

# 한국형고속열차의 가속도계를 이용한 궤도 불규칙도 검측

## Measurement of Rail Irregularity using acceleration values acquired from the High Speed Rolling stock 350 experimental (HSR-350x)

김영모\* 김진우\*\* 박찬경\*\* 박태원\*\*\*  
Kim, Young Mo Kim, Jin Woo Park, Chan Kyoung Park, Tae Won

### ABSTRACT

Measurement and estimation of rail irregularity is an important factor to concern travelling safety of train. Now a day, rail irregularity have been measured by EM120 and ROGER 1000K imported from MERMAC Co. Italy and making researches actively in Korea. This paper mainly consider to find correlation between acceleration value of wheel axle in HSR350x and rail irregularity value measured by EM120.

## 1. 서론

한국형고속열차는 현재 400여 개의 채널에서 다양한 시험 신호들을 받아서 평가하며 특히 성능 시험으로 주행성능, 대차주행성능, 차체진동성능, 제동성능 등을 수행하고 있다. 이러한 성능 시험을 위하여 차체, 대차, 차축에 가속도 센서를 설치하여 실시간 모니터링과 함께 차후 데이터들 분석 할 수 있는 시스템을 갖추고 있다. 본 연구는 2005년 11월 30일에 광명-동대구 구간의 고속선에서 실시된 시운전 시험 데이터를 바탕으로 이루어졌으며 궤도 불규칙도를 평가하기 위한 시험 항목으로 주행속도, Kilo Post(킬로정), 차축가속도(횡,상하)의 데이터를 사용했다. 차축가속도의 측정 위치는 6번 좌측 차축(WS61)이다. 궤도 불규칙도 평가에서 필요한 주파수 대역은 저주파 대역이므로 30Hz의 Lowpass filtering하고 RMS값을 500m 구간거리를 취하여 100m씩 증가시켜 계산했다. 궤도 불규칙도 검측항목은 면틀림(좌·우), 줄틀림(좌·우), 비틀림, 수평, 궤간 등의 총 7개로 이탈리아 MERMAC사의 EM120 궤도 검측차량이 사용 되었으며 검측 구간은 광명-동대구 사이 구간으로 가속도 측정일과 같은 날짜에 검측이 이루어 졌다. KP값에 대하여 7개의 궤도 불규칙 데이터를 나열하였으며 각 데이터에 대한 RMS 값을 구하였다. 궤도 불규칙도에 대한 RMS값은 100m 구간거리를 취하여 10m씩 증가시켜 계산했다. 두 방법을 통한 데이터를 비교해 보았을 때, 전체적인 궤도의 경향은 살펴 볼 수 있지만 세부적인 평가를 위해서 보다 정밀한 분석이 요구된다.

## 2. 데이터 처리

### 2.1 가속도 데이터 처리 과정

데이터 분석을 위하여 binary 파일로 저장된 것을 1차 후처리 과정을 거친다. 그림1은 1차 후처리 과정을 거친 후의 원본 데이터의 모습을 보여준다. 이 단계에서의 데이터는 raw data로 많은 잡음 신호들을 포함하고 있어 filtering 과정이 필요하다.

\* 김영모, 비회원, 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단

E-mail : ymkim@krri.re.kr

TEL : (031)460-5607 FAX : (031)460-4649

\*\* 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단

\*\*\* 아주대학교, 기계공학부

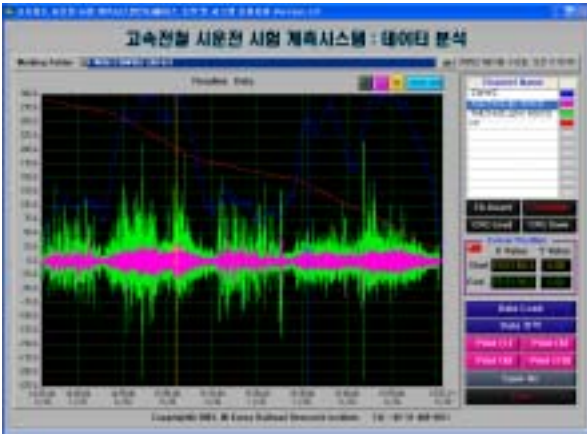


그림 1 LabView 프로그램에 표시된 동대구-광명 간 차축가속도 데이터



그림 2 30Hz Lowpass filtering 과 RMS 값을 구하기 위한 데이터 처리화면

궤도 불규칙도 평가에서 필요한 주파수 대역은 저주파 대역이므로 30Hz의 Lowpass filtering 하고 RMS값을 500m 구간거리를 취하여 100m씩 증가시켜 계산했다<sup>2</sup>. 그림 2는 30Hz Lowpass filtering 과 RMS 값을 구하기 위한 데이터 처리화면을 보여준다. 이러한 필터링 및 RMS값의 계산은 LabView 프로그램으로 코딩된 계측 프로그램 내에서 실시되어 저장된다<sup>3</sup>.

