

# 한국형 고속열차의 최고속도에서 압력변동 하중과 실내소음 특성 분석

## Characteristics of Pressure Fluctuation and internal noise level for Korean High Speed Train

박준수\* 최성훈\* 이태형\* 목진용\* 김기환\*

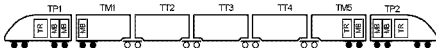
Park, Choon-Soo Choi, Sung-hoon Lee, The-hyung Mok Jin-young Kim Ki-Hwan

### ABSTRACT

The Korean high speed train(KHST), developed since 1996, is presently undergoing commissioning tests on the high-speed track as well as on the conventional track since 2002. The purpose of the commissioning test is twofold: first to verify the performance of the train-set and equipments, and to demonstrate system reliability. Last December, KHST has reached the maximum speed of 350km/h and a number of data proving the performance of the train has been acquired. Among the data noise level and pressure variation in a cabin are important factors effecting passenger's comfort. Discussed in this paper are interior noise and pressure variation when the train passes tunnels during the 350km/h test.

### 1. 서론

한국형 고속열차는 지난 1996년부터 개발에 착수하였으며, 2002년 경부고속선에서 시운전 시험을 실시하기 시작하여 현재까지 고속선 및 기존선에서 지속적인 시운전시험을 실시하고 있다. 시운전시험에서는 열차의 성능과 관련된 시험과 신뢰성 확보를 위한 안정화시험 등이 병행하여 실시되고 있다. 지난 2004년 12월에는 국내 철도사에 기록될 수 있는 시속 350km 시운전 시험을 실시하여 각종 성능관련 데이터를 취득하였다. 이러한 여러 자료 가운데, 본 논문에서는 열차의 객실내 소음과 터널을 통과하는 열차 외부의 압력변동값을 300km/h이상의 시험속도에서 계속한 결과를 중심으로 정리하였다. 본 논문에서 보여주는 결과들의 한국형 고속열차의 성능과 관련된 사항으로, 향후 고속열차의 선계를 위해서는 매우 중요한 정보로 활용될 수 있을 것이다.



<Fig. 1> 한국형 고속열차 구성도

\* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단, 김희원

## 2. 시운전시험 개요

### 2.1 시험 개요

한국형 고속열차는 경부 고속선에서 개발열차의 각 시스템별 성능 안정화 및 신뢰성시험을 위하여 여러 가지 항목에 대해 조건에 따라 계측하고 이를 분석하는 과정을 반복하고 있다. 또한, 지난 12월까지는 설계시 제시되었던 최고속도인 시속 350km까지의 증속시험이 시행되었다. 증속 시험은 300km/h에서 350km/h까지 10km/h의 증속단계를 거치면서 여러 특성을 분석하고 안전에 문제가 없음을 확인하면서 실시하였다. 열차의 실내소음도와 열차가 터널을 통과할 때 차체가 받는 압력변동값의 계측은 이러한 시험과정에서 각 속도별 특성을 파악하기 위하여 계측되었다. 따라서, 실내소음의 경우는 열차의 성능을 공식적으로 평가하기 위한 조건, 평탄, 개관지 경속 등의 조건을 맞추어 시험하지는 못하였다.

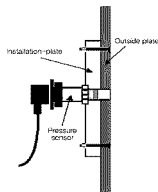
### 2.2 실험장치 및 측정절차

열차가 고속으로 주행시 열차 내부의 소음도 계측은 시운전 시험이 실시되는 동안 연속적으로 계측이 될 수 있도록 계측시스템을 구성하였으며, 300km/h까지의 시험에서는 소음계를 운전실, 동력객차 객실 및 객차 객실 내부에 설치하였으나, 이번 시험에서는 300km/h 이상에서의 소음 변화를 보기 위해 TT2(특설)에 열차길이방향의 중심과 쪽 방향 중심에서 바닥상면 1.5m 높이에 설치하였으며, 계측에 사용된 소음계에서는 실시간으로 동기소음레벨( $L_{eq}$ )을 구할 수 있는데 본 측정에서는 계측기의 빠른(Fast) 반응을 사용하였고 A-weighting된 값은 1kHz의 샘플링 주파수로 저장하였다. 사용된 소음계의 주요 특성은 <표 1>과 같으며, <Fig. 1>은 개발열차의 편성도를 과 <Fig. 2>와 <Fig. 3>은 특설에 설치된 소음계와 압력 위부도를 보여주고 있다.

