

# 광음향기법을 이용한 한국형 고속전철의 실내소음 예측

## Interior noise prediction of the high speed train using ray method

김 관 주\*\*      박 진 규\*  
Kim, Kwanju    Park, Jinkyu

---

### Abstracts

This study is about predicting the interior pressure level of the Korean high speed train using ray acoustic method. The motor car and the motor and passenger cabin are investigated under the environment of passing open countryside and inside tunnel of 350 km/hr. Calculated sound levels are compared with the proposed sound levels and suggestions about the transmission loss values of isolating panels inside motor car and the guide lines of allowed sound power limit of motor equipments are provided.

Results of TP1 car show calculated interior sound level is below the proposed values for both cases of open countryside running and inside tunnel. Since ray acoustic method calculated only air borne noise component, real sound level of the motor car may be higher than prediction. Passenger cabins of TM1, TM5 show higher sound level than the proposed values, so window method was carried out to find the contribution of each panel components and point out the remedy of transmission path. Reduction of sound power of motor equipments should be considered at the same time.

---

### 1. 서론

본 논문에서는 한국형 고속전철이 350km/h로 주행하는 경우, 동력차의 운전실 및 동력객차내의 실내소음 크기를 주행 환경 조건별로, 즉 개구간, 터널 구간, 방음벽 구간 주행시로 구분하여 계산하였다. 계산 방법은 철도차량의 크기와 관심주파수대역을 고려하여 광음향기법을 이용하였다. 계산된 실내소음의 크기를 설계목표치와 비교하여, 이를 근거로 동력차 및 동력객차 차음벽의 투과손실값 및 관련 기기부품의 소음 크기 제시안 등에 필요한 설계지원의 기초자료를 마련하고자 한다.

실내 음압 해석은 개구간 및 터널구간을 주행하는 동력차 TP1과 동력객차 TM1 및 TM5 차실을 강제조건과 흡음조건에 대하여 수행하였다. 기기부품의 실내소음의 기여도를 살펴보

---

\*\* 홍익대학교, 정회원.

\* 홍익대학교, 석사과정

기 위해서 상대적으로 소음의 크기가 큰 특정부품을 선정, 실내소음 기여도에 대한 민감도 해석을 하였다. 또한 동력객차 TM1과 TM5의 실내소음 크기를 상대적으로 비교하여 차음벽의 설계기준치를 마련하였다. 본 철도차량에서의 소음원으로는 공력소음, 기기부품, 전동소음을 고려하였다. 음압레벨은 주어진 데이터의 한계로 말미암아 Overall 값을 1 kHz 대역으로 대표된다고 가정하여 계산을 수행하였다.

## 2. 철도차량의 실내음압 해석 개요

일반적으로 진동·소음문제는 소음원, 전달계, 반응계의 순서로 문제를 풀게된다. 이러한 순서를 기반으로 작성된 철도차량 소음 예측 흐름도는 Fig 1과 같다. 철도차량의 소음원은 공력기인 난류소음, 차륜-레일 접촉기인 전동소음, 동력부품기인 발생 소음으로 분류할 수 있다. 여기서 공력기인 난류소음으로는 판토타그래프 소음, 루베(louvre) 소음, 창/창문/차량간 간극소음<sup>18)</sup> 등이 있다. 차륜-레일접촉 기인 발생소음은 레일 위를 구르는 바퀴가 만드는 소음이며, 동력부품기인 발생소음은 전동차 냉각팬 소음, 모터 소음, 공조장치 소음, 객차내 장치소음 등이 있다.

