

상용속도 200km/h 의 한진고속열차 객실 내 소음 예측

이 용 주*

CABIN INSIDE NOISE LEVEL ESTIMATE OF HANJIN HIGH SPEED TRAIN WITH RUNNING SPEED 200 km/h

Yongjoo Lee

ABSTRACT

한진 중공업은 상용 운행 속도 200 km/h로 중국 광주-형양간 운행을 목적으로 하는 고속 열차를 개발하여 제작을 완료하였다. 중국 철도부 측에서는 한진 고속 열차의 객실 내 소음 수준이 운행 최고 속도에서 65 dBA 이하 이도록 요구하였으며, 당 연구소에서는 외부 소음 원을 가정하여 다양한 실험 및 해석을 통하여 객실 내 소음 수준을 예측하여 이를 설계에 반영토록 하였다.

1. 서론

한진 중공업에서는 중국 광주-형양간을 상업 운행하는 고속 열차 5 차종을 개발하여 제작하였다. 한진 고속 열차는 1 등차, 2 등차, 2 등 방송차, 식당차, 발전차로 구성되어 있으며, 최고 속도 200km/h로 운행하게 된다. 중국 철도부에서는 1 등차, 2 등차, 2 등 방송차 객실 내 소음 수준이 운행 최고 속도에서 65dB(A) 이하일 것을 요구하였으며, 아울러, 식당차 68dB(A) 이하, 발전차 승무원실 75dB(A) 이하, 제어실 80dB(A) 이하일 것을 요구하였다⁽¹⁾. 각 차량의 개념도 및 측정 점을 Fig. 1에 수록하였다.

설계 초기 단계에서 한진 고속 열차의 소음 원에 대하여 측정된 자료가 없었으며, 중국측으로부터 요구되거나 제시된 사양도 없었기 때문에, 당 연구소에서는 운행 최고 속도에서 Wheel/Rail 소음

및 공력 소음의 수준을 각각 100dB(A)와 95dB(A)로 가정하였다. 한진 고속 열차 소음 원의 수준은 82dB(A)의 Wheel/Rail 소음 및 77dB(A)의 공력 소음을 지니는 독일 ICE의 그것에 비하여 약 15dB(A) 정도 높게 가정된 것이다.

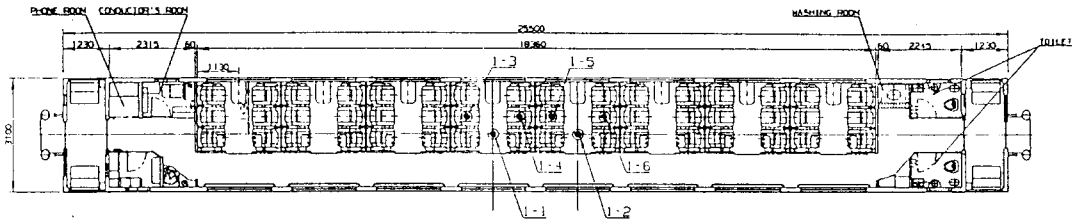
다층 구조물에 대한 총 소음 투과 손실은 일반적으로 최적의 흡음 및 차음 재를 선택하기 위하여 사용되고 있으며, 고속 열차 설계 시에는 외부 소음 원으로부터 객실 내 소음 수준을 예측하는데 적용된다⁽²⁾. 고속 열차 각 부위의 소음 투과 손실은 잔향실 및 무향실간의 시편 시험을 통하여 결정된다.

측정된 투과 손실 및 해석 결과로부터 한진 고속 열차의 객실 내 소음 수준을 예측하는 것이 가능하며, 계산된 결과는 운행 최대 속도에서 63.7dB(A)로 중국 철도부의 요구 수준인 65dB(A)에 비하여 상당히 낮은 값을 얻었다.

