

## 궤도 검측 시스템의 현황과 응용

### Technical Trend of Track Irregularities Measuring Systems and Its Application

김 상 수† · 김 영 모\* · 한 영 재\* · 박 춘 수\*

Kim, sang-soo, Kim, Youngmo, Han youngjea, and Park choonsu

Key Words : Track Irregularity(궤도 틀림), Track Inspection(궤도 검측), Track Inspection Car(궤도 검측차)

#### ABSTRACT

High speed railway, KTX has started commercial service last year and passengers is increasing. To secure the safety and reliability of high speed railway, it is necessary to inspect and maintain the rail regularities. Several methods of measuring track irregularities are developed in other railway advanced countries. In this paper, we introduce foreign track inspection methods and application scheme to Koreans.

#### 기 호 설 명

a, b, c : 측정점	$a_{amp}$ : 가속도 진폭
d : 궤도 틀림 진폭	$h_b$ : 궤도 틀림량
l : 궤도 틀림 파장	$L_0$ : 이론적 궤도 길이
$L_S$ : 총 궤도 실측거리	TQI : 궤도 틀림 상태 지수
v : 열차 속도	x : 샘플링 거리
y : 궤도의 실측거리와 이론 거리의 차	

#### 1. 서 론

2004년 4월 고속철도 개통에 따라 열차의 속도가 고속화 되고 이에 따라 열차의 주행속도뿐만이 아닌 승차감, 환경 친화성 등 쾌적한 고속철도를 구현하기 위하여 다방면에서 끊임없는 요구가 이어지고 있다. 특히 열차가 최대 속도 300km/h 로 주행하는 고속철도에서의 궤도의 유지 및 보수는 기존선과는 다른 개념의 보수를 필요로 한다. 고속성에서 궤도틀림의 진행이 기존선의 궤도와 비교하여 현저하게 크며, 궤도틀림의 변화가 열차동요 등의 변화에 크게 영향을 미친다. 열차를 지지하고 원활하게 유도하는 궤도는 하부로 전달되는 하중을 완화하여 구조물을 보호한다. 또한 열차의 주행 안전성 및 승차감은 궤도의 성능에 따라 직접적인 영

향을 받으며, 대부분의 환경소음 및 진동은 궤도의 틀림에 의해 발생된다고 할 수 있다. 이에 궤도 분야는 차량의 흔들림을 억제하고 효율적인 선로 시설물을 신속 정확하게 점검 및 관리할 수 있는 검측 기술이 요구되고 있다.

#### 2. 궤도 틀림 검측 시스템

고속철도 선로의 검측은 열차의 주행 안정성과 레일의 손상을 포함한 단파장과 중파장 궤도 틀림 및 승객의 승차감에 큰 영향을 주는 장파장의 측정이 요구된다. 이러한 궤도 틀림은 5가지로 분류될 수 있다.

- ① 궤간틀림 : 좌우 레일 간격의 틀림
- ② 수평틀림 : 궤간의 기본 치수에서의 좌우 레일의 높이차
- ③ 면(고저)틀림 : 레일 상면의 길이방향 요철
- ④ 줄(방향)틀림 : 레일 측면의 길이 방향의 요철
- ⑤ 평면성틀림 : 평면에 대한 궤도의 비틀림

이상과 같은 궤도 틀림을 검측하기 위한 검측장비와 분석방법은 여러 가지가 개발되어 있고, 크게 다음과 같은 기술이 있다.

##### 2.1 관성측정법

관성측정법은 가속도가 변위의 2차 미분이라는 원리를 이용하면서, 가속도를 검출하여 이것을 2회 적분함으로써 궤도 틀림을 구하는 검측방법이다. 그림과 같이 차축에 가속도를 설치하면, 레일과 휠의 접촉에 의해 레일의 틀림이 직접적으로 휠에 전달되어 차축에 전달되어 이 가속도 센서를 이용

† 한국철도기술연구원  
E-mail : sskim@krri.re.kr  
Tel : (031)460-5625, Fax : (031)460-5649

