

소음원 기여도 해석 및 벽면 투과손실에 대한 민감도 해석에 의한 한국형 고속철도의 실내소음 예측

Interior noise prediction of the Korean high speed train using sound source contribution analysis and sensitivity analysis of wall's transmission loss

김관주**, 박진규*

Kwanju Kim**, Jinkyu Park*

Key Words : Interior noise prediction(실내소음예측), high speed train(고속철도), ray acoustics(광음향기법), contribution analysis(기여도해석), sensitivity analysis(민감도해석)

ABSTRACT

The interior sound pressure level of the Korean high speed train is predicted using ray acoustic method. The motor car, motorized car and passenger cabin are investigated under the environment of passing open countryside and inside tunnel. Calculated sound levels of KHST are compared with the those of KTX prototype which vehicle shows similar acoustic behavior with KHST for the purpose of assuring the calculated data. In order to reduce the calculated SPL in systematic way, contribution analysis of sound sources and sensitivity analysis of concerning wall's transmission loss on the SPL of the designated receiving points are carried out. Finally, practical design suggestions are proposed.

련하였다.

1. 서론

본 연구는 한국형 고속철도(KHST)가 300, 350 km/hr로 주행하는 경우, 동력차의 운전실, 동력객차와 객차의 원하는 위치에서의 실내소음의 크기를 주행 환경별, 즉 개활지 주행, 혹은 터널내 주행에 대하여 광음향기법을 이용하여 예측하였다. KHST와 비슷한 차량인 KTX 시제차의 주행시의 실내소음 측정실험을 수행하여 KHST의 실내소음 예측의 신빙성을 높였다. 또한 차량별 실내 소음에 영향을 주는 주요 소음원의 기여도를 정량적으로 해석하였고, 시스템 요구사항에서 제시된 실내 소음 관련 목표치를 맞추기 위해서 동력차, 동력객차, 객차의 차체 벽면의 투과손실값의 가이드 라인을 제시하여, 소음관련 설계지원의 기초 자료를 마

2. 철도차량의 실내음압 해석 개요

일반적으로 수송기계의 소음·진동 문제는 소음원, 전달계, 반응계의 단계별로 풀게 된다. 본 논문에서 고려한 소음원은 공력기인 소음원, 차륜-레일 접촉기인 전동 소음원, 그리고 동력부품 기계기인 발생 음원 등이다. 공력소음의 경우에는 "고속철도의 실내소음"의 자료⁽¹⁾와 TGV-A의 외부소음 분포⁽²⁾에 따른 공력소음의 외부영향을 고려하여 본 해석에 적용하였고, 구름 소음은 "한국형 고속전철의 전동소음 예측에 관한 연구" 자료⁽³⁾를 참고하였다. 동력부품 기계기인 발생음원 음향파워는 업체제공자료⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾와 Motor Block 및 에어컨에 대한 Intensity 측정에 의한 실험 데이터를 적용시켰다.

전달계에서 필요한 각 벽면에서의 투과손실의 자료는 "철도차량용 알루미늄 압출재의 투과손실"⁽⁵⁾을 인용하였으며, 반응계에서의 실내음압 예측은 광음향기법을 이용하여, 각 소음원에 의한 실내에 대한 공기 전달음을 계산하였다.

** 홍익대학교 기계공학과 교수
E-mail : kwanju@hongik.ac.kr

* 홍익대학교 기계공학과 석사과정
E-mail : ga0111602@wow1.hongik.ac.kr
Tel : (02)336-1495, Fax : (02) 320-1113

본 연구의 해석 내용을 살펴보면 다음과 같다. 첫 번째로 300km/h, 350km/h의 속도로 개활지 구간, 터널 구간을 주행시 KHST 차량의 실내소음을 예측하였다. 응답 점의 위치는 동력차(TP1)의 경우는 운전자의 귀 위치에서, 동력객차(TM5)와 객차(TT4)의 경우는 전부 대차상부, 객실중앙과 후부 대차상부의 세 군데 위치에서 실내소음을 예측하였다. 두 번째로는 소음의 크기가 상대적으로 큰 소음원을 선정하여 실내소음 기여도를 분석하였다. 마지막으로 해석 대상 차량의 벽면의 투과 손실 치의 민감도 해석, 예를 들어, 동력차의 파티션의 투과손실값 변화에 대한 동력차 실내소음도의 민감도, 동력객차, 객차의 창문의 투과 손실 값 변화에 대한 실내 소음 값을 예측함으로 실내소음 설계 목표치를 달성하기 위한 차음벽의 효과적인 투과 손실 기준치를 마련하였다.