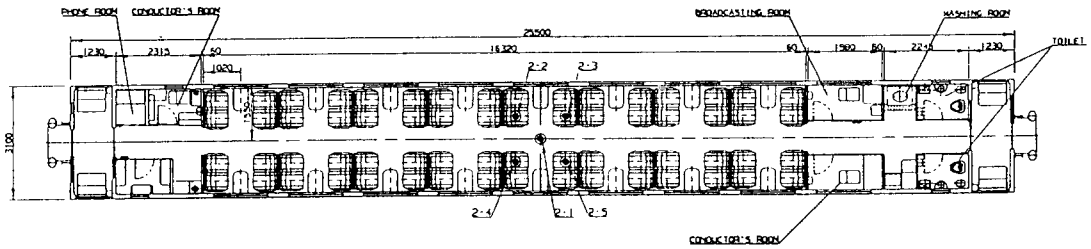
2. 소음 투과 손실 시험

고속 열차의 구체는 측면, 지붕, 끝 단, 마루 4

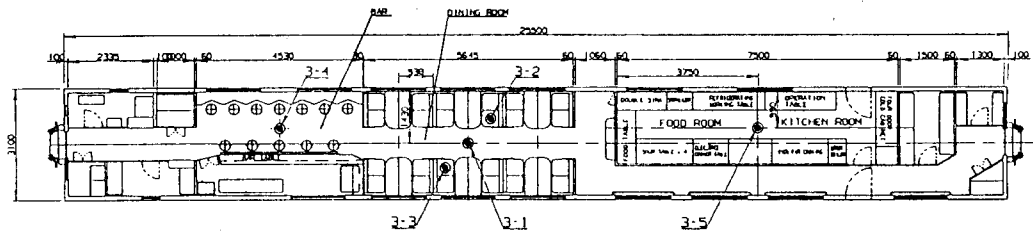
*한진 중공업 차량 연구소



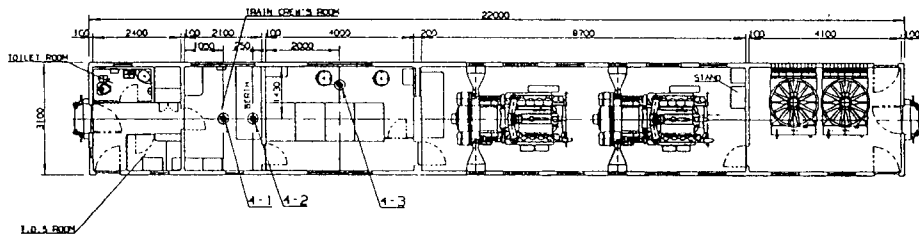
(a) First class car



(b) Second class car with broadcasting rooms



(c) Dining car



(d) Power generating car

Fig. 1 Drawings of high speed passenger coaches with the arrangements of microphone.

가지의 주요 구조로 이루어져 있으며, 이에 따라, 소음 투과 손실 측정을 위하여 4개의 시편이 제작되었다. 각 시편의 크기는 1200 × 850 mm로 동일하며 두께는 설계된 구조물의 두께에 따라 제작되었다. 측면 구조물에 대한 시편의 도면은 Fig. 2에 나타나 있다.

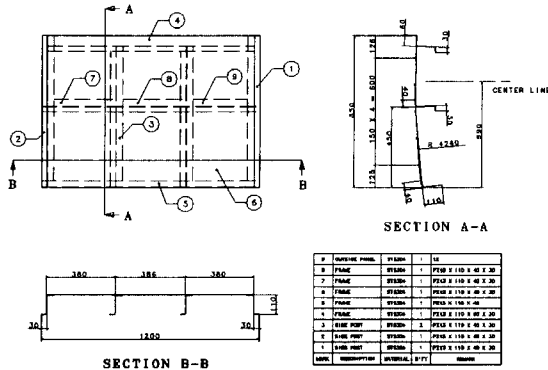


Fig. 2 Drawing of specimen of side panel for the test of noise transmission loss

소음 투과 손실은 음원실과 수용실의 평균 음압 수준으로부터 계산되며, 시험실의 체적과 시편의 면적으로부터 계산되는 보정 계수를 도입하여야 한다⁽³⁾. DIN 52210 PART 4에 의하여 측정된 결과로부터 가중 투과 손실, R_w 를 구할 수 있으며 이를 총 투과 손실로 규정한다. 구체 측면에 유리섬유를 차음 재료 적용하였을 때 얻어지는 투과 손실 측정 결과, 기준 곡선 및 가중 투과 손실, R_w 등을 Fig. 4에 나타내었다.

