

차체 기밀도와 승객 이명감에 관한 연구

A Study on Ear-discomfort and Air-Tightness of Car body

남성원*†

Seongwon Nam*†

Abstract Air tightness of car body is closely related to ear discomfort. External pressure variations that occur when train enter tunnel with high speed penetrates into the gap of the car body and cause the internal pressure variations of train. Ear discomfort is a phenomenon when the tympanic membrane fails to follow the pressure fluctuations. Accordingly, the ear discomfort depends largely on the air tightness of the car body. Ear discomfort is a problem that can be caused in a high speed train as well as the great train express. In this study, we compared the various international standards for ear discomfort and estimated the air tightness of each vehicle that based on experimental data by using ITX, KTX and KTX-honam vehicle. The internal pressure variation of the train is calculated by using air tightness value. The results are good compared to the experimental one.

Keywords : Ear discomfort, Air tightness, Pressure change, High speed train

초 록 차체 기밀도는 승객 이명감과 밀접한 관계가 있다. 철도 차량이 터널에 고속으로 진입할 때에 발생하는 공기 압력 변동이 차체의 내부로 전파되어 객실 내부의 압력 변동을 야기하고, 이러한 압력 변동을 인체의 고막이 추종하지 못할 때에 느끼게 되는 현상이 이명감이다. 따라서, 이명감은 차체의 기밀도에 크게 의존하게 된다. 이명감은 고속열차 뿐만아니라 급행 대심도 열차에서도 야기될 수 있는 문제이다. 본 연구에서는 각국의 다양한 이명감 기준을 비교 검토하였으며, ITX-청춘, KTX, KTX-호남 차량을 이용한 현차 실험 데이터를 바탕으로 각 차량의 차체 기밀도를 측정하였다. 이 기밀도 값을 이용하여 차량 내부의 압력 변동값을 계산하였다. 계산값과 시험값을 비교한 결과, 서로 잘 일치함을 알 수 있었다.

주요어 : 이명감, 차체 기밀도, 압력 변화, 고속열차

1. 서 론

철도를 이용하는 승객들이 느끼는 이명감은 철도 차량의 쾌적성과 관련된 여러 가지 요소 중 하나이다. 철도 차량이 고속으로 터널에 진입하면, 단면적의 급격한 변화로 인하여 큰 압력 상승이 발생하고, 이 압력이 HVAC 장치나 출입문, 갱웨이 등과 같은 차량의 기밀 취약 부분을 통과하여 객실 내부로 전파된다.

*† 교신저자: 한국철도기술연구원 철도안전인증연구소 (swnam@krri.re.kr)

객실 내부로 전파된 압력 변화에 대하여 인체의 外耳와 中耳 사이에 압력 차이가 발생하여 귀가 멍하게 느껴지는 일종의 이명감이 발생한다. 이러한 이명 현상은 항공기나 엘리베이터를 이용할 때에도 흔히 나타나는 현상이며, 고속 철도 차량이나 대부분의 노선이 지하 터널인 대심도 급행 열차에서도 종종 나타난다. 또한 이명감은 사람의 건강 상태, 성별, 연령 및 신체 조건에 따라서 같은 압력 변동 조건에서도 탑승객 개인별로 발생 정도가 다르므로 일률적으로 판단하기 어렵다. 본 연구에서는 각국의 이명감 기준들을 비교 분석하였으며, ITX-청춘열차, KTX, KTX-호남 고속차량을 이용하여 각 노선에서의 대표적인 터널을 대상으로 실시한 실차 시험 데이터를 바탕으로 각 차량별 기밀도를 구하였다. 차량별로 구한 기밀도 값을 이용하여 객실 내부의 압력 변동값을 계산하였으며, 현차 시험으로 구한 결과와 비교하였다. 비기밀차량인 ITX-청춘과 기밀차량인 KTX 및 KTX-호남 고속차량도 차량 구조나 사용 년수에 따라 기밀도가 변함을 알 수 있었다.