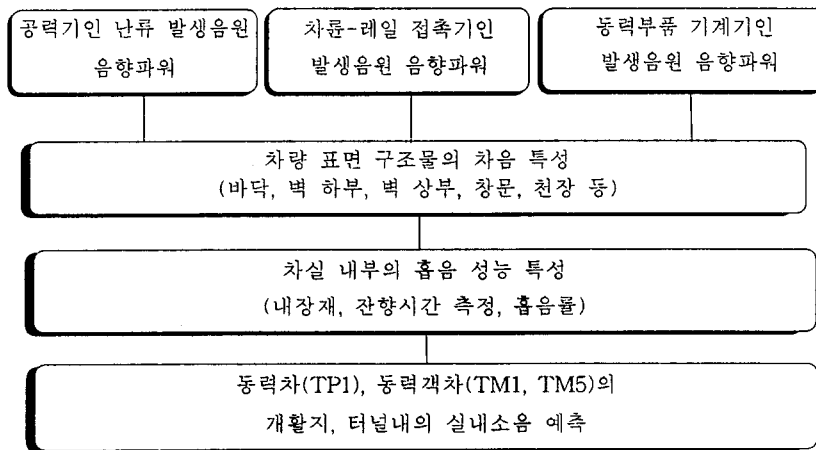


Fig. 1 Flow chart of the train noise prediction analysis

일반적으로 고속전철 소음의 크기와 주행속도와의 관계는 다음과 같이 나타낸다.

$$SPL(dB)|_{\text{주행속도 } v} = SPL(dB)|_{\text{기준주행속도 } v_0} + 10\text{Log}(v/v_0)^a \dots \dots (식 1)$$

공력 소음원의 크기는 관련 논문의 수치를 적용하였다. 즉 공력 소음원의 위치는 TGV-A의 외부 소음분포<sup>10)</sup>를 참조하였다. TGV-A의 외부 소음분포의 경우, 동력차의 앞 부분, 동력객차의 동력실 부분, 그리고 차량 이음부의 벽면에 공력소음이 발생하는 것을 알 수 있다. 소음의 크기는 차량모델 외부벽면의 1 m<sup>2</sup>당 102.7dB을 고려<sup>3)</sup>하여 해석하였다. 다른 소음원의 제원을 Table 1, Table 2에 나타내었다.

Table 1 Noise sources of the KHST<sup>12)</sup>

소음원의 종류	수량	TP1	TM1	TT2	TT3	TT4	TM5	TP2
Axles	20	4	3	2	2	2	3	4
Gear Boxes	12	4	2				2	4
Motor Vent. Grid	12	4	2				2	4
Motor Vent. Fan	6	2	1				1	2
Pantograph(Aero.)	2	1						1
Bogie (Aero.)	10	2	1.5	1	1	1	1.5	2
Air Conditioning	5		1	1	1	1	1	
Traction Motor	12	4	2				2	4
Traction Transformer	3	1					1	1
여압장치	5		1	1	1	1	1	

Table 2 Noise sources for KHST<sup>2)3)4)11)</sup> [단위: dB(A)]

소음원 대분류 ( $\alpha$ : 소음지수)	소음원 소분류	TGV-K	KHST
		300km/h	350km/h
기계소음 ( $\alpha=1$ )	Gear Box	123(PWL)	125(PWL)
	Traction Motor	125(PWL)	127(PWL)
	Motor Block	90(PWL)	92(PWL)
	Fan	122(PWL)	123(PWL)
엔진소음 : 2 dB	Ventilation Grid	115(PWL)	116(PWL)
	Traction Trans.	100(PWL)	101(PWL)
	여압장치	-	108(PWL)
	Air Conditioner	94(PWL)	87(PWL)
구름소음 ( $\alpha=3$ )	창문	86(SPL)	88(SPL)
	바닥	97(SPL)	99(SPL)
공력소음 ( $\alpha=6$ )	Pantograph( $\alpha=7$ )	127(PWL)	133.7(PWL)
	Bogie	111(PWL)	115(PWL)
	공력소음(창문)	95.2(SPL)	99.2(SPL)
구름소음 ( $\alpha=3$ )	창문	86(SPL)	88(SPL)
	바닥	97(SPL)	99(SPL)
실내소음 (airborne noise)	여압장치 실내소음	-	95/115(PWL)
	공조기 실내소음	55(SPL)	55(SPL)

Table 3 Transmission loss and the absorption of KHST<sup>5)</sup> (단위: dB)

구 분	물성치	적용값
객실 천정	TL	STC 45
객실 측면(벽)	TL	STC 47
객실 유리창	TL	STC 36
객실 상부	TL	STC 47
부속실 상부	TL	STC 52
부속실 측면(벽)	TL	STC 38
동력차 차음 벽	TL	STC 43
동력차 바닥재	TL	STC 57
의 자	흡음률	0.91

차량 표면 구조물의 차음특성은 Table 3 에 나타내었다. 이때 적용값인 STC는 다음과 같은 식을 이용하여 보정하였다.

$$TL = STC값 + 3 \text{ dB (1kHz보정)} - 5 \text{ dB (실험값과 실제 적용값의 보정)} \dots \text{(식 2)}$$

위 식을 이용한 TL값을 해당부위에 적용시켜 1kHz의 실내소음도를 예측하였다.

