

# 측량과 현방식 궤도틀림 측정 비교

## Comparison of Chord method with Surveying in Track irregularity Measurement

이지하\*                      이상진\*\*  
Lee, Jeeha                  Lee, Sang-Jin

---

### ABSTRACT

Track geometry consists of tangent and curved lines, which caused undesirable changes in initial track geometry by traffic loads. The bigger the changes are, the worse the riding comfort and running stability of train. This is so-called track irregularity and is the most important quality parameters of ballasted track. To be able to objectively assess track irregularity, track geometry should be able to be measured. Practically, railway companies use moving chord method, this method determine versine values via a chord. The versine is the vertical distance to curve measured in the middle of the chord. This type of method measures only versine of track irregularity curve by transfer function from specific property of measuring tool. In this report, review the characteristics of two types of measuring tools by comparing the measurements. The one is GRP-1000 system, optical surveying system with Total station and laser prism trolley. This calculates track geometry by surveying absolute coordinates of two points each on both rail heads. The other is Trackmaster, measures versine with 2m of chord length.

---

Keyword: 궤도틀림, 중앙종거, 현방식, 측량방식, 전달함수

Track irregularity, versine, Chord method, Surveying, transfer function

### 1. 서 론

궤도의 선형은 열차를 원하는 목적지로 유도하는 경로이며 직선과 곡선으로 이루어진다. 설계시에는 선형이 완벽한 직선과 곡선으로 이루어지게 되나 시공과정을 통하여 물리적인 형상을 가지게 되면서 어느정도 오차를 가지게 된다. 이 오차는 열차의 운행이 반복됨에 따라 더욱더 심화되며 결국 승차감을 저해하고 심지어는 열차의 운행에 위험을 주기도 한다. 이 오차를 궤도틀림이라하며 자갈도상궤도에서 가장 중요한 품질지수이다. 궤도 선형의 물리적인 형상은 측량에 의한 방법이 가장 직접적이고 정확할 것이나, 이는 작업속도가 느려서 실용적으로는 현방식 등의 근사적인 방법을 이용하여 상대적인 궤도틀림을 측정하고 있다. 본 연구에서는 측량방식과 현방식 측정방법의 실측 비교를 통하여 각각의 특성과 측정값의 적합성을 고찰하고자 한다.

본 비교에서 사용한 측량방식은 스위스 Amberg사에서 개발한 GRP1000모델로 토탈스테이션 측량기와 트롤리 형태의 반사프리즘 구조체를 이용하여 광학적으로 궤도틀림의 절대값을 측정한다. 측정간격은 레일의 길이방향으로 25cm~1m로 하였다. 현방식의 측정은 일본 Kaneko사에서 개발한 트랙마스터(Trackmaster)를 사용하였으며, 이는 2m길이의 현을 가진 접촉식 궤도검측장비이다. 측정간격은 50cm이며 중앙종거법을 이용하여 상대적인 궤도틀림을 측정한다.

실측대상은 실제 열차가 운행되는 선로이며 약 1.4km 구간에 대한 비교측정 값을 이용하였다.

---

\* 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부, 정회원  
E-mail : jhlee@krri.re.kr TEL : (031)460-5325 FAX : (031)460-5814

\*\* 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부, 비회원  
E-mail : sjlee@krri.re.kr TEL : (031)460-5334 FAX : (031)460-5814

## 2. 본 론

### 2.1 검측방법별 검측 특성

#### 가. 트랙마스터

레일의 변위차를 이용하여 궤도틀림을 구하는 차분법(差分法)으로 중앙종거(versine)를 측정해서 선형의 좋고 나쁨을 판단하고 있다. 현 길이는 일반적으로 기존선에 있어서는 10m, 고속선에서는 장파장을 고려하기 위하여 30m이상을 하고있다.

궤도의 평면선형, 고저, 궤간, 수준, 비틀림량을 측정하며 장치본체에는 고저 및 평면선형량, 평면선형범, 고저 기준 범이 있고 각의 중앙에 센서가 부착되어있다.

데이터 수집장치는 각각의 장치대에 부착되어 있으며, 탈착가능한 상태로 탑재되어있으며, 측정은 수동식으로 손으로 밀어 주행함으로 이루어지며 측정결과는 메모리카드에 기억이 된다. 기억된 데이터는 2.5m현(측정현장) 또는 필요현장으로 환산된 정시량으로 출력된다.

