

# 고속열차 진동전달경로 측정시스템 구축 방안

## A Device of Transfer Path Analysis Measurement system for High-speed Train

김상수† · 최성훈\* · 박춘수\* · 김석원\* · 김기환\*

Sang-Soo Kim, Sunghoon Choi, Choonsoo Park, Seokwon Kim and Kihwan Kim

### 1. 서 론

2004년 한국형고속열차가 국내기술로 개발되어 세계 4번째로 350km/h 증속시험에 성공한 이후, 연구를 거듭하여 이를 모태로 한국형 신형 고속철(KTX산천)이 제작되어 2010년부터 상업운행을 시작하여 국내 운송량에 커다란 이바지를 하고 있다. 그러나 세계 고속열차의 개발 개념은 기존의 동력집중식에서 동력 분산형으로 고속열차 개발 트렌드가 바뀌고 있다. 이에 국내에서도 최고속도 400km/h급의 동력 분산식 차세대 고속열차를 개발을 위한 국가연구개발사업이 시작되어 시제열차를 제작하고 있다. 새로운 열차를 개발함에 있어서 소음 및 진동원의 특성 및 전달 경로를 해석하고 그에 따른 해결대책을 수립하는 것은 필수적이다. 자동차에서는 이러한 연구가 이미 활성화되어 새로운 모델을 설계, 제작하는데 사용되고 있다<sup>(2)</sup>. 본 연구에서는 고속열차의 진동 전달 경로를 측정할 수 있는 시스템을 구축하여 향후 차세대고속열차가 본선 시운전 시험을 실시할 때 진동 특성 해석을 위한 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 진동전달경로 측정시스템

#### 2.1 원리

시스템에서 발생하는 진동에 대한 입력X, 출력Y의 관계는 식(1)과 같다.

$$XH = Y \tag{1}$$

† 교신저자; 정회원, 한국철도기술연구원 차세대고속철도 기술개발사업단

E-mail : sskim@krri.re.kr

Tel : +82-31-460-5625, Fax : +82-31-460-5649

\* 한국철도기술연구원

각 변수는 다수가 될 수 있으며, 입력에 대한 출력의 관계는 전달함수 H에 따른다. H를 구하기 위하여 특이치 분해(Singular Value Decomposition)방법을 사용하면 입력 X는 식(2)와 같이 분해할 수 있다<sup>(4)</sup>.

$$X = U\Sigma V^T \tag{2}$$

여기에서 U는 r×m의 직교행렬, Σ는 m×m 대각행렬, V<sup>T</sup>는 m×m 유니터리행렬 V의 켈레전치행렬이 된다. 이를 이용하여 전달함수 H를 구하면 식(3)과 같다.

$$H = V\Sigma^{-1}U^T Y \tag{3}$$

전달함수 H의 계산 및 시스템의 진동측정을 위하여 MullerBBM사의 PAK MKII 시스템과 PAK TPA/S, CTC, Pricipal Componet Analysis 프로그램을 구비하여 측정시스템을 마련하였다. 본 시스템에서는 전달경로 해석을 위하여 그림1과 같은 알고리즘을 사용한다. 그림에서 각 source에 해당하는 부분전달함수를 구하고, Structure borne과 Air borne의 전달특성을 얻어 관심대상의 응답을 분석한다. 이때 전달함수의 수는 source의 개수와 같게 된다.

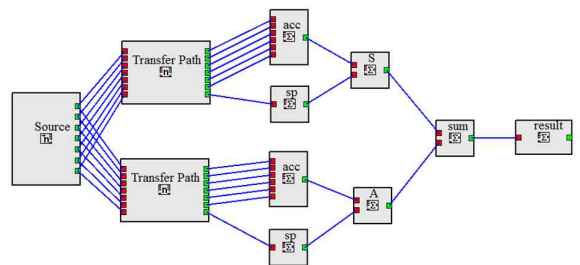
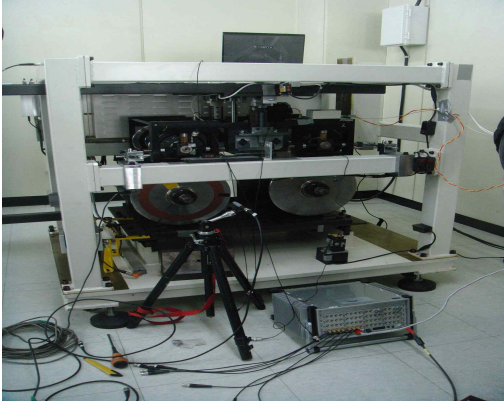