### 3. 동력차와 동력객차의 실내소음 예측

#### (1) 동력차(TP1)에 대한 실내소음 예측

동력차의 실내소음 해석을 350km/h 속도로 개활지와 터널 주행시에 대해 수행하였다. 음압레벨은 Overall 값을 1 kHz 대역이 대표한다고 가정하여 계산을 수행하였다. 해석은 상용 광음향기법 프로그램인 RAYNOISE를 사용하였다. 동력차 실내음압 해석시의 가정은 다음과 같다.

- 동력차 운전실 실내공간을 모델링
- 전두부 생략.
- 그릴을 포함한 동력차 기기실 벽면은 생략
- 벽면 공력소음의 PWL 크기는 1m<sup>2</sup>당 102.7 dB
- 모든 소음원은 점음원으로 가정
- 동력차 격벽의 투과손실 값(TL)은 설계목표치인 57 dB로 해석

실내소음의 계산치는 열차 상부 1.2 m 지점의 음압을 평균하였다. 개활지와 터널내에 대한 동력차의 실내소음은 Fig. 2 에 나타내고 있다. 실제 실내소음 목표치와 비교하여 약 1 - 2 dB적게 나오는 것을 알 수 있으나, 이 경우 공기 전달 음만을 고려하였으므로 실제 실내소음의 크기는 이보다 크게 나올 것으로 예상된다. 터널내 주행시 개활지 주행보다 5dB 증가함을 알 수 있다. 일반적인 경험식에서는 7 dB증가 한다고 계산한다. 민감도 해석은 음원의 크기를 줄일 수 있는 기기부품에 한하여 실시하였는데 각 부품당 소음의 크기를 -3 dB 씩 줄여서 해석을 수행하였다. 대상 부품은 Traction Motor, Gear Box, Motor Ventilation Fan을 고려하여 해석하였다. 해석 결과는 Table 4 에 정리하였다.

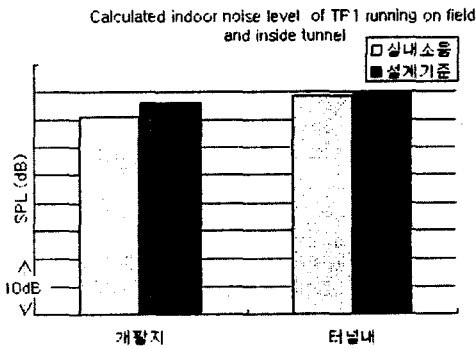


Fig. 4 Calculated indoor noise level of TP1 running on field and inside tunnel

Table 4 Summary of sensitivity analysis results

구분	실내소음	비고
reducing traction motor noise	-1.3 dB	개활지에서의 해석
reducing gear box noise	-0.6 dB	
reducing motor vent. fan noise	-0.2 dB	
reducing all three of above	<u>-2.2 dB</u>	

#### (2) 동력객차 TM1에 대한 실내소음 예측

동력객차 TM1은 350km/h 속도로 개활지와 터널내 주행시<sup>6)</sup>에 대한 실내소음을 해석하

였다. 그에 대한 가정은 다음과 같다.

- 실내 음향 공간만을 모델링
- 벽면 공력소음은  $1m^2$ 당 102.7dB
- TM1 해석결과를 객실의 중앙과 양 끝부분 4위치에 대해서 계산
- 모든 소음원은 점음원으로 가정
- 터널 주행시 단독운행으로 해석

실내소음도의 계산위치는 열차 상부 1.2m 지점의 음압을 평균한 값이며, 해석결과를 살펴 보면 동력실의 기기소음이 실내소음에 다른 소음원에 비해서 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 터널주행시도 개활지 주행시와 마찬가지로 동력실과 가까운 곳의 실내소음이 반대쪽보다 크다는 것을 알 수 있다. 해석시 위치 1은 동력실 방향, 위치 2는 객실중앙, 위치 3은 동력실 반대, 위치 4는 대차상부를 의미한다.