3. KHST 각 차량 별 실내 음압 해석

3.1 실내공간 모델, 주요소음원, 투과손실값

한국형 고속철도(KHST) 모델링은 Hypermesh를 이용하였고, 해석은 Raynoise를 이용하였다. 다음 Fig. 1은 터널내 주행시의 객차의 모델이며, Fig. 2는 해석 결과의 한 예이다.

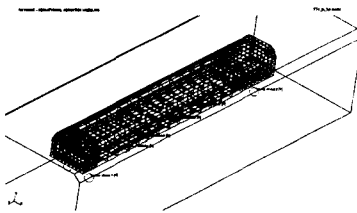


Fig. 1 TT4 acoustic model of a passenger cabin, with sound source shown.

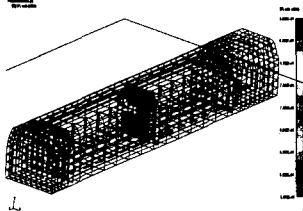


Fig. 2 Indoor noise level results of TT4 on field running case
음향 해석시 적용된 주요 소음원⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾의 음향파워와 주

요 투과 손실 값⁽⁴⁾은 다음 Table 1, 2에 나타내었다.

Table 1 Noise sources for KHST⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

소 음 원	소음크기(PWL) overall dBA
Traction Motor	121
Motor Ventilation Grid	115
Reduction Unit	125
Gear Box Unit	125
Motor Block	107.6
Rolling noise	124.3

Table 2 Transmission loss of KHST^(b) (dB)

구 분	적용값
천정재	STC 40
측면(벽)재	STC 42
유리창	STC 31
바닥재	STC 42

각 열차별 실내음압 해석시의 가정은 다음과 같다.

- 벽면의 공력소음은 m²당 평균값 고려.
- 모든 소음원은 점음원으로 가정.
- 터널 주행시 단독 운행으로 해석
- 객차와 동력객차의 응답 점은 객실중앙과 대차상부에서 가장 가까운 좌석 2군데

3.2 객차의 실내소음 예측 결과와 KTX 주행시의 실내소음 비교

(1) 객차(TT4)의 개활지와 터널내 주행시의 실내 소음 예측결과

한국형 고속철도의 객차는 TT2, TT3, TT4 3량으로 구성이 된다. 이 중에서 TT4를 대상으로 해석을 하였다. 객차의 개활지 주행과 터널내 주행시의 예측한 실내소음의 크기를 각각 Fig. 3, Fig. 4에 나타내었다. 같은 그림에 현재 시험 운행중인 KTX의 실험 결과를 동시에 나타내었다. KHST 차량과 KTX차량을 비교해 보면 KTX의 경우 추가될 여압장치를 제외하고는 소음원은 동일하다. 투과손실을 비교해 보면 KTX의 경우 바닥재의 투과손실값은 40dB이고, KHST의 경우에는 객실중앙부는 33dB, 대차상부에서는 42dB이다. 유리창의 경우 KTX는 30dB, KHST는 31dB를 나타내서 거의 차이가 없다. 따라서 KHST 차량의 경우 실내 음압

의 특성이 KTX와 비슷할 것으로 생각된다. 따라서 광음향기법으로 예측한 KHST 차량의 실내 소음 예측은 신빙성이 있는 것으로 생각된다. 음압 예측 결과를 살펴보면, 개활지 주행 시 객실중앙의 위치에서는 설계 목표치를 만족하지만, 대차상부의 위치에서는 설계목표치보다 약 3 dBA의 실내소음이 높게 예측이 된다. 터널내 주행시에는 객실중앙과 대차상부의 설계목표치에 만족한다.