2. 차량의 기밀

고속 철도 차량의 적합성에 관한 규격[2]에서는 차량의 기밀 정도를 2가지로 규정하고 있다. 첫 번째는 동적 기준으로, 차량이 최고 속도로 주행할 때에 객실내 압력 변동이 각각 1초, 3초, 10초, 60초간 압력 변화율이 다음 조건을 만족할 것을 규정하고 있다.

$$\Delta P/\Delta t \leq 500 \text{ Pa/s}, \Delta P/\Delta t \leq 800 \text{ Pa/3s}, \Delta P/\Delta t \leq 1000 \text{ Pa/10s}, \Delta P/\Delta t \leq 2000 \text{ Pa/60s}$$

두 번째는 단차 상태의 조건에서 시행하는 정적 압력 변화 시험에서, 객실내 압력을 3000 Pa까지 가압한 후 1100 Pa로 하강하는데에 소요되는 시간이 18초 이상일 것으로 규정하고 있다. 위의 조건들은 고속차량이 갖추어야 할 객실내 압력 요건만을 나타낸 것이므로, 차량의 기밀도가 정량적으로 어느 정도인지를 파악하기는 어렵다. 특히, 정적 압력 변화 시험은 단차에서 하므로 객실내를 가압시키기 위하여는 갱웨이 부분을 별도로 기밀시켜야 하며, 필요 최소한의 기밀 조건만을 제시한 것이므로 실질적으로 기밀도 값을 평가 활용하기에는 부족하지만, 동적 기준은 실차 실험을 하여 측정하는 데이터이고, 시간별 기준값이 상세하게 정해져 있으므로 차량 압력 기밀도 값을 평가하는데에 더 적절하다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 동적 기준에 활용되는 차량 실주행 데이터 값을 사용하여 기밀 계수를 평가하기로 한다. 위에서 언급한 바와 같이, 객실내 승객이 느끼는 이명감은 차량의 기밀 정도에 따라 크게 달라지는데, 이를 정의하는 것이 기밀도 또는 압력 기밀 계수이며, 다음식으로 정의된다[1].

$$\tau_d = \frac{\Delta P(t)}{dP_i/dt} \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서,
- $\Delta P(t)$: 시각 t에서의 내외부 압력차 ($P_e - P_i$)
- P_e : 차량 외부 압력
- P_i : 차량 내부 압력

식(1)에서 $\tau_d = 0$ 는 완전 비기밀 차량을, $\tau_d = \infty$ 는 완전 밀폐 차량을 각각 의미하며,

τ_d 가 0.5 이상이면 기밀차량으로 간주한다. 즉, 어느 시각 t 에서의 차량 내외부의 압력 차이와 단위 시간에서의 내부 압력 변화율을 알면, 해당 차량의 압력 기밀도를 산출할 수 있다. 식(1)에서 알 수 있듯이 차량 내외부의 압력차이가 크더라도, 차량 기밀도가 크면, 객실내의 압력 변화율은 작으므로 이명감 기준들을 만족할 수 있을 것이다. 결국, 철도차량이 터널에 진입함으로써 발생하는 차량 내외부의 압력 차이는 차량속도와 차량/터널 단면적 등에 의하여 정해지므로 객실내 이명감은 차량 기밀도에 의하여 정하여 진다고 할 수 있다. 본 연구에서는 현차 시험을 통하여 얻은 차량 내외부의 압력 변동 데이터를 이용하여, 차량의 압력 기밀도를 구하였다. 이렇게 구한 기밀도 값이 적절한지를 분석하기 위하여, 각 차량별로 구한 압력 기밀도를 이용하여 객실내 압력 변화값을 역산하였으며, 이 값을 실차 시험에서 측정된 압력과 비교하여 기밀도가 정량적으로 타당한지를 분석하였다.