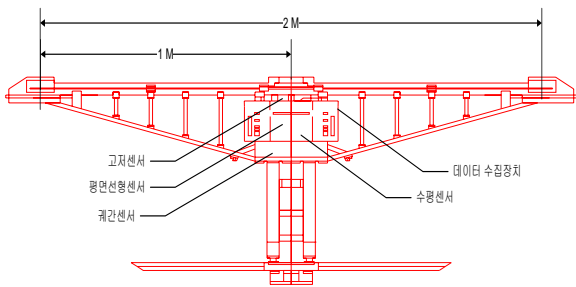


그림 1. Track Marster 장비구조

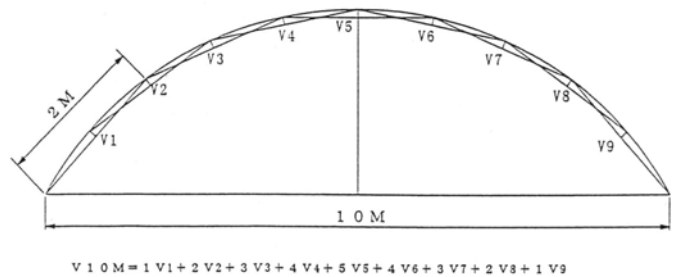


그림 2. 다중교차법에 의한 정시의 측정방법

도표 1. 트랙마스터 장비사양

분 류	제 원
측정항목	고저틀림, 수준틀림, 궤간틀림, 평면선형, 비틀림
실측현장	2m
측정간격	0.5m
주행(측정)속도	4km/h
측정범위	고저틀림 : ±10(2m현)
	수준틀림 : ±120mm
	궤간틀림 : -25mm ~ +45mm
	평면선형 : -20mm ~ +10mm
분해력	고저틀림 : 1/100mm
	수준틀림 : 3/100mm
	궤간틀림 : 4/100mm
	평면선형 : 2/100mm
측점수	14400측점(연장 약 7.2km)

그림2는 10m현 다중교차법과 이 궤도검측기를 이용한 측정방법과의 관련에 대해서 나타내고 있다. 이 측정방법에서는 이들을 연속으로한(V1~V9) 선으로서 인식하는 측정방법이다.

나. GRP

궤도상의특정 위치(양쪽 레일 상면)의 3차원 절대 좌표를 레이저 광학측량기(토탈스테이션)과 궤도상에서 길이방향으로 이동할 수 있는 트롤리 구조의 반사프리즘을 이용하여 측정하고, 전체적인 궤도 형상을 그려낸다. 이들 데이터를 처리하면 줄뜰림, 면뜰림, 궤간, 캔트, 키로징의 측정 가능하다.

현장에서 측량 결과 / 궤도 보정 값을 표시와 설계 측과 기 시공된 궤도 축의 실시간 비교할 수 있다.



그림 3. GRP 1000 장비구조

도표 2. GRP 장비사양

구 분	사 양		
측정 속도	단일측정	-좌표, 캔트, 궤도 -토탈 스테이션의 종류에 따라	3~8초
	자동측정모드	-측정주기	3Hz
	라이카 TPS 1200/ 토탈스테이션		3Hz
	TGS FX 센서		10Hz
TG SFX 측정범위	궤간	-공칭 궤간에서	-25mm~+65mm
	캔트	-각도 -1435mm 궤간	-10°~+10° ±225mm
시스템 정밀도	궤간	정지측량	±0.3mm
	캔트	-각도 -1435mm 궤간	±0.5mm
	GRP시스템 내부 정확도		±0.5mm
시스템 무게	GRP1000		27.0kg

현장측량시 60~80m 간격으로 측량기준점을 설치하여 절대좌표를 기록한 다음 궤도측정시에는 이점을 기준으로 정밀측정을 실시하게 된다. 시스템의 측정 정밀도는 ±0.5mm 이며, 평균 작업 속도는 시간당 80~100m로 비교적 느린 편이다. 측량시에 레이저 반사를 이용하며 인적오류의 가능성은 적다.

2.2 검측데이터 분석

가. 검측 개요

실제의 열차가 운행되는 철도구간에서 비교측정을 시행하였다. 측정대상구간은 그림 6에서보이는 바

와 같이 하구배 6‰ 구간과 수평구간으로 구성되어 있으며, 궤도틀림의 진전이 비교적 완만한 구간으로 비교적 가까운 기간에 비교측정을 실시하였으므로 측정당시의 궤도상태는 동일하다고 보아도 무방할 것이다.

나. 전달함수 검토

궤도를 따라 여러 점에서 레일의 변위차를 이용하여 궤도틀림을 구하는 차분법(差分法)의 일종인 중앙중거법을 이용한 방식이다. 이 방식은 일정한 길이의 현(弦, chord)을 이용하여 중앙중거값(versine)을 측정하게 되므로 실제의 궤도 틀림 형상과는 다르다. 이 방식은 순수히 기하학적 원리를 이용하여 측정되므로 측정 메카니즘이 비교적 단순하여 신뢰할 수 있는 값을 얻을 수 있으나, 측정센서의 기하학적 구성에 따라 검측특성이 좌우되며 이는 전달함수로 나타난다.