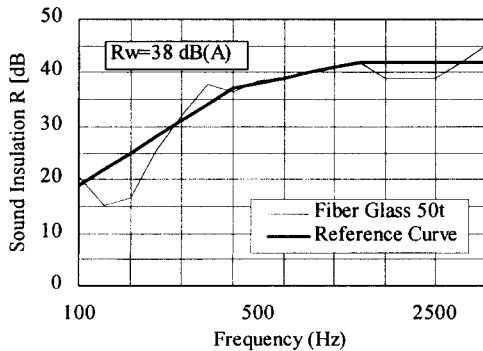


Fig. 3 Test results of transmission loss of side panel by using Fiber Glass 50 t

소음 투과 손실은 Polyethylene Form 이나 유리섬유와 같은 재질을 다양하게 바꾸어 가며 수행되었으며, 측면 구조물에 적용하였을 때의 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

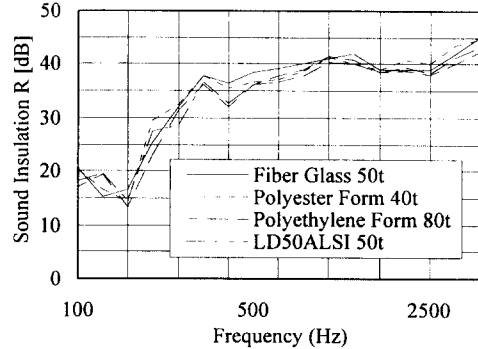


Fig. 4 Test results of transmission loss of side panel

측정된 결과를 비교한 결과 유리섬유가 한진 고속 열차에 가장 적합한 재질로 판정되었으며, 유리섬유를 적용하였을 때 얻어지는 각 부위의 가중 투과 손실 R_w 를 Table 1에 수록하였다. 일반적으로 수송기계에서는 화재의 위험성을 고려하여 설계하여야 하기 때문에 화재의 위험성이 큰 고분자 화합물로 구성된 재질은 불가피한 경우를 제외하고는 그 적용을 피하여야 한다.

Table 1 Weighted transmission losses of car body structures

	Weighted transmission loss, R_w
Underframe	41 dB
Side panel	38 dB
End panel	39 dB
Roof panel	38 dB
Side window	31 dB

구체 측면의 총 투과 손실 TL은 Side Panel과 Side Window의 가중 투과 손실 R_w 로부터 다음과 같이 계산된다.

$$TL = 10 \log \frac{1}{\bar{\tau}} \quad (1)$$

여기서,

$$\bar{\tau} = \frac{\sum S_i \tau_i}{S}, \quad \tau_i = 10^{-\frac{TL_i}{10}} \quad (2)$$

로 주어진다. τ 와 S 는 각각 투과 손실 계수와 면적을 나타낸다. 계산된 구체 측면의 총 투과 손실 TL 은 36dB(A)이다.

3. 한진 고속 열차의 소음 원 및 외부 소음

한진 고속 열차의 소음 원에 대하여 중국측으로부터 제시되거나 요구된 자료가 없었으며, 또한, 설계 초기 단계에서 이를 측정한다는 것 자체가 불가능한 일이므로, 당 연구소에서는 각국의 고속 열차의 소음 원을 비교하여 운행 최고 속도 200km/h에서의 소음 원을 가정하였다. 독일의 ICE와 이태리의 ETR500 고속 열차의 경우, 독일 ICE의 Wheel/Rail 소음과 공력 소음은 200km/h 속도에서 각각 82dB(A)와 77dB(A)이며, 이태리 ETR500의 외부 소음 원의 소음 수준은 300km/h 속도에서 100dB(A) ~ 110dB(A)이다. 따라서, 한진 고속 열차 소음 원의 수준을 충분히 높게 가정하여 Wheel/Rail 소음과 공력 소음을 각각 100dB(A)와 95dB(A)로 가정하였다. 비록, 이와 같이 높은 외부 소음 수준으로부터 객실 내 소음 수준을 65dB(A) 이하로 유지하도록 차체를 설계하는 것이 어려운 작업이지만, 중국 현지 레일의 상태가 이태리와 독일 등 여타 선진 각국의 레일에 비하여 나쁠 것으로 판단되기 때문에 위와 같이 높은 외부 소음 원을 가정하여 한진 고속 열차의 소음 설계를 수행하였다.