압력변동값의 계측은 객차(TT3)를단 좌우 차체 표면에 압력계를 설치하고 객차(TT3) 내부에 설치된 계측시스템에 연결하여 1kHz의 샘플링 주파수로 저장하였다. 실내소음 및 압력변동값은 열차의 속도, 운행거리 등과 함께 저장되도록 하였다.



<Fig. 2> 소음계의 설치



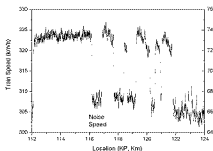
<Fig. 3> 압력계 설치도

### 3. 시험결과 및 고찰

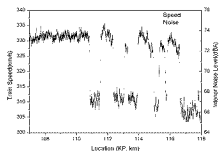
#### 3.1 실내소음

열차의 실내소음에 영향을 주는 인자는 여러 가지로, 주행선로의 특성(압라스트 또는 슬라스트 레드), 방음벽 유무 등과 열차의 주행속도이다. 본 논문에서는 시운전시험의 제한조건 등에 따라 이러한 인자들 중 열차의 속도와 관련하여 실내소음의 변화를 보고자 하되, 다른 인자들의 영향은 고려하지 않았다. <Fig. 4>에서부터 <Fig. 7>까지는 열차속도가 320km/h에서 350km/h까지 주행중 계속된 실내소음값을 보여주고 있다. 그림에서 소음값의 급격한 변화는 개관지와 터널을 연속해서 통과하는 선안-선단진 구간에서 증속시험이 이루어졌기 때문으로 높은 부분은 터널구간이며, 낮은 부분은 개관지 구간에서 계속한 결과이다. <Fig. 8>은 시운전 주행 중에 측정된 실내소음을 개관지와 터널 구간으로 분리하여 속도에 따른 등가소음레벨을 보여주고 있다. 등가소음레벨로는 10초 동안의 평균소음레벨을 계산하였다.

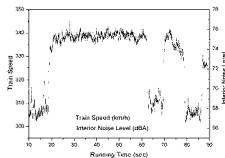
한국형 고속열차의 실내소음 기준은 시속 300km/h에서 개관지는 66dB(A), 터널 내에서는 73dB(A)이며, 시험결과를 보면 기준을 만족하는 것을 알 수 있다. 또한, 시속 350km/h로 주행할 때는 개관지에서 69~70dB(A), 터널에서는 75~76dB(A)로 300km/h 주행 시와 비교하여 터널과 평지에서 각각 약 3dB(A) 정도의 소음레벨이 증가함을 알 수 있으며, 개관지와 터널에서는 약 7dB(A) 정도의 소음레벨의 차이를 보이고 있다.



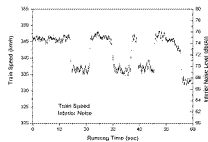
<Fig. 4> 실내소음레벨 (320km/h)



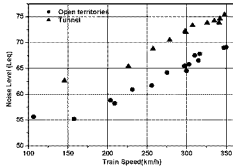
<Fig. 5> 실내소음레벨 (330km/h)



<Fig. 6> 실내소음레벨 (340km/h)



<Fig. 7> 실내소음레벨 (350km/h)