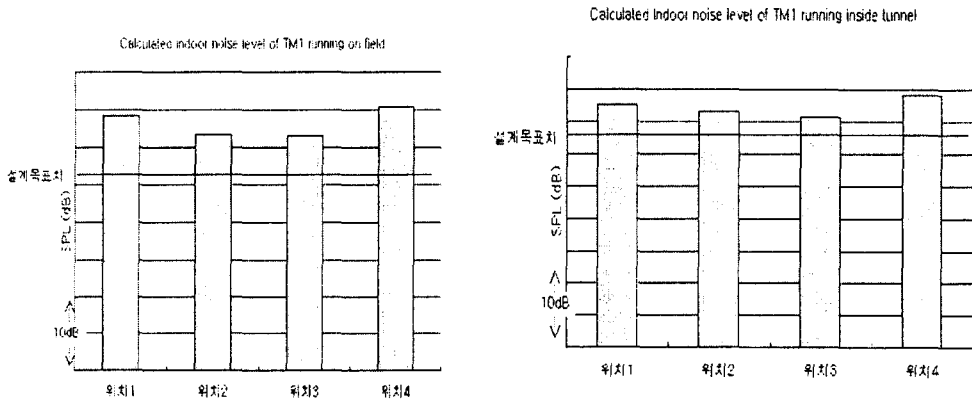


Fig 5 Calculated Indoor noise level of TM1 running on field and inside tunnel (단위: dB)

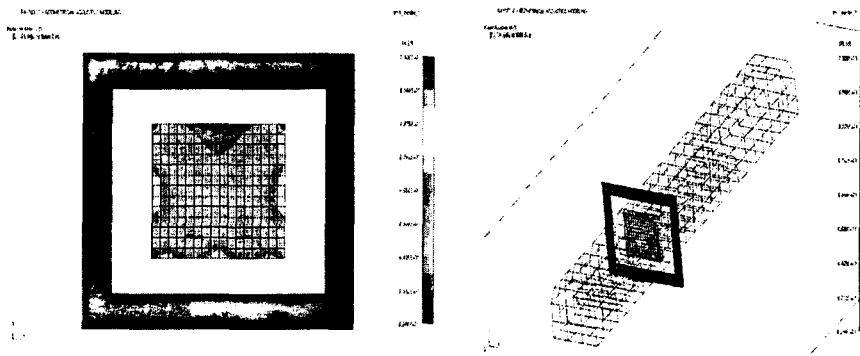


Fig. 6 Indoor noise distribution of TM1 at location 2

### (3) 동력객차 TM5에 대한 실내소음 예측

동력객차 TM5에 대한 실내소음해석은 350km/h의 속도로 개활지와 터널 주행시에 대해 해석하였다. 음압계산은 동력객차 TM1과 마찬가지로 네 위치에서 계산하였다. 해석결과를 보면 동력객차 TM1과 비슷한 이유로 동력실과 가까운 위치가 반대쪽인 위치보다 2.1 dB 증가함을 알 수 있다. 터널내의 실내소음도 동력실에 가까울수록 실내소음이 큰 것을 알 수 있다. 동력객차 TM1과 비교하는 경우 동력객차 TM5의 실내소음이 비슷함을 알 수 있다.