구체의 소음 설계를 수행하기 위해서는 소음 원에 대한 자료 외에 외부 소음과 실내 흡음에 의한 소음 감소량에 대한 정확한 정보가 필요하다. 그러나, 차량이 제작되기 이전에 실험에 의하여 이를 얻을 수 있는 방법이 없다. 따라서, 이들에 대

Table 2 Exterior noise levels of each part of car body

Section	SPL of external noise
Underframe	100 dB(A)
Side panel	95 dB(A)
End panel	95 dB(A)
Roof panel	95 dB(A)

한 정보를 얻는 것 역시 소음 원에 대한 정보를 얻는 것 만큼이나 어려운 작업이다. 설계 초기 단계에서 Table 2에서와 같이 마루 구조의 외부 소음을 100dB(A)로, 구 밖의 외부 소음을 95dB(A)로 가정하였다. 이들 수치는 외부 소음 원의 소음 수준과 같은 것으로 일반적인 경우 외부 소음은 소음 원의 소음 수준에 비하여 낮은 값을 지닌다.

외부 소음 수준은 각각 2-D⁽⁴⁾와 3-D⁽⁵⁾ 모델에 대한 해석을 통하여 계산될 수 있다. Wheel/Rail 소음 원을 원통형 소음원으로 가정하여 NIT사의 SYSNOISE를 이용하여 BEM으로 2-D 해석을 수행하였으며, 3-D 해석의 경우에는 동사의 RAYNOISE에서 제공하는 CONICAL BEAM METHOD를 이용하여 객실 내 소음 수준을 해석하였다⁽⁶⁾. Fig. 5는 RAYNOISE 해석을 위해 격자로 구성된 식당차의 3-D 모델이며, Fig. 6는 이 3-D 모델로부터 계산된 외부 소음 수준이다.

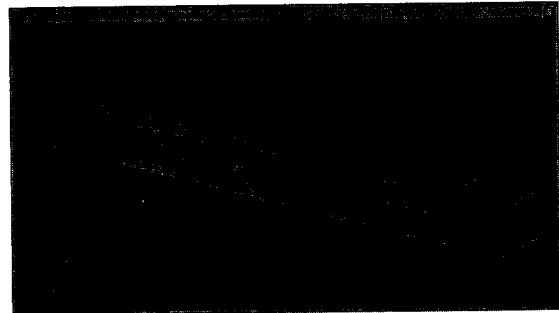


Fig. 5 Three dimensional model of second class car with broadcasting room

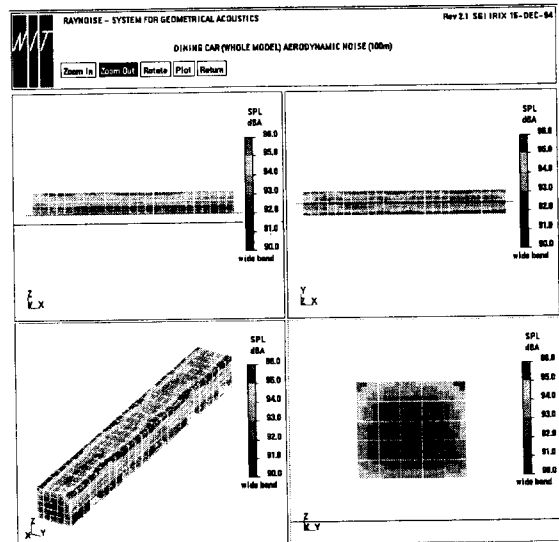


Fig. 6 Cabin exterior noise level of second class car

4. 객실 내 소음 예측

열차의 외부 소음 원에 의하여 발생된 소음은 구체의 각 벽 체를 통해 객실 내로 유입된다. 유입된 소음은 객실 내의 의자나 선반 등과 같은 물체에 일부 흡음 되고 나머지 소음은 서로 합쳐져 객실 내 소음 수준을 결정하게 된다. 따라서, 차량 객실 내의 소음 예측을 위해서는 앞 절의 외부 소음에 대한 정보와 마찬가지로 차량 내부의 흡음에 의한 소음 저감 수준에 대한 정보가 필요하다. 당 차량의 설계 초기 단계에서는 흡음에 의한 소음 저감 수준을 2 dB(A)로 정하였다.

구체 각 부위를 통과하여 객실 내로 유입된 내부 소음의 수준은 각 부위 외부 소음과 투과 손실의 차로 계산된다. 계산된 결과는 Table 3에 수록되어 있다.