## 2.2 궤도 불규칙도 데이터 처리 과정

궤도 불규칙도 검측항목은 면틀림(좌·우), 줄틀림(좌·우), 비틀림, 수평, 궤간 등의 총 7개로 이탈리아 MERMAC사의 EM120 궤도 검측차량이 사용 되었으며 계측 구간은 광명-동대구 사이 구간으로 가속도 측정일과 같은 날짜에 검측이 이루어 졌다.

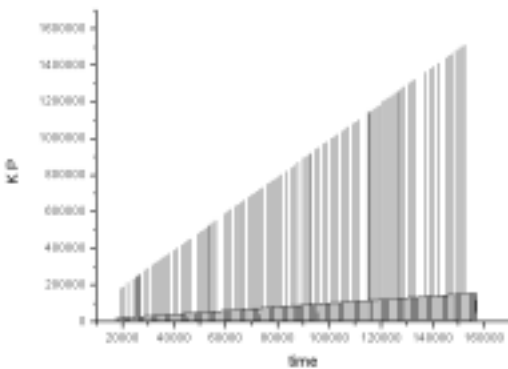


그림 3 EM120의 광명-동대구(상행 시) 원본 KP 데이터

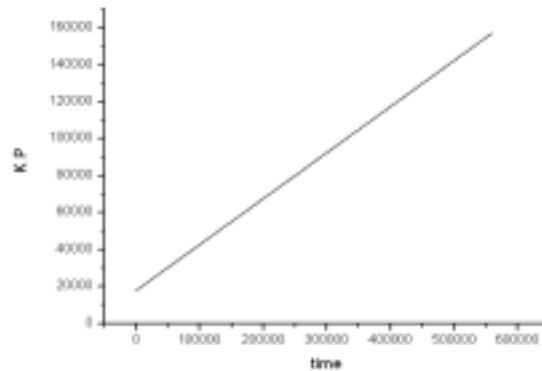


그림 4 EM120의 광명-동대구(상행 시) 수정 KP 데이터

EM120의 데이터에서 상행 시 KP 값이 0.25m 간격으로 증가 되어야 하나 그림 3과 같이 순간 값이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 수정 후 KP값을 보여 준다. 위의 두 그림에서 볼 수 있듯이 KP 값의 단위가 보정 후 1/10 정도 줄어드는 것을 확인 할 수 있는데 그것은 원본 데이터가 자리 수 변환 할 때 10배로 뛰는 현상을 보이기 때문이다. 이러한 현상을 그림 5와 같이 이러한 KP 값을 보정하기 위해 MATLAB 프로그램을 이용하여 순차적으로 증가하도록 보정하였다.