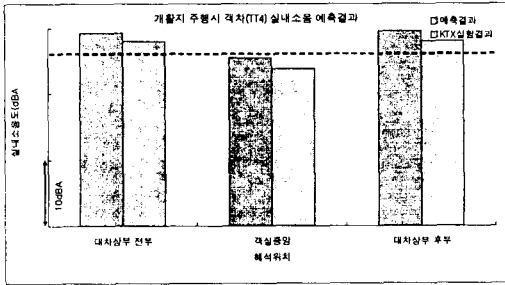


Fig. 3 Interior noise of TT4 and comparison experimental data of KTX on field running

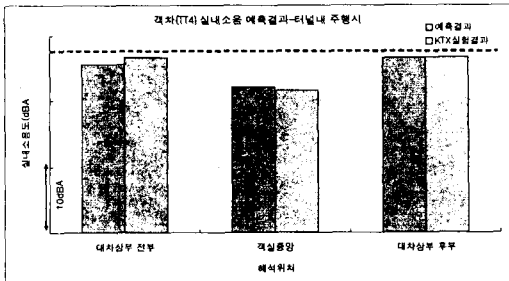


Fig. 4 Interior noise of TT4 and comparison experimental data of KTX inside tunnel running

(2) 객차 소음원의 기여도 해석 결과

객차(TT4)의 개활지 주행시 가장 큰 영향을 미치는 소음원은 공력소음이다. 공력소음의 실내소음 영향이 70%에 이른다. 그 다음 영향을 끼치는 소음원은 구름소음이고 에어컨의 실내소음 영향은 거의 없는 것을 알 수 있다. 이는 객차의 경우 공력소음과 구름 소음을 제외한 특별한 다른 소음원이 없기 때문이다. 소음원의 저감안 마련 관점에서 살펴볼 때 공력소음이나 구름소음은 저감할 수 있는 방안을 마련하기가 힘들다.

객차(TT4) 소음원의 민감도 해석-객실중앙

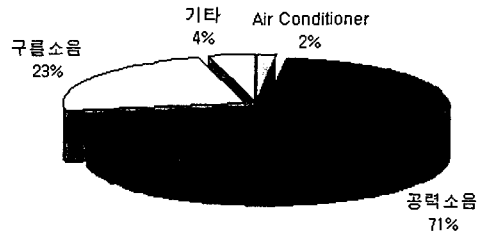


Fig. 5 Contribution analysis results by sound source of TT4

(3) 객차 부분별 투과손실값 민감도 해석결과

객차의 경우 소음원 규제에 의한 실내소음의 감소 효과를 얻을 수 없기 때문에, 벽면의 투과손실값 증가에 따른 실내소음 저감 효과를 살펴보아야 한다. 다음 결과는 객차 벽체의 부위별 투과손실값 증가에 따른 실내 공간에서의 음압의 민감도 해석을 수행하였다. 즉 투과손실값 1 dB 증가에 따른 해석 위치 세 군데에서의 실내 음압 값의 증가치를 계산하여 Table 3에 나타내었다. 이 결과를 살펴보면 제일 영향이 큰 부위는 창문인 것을 알 수 있다. 이것은 창문의 투과손실값이 벽면의 투과손실값에 비해 11dB의 차이가 나기 때문이다. 창문의 투과손실값을 7dB증가하면 대차상부의 실내소음을 만족 할 수 있다.

Table 3 Sensitivity results TL values of TT4 [dBA/dB]

해석부분	실내소음 감소량 (dBA)	해석부분	실내소음 감소량 (dBA)
천정재	0.14	파티션	0.01
측면재	0.15	측면창	0.45
바닥재	0.12		

(4) 350km/h 주행시 객차(TT4) 실내소음 해석

350km/h로 개활지를 주행하는 객차(TT4)의 실내소음의 크기는 300km/h의 경우보다 4 dBA의 증가한다. 이는 소음지수 $\alpha = 6$ 에 해당되는 소음의 증가량을 보여준다. 따라서 공력소음의 영향이 지배적임을 알 수 있다. 터널내 주행시도 4 dBA의 실내소음 증가를 예측할 수 있다.

3.3 동력차의 실내소음 예측 결과

(1) 동력차 개활지, 터널내 주행시의 실내소음 해석

한국형 고속철도의 동력차의 운전자 위치에서의 실내소음도를 해석하였다. 결과를 살펴보면 개활지의 경우에는 약 3dBA, 터널내에서는 4dBA의 설계 목표치에 비해 초과하게 된다.

