궤도틀림의 검측값과 측량결과 비교

Comparison of Track Recording with Surveying in Track irregularity Measurement

이지하* 최일윤** 김박진***

Lee, Jeeha Choi, iI-Yoon Kim, Bak-Jin

ABSTRACT

Track geometry changes 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 objectively assess track irregularity, track geometry should be able to be measured. Practically, railway companies use moving chord method, which 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 the characteristics of measuring device. 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 lazar prism trolly. This calculates track geometry by surveying absolute coordinates of two points each on both rail heads. The other is EM-120, measures versine with 10m of symmetrical chord length.

Keyword; 궤도틀림, 검측차, 전달함수, 측량

track irregularity, track recording car, surveying, transfer function

1. 서 론

궤도의 선형은 설계 시 완벽한 직선과 곡선으로 이루어지나 시공과정을 통하여 물리적인 형상을 가지게 되면서 열차의 운행 시 궤도선형이 변화되며 열차 주행품질을 저해하고 안전운행에 위험을 주기도 한다. 이 오차를 궤도틀림이라 하며 궤도에서 가장 중요한 품질지수로 관리하고 있다.

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 EM-120 검측차의 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. EM-120은 오스트리아의 Plasser & Theurer 사에서 제작한 궤도틀림 검측차량으로 중앙종거법을 이용하는 현방식 측정장비이다. 3개의 접촉식 센서를 이용하여 10m 대칭현을 만들어 최대 120km/h로 주행하면서 면틀림, 줄틀림, 궤간, 비틀림, 캔트를 측정하여 25cm 마다 결과를 디지털로 출력할 수 있다.

* 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부, 정회원
E-mail : jhlee@krri.re.kr TEL : (031)460-5325 FAX : (031)460-5814
** 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부, 정회원
E-mail : iychoi@krri.re.kr TEL : (031)460-5347FAX : (031)460-5814
*** 서울메트로, 철도토목팀, 정회원
E-mail : kbjin@seoulmetro.co.kr TEL : (031)460-5842FAX : (031)460-5814

2. 본 론

2.1 검측방법별 검측 특성

가. 궤도검측차 (EM-120)

검측차에 의한 궤도검측방법은 그 측정원리에 따라 기계적 측정방식과 관성측정방식으로 크게 나눌수 있다 기계적 측정방식은 기계적 감응장치(Inductive Transducer)를 이용하여 각종 궤도틀림량을 접촉방식으로 측정하는 방식이며 관성측정방식은 관성 가속도계(Inertial accelero meter)를 이용하여 각종 궤도틀림량을 비 접촉방식으로 측정하는 방법이다.

EM120 검측차의 경우 접촉방식으로 검측을 하는 것으로 측정륜의 변화 및 차체의 기계적인 변화를 17개의 감응장치(Inductive Transducer)가 각 12가지 측정항목(고저 좌·우, 궤간, 비틀림, 수평, 방향 좌·우, 가속도 수평·수직, 차량변위 수평·수직)의 전기량 변화로 감지하여 컴퓨터에서 처리한 후 선로의 상태를 그래프 및 레포트를 작성하여 출력하는 방법을 사용한다.

EM120는 3대차, 3측정축과 17개의 감응장치(Inductive Transducer)가 부착되어 있다.

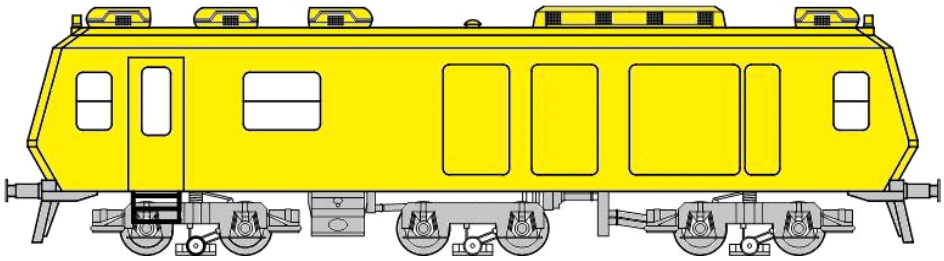


그림 1. EM-120 궤도검측차

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 줄틀림, 면틀림, 궤간, 캔트, 키로정의 측정 가능하다.

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

그림 2. GRP 1000 장비구조

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 검측데이타 분석

가. 검측 개요

실제의 열차가 운행되는 철도구간에서 비교측정을 시행하였다. 측정대상구간은 그림 6에서보이는 바와 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 중앙종거법을 이용한 방식이다. 이 방식은 일정한 길이의 현(弦, chord)을 이용하여 중앙종거값(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. (그림 3)

EM-120은 줄틀림 및 면틀림 측정시 a=b=5m의 검측현을 이용한다.

