

# 가

## Evaluation of Riding comfort on speed-up on curve for EMU in main line

†, \*

Seong-ho Han, Il-yoon Choi

### 1.

일반적으로 철도차량의 승차감은 열차 주행시에 차체내부에 있는 승객이 종합적으로 느끼는 요소를 나타낸다. 이러한 요소는 주행중인 차량의 진폭이나 주파수 변동요인 뿐만 아니라 객실내의 온도, 습도, 조도, 전망 등을 종합적으로 포함하고 있다. 그러나 이러한 모든 요소를 고려하여 객관화 한다는 것은 매우 어려운 문제이므로 보통 차량의 진동요소만을 고려하여 평가한다.

철도차량의 가장 일반적인 승차감평가는 열차가 출발부터 정지하는 동안 발생하는 진동가속도를 이용하여 대략 0.5Hz 이상의 진동주파수를 대상으로 한다. 한편 차량이 곡선구간을 주행할 때 캔트부설량과 열차의 통과 속도에 따라 좌우방향의 정상 가속도를 평가한다. 또한 곡선진입시 완화곡선의 길이에 따른 좌우방향의 정상가속도의 변화와 종곡선 통과 시에 상하방향의 정상가속도를 고려한 곡선부 통과시의 승차감을 평가한다.

본 연구에서는 기존 일반철도의 고속화를 위해 곡선부의 제한속도를 향상하여 열차의 여행시간을 단축할 수 있는 진동차에 대하여 승차감 영향평가를 수행하였다. 이 열차는 차체자세를 좌우로 롤링제어가 가능한 능동제어장치를 탑재하고 있어 다른 일반열차와 동일 이상의 곡선부 승차감을 확보하면서도 통과속도를 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

이러한 진동차의 곡선부 승차감은 열차가 직선에서 곡선으로 진입했을 때 생기는 롤각속도와 차체 좌우 진동가속도의 변화를 측정하여 평가한다. 또한 능동제어기술에 따라 열차가 곡선에 들어간

뒤 롤링을 시작하는 제어지연 등에 의해 승차감이 좋지 못하고, 멀미를 유발하는 경우도 발생한다.

### 2. 가

#### 2.1 가

기존 승차감 평가방법으로는 주파수 보정곡선을 이용한 것으로 크게 UIC방법, Wz 방법, ISO 규격 등 3가지가 존재한다. 이는 동일 크기의 강도를 갖는 진동이 인간에게 작용하였을 때에 인간이 느끼는 감응을 진동주파수에 따라 차이를 나타내어, 이를 함수화시킨 것이다. ISO 규격은 수직방향과 수평방향에 대해 4~12Hz와 0.6~2Hz에서 민감하다. UIC 규격은 수직방향 4~16.5Hz에서, 수평방향 0.6~2Hz에서 민감하며, Wz 방법은 수직방향과 수평방향에 대해 모두 3~7Hz 부근에서 민감하게 나타낸다.

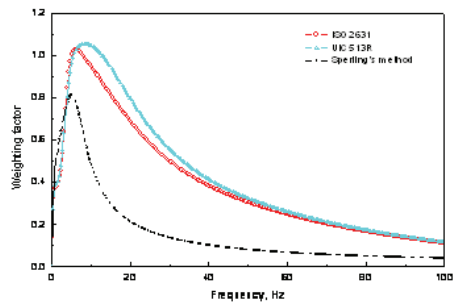


Fig. 1 Frequency compensation curve with vertical direction

이러한 각 방법 모두 인체가 민감하게 느끼는 진동의 주파수 대역대 보정곡선을 통해 열차에서 측정된 진동 주파수대역의 가중치를 더하는 방식으로 산출한다. 가중치를 산출한 방식은 각 승차감 평가 방법에 따라 조금씩 차이가 있지만 피 실험자들의 각 진동 대역별로 실험 후 설문조사를 통해 가중치

† 교신저자; 한국철도기술연구원  
E-mail : shhan@krti.re.kr  
Tel :031-460-5660, Fax : 031-460-5299  
\* 한국철도기술연구원 첨단고속철도연구실

에 의한 보정곡선이 만들어 졌다. 따라서 기존의 승차감 평가 방식은 나름대로 의미는 있지만 가중치에 의한 보정곡선 자체가 상당히 주관적인 측면에 의해 만들어진 것은 사실이며 기계적 측면의 승차감 평가 방식이다.

