

## 현방식 방향틀림 검측치의 기준선 보정 방안에 관한 연구

## Uniformity correction Methodology to correct the Alignment measured by Versine System in Curves

김정한<sup>†</sup>, 최일윤\*, 박용걸\*\*Jung-Han Kim<sup>†</sup>, Il-Yoon Choi\*, Yong-Gul Park\*\*

**Abstract** The purpose of this study is in order to improve track irregularities standards of the conventional line, the alignment data which are measured in curves using the versine system include curve effect as well as the track irregularities. In this study, To present Uniformity Methodology to correct the Alignment measured by Versine System in Curves, Investigate status of the conventional line curve and compared the alignment data to the moving average error of 50m and 100m range. Based on the result, the correction method for the alignment is suggested for the conventional line.

**Keywords :** Alignment, track recording car, uniformity correction, track irregularities

**초 록** 본 논문의 목적은 일반철도 유지보수 궤도틀림 기준을 개선하기 위한 것으로, 현방식 검측원리를 이용하여 곡선부에서 검측된 데이터에는 실제 방향틀림 뿐만 아니라 곡선 선형에 따른 검측치가 포함되어 검측되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 일반철도 현방식 방향틀림 검측치의 기준선 보정방안을 제시하기 위해 전국 일반철도의 곡선현황을 조사하고 곡선반경별로 방향틀림 검측치 전후 50m 와 100m 구간의 이동평균 오차에 대하여 비교분석을 수행하였다. 그 결과를 바탕으로 방향틀림 기준선 설정방안을 제시하였다.

**주요어 :** 방향틀림, 검측차, 기준선보정, 궤도틀림

## 1. 서 론

궤도틀림은 당초 설계 또는 시공된 위치로부터 여러가지 원인에 의하여 레일의 위치가 벗어나 있는 것을 의미하여, 이러한 궤도틀림은 차량의 승차감, 주행안정성 뿐만 아니라 궤도 구성품에 작용하는 하중을 증가시키는 원인이 된다. 따라서, 궤도틀림은 일정한 허용기준 이내로 관리되어야 하며, 이를 위하여 주기적으로 궤도틀림 검측을 수행하고 있다. 궤도틀림은 일반적으로 고저틀림, 방향틀림, 수평틀림, 뒤틀림 및 궤간틀림 등으로 구분된다. 검측차를 이용하여 이러한 궤도틀림을 검측하는 경우, 다소의 계측오차가 발생할 수 있다.

† 교신저자 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정 ([junghan1070@kr.or.kr](mailto:junghan1070@kr.or.kr))

\* 한국철도기술연구원 선임연구원 공학박사 ([iychoi@krri.re.kr](mailto:iychoi@krri.re.kr))

\*\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수 공학박사 ([ygpark@seoultech.ac.kr](mailto:ygpark@seoultech.ac.kr))

특히, 검측차의 검측특성에 따라 검측결과에 다소의 차이가 발생하게 된다. 특히, 현방식(Versine) 검측시스템의 경우, 고저틀림 및 방향틀림에서 종곡선 및 평면곡선에서 곡선의 효과에 의하여 일정한 크기의 값이 추가로 검측되는 특성이 있다. 따라서, 궤도틀림 검측결과 분석시에는 이러한 특성을 고려하여야 하며, 선로유지관리지침[1]의 고속철도 궤도틀림 기준에는 고저틀림과 방향틀림에 대하여 200m 이동평균을 이용하여 기준선을 설정하고 기준선으로 부터의 검측값을 궤도틀림으로 보정하여 사용하도록 규정하고 있다. 그러나, 일반철도의 경우에는 기준선 보정에 관한 내용이 명시되어 있지 않은 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 곡선반경이 고속선 보다 작은 일반철도에서의 방향틀림의 기준선 보정방안을 제시하고자 한다.

## 2. 검측차의 궤도틀림 검측

본 절에서는 검측시스템의 측정원리와 국내의 검측차 현황을 정리하였다. Fig. 1은 국내의 주요 궤도틀림 검측시스템을 의미하며, 기존에는 접촉식센서를 사용하였으나, 최근에는 레이저, 카메라 및 IMU를 사용하여 비접촉식으로 고속검측을 수행하는 시스템으로 전환되고 있다.