\* 한국철도기술연구원

하여 직접적으로 궤도 틀림에 의한 가속도 변화를 알 수 있어, 열차 주행시 궤도 선형과 궤도 틀림의 영향이 항상 나타난다. 고저 궤도 틀림량을  $d$ 라하고, 열차의 속도  $v$ , 파장  $l$ 일 때, 가속도 진폭은 다음과 같이 나타난다.

$$a_{amp} = d \cdot (2\pi)^2 \cdot \left(\frac{v}{l}\right)^2 \quad (1)$$

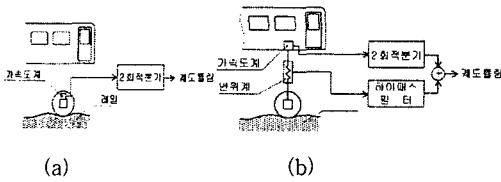


Fig. 1 Inertia measuring method

## 2.2 종거법

복수의 지점에서의 레일 변위의 차를 이용하여 궤도틀림을 구하는 방법으로서 대차 간격등의 차량 제원에 대하여 검측 특성이 좌우된다. 그림 2에 3개의 측정점에서 레일의 변위측 측정하는 원리가 나타나 있다. 각 측정점 (a, b, c)의 길이 간격이 일정하고 측정점에서 차륜까지의 변위량을 측정하게 되면, 고저 궤도 틀림량은

$$h_b = b - \frac{a+c}{2} \quad (2)$$

로 산출되어 질 수 있다.

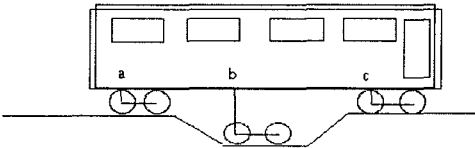


Fig. 2 Chord offset measuring method

## 2.3 레일 형상 스캐닝법

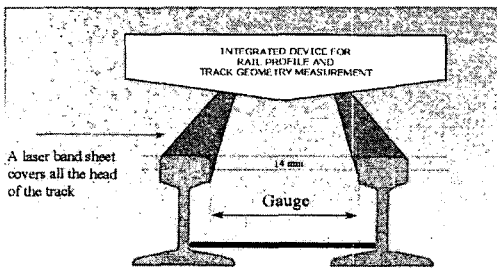


Fig. 3 Rail profile scanning method

그림 3과 같이 레이저를 광원으로 사용하여 레일 주행면을 기본으로 레일 두부와 내측면의 단면을 광학식으로 측정,

카메라를 통하여 레일의 형상과 마모 및 손상등을 측정하는 방법이다.

## 3. 궤도 틀림 검측 시스템의 현황

### 3.1 UGMS (Unattended Geometry Measurement System)

궤도 측정시스템 회사인 미국 ImageMap Inc에서 개발한 안정성이 높은 고속 비접촉식 검측 장비로 일반 철도차량에의 프레임에 부착하여 실시간으로 궤도 검측을 하며 측정 데이터를 제공한다. 구조는 그림 4와 같이 프레임에 레이저를 장착하여 궤도 검측을 수행한다.

#### (1) 기술 특성

UGMS는 계측 객체에 부착되어 자동적으로 운영되며, 최신 전자 기술과 무선 기술 그리고 각 부품들의 신뢰성 향상으로 궤도 구조측정 장치를 무인화 측정하는 것이 가능하다.

#### 가. Light Sectioning 방법.

UGMS에서 사용하는 이 기술은 얇은 띠를 이루는 빛을 레일 표면에 쏘아 주어 카메라를 통하여 레일 전체의 모습이 아닌 레일의 윤곽을 받는다. 적외선 레이저를 광원으로 사용하며 특별 설계된 렌즈를 통해서 궤도 형상면을 측정하는 방법이다. 궤도로부터 반사된 선광은 CCD 카메라를 통하여 궤도의 형상을 보여 준다. 영상 처리 후 궤도의 형상은 얇은 밴드의 모습이며 특별히 제작된 컴퓨터 프로그램에 의해 레일의 모습이 그려진다. 또한 진동으로 인한 왜곡 이미지는 차량의 동특성으로 일부 보상되며, 역학적 필터링 방법으로 제거한다.