트랙마스터는 줄틀림 및 면틀림 측정시 a=b=1m의 검측현을 이용한다.

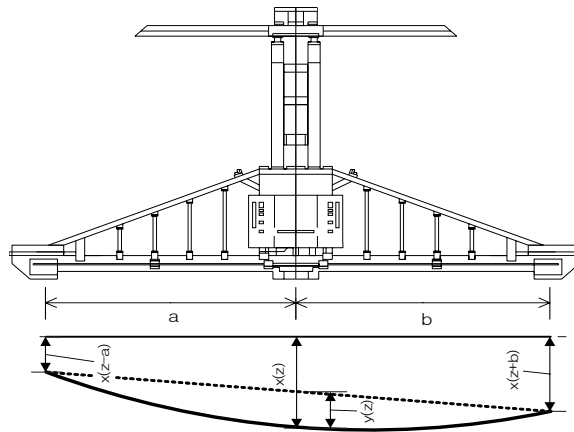


그림 4. 트랙마스터의 측정현 구조

$$y(z) = x(z) - \left[ x(z-a) + \frac{a}{a+b} \{ x(z+b) - x(z-a) \} \right] \text{----- (1)}$$

$$= x(z) - \left[ \frac{b}{a+b} x(z-a) + \frac{a}{a+b} x(z+b) \right]$$

상기식을 Fourier Transform 하여 전달함수(Transfer function( $H(\nu)$ ))를 구하면,

$$H(\nu) = \frac{Y(\nu)}{X(\nu)} = \left[ 1 - \frac{b}{a+b} (\cos 2\pi\nu a - j \sin 2\pi\nu a) - \frac{a}{a+b} (\cos 2\pi\nu b + j \sin 2\pi\nu b) \right] \text{----- (2)}$$

$$= \left( 1 - \frac{b}{a+b} \cos 2\pi\nu a - \frac{a}{a+b} \cos 2\pi\nu b \right)$$

$$+ j \left( \frac{b}{a+b} \sin 2\pi\nu a - \frac{a}{a+b} \sin 2\pi\nu b \right)$$

$$|H(\nu)| = \left[ \left( 1 - \frac{b}{a+b} \cos 2\pi\nu a - \frac{a}{a+b} \cos 2\pi\nu b \right)^2 + \left( \frac{b}{a+b} \sin 2\pi\nu a - \frac{a}{a+b} \sin 2\pi\nu b \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \text{--- (3)}$$

전달함수,  $H(\nu)$ 를 구하는 공식에 트랙마스터의 검측현길이 a, b를 대입하면 식(4),(5)와 같은 전달함수를 구할 수 있다, 트랙마스터로 2m길이의 현으로 데이터는 측정하고 이를 그림2의 다중 교차법에 의하여 10m 현에 대한 값으로 변환한다. 그림5는 대칭현방식의 10m현에 대한 전달함수이다.

$$H(\nu) = \frac{Y(\nu)}{X(\nu)} = (1 - \cos 2\pi\nu a) \text{ ----- (4)}$$

$$|H(\nu)| = (1 - \cos 2\pi\nu a) \text{ ----- (5)}$$

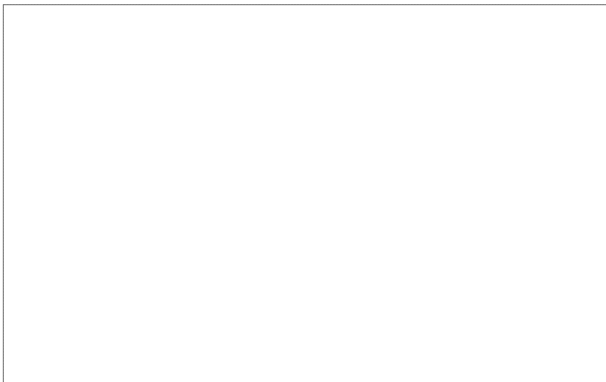


그림 5. 트랙마스터의 전달함수

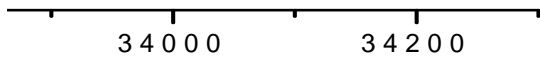


그림 6. GRP의 표고 측정 그래프

다. 10m 현 종거값의 비교

GRP로 측정한 표고값(그림 6)은 측정점 간의 절대좌표이며, 측정대상구간의 종단선형 기울기(grade)를 보여주고 있다. 그림6에 보이고 있는 데이터는 -6%의 하구배로 시작하여 33330지점에서 평구배로 변환되고 있으며 그 사이에 종곡선이 부설되어 있다. GRP측정은 측량에 의한 3차원 좌표값이므로 전달함수가 없으며 궤도가 부설된 실제로인 현재 상태를 보여주고 있다.

