수직입사 흡음계수(α_n) 흡음계수로 변환하여 Figure 1과 같은 결과를 나타내었다.

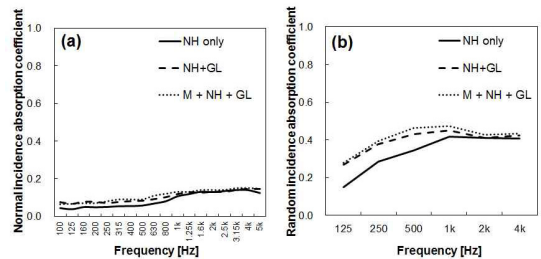


Figure 1 Absorption coefficient of material
(a) normal incidence (b) random incidence

$$\alpha_r(f) = 0.945 + 0.245 \ln(\alpha_n) + \phi(f) \quad \dots(1)$$

α_n = 예측된 잔향실법 흡음계수

α_n = 측정된 수직입사 흡음계수

$\phi(f)$ = frequency factor coefficients

흡음계수 측정결과 NH only 케이스에 모के트(M)과 글라스울 40t (GL)이 추가되면서 1 kHz 이하 중저주파수 대역 흡음계수가 증가하였으며, 125 Hz에서 최대 0.13 증가하였다.

NH+GL와 M+NH+GL의 흡음계수 비교 결과, 모के트 표면의 추가에 따른 흡음 성능 증가량은 크지 않았다.

2.2 축소모형 마감 재료 선정

축소모형 흡음계수 측정은 ISO 354에 따라 1:10 잔향챔버에서 스파크소스와 1/8" 마이크로폰을 사용하여 측정하였고, 다양한 축소모형 재료의 측정을 통해 NH+GL의 잔향실법 흡음계수와 유사한 특성을 가지는 축소모형 재료를 찾고자하였다. 그 결과 Figure 2와 같이 카드보드지 1장 + 마천 2장 + 카드보드지 1장 + 크래프트지 4장으로 구성된 총 10t의 복합 재료가 NH+GL의 흡음특성을 반영하는 것으로 평가되어 이 모형 재료를 객차 모형의 표면 마감 재료로 선정하였다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 건축공학부

E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr

Tel : 02)2220-1795, Fax : 02)2220-4794

* 한양대학교 건축공학과

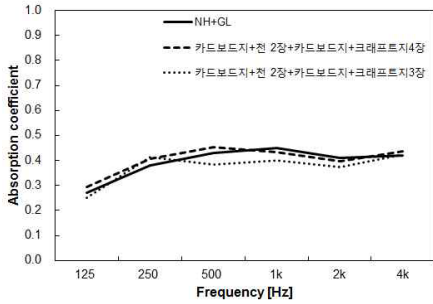


Figure 2 Absorption coefficients of 1:10 scale model materials for Normex honeycomb with glass wool.

3. 축소모형과 시뮬레이션 평가

고속 열차 객차 1:10 축소모형은 아크릴과 MDF 를 구조 부재로 사용하였고, 마감재는 2.2에서 선정된 재료를 부착하였다. 수음원과 수음점은 이전 연구⁽²⁾와 동일한 지점에서 측정을 진행하였다.

축소모형 측정 결과 잔향시간은 실제 객차 측정 지점과 유사한 음향특성을 나타내었다. Figure 3와 같이 지점별 주파수대역 평균 잔향시간은 실제 객차와 1% 이내의 오차범위를 나타내었다. 또한, 주파수대역별 잔향시간을 살펴보면 250 Hz 대역에서 잔향시간이 낮게 나타났다.

시뮬레이션 모델 또한 측벽 및 천장 마감 재료를 노맥스 허니콤으로 적용하여 음향 피팅을 진행하였다. 시뮬레이션 의 주파수 대역별 잔향시간을 살펴보면 현장측정보다 125 Hz 대역에서 낮은 값을 나타내지만 중고주파 대역에서 실제 측정값과 차이가 나타나지 않았고, 거리별 특성을 살펴본 결과 현장 측정과 같은 경향성을 나타내고 있는 것을 확인하였다.

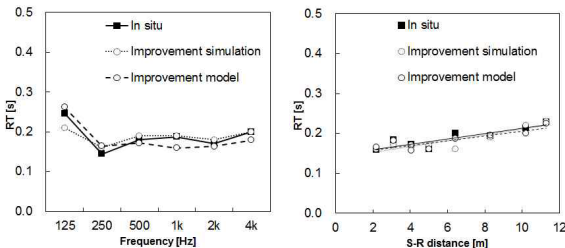


Figure 3 Reverberation time results in 1:10 scale model and simulation model

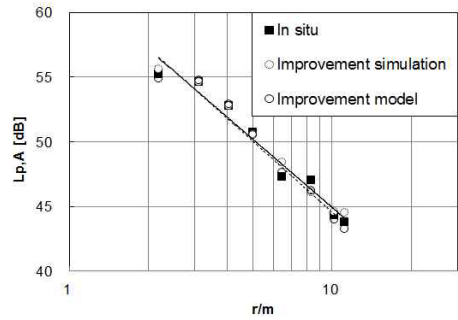


Figure 4 Evaluation of single number quantities from spatial distribution curves

ISO 3382-3의 Open-plan office 평가법으로 시뮬레이션과 축소모형에서 $L_{p,A,S,4m}$ 와 $D_{2,S}$ 값을 평가하였다. 실제 KTX에서 측정된 $L_{p,A,S,4m}$ 는 51.9 dB, $D_{2,S}$ 는 5.3 dB로 측정되었으며, Figure 4와 같이 축소모형과 시뮬레이션에서 $L_{p,A,S,4m}$ 가 각각 51.7, 52.1 dB, $D_{2,S}$ 는 각각 5.5, 5.2 dB로 측정되었다. 축소모형과 시뮬레이션 모델 모두 $L_{p,A,S,4m}$ 와 $D_{2,S}$ 가 실제 측정값과 1dB 이내의 차이를 나타내는 것으로 평가되었다. 이에 축소모형과 시뮬레이션은 모두 실제 KTX의 음향 특성을 반영하는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 KTX 객차 내의 적용된 실제 마감 재료 측정 기반으로 시뮬레이션 모델과 1:10 축소모형을 구축하여 실제 객차와 유사한 음향특성을 구현하였다. 추가 연구를 통해 축소모형의 내부 형상 및 재료 변화에 따른 speech privacy 개선 설계 가이드라인을 제시하고자 한다.

참고 문헌

- [1] A. London, "The determination of reverberant sound absorption coefficients from acoustic impedance measurements", 1950, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 22, No. 2, pp. 263-269.
- [2] Jang, H. S, Kim, J. H, Jeon, J. Y., "Evaluation of speech privacy on the seat-design in high-speed train passenger cars", 2014, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 146-153.

후 기

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(13PRTD-C061727-02)에 의해 수행되었습니다.