## 2.2 (Ride comfort) 가

일반철도 전동차의 곡선부 주행시 승차감에 대하여는 승차감은 차량의 횡가속도, 횡저크, 롤속도를 가지고 평가하였다. 이 평가방법은 유럽 표준화 위원회(CEN)에서 심의중인 유럽 규격(EN)안으로 곡선 승차감 지표( $P_{CT}$ )를 사용하고 있다.

$$P_{CT} = ( \max[ (A \cdot |\ddot{y}|_{\max} + B \cdot |\dot{y}|_{\max} - C) ; 0 ] + D \cdot |\dot{\theta}| )^E \times 100$$

여기서, Pct: 승차감을 표현하는 승객들의 불만족도로 나타낸 백분율 (percentage)

$\ddot{y}$ : 완화 곡선의 “시점” 과 “중점+1.6초” 사이의 좌우 가속도 최대값으로, 그림1의  $\ddot{y}_0$ 에 상당한다. 1초마다의 계측값을 0.1초씩 시프트하여, 그 최대값을 구한 것으로, 중력가속도 g의 백분율을 단위로 한다.

$\dot{y}$ : 완화 곡선의 “시점-1초” 와 “중점” 사이에서 1초마다 산출한 값의 최대값으로, 그림의  $\dot{y}_0$ 에 상당한다. g의 백분율/초를 단위로 한다.

$\dot{\theta}$ : 완화 곡선 내의 롤각속도 최대값으로, 그림의  $\dot{\theta}_0$ 에 상당한다. 1초마다의 계측값을 0.1초씩 시프트하여 최대값을 구한 것으로, 도/초를 단위로 한다.

완화곡선상에서 횡가속도(lateral acceleration), 횡저크(lateral jerk), 롤속도(roll velocity)를 고려하여 평가하는 방법으로 Pct 값이 클수록 승차감이 나쁘다는 것을 의미한다.

## 2.3 (Ride comfort) 가

시험연구를 위해 일반철도 경부선 시험운행시 계측된 차체진동가속도 및 롤속도를 이용하여 곡선부 승차감 평가를 수행하였다. 계측위치는 차량 상행방향 주행시 후미부 차량이며, 승차감평가는 상행방향 주행기준으로 완화곡선 시점부에 대하여 평가를 수행하였다.

열차의 속도의 영향을 배제하고, 곡선반경별 탈팅 열차의 곡선부 주행시 승차감 평가결과(Pct standing)를 다음 그림 2에 나타내었다.

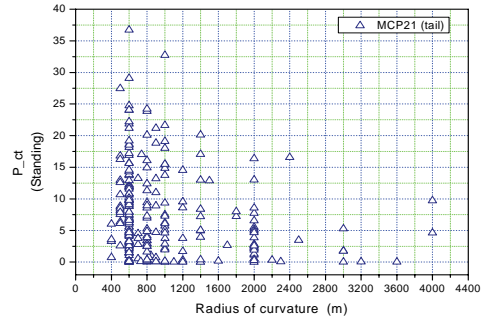


Fig. 2 Riding comfort evaluation on each curves  
곡선반경 1,200m 이상에서는 열차의 곡선부 승차감 값이 20이내의 값을 보였으며, 곡선반경이 증가함에 따라 Pct 값이 감소하여 승차감이 향상되는 경향을 보였다.

## 3.

본 연구는 국내에서는 최초로 차체자세제어 기능을 갖춘 전동차에 대하여 곡선부 승차감 평가를 실시하였다. 기존일반철도의 곡선부 속도제한 요소를 극복함으로써 기존선 고속화를 달성할 수 있는 연구이다. 기존열차와 동일이상의 승차감을 확보하면서도 전동차의 곡선부 통과속도를 향상시키기 위해 필요한 승차감영향평가방법을 고찰하고 시험평가를 수행함으로써 향후 기존철도노선의 고속화운영전략에 중요한 핵심기술로서 역할을 기대할 수 있다.

1) 송용수, 한성호, 신광수, 이명호: 탈팅열차 승차감 평가를 위한 생체 파라미터(ECG, GSR, EMG) 측정에 관한 연구, 2008 한국통신학회 하계학술대회 논문집, 2008

2) ISO: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part1: General requirements, ISO 2631-1. ISO, 1997

3) ISO: Evaluation of human exposure to whole-body vibration -Part4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort of fixed guideway transport systems ISO/CD 2631-4. ISO, 1998

4) CEN: Railway applications -Ride comfort of passengers, Measuring and evaluation, Final draft, CEN/TC256 prENV12299. CEN, 1999