그림6의 데이터를 트랙마스터와 같은 2m 대칭현방식의 10m현 종거값으로 변환하여 상호 비교하였다. 이 값은 궤도의 면틀림(고저틀림)값이 된다.

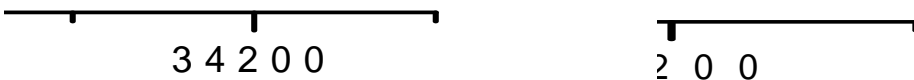


그림 7. 측정대상구간의 10m현 면(고저)틀림 종거값 비교

면틀림의 표준편차는 GRP와 트랙마스터가 각각 1.028mm와 0.977mm이로 근소한 차이를 보이고 있으나, 그래프의 형상이 거의 유사하다. 트랙마스터가 정확하게 500mm 간격으로 측정함에 비하여 GRP

는 수동으로 측정위치를 대략 500mm로 잡게 되므로 측정위치에서  $\pm 20\text{mm}$  정도의 오차가 필연적으로 발생하게 된다. 이러한 오차를 감안한다면 두 장비의 데이터는 거의 일치한다고 판단할 수 있다. 평균값에 있어서는 GRP가 0.05mm, 트랙마스터가 5.766mm 로 큰 차이를 보이고 있다. 이는 초기값을 입력하게 되는 트랙마스터의 측정방법과 관련이 있는 것으로 판단된다.

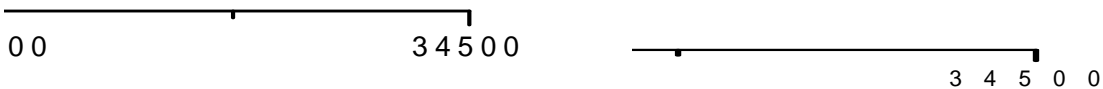


그림 8. 측정대상구간의 궤간틀림 값 비교

궤간틀림의 경우에는 두 측정장비 모두 레일간의 거리를 직접으로 측정하는 방식을 동일하게 사용하고 있다. 결과값의 표준편차는 0.869mm로 동일하며, 평균값의 경우 GRP와 트랙마스터의 값이 각각  $-2.357\text{mm}$ 와  $-1.98\text{mm}$ 로 근사한 값을 보이고 있다. 파형의 형상도 유사하다.

### 3. 결 론

본 비교검토에서는 궤도의 상태파악을 위해 일반적으로 사용되고 있는 궤도틀림값을 측정할 수 있는 두 가지 장비의 결과치를 비교하여 상호 신뢰성을 확인하여, 향후 궤도검측차 등 다른 측정장비의 검측 정확도나 실제 궤도변형과의 상관관계를 파악하기 위한 검토이다. 고도의 정밀한 레이저 측량장비로 측정된 절대좌표값과 간이 측정장비인 트랙마스터의 값의 10m 중앙중거값을 비교한 결과 거의 일치하는 것을 확인하였으며, 이 결과는 향후 역으로 중앙중거값을 이용하여 궤도틀림의 실제형상을 추론하는 연구의 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

중앙중거값의 경우 실제의 궤도틀림 형상과는 어느 정도 차이가 있기 때문에 10m현으로 측정한 결과 궤도틀림량이 기준을 넘어서서 복구작업을 수행해야 할 경우, 현장 작업시에 다시 인력으로 측정해야 하는 수고가 필요하다. 궤도틀림의 실제 형상으로 궤도틀림의 원인파악에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이며, 또한 차량가속도와 궤도틀림값과의 상관관계를 파악하는데도 유용할 것이다.

향후 본 비교검토결과를 이용하여 궤도검측차등 중앙중거법을 이용한 여러 검측장비의 검측결과값을 확인하고 그 상관관계를 도출하고자 한다.

본 비교검토는 “차세대 고속철도 기술개발사업”의 “고속화를 위한 선로구축물 핵심기술개발 과제”의 일환으로 수행되었다.

### 참고문헌

1. Kaneko, “Track Master 궤도검측기 사용설명서 Model : KS-5730B”, Kaneko, 일본
2. Amberg, “GRP 1000 장비설명서”, Amberg, 스위스
3. 서사범(2000), “궤도장비와 선로관리”, 열과알
4. 정우진, 안규일(2002), “현방법으로 검측된 궤도 틀림값의 원형복원에 대한 기초검토”, 추계 학술대회논문집, 한국철도학회