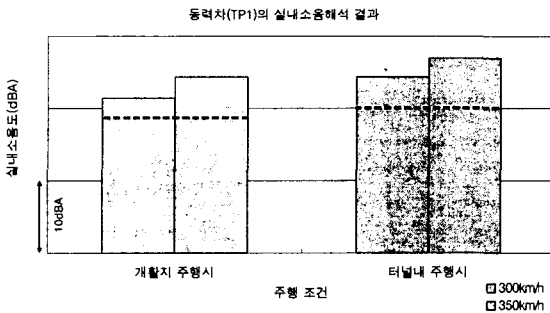


Fig. 6 Indoor noise level results of TP1

(2) 소음원의 기여도 해석 결과

동력차(TP1)에서 실내소음에 가장 큰 영향을 미치는 것은 공력소음이고 다음이 Reduction Unit, 다음이 Gear Box 등으로 기기소음 중에서는 차량 하부의 소음이 실내소음에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 기타 소음으로는 동력실에서 운전실로 파티션을 통해 투과해 들어오는 소음이다.

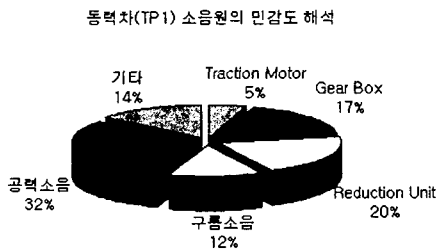


Fig. 7 Contribution analysis results by sound source of TP1

(3) Reduction Unit과 Gear Box의 음향파워 감소에 대한 실내소음 영향 해석

동력차(TP1)의 경우 현실적으로 소음원의 크기를 감소시킬 수 있는 Reduction Unit과 Gear Box

의 음향파워 감소에 따른 실내소음도를 살펴보면 Reduction Unit과 Gear Box의 음향파워를 모두 1dB씩 줄일 때 실내소음은 약 0.5 dBA 감소하였다. 따라서, Reduction Unit과 Gear Box의 음향파워를 7dB씩 감소시키면 실내소음 목표치를 만족할 수 있다.

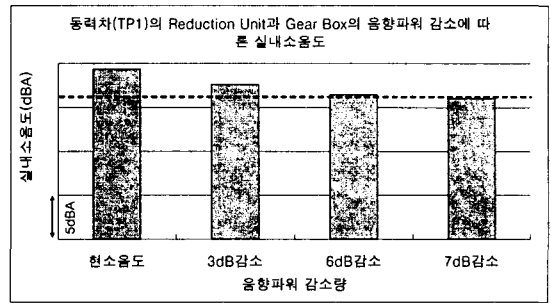


Fig. 8 Indoor noise results in case of Reduction Unit and Gear box noise reduction

(4) 동력차 부분별 투과손실값 민감도 해석

동력차 벽체의 부위의 투과손실값 증가에 따른 실내 공간에서의 음압의 민감도 해석을 수행하여 Table 4에 나타내었다. 이 결과를 살펴보면 제일 영향이 있는 벽면은 운전실과 동력실 사이의 파티션 부분인 것을 알 수 있다.

Table 4 Sensitivity results TL values of TP1 [dBA/dB]

해석부분	실내소음 감소량(dBA)	해석부분	실내소음 감소량(dBA)
천정재	0.3	파티션	0.5
측면재	0.2	전면창	0.1
바닥재	0.3	측면창	0.1

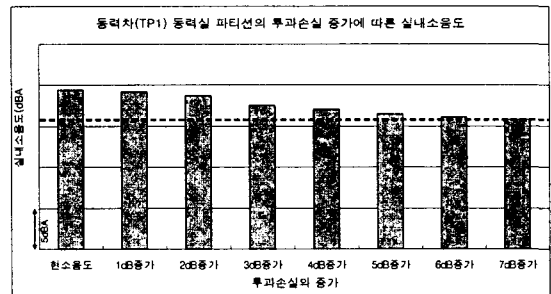


Fig. 9 Indoor SPL calculation by increasing TL value of partition.