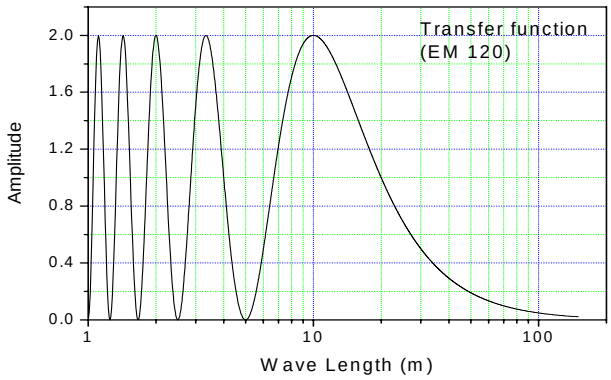


그림 3. EM-120의 전달함수

다. 위치동기화

GRP를 이용한 검측데이터의 위치값과 EM120 검측차에서 검측되는 위치의 값은 동시에 검측된 데이터가 아니므로, 측정위치의 값에 다소의 오차가 발생하게 된다. 그러나, 서로 다른 측정시스템간의 상관성 분석을 위해서는 동일위치의 값을 비교해야 하므로 위치동기화가 필요하다.

위치동기화를 위하여 검측시스템의 특성이 유사하여 비교적 오차가 궤간틀림의 값을 이용하였다.

다음 그림의 GRP를 이용한 궤간거리 검측결과와 EM120 검측차에서 검측된 궤간틀림의 검측결과의 검측파형은 비교적 유사한 결과를 나타내고 있으며, 특히 타원형으로 표시한 구간에서 궤간의 값이 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있다. 따라서, 이 위치의 값을 동기화하여 두 검측결과간의 위치를 조정하여 검측항목별 검측결과를 비교하였다.

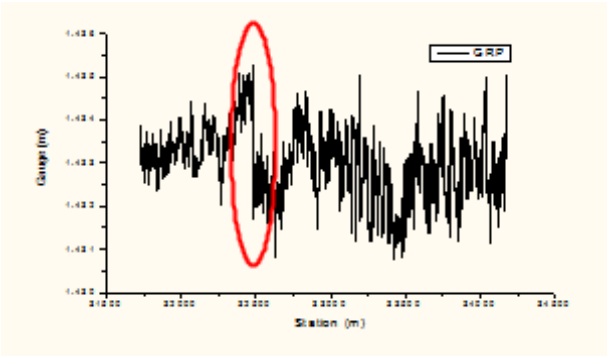


그림 4. GRP를 이용한 궤간 검측결과

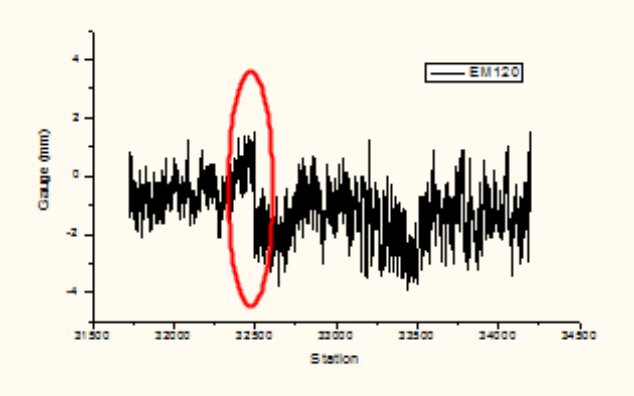


그림 5. EM120을 이용한 궤간 검측결과

라. 고저틀림 검측결과 비교

GRP 및 EM120의 검측결과중에서 고저틀림의 값에 대하여 비교를 수행하였다.