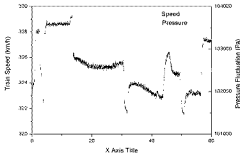


<Fig. 8> 개활지와 터널에서의 주행속도에 따른 실내소음레벨

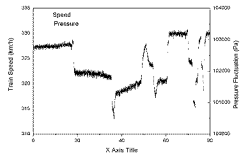
### 3.2 터널을 통과할 때 차체가 받는 압력변동

열차가 터널을 통과할 때 터널내에서 차체가 받는 압력변동 크기는 터널에 진입하는 열차의 속도, 열차 및 터널의 단면적 등과 관계가 있으며, 단독주행 및 터널 교행, 터널의 길이 등에 의해서도 영향을 받는다. <Fig. 9>에서부터 <Fig. 12>까지는 열차속도가 320km/h에서 350km/h까지 주행중 개측된 차체 외부 압력값을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 터널을 통과하는 과정에서 압력이 급격하게 변동하는 현상을 알 수 있으며, <Fig. 13>은 이러한 압력 변동값을 열차의 진입속도와 연관시켜 그림으로 보여주고 있는데, 압력변동 값의 크기는 열차의 터널진입속도의 제곱에 비례함을 알 수 있다. 또한, 한국형 고속열차는 경부고속철도 터널을 통과할 때 최고속도 350km/h에서 약3000Pa의 압력변동을 받으며, 압력변동률은 675 pa/s임을 알 수 있다. 속도와 압력변동의 관계는 열차가 단독으로 터널을 통과하면서 차체가 받는 최대 압력변동값으로 이를 식으로 표시하면 다음과 같다. 시뮬을 통해 구한 한국형 고속열차의 계수 a는 0.2684이다.

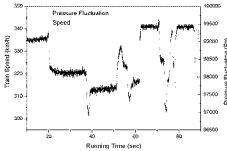
$$P = aV^2\left(\frac{A}{A_t}\right), \quad (a: \text{계수}, V: \text{진입속도}, A: \text{열차단면적}, A_t: \text{터널단면적}) \quad (1)$$



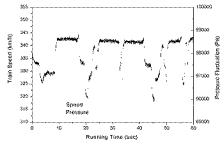
<Fig. 9> 압력변동값 (320km/h)



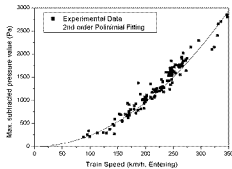
<Fig. 10> 압력변동값 (330km/h)



<Fig. 11> 압력변동값 (340km/h)



<Fig. 12> 압력변동값 (350km/h)



<Fig. 13> 한국형 고속열차의 터널진입속도와 최대압력변동값

#### 4. 결론

한국형 고속열차는 국내 최초로 350km/h까지의 시운전시험을 실시하였다. 이는 국내 철도기술의 획기적인 발전을 의미하며, 세계와 어깨를 나란히 할 수 있는 계기가 되었다. 본 논문에서는 300km/h 이상의 고속으로 주행시행중에 계속한 실내소음 및 터널통차성 차체가 받는 압력변동은 속도에 따른 특성을 분석하였다. 이러한 특성은 한국형 고속열차의 고유한 성능이나, 열차의 속도에 따른 변화를 경리하였으므로 향후 설계하거나 제작할 철도차량의 참고자료로서 활용이 가능할 것이다. 본 논문에서 정리한 시험결과를 정리하면 다음과 같다.

##### (1) 실내소음

- 객실의 실내소음은 개발열차의 사양에 명기된 기준을 만족하고 있다.
- 객실의 소음은 주행속도와 밀접한 관계가 있으며, 이를 그림으로 보였다.
- 선선 구간 주행시 개원지와 터널구간에서 소음값의 차이는 약 3dB(A) 정도를 보이고 있다.
- 시속 350km에서의 소음은 300km/h에서 보다 약 3dB(A) 증가함을 알 수 있다.

##### (2) 터널을 통과할 때 차체가 받는 압력변동

- 열차가 터널을 통과할 때 차체가 받는 압력변동값은 속도의 제곱에 비례하여 알려져 있으며, 한국형 고속열차도 동일한 현상을 보인다. 또한, 2차식의 계수는  $a$ 는 0.2684임을 시험을 통해 알 수 있었다.

- 최고속도 350km/h에서 약3000Pa의 압력변동을 받으며, 최대압력변동률은 675 pa/s 이다.
- 시속 350km에서의 최대압력변동값은 300km/h에서 보다 약 900Pa 증가함을 알 수 있다.

### 참고문헌

1. Kanta Nihei, Hideo Ono, Shigeki Koe and Fumihide Inamura, (1998) "Fatigue Strength Assessment Method for Shinkansen Aluminum Car Body Structuresw", Kawasaki Engineering Review, Vol. 138.
2. 박춘수(2005), "터널을 통과하는 고속열차 차체의 피로신뢰성 평가에 관한 연구", 연세대학교 박사학위 논문
3. 박춘수 외(2004), "한국형 고속전철 개발열차의 차량별 속도에 따른 실내 소음 특성 분석", 한국철도학회 추계학술대회 논문집

### 후 기

본 연구는 건교부 고속철기술개발사업으로 지원된 "고속철도시스템 신뢰성 및 운영효율화 기술개발"과제 연구결과의 일부입니다.