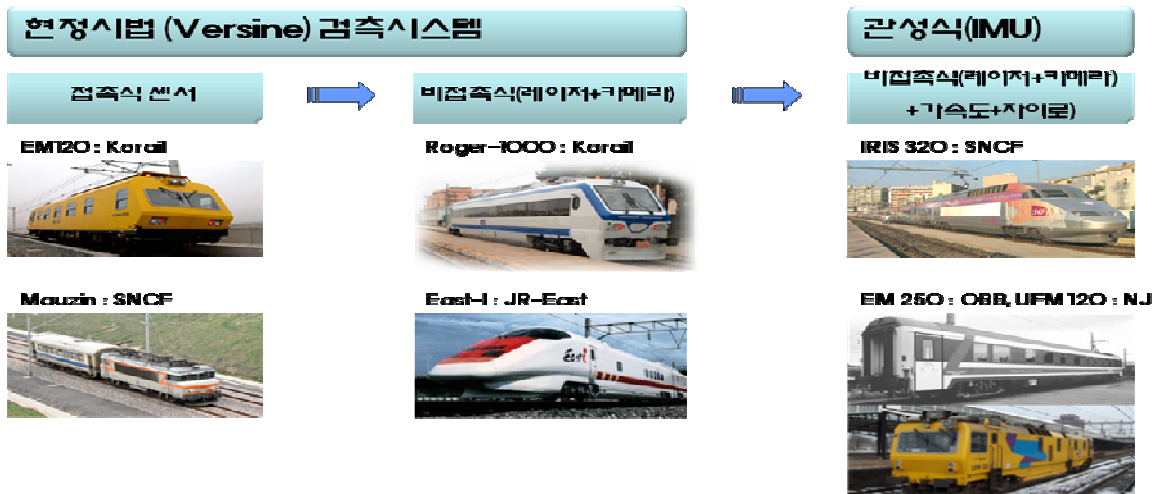
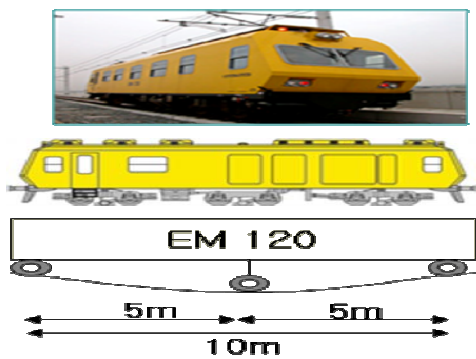
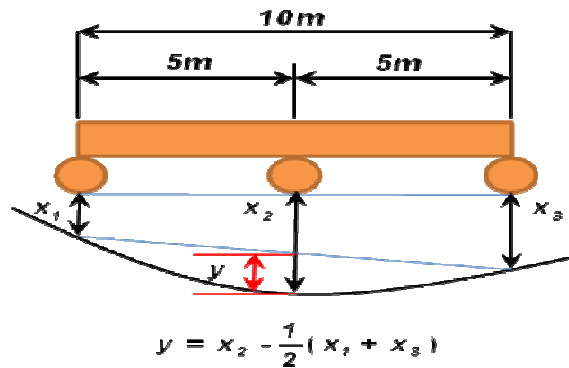


Fig.1 Track recording car

EM120 검측차의 경우, 고저틀림과 방향틀림에 대하여 10m현방식 검측방식을 사용하고 있으며, 검측원리는 다음 Fig. 2에 설명하였다. 고저틀림과 방향틀림의 검측값은 앞과 뒤쪽을 연결한 직선으로부터 중앙부의 변위를 측정하는 방식으로 검측되며, 이는 궤도틀림의 절대 위치를 측정하는 방식이 아니라 상대적인 값을 측정하는 방식이다. 따라서, 현방식 궤도틀림에서의 검측값은 Fig. 2 (b)의 방법으로 측정된 값을 의미하므로, Fig. 2 (b)의 식에 대한 Fourier Transform을 수행하면 각 파장대역별 전달함수(Transfer Function)를 구할 수 있으며, Fig. 3에 나타내었다.