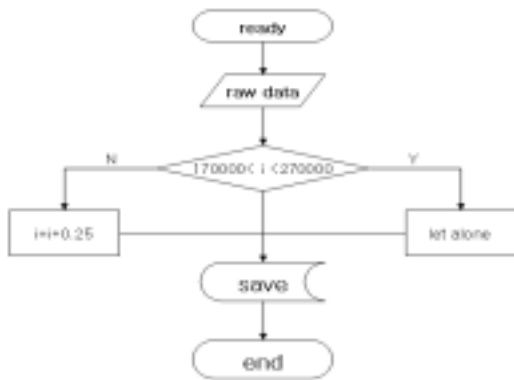


그림 5 상행 방향 KP 보정 순서도

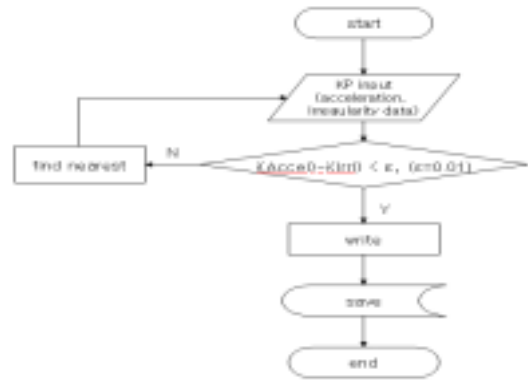


그림 6 가속도RMS값과 궤도불규칙도 KP 비교 보정

수정된 KP값에 맞추어 7개의 궤도 불규칙 데이터를 나열하였으며 각 데이터에 대한 RMS 값을 구하였다. 궤도 불규칙도에 대한 RMS값은 100m 구간거리를 취하여 10m씩 증가시켜 계산했다. 그림 6은 KP 값을 비교 보정하는 단계를 보여준다. 한국형고속열차의 1초당 500개(500Hz)의 KP 값을 저장하나 EM120의 경우 0.25.m에 하나씩의 데이터를 저장한다. 그러므로 두 데이터를 비교 분석하기 위해서는 KP 보정단계를 한 번 더 거쳐야 했다. 이를 위해 두 측정 방법 중 EM120의 데이터 량이 적으므로 EM120의 데이터를 기준으로 하여 가장 근사한 한국형고속열차의 KP 값에 해당하는 데이터만 추출하였다.

### 3. 데이터 비교 분석

궤도 검측은 궤도상에 이상 지점의 위치를 찾기 위한 것임으로 모든 데이터를 KP 기준으로 나타낸다. 그림 7은 2005년 11월 30일에 측정한 가속도 RMS 값과 궤도 불규칙도에 관한 그래프를 보여준다. 보다 효과적인 비교분석을 위해 KP 220지점을 중심으로 설명할 것이다.

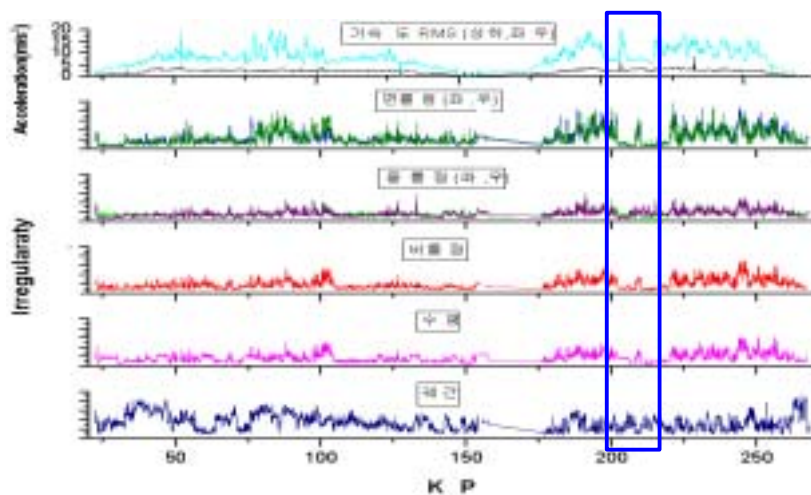


그림 8 궤도 불규칙도와 가속도 RMS 값

#### 3.1 면틀림

면틀림은 레일길이 방향의 두 지점간 현에 대한 중앙부와 레일면과의 수직거리(Versine)로 그림 8과 같다<sup>1</sup>. 이는 상하방향의 변위로서 상하 가속도 값으로 나타낼 수 있다.

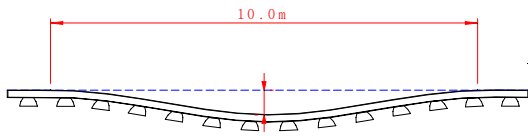


그림 8 면틀림

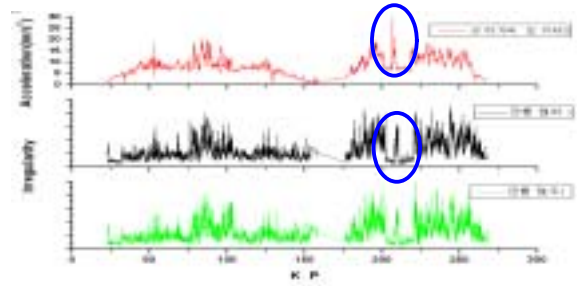


그림 10 면틀림과 상하 가속도 RMS값

그림 9는 면틀림 수치와 상하 가속도 RMS값을 비교한 것이다. 전 구간에 걸쳐서 같은 경향을 보여 잘 부합함을 알 수 있다. 특히 KP 220지점 가속도 RMS값 뿐 만아니라 궤도 면틀림 데이터 역시 동일 유형의 값을 보여준다. 이 부분은 다른 부분에 비해 면틀림 상태가 확연히 나오는 구간이다.

