

## 분산형고속열차 주행저항 평가에 대한 연구

### A Study of Running Resistance Assessment of EMU type High-speed Train

\*김상수<sup>1</sup>, 최성훈<sup>1</sup>, 김석원<sup>1</sup>, 한순우<sup>2</sup>

\*S.S. Kim<sup>1</sup>(sskim@krri.re.kr), S. H. Choi<sup>1</sup>, S. W. Kim<sup>1</sup>, S. W. Han<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 차세대고속열차시운전단, <sup>2</sup>한국철도기술연구원 트램바이모달실용화연구단

Key words : High-speed train, Running resistance, Measurement

#### 1. 서론

고속철도기술개발사업으로 개발된 한국형고속열차가 2004년 세계 4번째로 350km/h 증속시험에 성공한 이후, 연구를 거듭하여 이를 기반으로 한국형 신형 고속철(KTX산천)이 제작되어 2010년부터 상업운행을 시작하여 국내 운송량에 커다란 이바지를 하고 있다. 한편 해외에서는 일본이 350km/h 급 초고속열차 FASTECH를 개발하여 E5로 상업운행을 실시하고 있으며, 독일은 350km/h급 “velaro” 고속열차를, 프랑스는 360km/h급 차세대 고속열차 “AGV”를 개발, 상용화를 눈앞에 두고 있다. 이렇듯 철도의 고속화는 빠른 속도로 진행되고 있으며, 가감속 향상을 위하여 세계 고속열차의 개발 개념은 기존의 동력집중식에서 동력 분산형으로의 고속열차 개발 트렌드가 바뀌고 있다. 이에 발맞추어 국내에서도 동력 분산식 차세대 고속열차 개발연구가 최고속도 430km/h를 목표로 2007년부터 진행되어 2012년 9월 9일 본선에서 352km/h 증속을 성공리에 마쳐 국내 최고속도를 갱신하였다. 열차의 최고속도 주행을 가능하기 위해서는 가속성능이 필수적이며, 이를 설계하기 위해서는 열차 진행시 반대방향으로 작용하는 열차의 주행저항을 포함시켜 계산해야 한다.

본 논문에서는 본선 시운전시험시 주행저항의 측정 및 평가 방법의 소개와 동력분산식 차세대고속열차의 실주행으로 구한 주행저항의 결과를 논하고자 한다.

#### 2. 고속열차의 주행 저항

철도차량의 주행저항은 견인시에는 열차 진행에 대해 반대의 힘으로 작용하여 추가적인 견인력이 필요하지만 제동시에는 유효한 힘으로 간주되어 필요 제동력을 줄여주는 효과를 갖고 있는 열차

차의 주요한 성능 중 하나이다. 이러한 주행저항은 이론상으로 철도차량의 성능을 예측하거나 운행 계획에 필요한 항목으로 구름마찰, 미끄럼마찰, 공기역학의 기본법칙들을 이용하여 계산하는 것이 가능하지만, 실제적으로는 열차가 주행을 하면서 주행저항 시험을 통해 평가, 검증하고 있다.

열차가 타행으로 주행할 때 진행방향에 대하여 작용하는 힘( $F$ )과 가속도( $\gamma$ )는 뉴턴의 운동 법칙에 따라 식(1)과 같다.

$$\Sigma F = M\gamma = R + R_g + R_c \quad (1)$$

여기서  $R_g$ 는 선로 구배저항,  $R_c$ 는 곡선저항을 나타낸다. 식(1)의 주행저항을 수식적으로 표현하는 방식으로 식(2)와 같이 데비스가 제안한 2차식을 주로 사용하고 있다.

$$R = a + bV + cV^2 \quad (2)$$

분산형고속열차가 주행시험을 수행한 경부고속선에서 개활지이며, 곡선이 없는 선로를 선택하였으며, 다소의 구배는 존재한다. 구배의 각도는 천이구간을 통과하면 일정하므로, 다음과 같은 식으로 주행저항  $R$ 을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} R + R_g &= M\gamma \quad (R_g = Mg \sin\theta) \\ R &= M\gamma - Mg \sin\theta \\ &= M(\gamma - g \sin\theta) \end{aligned} \quad (3)$$

위 식과 같이 열차가 타행으로 운전될 때 가속도( $\gamma$ )를 구하며, 해당 속도에서의 주행저항을 알 수 있다. 분산형고속열차에는 열차의 견인, 제동, 타행 등 열차의 상태 및 시간 등을 저장할 수 있는 계측시스템이 설치되어 있고, 이 값들은 실시간으로 저장된다. 계측시스템의 모듈이 Fig. 에 나타나 있다. 계측시스템은 6량 1편성 분산형고속열차의 각 차량마다 설치되어 있으며, 각 데이터는 3량(중앙제어실)에서 동기화 신호를 생성하여, 동일한 시점에서 저장

및 종료 등 제어가 이루어지고 있다.