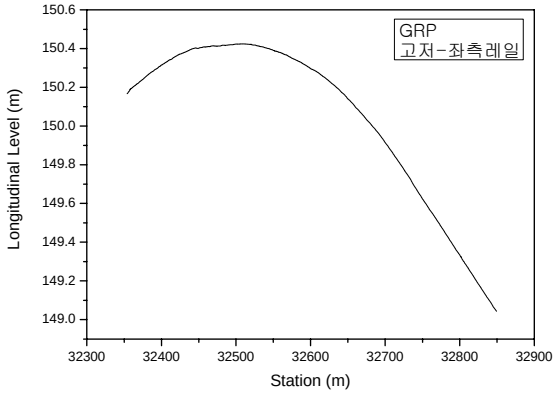


그림 6. GRP를 이용한 고저 검측결과

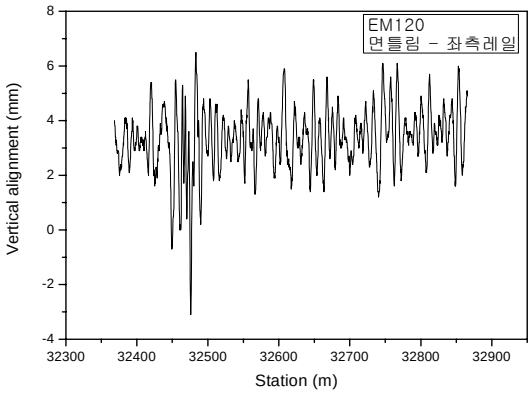


그림 7. EM120을 이용한 고저 검측결과

상기 그림에서 알 수 있는 바와 같이, GRP의 계측결과는 장파장의 변화가 나타나고 있는데, 이는 선형의 변화 또는 장파장 궤도틀림을 의미한다. 본 구간에서는 선형상에 종구배가 있는 구간으로 궤도틀림이 아니라 선형을 의미하지만 장파장 궤도틀림 검측특성 비교를 위해 사용가능하다.

EM120 검측차의 검측결과는 장파장의 특성이 검측되지 않는 것처럼 보이고 있는데, 이는 앞 절에서 기술한 바와 같이 현정시법의 Versine 값을 검측하는 EM120 검측특성에 기인한다.

따라서, 검측차에서 검측되는 궤도틀림의 값은 실제 값과 다를 수 있으며 이는 검측차의 특성에 의존한다. 그러므로, 실제 궤도틀림의 허용기준 설정을 위해서는 검측차의 특성을 반영하는 것이 중요함을 주지하여야 한다.

다음 그림은 GRP 검측결과를 10m 현정시법의 검측값 즉 EM120 검측값으로 변환한 결과를 나타낸다. 이는 EM120 검측결과와 비교적 유사한 결과를 나타내고 있다.

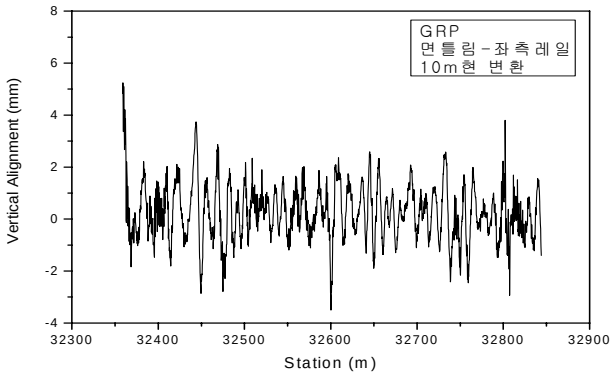


그림 8. GRP를 고저 검측결과의 10m 현정시법 변환

마. 필터링(20m-6.5m) 결과 비교

EM120 검측차의 전달함수가 비교적 큰 20m - 6.5m 구간의 파장대역의 검측결과에 비교를 위하여 EM120, GRP 10m현변환 및 GRP 고저 데이터에 대하여 Bandpass 필터링을 수행하고 그 결과를 다음 그림에 나타내었다.

EM120 및 GRP 10현 변환 고저틀림에 대한 20m - 6.5m 구간의 파장대역의 검측특성은 상당히 양호함을 알 수 있다. 특히, 선형에 의한 검측값의 특성 즉, shift 현상이 사라지고 평균값이 Zero로 이동함을 알 수 있다.

다만, 10m현 방식으로 변환하지 않은 GRP 고저 데이터에 대한 필터링 결과는 상기 2개의 결과와 비교하여 다소의 차이가 발생하고 있음을 알수있는데, 상기 2개의 20m - 6.5m 구간의 파장대역의 전달함수의 값이 "1"이 아니라 "1 ~2" 로 분포되어 있는 특성에 기인한 것으로 판단되며, 신호처리상의 오차의 특성에 기인한 것으로 판단된다.