(a) Overview of EM120



(b) Measurement principle

Fig.2 EM120 track recording car

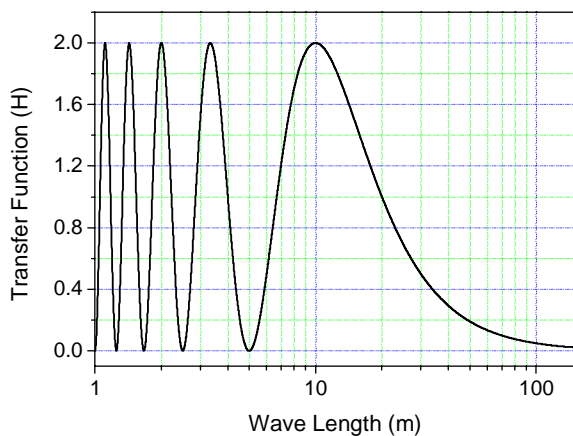


Fig.3 Transfer function of EM120

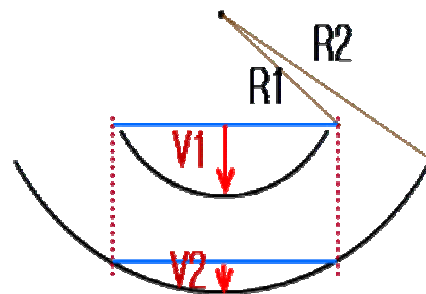


Fig.4 Versine in curves

10m 대칭현을 사용하는 EM120 검측시스템의 전달함수로부터 10m 파장의 경우, 실제 보다 증폭된 값을 계측하게 되며, 5m 파장의 경우 전달함수가 zero가 됨을 알 수 있다. 10m 이하의 파장대역에서는 전달함수가 0~2사이의 값이 반복되는 형태를 보이고 있으나, 10m 이상대역에서는 점진적으로 감소하는 현상을 보이고 있다. 30m 파장의 전달함수는 0.5 이며, 30m 이상의 파장대역에서는 전달함수의 값이 작아서 장파장 궤도틀림은 실제 보다 매우 작으로 검측되는 특성이 있다.

### 3. 곡선부 방향틀림 검측결과 및 분석

현방식 검측원리를 이용하고 있는 검측차는 곡선부에서 검측현의 길이와 선로의 곡선반경에 따라 일정한 크기의 값이 검측된다. 즉, Fig. 4의 그림에 나타난 바와 같이, 동일한 현 길이를 갖는 검측차에서 곡선반경이 R1, R2인 곡선부를 가정해 보면, 궤도틀림이 전혀 발생하지 않은 경우에도 V1과 V2 만큼의 값이 검측되며, 곡선반경이 작은 R1의 곡선부에서 더 큰 값을 갖고 있음을 알 수 있다.

10m 대칭현을 사용하고 있는 EM120 검측차에 대하여 곡선반경별로 종거량(Versine)을 Fig. 5에 정리하였다. 곡선반경이 작을수록 종거량(Versine)은 증가하며, R5000m, R2000m, R1000m, R500m, R200m에서 각각 2.5mm, 6.25mm, 12.5mm, 25mm, 62.5mm의 종거값을 갖는다.