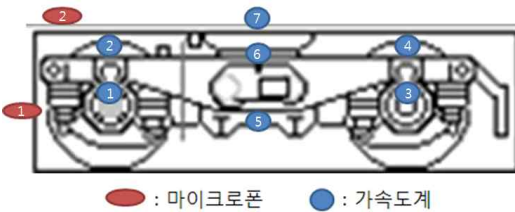
그림 1 Transfer Path 개념

## 2.2 예비시험

구축된 시스템을 이용하여 시험실내 예비시험을 그림2와 같은 축소대차주행시험기를 이용하여 실시하였다. 본 시험기는 실제 대차의 1/5크기이며, 속도의 상사는 실차 속도 250km/h를 구현할 수 있도록 제작되었다. 시험을 위하여 3개의 마이크로폰과 7개의 가속도 센서를 사용하여 진동 특성을 분석하였다. 시험은 속도0에서 250km/h에 해당하는 속도까지 증가시켜 총 30초 동안 측정하였다.



① 축소대차주행시험기 및 측정시스템



● : 마이크로폰    ● : 가속도계

### ② 센서 위치

그림 2 축소대차주행시험기 모습

그림 3은 일부 가속도센서의 30초 동안 시간응답이며, 그림 4는 각 가속도 입력에 대하여 차체에 해당하는 가속도 채널의 응답에 대한 전달함수를 분석한 결과이다. 해석은 0~6kHz까지 실시하였고, 820Hz 부근에서의 진동 전달 효과가 두드러진 특성 및 속도 증가에 따른 진동 변화 패턴을 보이고 있다.

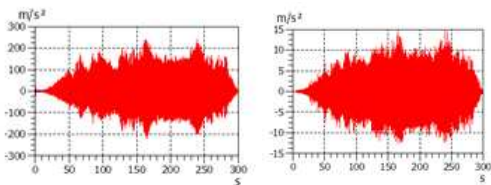


그림3 주행시험기 진동

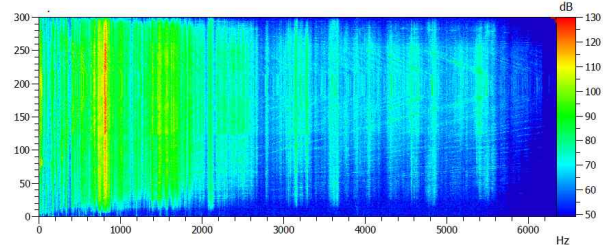


그림 4 진동전달함수

## 3. 결 론

본 논문에서는 고속열차의 진동전달경로 및 특성 파악을 위한 측정시스템의 구축을 논하였다. 간단한 예비시험으로 시스템의 성능을 검증하고 있으며, 분산형고속열차 시제품성이 제작됨에 따라 대차에 가속도 센서를 부착하여 진동전달경로를 측정할 수 있도록 준비중에 있다. 향후 열차가 본선에서 시운전시험을 실시하면서 속도별 진동측정을 수행할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부에서 시행하는 차세대 고속철도기술개발사업의 "분산형 고속철도 시스템엔지니어링 기술개발" 과제로부터 지원을 받고 있음을 밝힌다.

## 참고 문헌

- 1.김정태(1991), "구조물 진동의 이해와 실험적 접근방법". 한국항공우주학회지, 제19권 1호, pp. 78~89
- 2.조준호, 김태욱, 오재웅, 김형, 조형필(1995), "자동차 진동/소음의 전달경로 특성 해석법에 관한 연구", 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집
3. PAK MKII User Manual Revision 9.1, Muller-BBM
- 4.K. Nomurra and J. Yoshida(2006), "Method of Transfer Path Analysis for Interior Vehicle Sound by Actual Measurement", Society of Automotive Engineers of Japan