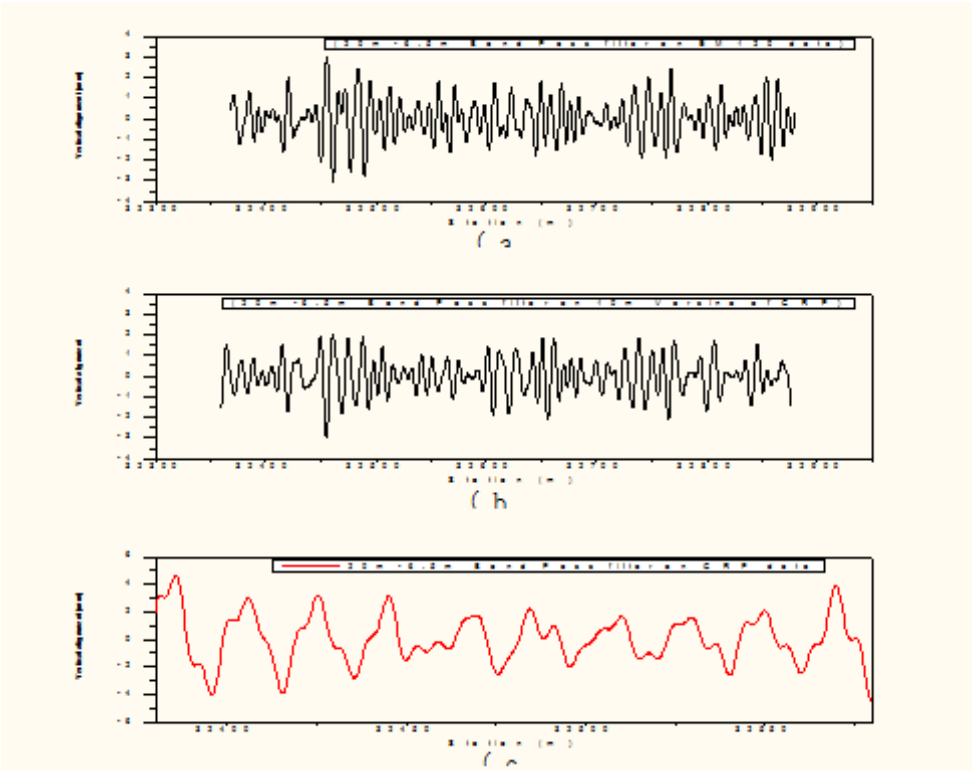
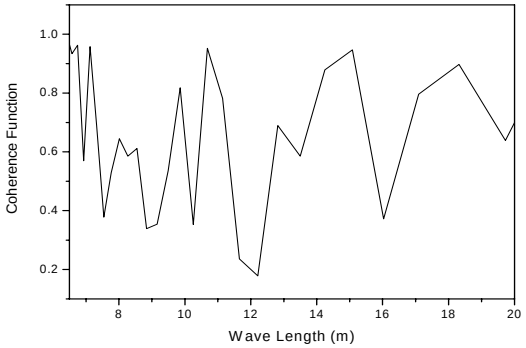


그림 9. 필터링(20m-6.5m) 결과 비교

EM120 및 GRP 10m 현변환 데이터를 각각 20m - 6.5m Bandpass 필터링을 수행한 데이터에 대하여 Coherence Function 및 전달함수를 다음 그림에 나타내었다.



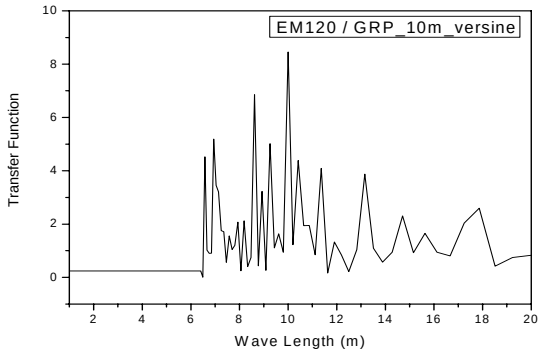


그림 10. EM120과 GRP(10m)의 Coherence function　그림 11. EM120과 GRP(10m)의 전달함수

3. 결 론

본 비교검토에서는 궤도의 상태파악을 위해 일반적으로 사용되고 있는 궤도틀림값을 측정할 수 있는 두 가지 장비의 결과치를 비교하여 상호 연관성을 확인하여, 향후 궤도검측차 등 다른 측정장비의 검측 정확도나 실제 궤도변형과의 상관관계를 파악하기 위한 검토이다. 고도의 정밀한 레이저 측량장비로 측정된 절대좌표값과 현방식의 측정장비인 EM-120의 값의 10m 중앙종거값을 비교한 결과 궤간데이타의 경우 거의 일치하는 것을 확인하였으며, 이 결과는 향후 역으로 중앙종거값을 이용하여 궤도틀림의 실제형상을 추론하는 연구의 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

중앙종거값의 경우 실제의 궤도틀림 형상과는 어느 정도 차이가 있기 때문에 10m현으로 측정한 결과 궤도틀림량이 기준을 넘어서서 복구작업을 수행해야 할 경우, 현장 작업시에 다시 인력으로 측정해야하는 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 중앙종거법을 이용한 여러 검측장비의 검측결과값을 확인하고 그 상관관계를 도출하고자 한다.

본 비교검토는 고속화를 위한 선로구축물 핵심기술개발 과제의 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”, 얼과알
4. 정우진, 안규일(2002), “현방법으로 검측된 궤도 틀림값의 원형복원에 대한 기초검토”, 추계학술대회논문집, 한국철도학회