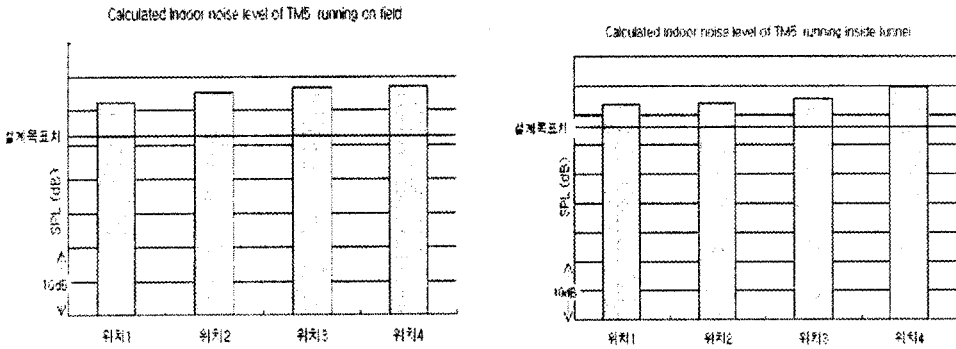


Fig 7 Calculated indoor noise level of TM5 running on field and inside tunnel

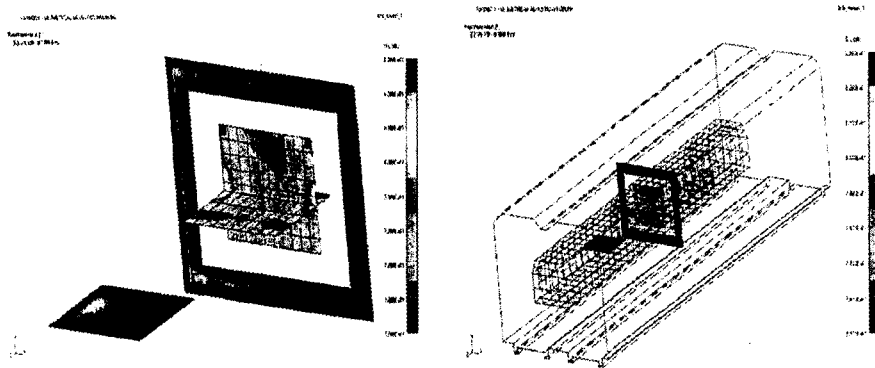


Fig. 8 Indoor noise distribution of TM5 at location 4

### (4) 방음벽 구간내의 실내소음

방음벽의 구간에서의 실내소음은 개활지의 실내소음과는 큰 차이가 없었다. 동력객차 TM5의 위치 4(대차상부)의 경우를 방음벽의 흡음률을 1kHz의 경우 0.86을 적용하여 해석해 보았을 때, 실내소음은 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다. 방음벽의 효과는 실내소음을 줄여주기 위함이 아니라 외부 전파소음 저감이 목적이기 때문이다.

(5) Window Method를 이용한 각 부위별 소음원의 영향

고속철도의 동력객차의 각 부위별로 소음원으로 인하여 미치는 영향에 대해 조사하기 위해서 window method를 이용하였다. 즉 해당부위의 실내소음도의 영향을 살펴보았다. 결과를 보면 창문과 격벽의 영향이 각각 34%와 33%로 다른 부위에 비해 높음을 알 수 있다.

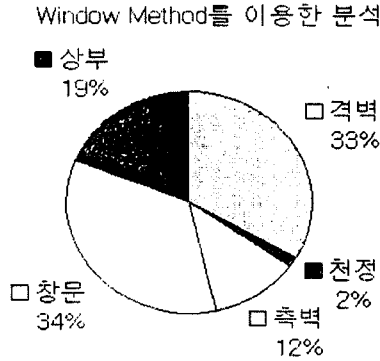


Fig. 10 contribution results shown by pie chart

4. 결론 및 고찰

본 논문에서는 개발중인 한국형 고속철도의 350km/h로 개활지와 터널내 주행시 동력차와 동력객차의 실내소음을 예측하는 연구를 수행하였다.

본 해석을 수행하면서 도출된 항목을 정리하면 다음과 같다.

- 본 연구는 광음향 기법으로 실내소음을 예측하였다. 이는 공기 전달음만을 고려하였기에 실제 차량의 경우 소음의 크기는 예측치보다 더욱 크게 나올 가능성이 많다. EK라서 고체 전달음에 대한 보정값을 적용하는 방법의 고려가 필요하다.
- 동력차 TP1의 경우 전두부 및 판토그래프 공력소음과 운전실 하부에 직접적으로 소음원이 위치해 있으므로 동력객차보다 실내소음의 크기가 높음을 알 수 있다. 그리고 민감도 해석결과 소음이 상대적으로 큰 부품의 소음의 크기를 전부 반으로 감소하는 경우는 2.2 dB의 실내소음을 저감할 수 있음을 알 수 있다.
- 동력차의 격벽의 투과손실 설계목표 값은 57 dB이지만 계산된 자료의 STC값을 보면 STC 43 dB이다. STC 43 dB로 계산해 본 결과 설계 목표치를 초과하게 된다. 그리고 터널내 주행시도 설계 목표치를 초과하게 된다. 이를 줄이기 위해서 격벽, 측벽의 투과손실 값 증가와 소음원의 크기 규제가 필요할 것이다.
- 동력객차 TM5의 경우 개활지에서의 동력실 부근과 대차상부의 실내소음은 동력실 반대와 2 ~ 3 dB의 차이가 나는 것을 알 수 있고, 실내소음 목표치를 초과함을 알 수 있었다.