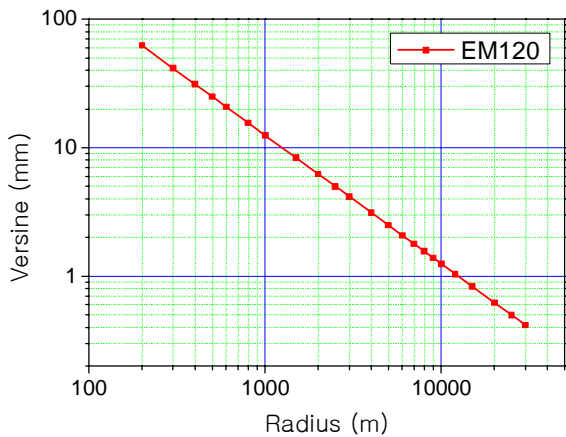


Fig.5 Versine according to Radius

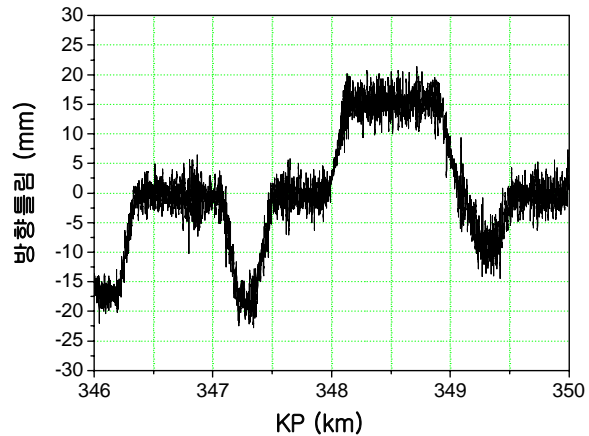


Fig.6 Alignment measured in Kyeongbu Line

경부선에서 검측된 방향틀림 데이터를 나타낸 Fig. 6으로부터 곡선부에서는 방향틀림의 검측값이 이동되어 검측되고 있음을 알 수 있으며 이는 앞서 언급한 현방식 검측시스템의 곡선부 검측특성에 기인한 것이다. 따라서, 이러한 곡선부의 효과에 대한 보정이 필요하며, 미국의 경우에는 검측현 길이의 2배 거리에서 총 9개 지점 값의 평균치를 해당 위치의 방향틀림 값을 보정하는 방법을 채택하고 있다[2]. 국내 고속철도 궤도틀림기준[1]에서는 고저틀림과 방향틀림에 대하여 200m 구간의 평균값을 기준값으로 정하고, 이 기준치로 부터의 차이를 궤도틀림으로 정의하고 있다.

이동평균 기법을 이용하여 기준선을 설정하여 보정하는 경우에는 이동평균의 구간 길이를 얼마로 하는가에 따라 기준선의 값이 영향을 받게 된다. Fig. 7과 Fig. 8은 방향틀림 검측결과를 이용하여 이동평균의 구간을 각각 50m/100m/200m로 하였을 경우에 대한 기준선 그래프를 의미한다. 곡선이 인접하여 있는 Fig. 7의 경우에는 이동평균 구간을 길게 할 경우 기준선에는 많은 오차가 발생하고 있음을 알 수 있으며, 곡선구간 전후에 충분한 직선 구간이 있는 경우에는 이동평균의 구간길이가 길수록 완화곡선 시종점부 및 원곡선 시종점부에서 오차가 증가함을 알 수 있다. 따라서, 곡선반경이 작고, 곡선사이의 직선구간이 짧은 일반철도 구간에서는 기준선 설정을 위한 이동평균 구간이 짧을수록 바람직하나, 지나치게 작은 경우에는 실제 방향틀림의 값에 의한 영향이 증가할 수도 있다. 그러나, 미국 FRA 규정에서는 10m현의 경우 약 20m 구간을 이동평균구간으로 설정하고 있으며, 50m 이동평균 그래프에서도 오차가 크지 않음을 알 수 있다.

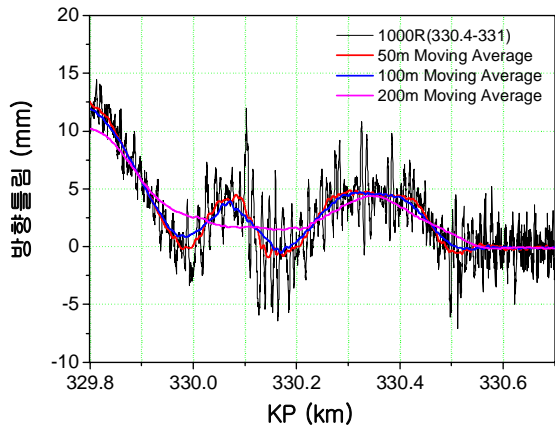


Fig.7 Effect of moving average

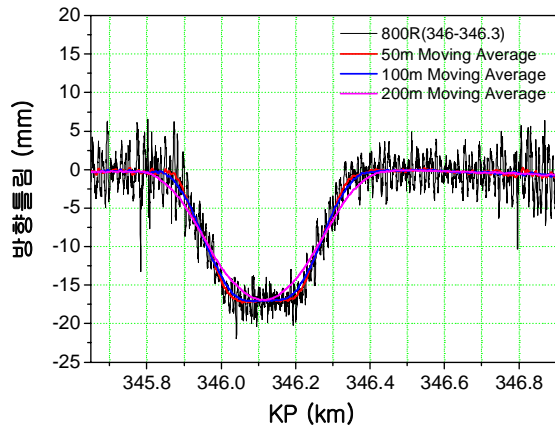
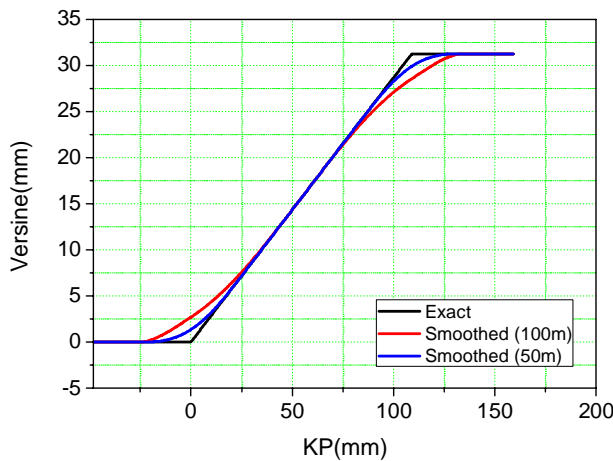
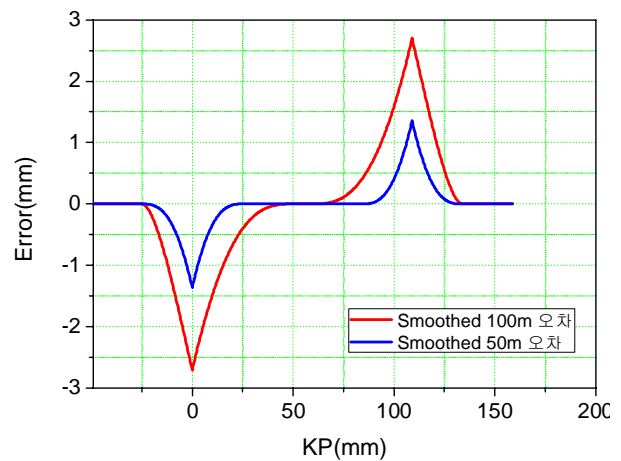