### 3.2 줄틀림

줄틀림은 레일측면의 길이 방향에 대한 좌우 틀림치로 정의 되며 그림 10과 같다<sup>1</sup>. 이는 좌우 방향의 변위로서 횡가속도로 측정할 수 있다. 그림 11에서와 같이 전체적인 경향을 보면 줄틀림 역시 횡가속도 RMS 값과 유사한 경향을 보여준다. 하지만 면틀림의 경우에서와 같이 KP 220지점에서 줄틀림 정도도 심해 횡가속도가 확연히 나올 것이라 생각했는데 그 지점에서 횡가속도 값은 미세하게 증가했으며 줄틀림 값도 마찬가지로의 결과를 보여준다.

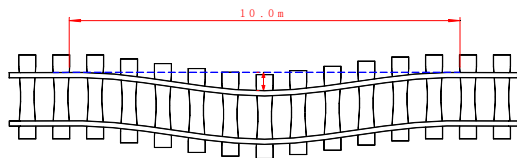


그림 10 줄틀림

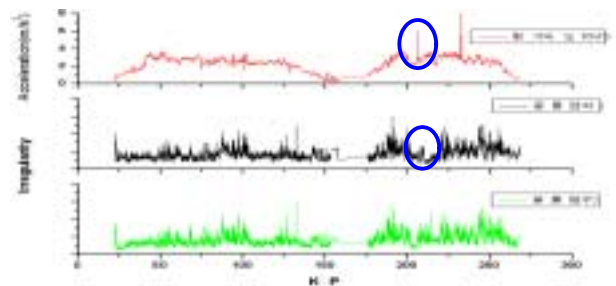


그림 11 줄틀림과 횡 가속도 RMS값

### 3.3 비틀림

비틀림은 궤도의 평면에 대한 뒤틀림 상태를 말하며 일정한 거리(3m)의 2점에 대한 수준틀림의 대수 차로 표시되며 틀림량은  $x - (-y)$ 로 나타낸다<sup>1</sup>. 그림 12은 비틀림을 보여주며 그림에서 볼 수 있듯이 상하 고저차이 이므로 상하 가속도 값으로 평가 할 수 있다.

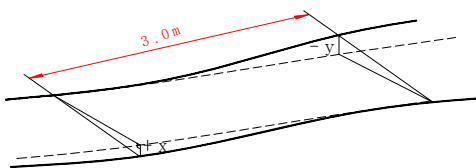


그림 12 비틀림

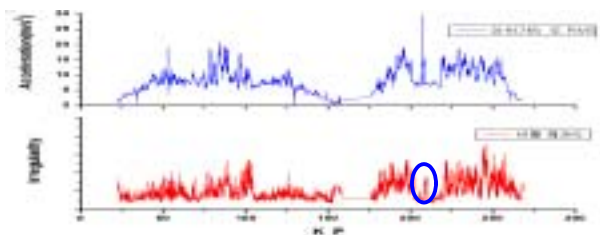


그림 13 비틀림과 상하가속도 RMS값

그림 13에서 볼 수 있듯이 비틀림 역시 상하 가속도 RMS값과 같은 경향을 보임을 알 수 있다.

### 3.4 수 평

수평은 선로의 직각방향 위치에서 측정된 좌우레일의 고저차이로 직선의 경우 고저차가 틀림치로 나타나며, 곡선의 경우 설계 캔트량에 대한 증감치가 틀림치이다<sup>1</sup>. 그림 14와 15는 수평 틀림을 보여 준다. 수평 틀림의 정의에 따르자면 좌우레도의 고저 차 이므로 한 방향(WS61)만 측정된 상하가속도 값으로 측정이 불가 하다.