터널주행시도 개활지와 마찬가지로 동력실 쪽이 다른 위치보다 2 ~ 3 dB의 차이가 나는 것을 알 수 있고, 실내소음 목표치를 초과함을 알 수 있다.

● 방음벽 구간을 주행시는 방음벽이 외부소음의 저감 효과를 주지만 실내소음에는 영향이 없음을 알 수 있다.

● 동력객차 TM5 와 동력객차 TM1을 비교해 보면 개활지 주행시와 터널 주행시 비슷한 실내소음이 예측되었다. 동력객차의 실내 소음을 줄이기 위해서는 전체적인 투과손실 값(TL)을 4~6 dB를 증가시킨다면 설계 목표치를 만족시킬 수 있을 것으로 생각된다.

● Window방법에 의하면 실내소음에 가장 큰 영향을 미치는 격벽과 창문의 투과손실 값(TL) 증가는 실내소음을 효과적으로 줄일 수 있다.

● 소음원의 측면에서 볼 때 공력소음, 모터 팬, 여압 장치, 에어컨등이 실내소음에 가장 큰 영향을 미치므로 여압 장치와 모터 팬의 소음원 크기 감소로도 실내소음의 저감을 얻을 수 있다. 동력차의 경우도 기기소음을 절감함으로써 설계목표치에 만족할 수 있는 실내소음을 얻을 수 있고, 격벽의 투과손실 값(TL)을 설계 목표치에 가깝게 설계함으로써 동력차의 실내소음 설계목표치를 만족할 수 있다.

#### 참고문헌

- 1) 이우식, 박철희, 1998, "고속전철 진동소음해석 및 저감기술개발 : G7과제 개요 및 연구방향", 한국철도학회, pp. 221 - 232
- 2) BOMBARDIER, 1999 "Korean High Speed Train: Technical Library 2.99.52."
- 3) 이동호, 황재호, 2000, "고속전철 표면공력소음 Level검토", 서울대 G7과제 보고서
- 4) 정경렬, 김상헌, Christian Hoffman, 2000, "한국형 고속전철의 실내외 소음설계 검토 한국소음진동공학회 VOL.10, pp.636-641"
- 5) 김정태, 전형욱, 1998, "철도차량의 내부소음 예측에 관한 연구, 한국철도학회 춘계논문집 pp.241-248"
- 6) 김정태, 전현태, 1999, "터널을 주행하는 철도차량의 실내 소음 예측 연구 한국철도학회 춘계논문집"
- 7) 김관주, 양윤석, 1999, "한국형 고속전철의 진동소음 예측에 관한 연구 10집, 과학기술연구논문집, pp.661-667"
- 8) Y. Moritoh, Y. Zenda, K. Nagakura, 1996, "Noise Control of High Speed Shinkansen"
- 9) 한국생산기술연구원, 1999, "한국형 고속전철 시제차량 기본사양"
- 10) Pallas, M. A., Schmitz, K. P., Barsikow, B., Fodiman, P., and Holzl, G. (1994), "DEUFRAKO: Localized Sound Sources on the High-Speed Vehicles ICE, TGV-A, and TR07," WCRR'94, Paris, pp. 377-383.
- 11) Barsikow, B. and Muller, B., 1993, "Relevant Sound Sources Generated by the High-Speed Railway Train ICE of the Deutsche Bundesbahn and How They Are Accounted for in Model Calculation of Wayside Noise Prediction," Proc. International Conference on Speedup Technology for Railway and Maglev Vehicles, Yokohama, Japan, pp. 49-54.