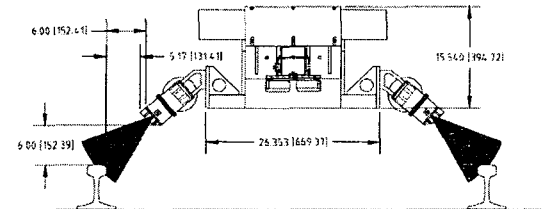


Fig. 4 Laser-Camera Mounting

#### 나. 소프트웨어(WinDBC)

Light Sectioning 방법은 카메라로 수집된 영상을 처리하기 위해 Image processing이 필요하게 되며, UGMS에서는 데이터 수집에 대한 소프트웨어 프로그램, WinDBC에서 영상을 처리하고, 잡음을 제거한다. WinDBC는 이미지 데이터의 결함을 제거하고, 데이터 디스플레이와 저장을 수행하며 실시간 데이터와 저장데이터 디스플레이를 위한 디지털 연속도표를 보여준다.

#### (2) 시스템의 구성

UGMS는 레이저, CCD 카메라, 레이저온도 조절장치, 비디오 디지털화 장치, 컴퓨터등의 부품을 사용, 그림 5와 같이

구성되어 있다. 차체 하부 카메라에서의 정보외에 Inertial Unit의 차량 정보, 위치정보들이 신호처리 장치로 수집되어 분석을 수행한다.

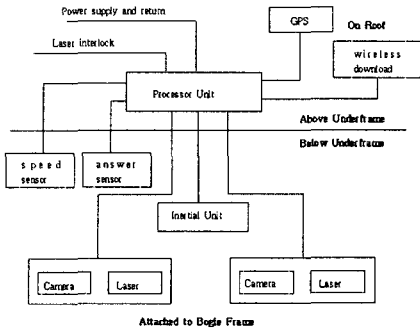


Fig. 5 UGMS System Diagram

### 3.2 TECNOGAMMA의 검측 시스템

Technogamma는 레이저와 영상 시스템을 개발하는 이탈리아의 회사이다. Light Sectioning 기법을 이용한 비접촉식으로 레일의 상태를 검측 한다.

#### 가. 파상마모 검측 시스템

그림 6의 좌와 같이 1024\*1024 픽셀의 CMOS 센서를 이용하여 좌우 각 센서는 평행으로 작용하는 4개의 Analog-Digital Converter 를 통합하여 데이터를 전송한다. 5KHz의 감도로 (200km/h의 속도 일때 11mm간격의 측정 가능) 측정이 가능하다. 검측이 차량의 외부 진동 및 속도에 영향을 받지 않으며 카메라는 특수 필터를 사용하여 단일 파장의 레이저만 감지하도록 설계되어 있어 다른 광원으로 부터의 간섭을 최소화 한다. 그림 6의 우와 같이 외부의 영향을 최소화 하기 위해서 적절한 고정 브라켓을 이용 하여 대차에 장착하였고 레일 검측부와와의 거리는 130mm 정도이다. CMOS센서에서 들어온 신호는 DSP 후처리가 필요하다.

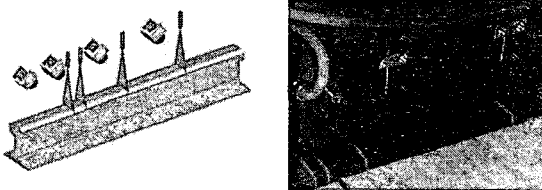


Fig. 6 Rail corrugation detection system

#### 나. 레일 형상 검측 시스템

그림 7과 같이 3대의 고성능 CMOS 카메라와 레이저를 이용하여 레일의 형상을 측정한다. 두 대의 카메라는 레일의 측면을, 한 대의 카메라는 레일의 상면을 측정하여 레일 형상을 구체화 시킬수 있는 시스템을 구성하고 있다. 현재 구성된 부품으로 레일 형상과 마모를 ±0.2mm의 정확도로, 샘플링 주파수를 250Hz로 하여 최고 속도 300km/h에서의 측정 가능 시스템을 완성하고 있다. 설치는 차체에 프레

임에 고정시켜 실시간 감시를 할 수 있다.