Table 3 Internal noise levels calculated from external noise levels of each section of car body

Section	SPL of internal noise level
Underframe	59 dB(A)
Side panel	59 dB(A)
End panel	56 dB(A)
Roof panel	57 dB(A)

이로부터, 객실 내 소음 수준은 다음과 같이 계산된다.

$$L_{\text{inside}} = 10 \log (2 \times 10^{10} \frac{L_S}{10} + 2 \times 10^{10} \frac{L_E}{10} + 10^{10} \frac{L_U}{10} + 10^{10} \frac{L_R}{10}) - 2\text{dB(A)} \quad (3)$$

여기서 L_S 와 L_E , L_U , L_R 은 각각 구체의 측면과 끝 단, 마루, 지붕에서의 각 내부 소음 수준을 나타낸다. 최고 운행 속도 200 km/h 에서 식(3)에 의하여 계산되는 한진 고속 열차의 객실 내 소음 수준은 63.7 dB(A)이다.

본 연구는 객실 내 소음 수준에 영향을 끼치는 여러 요인 중에서 외부 소음 원이 구체의 벽 체를 통하여 들어오는 소음에 의한 것을 다룬 것이다. 객실 내 소음 수준에 영향을 끼치는 주요 인자 중에는 이 밖에 차량 내에 설치된 각종 전기기기로부터 발생되어 객실 내로 유입되는 소음을 고려하여 볼 수 있다. 이들 소음 원을 고려한 해석을 수

행하려면 각 기기들의 소음 관련 사양 및 기기로부터 발생하는 소음이 객실 내 소음 수준에 끼치는 영향을 정확히 파악하여야 한다. Fig. 7은 RAYNOISE 로부터 해석된 결과로, 에어컨에서 발생하는 소음을 포함한 것이다.

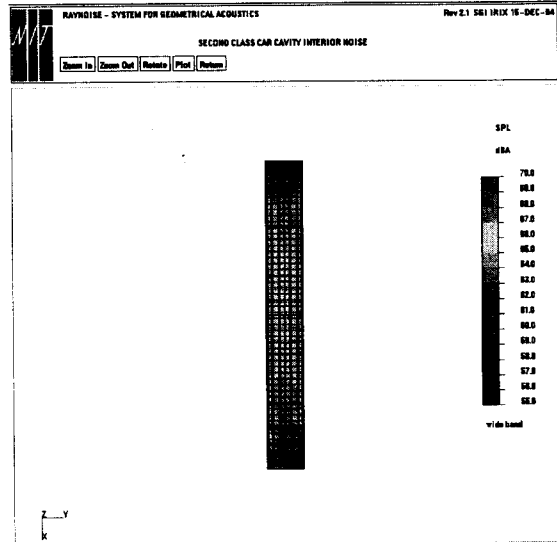


Fig. 5 Cabin exterior noise level of second class car

5. 결론

상업 운행 최대 속도 200km/h 를 지나는 한진 고속 열차의 객실 내 소음 수준을 예측하기 위하여, 설계 초기 단계에 다양한 재질에 대한 소음 투과 손실 시험과 해석을 수행하였다. Wheel/Rail 소음과 공력 소음이 각각 100dB(A)와 95dB(A)를 지닌다고 가정하였을 때, 계산된 결과는 63.7dB(A)로 중국 철도부의 요구 수준인 65dB(A)를 만족하였음을 보였다.

한진 고속 열차의 중국 현지 측정 일정이 당초 1996년 2월로부터 1996년 4월로 연기되었기 때문에, 현지 주행 시험 결과는 본 논문에 첨부되지 아니하였다.

참고 문헌

- (1) HHIC Technical Research Institute, 1995, Type test procedure for measuring the interior noise level of passenger cars for Hengyang - Guangzhou railway project, Test Procedure, RETEST-003, submitted to MOR (Ministry Of Railway in China), Hanjin Heavy Industries Co., Ltd., Seoul, Korea..

- (2) Breda Construzioni Ferroviarie, 1990, Noise level estimate, Technical Report, SCRFD-CDRL 306, Pistoia, Italy.
- (3) Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B. & Sanders, J. V., 1982, Fundamentals of Acoustics, John Wiley & Sons, New York.
- (4) Segaert, P. & Migeot, J. L., 1994, Simulation of high speed train cabin noise, Technical Report, Sysnoise Project and Support Group, Numerical Integration Technologies, Leuven, Belgium.
- (5) RAYNOISE User's manual. Rev. 2.1, 1995, Numerical Integration Technologies, Leuven, Belgium.
- (6) Lee, Y. J., 1996, "A Study on Cabin Inside Noise of Hanjin High Speed Passenger Coaches," submitted to COMPRAIL 96.