동력차(TP1) 파티션의 투과손실값 증가에 따른 실내소음도를 살펴보면 파티션의 투과손실값 1 dB를 증가할 때마다 0.5 dBA의 실내소음 감소 효과를 볼 수 있다. 따라서 파티션의 투과손실값을 7 dB증가하면 원하는 실내소음의 크기를 가질 수 있다.

(5) 동력차 유리창을 이중창으로 바꾸었을 때의 실내소음도

동력차의 전면 창과 측면 창을 이중창으로 설계 시에 현 실내소음도 감소에 큰 영향을 미치지 못한다. 이는 바닥의 투과소음과 동력실의 기기소음의 측면과 바닥 파티션을 통한 소음이 큼을 알 수 있다.

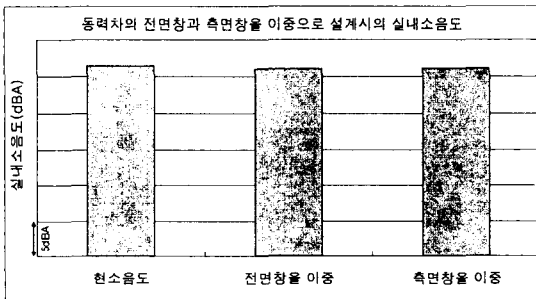


Fig. 10 Indoor SPL in case of double front window or double side window

(6) 350 km/h 주행시의 개활지의 실내소음도

동력차(TP1)의 350km/h 주행시의 실내소음도는 300 km/h 주행시보다 3 dBA의 실내소음 증가하게 된다. 동력차의 경우는 Traction Motor, Gear Box등의 하부의 소음원과 소음지수 $\alpha = 6$ 에 해당하는 벽면의 공력소음이 지배적으로 영향을 미친다. 터널내 주행시에는 4 dBA의 실내소음 증가한다.

3.4 동력객차의 실내소음 예측 결과

(1) 동력객차 개활지, 터널내 주행시의 실내소음 해석

동력객차의 경우에는 TM1, TM5 두 량의 동력객차가 있다. 이 중에서 TM5를 대상으로 실내소음 해석을 하였다. 개활지와 터널내 주행시의 실내소음도를 살펴보면 개활지 주행시는 설계 목표치보다는 2~4 dBA, 터널 주행시에는 6 dBA 높게 나

오는 것을 알 수 있다.

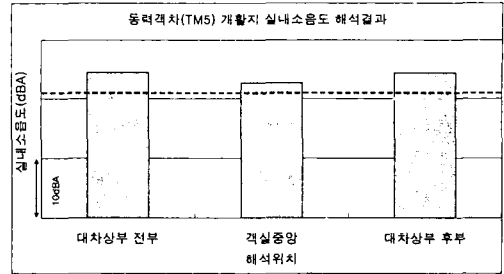


Fig. 11 Indoor SPL of TM5 on field running

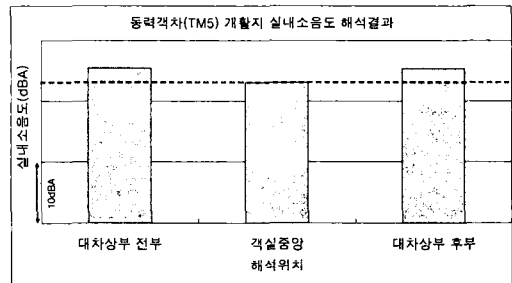


Fig. 12 Indoor SPL of TM5 inside tunnel running

(2) 소음원의 기여도 해석

동력객차의 각 주요 소음원이 객실 내의 실내소음에 영향에 대해서 예측해 보았다. 동력객차(TM5)의 경우에 실내소음에 영향을 미치는 소음원의 구체적 수치는 조금씩 차이가 있지만, 대략적으로 공력소음, 구름소음, Reduction Unit, Gear Box등의 순서로 영향을 끼침을 알 수 있다.

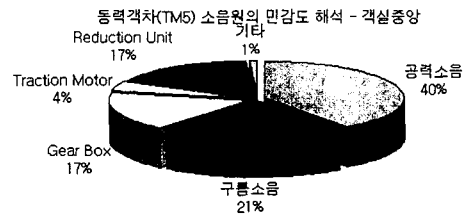


Fig. 13 Contribution analysis results by sound source of TM5

(3) 동력객차 부분별 투과손실값 민감도 해석

객차 벽체의 부위의 투과손실값 증가에 따른 실내 공간에서의 음압의 민감도 해석을 수행결과는 측면창의 영향이 가장 크고 다음으로는 바닥재의 영향이 큼을 알 수 있다.