Fig. 1 One of modules of measurement system equipped in the HEMU430x

### 3. 주행저항시험 결과

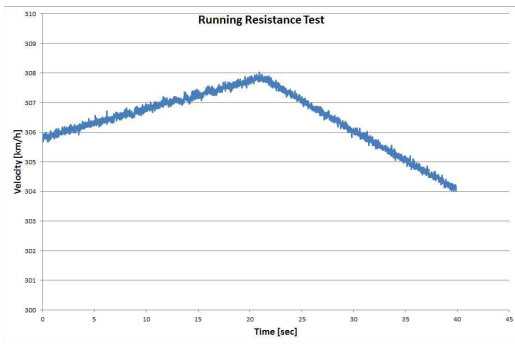


Fig. 2 Running test data in case of 300km/h

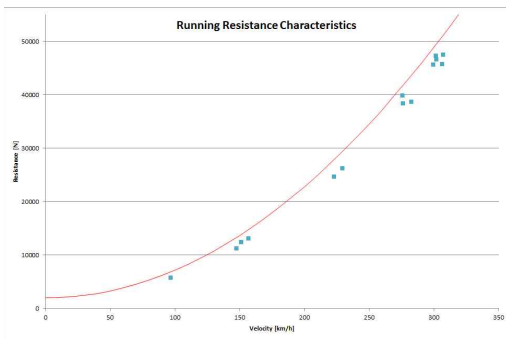


Fig. 3 Running test results of HEMU430x

분산형고속열차는 2012년 6월부터 경부 2단계 고속선(부산~동대구)에서 시운전시험을 수행하고 있다. 올해 9월까지 350km/h까지 증속시험을 실시하였으나, 주행저항 시험을 수행하기 위해서

는 개활지에서 타행이 필요하기에 다양한 속도별로 시험을 수행하기에는 어려움이 따른다. 저자들은 5개 속도군(100, 150, 220, 270, 300km/h)으로 분류하여 시험을 실시하였다. 300km/h 속도군의 일수 시험 결과를 Fig 2에 나타내었다. 가로축은 시험 시간이며, 세로축은 열차의 주행 속도이다. 이 시험 구간에서는 하구배의 변동이 있었으며, 타행입에도 불구하고 높은 하구배에서는 속도가 증가하며, 낮은 하구배에서는 속도가 감소하는 현상을 알 수 있다. 이 시험 결과를 2장에서 제안한 구배보정법 및 열차의 가속도를 구하여 주행저항을 계산할 수 있다. 각 시험별로 주행저항을 구한 결과가 Fig. 3과 같다. 가로축은 시험 속도이며, 세로축은 각 시험 속도별 주행저항(N)이다. 시험 결과는 점으로 표시하였으며, 붉은 선은 최소자승법으로 추정한 주행저항 예상값이다. 속도가 증가함에 따라 속도 제곱에 비례하여 주행저항이 증가함을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 고속열차의 주행저항 평가방법 및 필요 장치, 시험결과를 논하였다. 주행저항은 성공적으로 측정되었으며, 주행 성능에 반영되어 견인력 계산에 활용될 예정이다. 향후 보다 다양한 속도에서 시험을 실시하여 주행저항 식을 도출할 계획이다.

### 후기

본 연구는 KTX 비파괴 스캐닝 시스템 핵심 기술 개발 과제의 지원을 받았음을 밝힌다.

### 참고문헌

1. 김영국, 권혁빈, 김석원, 박태원, 2005, “한국형 고속열차의 주행저항 평가”, 한국철도학회논문집, 제8권, 제5호, pp. 405~410
2. 권혁빈, 김석원, 김영국, 박춘수, 2007, “한국형 고속열차의 주행저항식 예측”, 한국철도학회 춘계 학술대회 논문집
3. 박찬경, 김상수, 김기환, 김영국, 2009, “철도차량의 주행저항 측정 방법의 관한 고찰”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집
4. 김상수, 박찬경, 한인수, 박춘수, 김영국, 2010, “신 한국형고속열차의 주행저항 성능시험”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집