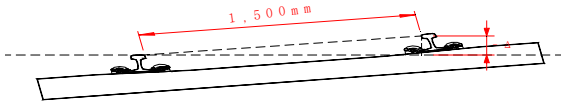


그림 14 직선 구간에서의 수평 틀림

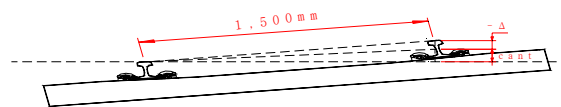


그림 15 곡선에서의 수평틀림

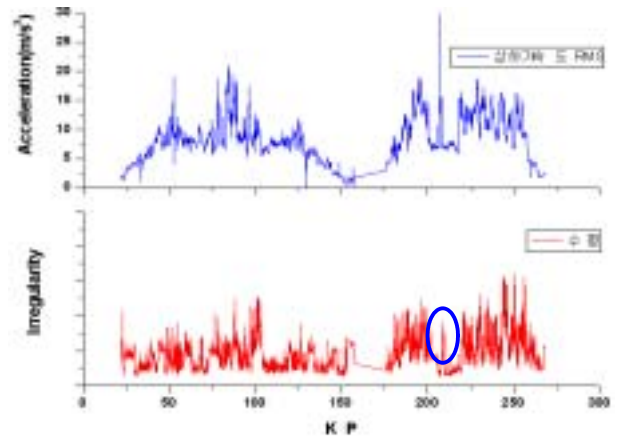


그림 16 수평 틀림과 상하가속도 RMS

이는 좌우 레도의 수평 고저 차이로 인해 차량을 상하 방향으로 진동 시키는 것에 기인한다. 비록 정확한 값은 아니겠지만 상하 가속도 값을 가지고 수평 틀림 정도를 평가 할 수 있다.

### 3.5 궤 간

궤간은 좌우레일의 간격, 즉 레일 두부면에서 하방 14mm 지점의 내측면간의 거리로 측정하며 곡선 부의 경우 설정된 슬랙(Slack)량을 감안하여 측정한다<sup>1</sup>. 궤간의 경우 간격이 벌어질 경우 차량이 좌우로 움직일 수 있으며 또한 상하 방향으로도 영향을 준다. 따라서 상·하, 좌·우 가속도 값을 모두 고려해야 할 것이다.

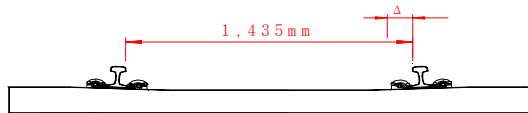


그림 17 궤간

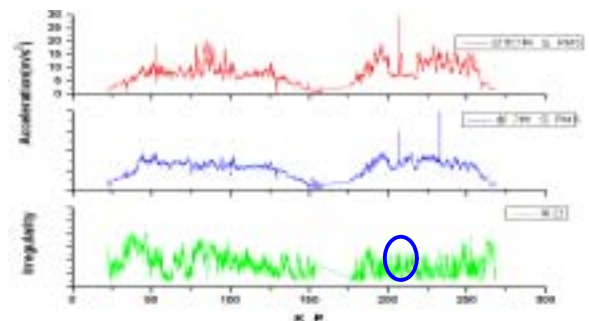


그림 18 궤간과 가속도 RMS값

그림 18에서 볼 수 있듯이 궤간은 위의 다른 궤도 틀림 값들과 좀 다른 경향을 보여준다. 가속도 RMS 값만 가지고 궤간의 상태를 평가한다는 것은 무리가 따른다고 볼 수 있으며 차후 주파수 분석 등 다른 방법으로 접근해야 할 것이다.

#### 4. 결 론

이 연구는 광명에서 동대구까지의 전체 구간에 대한 궤도 불규칙도를 한국형고속열차에 계측하고 있는 차축 상·하 가속도 값과 비교분석한 것이다. 위의 결과에서 볼 수 있듯이 전체 구간에 대한 궤도불규칙도와 차축가속도 값이 잘 부합함을 보였다. 특히 궤간을 제외하고 거의 모든 불규칙도 값들은 가속도 값과 거의 일치함을 보였다. 이를 통해 가속도 값을 이용하여 각 구간의 궤도 상태 평가에 활용 가능하다는 것을 알 수 있었다. 하지만 세부 구간을 살펴보았을 때 잘 부합하지 않는 구간이 있음을 확인 할 수 있었고 세부적인 평가를 위해서는 보다 정밀한 분석이 요구된다. 앞으로 정량적인 방법의 연구개발이 수행 된다면 가속도 값을 이용하여 더욱 신뢰성 있는 궤도 불규칙도를 평가 할 수 있고 보다 정확한 궤도 조건에 따른 차량특성 연구가 가능하리라 본다.

#### 후 기

본 연구는 고속철도기술개발사업의 “고속철도시스템 신뢰성 및 운영효율화 기술개발” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 고속선궤도 선형검측, KORAIL 고속철도 유지보수 OJT교재
2. 박찬경 외 2명, “한국형고속전철의 진동가속도 시험연구.” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2003
3. 김석원 외 4명, “고속전철 시운전시험 및 평가용측정 시스템 개발.” 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2002, p174-181