Fig.8 Effect of moving average

한편, 기준선 설정시, 이동평균 구간길이에 따라 가장 큰 영향을 받는 구간은 완화곡선 시종점부 및 원곡선의 시종점부이다. Fig. 9 (a)는 곡선반경 400m의 직선-완화곡선-원곡선으로 이루어진 실제 선형에서 이론적으로 곡선효과에 의하여 검측되는 종거값(Exact)과 이 값에 대한 50m, 100m 이동평군을 수행한 결과를 나타낸 그림을 의미한다. Fig. 9 (b)는 Fig. 9 (a)의 종거값(Exact)과 50m, 100m 이동평군을 뺀 값으로써, 각각 50m와 100m 이동평군을 하였을 경우의 이동평군에 발생하는 오차를 의미한다. 즉, 이동평군 구간을 짧게 하면, 오차가 감소함을 알 수 있다.



(a) Exact versine vs smoothed line in R400m curve



(b) Error due to smoothing in R400m curve

Fig.9 Error induced by the smoothing

한편, 기준선 곡선반경별로 이동평균 설정구간 길이에 따른 오차를 Table 1에 정리하였다. 500m 미만의 급곡선부를 제외하고는 50m 이동평군을 사용하여 기준선 보정을 수행할 경우, 1mm 미만의 비교적 작은 오차를 보이고 있음을 알 수 있다.

**Table 1** Error caused by smoothing according to radius of curve

Radius of Curve(m)	Error due to smoothing										
	200	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	3000
100m smoothing	7.55	4.13	2.70	1.93	1.46	1.16	0.95	0.68	0.37	0.25	0.14
50m smoothing	3.79	2.08	1.36	0.97	0.74	0.58	0.48	0.34	0.19	0.13	0.07

#### 4. 결 론

본 연구에서는 현방식 검측원리를 채택하고 있는 EM120 검측차의 방향틀림 검측데이터의 곡선부 보정방안을 제시하였다. 이동평균을 활용하여 곡선부의 방향틀림을 보정하는 방안 도출을 위하여 일반철도에서 검측된 방향틀림 데이터에 대한 분석과 검측원리를 고려한 이론적 분석을 수행하였으며, 곡선반경별 이동평균 구간길이에 따른 오차 및 영향을 조사하였다. 50m 이동평균을 이용하여 기준선 보정하는 방안은 곡선반경 R500m 이상의 구간에서는 오차 1mm 미만의 작은 값을 보이고 있어서 합리적 방안으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] Track maintenance manual. Korea Rail Network Authority, 2013
- [2] Track Safety Standards Compliance Manual. Federal Railroad Administration. 2002.
- [3] 최일윤,엄주환,김만철 (2013) “방향틀림이 KTX 주행거동에 미치는 영향 분석” 춘계학술대회논문집, 한국철도학회
- [4] 최일윤,이동호,이준석,엄주환 (2013) “국내의 궤도틀림 기준 비교 분석” 춘계학술대회논문집, 한국철도학회
- [5] 서사범(2000), “궤도장비와 선로관리”, 열과알
- [6] “고속검측차 특성을 고려한 궤도 검측결과 분석연구, 2010, 한국철도시설공단.
- [7] Kaneko, “Track Master 궤도검측기 사용설명서 Model : KS-5730B”, Kaneko, 일본