3. 결과 및 분석

Figure 1의 비기밀차량인 ITX-청춘 열차의 경우, 차량 외부의 심한 압력 변동이 그대로 객실내로 전파된 결과, 객실 내부의 압력 변화 패턴도 차량 외부의 압력 패턴과 거의 유사하게 변화됨을 알 수 있으나, Figure 2에서 보는 바와 같이, 기밀차량인 KTX 고속차량은 차량 외부의 급격한 압력 변동이 그대로 객실 내부로 전파되지 않고, 상당 부분 완화되어서 객실 내부의 압력은 완만하게 변화됨을 알 수 있다. 차량이 고속으로 진입한 운주 터널과 노령 터널의 경우, 차량 외부 압력 변화는 압축파와 팽창파의 영향으로 고속철도 터널에서 발생하는 전형적인 압력 변동 형태를 나타내지만, 차량 진입 속도가 작은 강촌 1 터널은 압축파와 팽창파가 완전히 생성되지 않고 발생한 풍압 변동에 기인한 것으로 판단된다

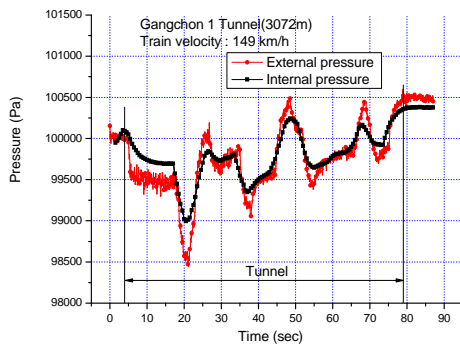


Fig. 1. Gangchon 1 tunnel

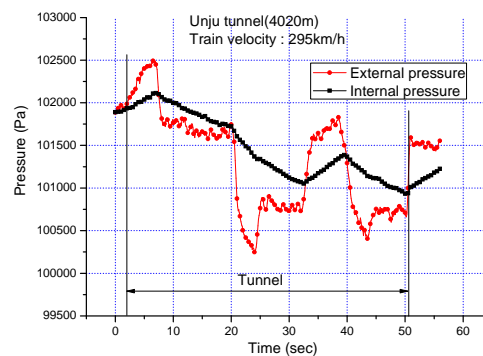


Fig. 2. Unju tunnel

4. 결 론

본 연구에서는 승객 이명감에 대한 차체 기밀도 추정에 관하여 분석하였다. 고속철도를 운영하고 있는 주요국의 이명감 가이드라인을 비교 분석하였으며, 기밀차량에 대한 압력 변동 가이드라인과 차량 기밀도를 검토하였다. 현재 우리나라에서 운행하고 있는 고속차량들에 대한 차체 기밀도를 추정하기 위하여 각노선의 대표적인 터널을 열차가 주행할때의 차량 내외부 압력 변동 데이터를 비교하고, 압력 변동율을 계산하여 쾌적성 가이드라인을 만족하는지를 분석하였다. 비기밀차량인 ITX-청춘 열차는 가이드라인에 근접하게 만족하였으나, 기밀차량인 KTX 및 KTX-호남 차량은 가이드라인보다 훨씬 작은 값을 가진다. 또한 각 차량의 기밀도를 정량적으로 계산하였다. 각 차량의 최대 실내 압력 변화값은 ITX-청춘 차량은 18.16초 지점, KTX 차량은 24.2초 지점, KTX-호남 차량은 26.36초 지점에서 발생하였으며, ITX-청춘 차량의 기밀도 는 0.195, KTX 차량은 6.8, KTX-호남 차량은 18.4 이다.

후 기

본 논문은 철도차량 및 용품 형식승인(T16-0000D) 및 성능시험(T16-0000B)과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] UIC 779-11 (2005) Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations.
- [2] UIC 660 (2002) Measures to ensure the technical compatibility of high-speed trains.
- [3] S.W.Nam (2004) A study on the characteristics of internal and external pressure variation for KTX, Journal of the Korean Society for Railway, 7(1), pp. 26-31.