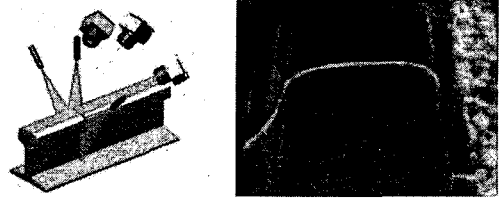


Fig. 7 Rail profile measuring system

### 3.3 미 연방 철도국의 검측 시스템

미 연방 철도국(Federal Railroad Administration)은 미국 내 선로의 안전성에 대한 표준을 만들기 위해 고속철도 연구개발 프로그램(T-16)과 자동 선로 측정 프로그램(ATIP)를 이용 하여 궤도 틀림 평가 방법을 제시하고 있다

#### 가. TQI (Track Quality Index) 시스템

TQI는 궤도의 길이로서 궤도의 질을 산출하는 방법이다. 그림 8과 같이 1, 2, 3 부분의 레일 양 끝단까지의 거리는 같지만 각각을 계측하여 그 길이를 비교하면 레일의 요철 혹은 굴곡이 많을수록 총 레일 계측 길이는 더 길어지게 된다.

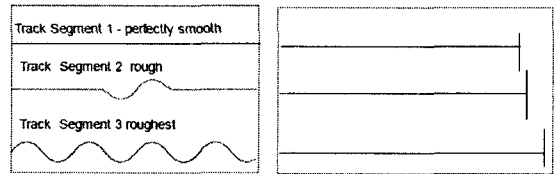


Fig. 8 Length-base TQI Approach

이러한 방법을 이용해서 절대적인 값이 아닌 상대 값으로써 궤도 상태의 등급을 구할 수 있다. 각 레일의 측정 부분을 미 연방 철도국(FRA)에서는 528ft (1/10 마일)로 두고 측정 부분의 시작과 끝점에서의 실측거리의 합으로 총 레일 실측 거리를 구한다. 즉, 각 측정 부분에서의 실측 거리는 간단한 삼각형 공식으로서 다음과 같이 구하고 있다.

$$L_s = \sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2} \quad (3)$$

여기서  $L_s$ 는 총 실측거리,  $x$ 는 sampling 거리,  $y$ 는 두 점 사이의 계산치와 실측치 차이를 나타낸다. 총 실측거리는 면틀림 외에 줄 틀림, 궤간 틀림등을 계산할 수 있고, 이 총 실측거리가 구해지면 이론상의 거리와의 차이를 구해, 궤도 틀림 정보를 얻을 수 있다.

FRA에서 정의한 TQI 값은 다음과 같다.

$$TQI = \left[ \frac{L_s}{L_0} - 1 \right] \times 10^6 \quad (4)$$

여기서  $L_0$ 는 sampling한 궤도의 이론적 거리이다.

이상의 TQI 시스템으로부터 알 수 있듯 좋은 상태의 궤도 (high class track) 일수록 낮은 TQI 값을 갖는다. 그림 8은

미국의 FRA T2000 궤도검측 차량에서 측정한 TQI 결과로서 레벨을 2-7의 class로 나누었다. 측정 항목은 줄 틀림, 궤간 틀림 이며 그래프에 나타난 바와 같이 class7이 가장 낮은 TQI 값을 갖는다. 이는 가장 레일의 궤도 틀림 상태가 좋다는 것을 나타내고 class2는 가장 나쁨을 나타낸다.

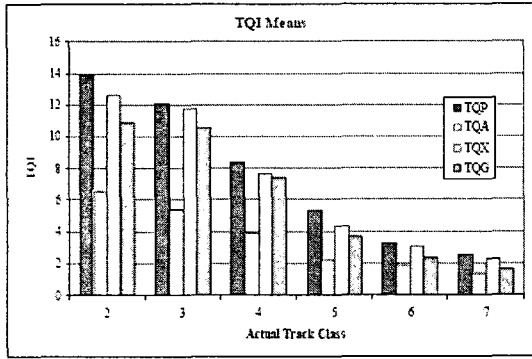


Fig. 9 TQI mean for classes 2 to 7

#### 4. 국내 궤도 검측 시스템의 현황과 응용방안

##### 4.1 국내 검측차

국내에서는 경부고속철도의 건설이 완료되면서 당시 고속철도공단 (현 한국철도시설공단) 에서 궤도의 유지 관리를 위한 절차서 및 지침서를 작성 경부고속철도 궤도 유지보수를 수행하고 있다. 현재 운용중인 궤도 검측차는 120km/h에서 측정이 가능한 EM1120등이다. EM 120은 오스트리아 프라샤 앤드 도일러 사에서 개발된 검측차로 10m의 측정 현 길이와 3대의 보기 대차를 구비하여 3축정의 종거법을 이용하여 궤도 검측을 할 수 있다.