Table 5 Sensitivity results TL values of TM5 [dBA/dB]

해석부분	실내소음 감소량 (dBA)	해석부분	실내소음 감소량 (dBA)
천정재	0.03	파티션	0
측면재	0.1	측면창	0.5
바닥재	0.27		

결과를 살펴보면 제일 영향이 있는 벽면은 창문이다. 이는 유리창의 투과손실값이 벽면의 투과손실값보다 11dBA 작음에 기인하여 소음에 취약함을 알 수 있다.

(4) 창문의 투과손실값 증가에 따른 실내소음도 변화

창문의 투과손실값을 변화시키면서 실내소음도의 변화를 살펴보면, 목표치인 실내소음도를 만족시키기 위해서는 창문의 투과손실값이 최대 10 dB 까지 증가해야 목표치의 실내소음도를 만족시킬 수 있다.

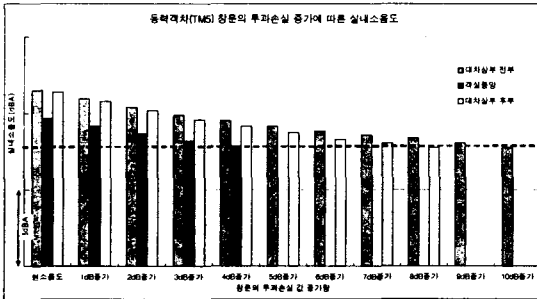


Fig. 14 Indoor SPL by increasing transmission loss of window

(5) 동력객차 350km/h 주행시의 실내소음 해석

300km/h 주행시와 비교하면 전체적으로 약 3.5dBA에서 4dBA 정도의 증가를 볼 수 있다. 이것은 소음지수 $\alpha = 6$ 인 공력소음에 의한 영향이 지배적임을 알 수 있다. 터널내 주행시도 개활지 주행과 마찬가지로 4 ~ 5 dBA 정도의 실내소음이 증가된다.

4. 결론

본 논문에서는 한국형 고속철도의 동력차, 동력객차, 객차의 실내소음 해석을 하였다. 이 실내소음 해석 결과로 각 열차별로 실내소음 저감을 위한 소음원의 기여도 해석과 투과손실값에 대한 민감도 해석을 통하여, 동력차의 경우에는 소음원과 투과손실값에 따른 실내소음의 저감과 동력객차와 객차의 경우에는 투과손실값에 따른 실내소음도를 예측함으로써 한국형 고속철도의 실내소음 저감 기법을 제시하였다.

후 기

본 연구는 2000년도 건설교통부/과학기술부/산업자원부가 지원하는 “고속전철기술개발사업”의 일환으로 수행된 위탁연구결과의 일부이다.

참 고 문 헌

- (1) 김정태, 전형욱, 1998, “철도차량의 내부소음 예측에 관한 연구”, 춘계학술발표회 논문집, 한국철학회 pp 241-248
- (2) 이우식, 박철화, 1998, “고속철도 진동소음해석 및 저감 기술개발: G7 과제개요 및 연구방향”, 한국철도학회, pp. 221-232
- (3) 김관주, 양윤석, 1999, “한국형 고속전철의 진동소음 예측에 관한 연구” 추계학술대회, 한국소음진동공학회, pp. 87-94
- (4) 김정태, 전현태, 1999, “철도차량의 소음도 예측: 경계요소법과 광음향기법의 상호보완” 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 495-502
- (5) 김석현, 박정철, 김종년, 2000, 10(4), “철도차량용 알미늄 압출재의 투과손실”, 한국소음진동공학회, pp. 662-668
- (6) 한국철도차량(주) 제공자료
- (7) 한국생산기술연구원 제공자료
- (8) 대우캐리어주식회사 제공자료
- (9) Bombardier Transportation, DWA-IFS, 1999, Korean High Speed Train: Final Report”, Report No. Technical Library 2.99.52
- (10) Pelton, H. k., 1993, Noise control management, Van Nostrand Reinhold, N.Y.