또한 영업 열차 KTX 12호 열차의 동력차에 4개의 가속도계를 부착하여 열차가 주행하는 동안에 수직, 수평 차량 진동 가속도와 수직, 수평 대차 진동가속도를 측정한다. 고속열차가 진행하는 동안 궤도의 동적 거동 및 열차의 진동을 분석하여 궤도의 선형 틀림을 추정하고 궤도의 결함이 실제 열차의 주행에 미치는 영향을 평가하고 있다.

##### 4.2 궤도 검측 시스템의 적용 및 응용

고속철도의 궤도 관리를 위해 궤도 검측 시스템의 요구는 엄격해지고 있으나 현재 국내에서 운용중인 궤도 시스템의 현황은 미흡한 실정이다. 고속운전을 위한 궤도 유지 보수의 필요성에 맞추어 새로운 궤도 틀림 검측 시스템이 국내에 시급한 상황이다. 궤도 검측 시스템의 적용 및 응용으로 한국형 고속전철에 설치 가능성이 있다. 한국형 고속열차는 2002년 8월부터 고속선에서 시운전 시험 중에 있는데, 그림 10처럼 차체에 가속도계를 포함한 각종 센서가 설치되어 있어 상시 계측시스템에서 실시간으로 모니터링 및 저장을 하

도록 되어 있다.

한국형 고속전철에 궤도틀림 검측 시스템을 구축할 경우 기 설치된 장비를 이용하여 시간과 비용을 절감할 수 있기 때문에 여러 면에서 매우 효율적이라고 여겨진다.

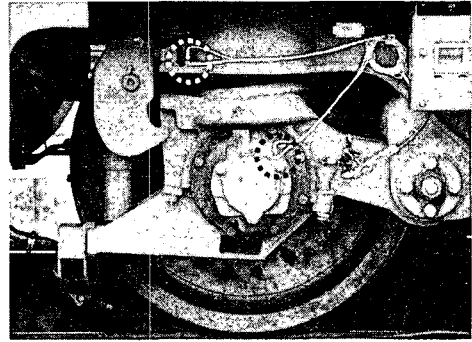


Fig. 10 Accelerometers attached on Korean High Speed Train (HSR 350x)

#### 5. 결 론

본 논문에서는 최신 궤도 검측 시스템의 현황과 그 특징을 조사하였다. 그 결과 전자장비의 발달로 고속에서의 검측이 가능한 시스템과 이미지 스캐닝으로 궤도 검측이 가능함을 알았다. 또한 국내 응용으로서 한국형 고속열차에 설치가 효율적임을 알 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 건설교통부가 시행하는 “고속철도시스템 신뢰성 및 운영효율화”과제의 지원을 받고 있음을 밝힙니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 손기준, 2003, '고속검측시스템 소개', 한국철도기술연구원 한국철도기술 2003 1-2월.
- (2) 한영재 등, 2004, '궤도측정을 위한 계측시스템의 기술도향 및 구성방안', 하계학술대회논문집, 대한전기학회.
- (3) Eiji, Y., 2003, "Track Inspection Technologies", Railway Technology Avalanche, No.1.
- (4) 김상수 등, 2005, '일본의 궤도 검측 시스템의 기술동향', 춘계학술대회논문집, 대한기계학회, KSME 05S001.
- (5) 김상수 등, 2005, '궤도 틀림 검측 시스템의 기술 동향 및 구성, 자체연구과제보고서' 한국철도기술연구원
- (6) El-Sibaie, Magdy., etc, 2005, 'Development of Objective Track Quality Indices, Research Results', FRA