궤도 검측 데이터의 동특성 해석 적용 방법에 관한 연구

The study for the modeling method for creating track data with the irregularity for use as the input to a rail vehicle dynamic analysis

박길배*　　　　이강운**
Park, Kil-bae　　　　Lee, Kang-wun

ABSTRACT

The accuracy of the results of the rail vehicle dynamic model is dependent on the realism of the track input to the model. An important part of the track input is the irregularities that exist on actual track. This study presents a modeling method for creating track data with the irregularities for use as the input to VAMPIRE, a rail vehicle dynamic analysis program. The characteristics of the measured track data using the mid chord system has been studied and examined the method to create track data with the measured data to apply in the vehicle dynamic analysis.

---

1. 서　론

궤도검측 작업은 궤도를 유지보수하고 차량을 안전하게 운행하기 위해 필수적인 작업이다. 이러한 궤도검측 데이터는 궤도의 틀림 정도를 확인하고 유지 보수가 필요한지를 판단하는 기준이 된다. 또한 궤도의 틀림 정도에 의하여 주행하는 차량의 진동 및 안전성이 영향을 받으므로 실제 궤도의 틀림에 의한 차량의 거동을 검토할 필요가 있다. 이러한 궤도틀림이 차량의 승차감과 안전성에 미치는 영향을 정확하게 검토하기 위해서는 검측된 데이터로부터 실제 궤도상태가 제대로 반영된 선로데이타가 확보되어야 한다. 본 연구에서는 궤도 검측차량으로부터 측정된 궤도 틀림 데이터로부터 차량의 동특성 분석에 필요한 궤도 불규칙도 데이터를 구하기 위한 방편으로 궤도 검측 방식에 따른 궤도검측 데이터의 특성을 분석하고, 이러한 검측장비의 특성을 반영하여 궤도 검측 데이터를 동특성 해석에 필요한 궤도 불규치도 데이터로 변환하는 방법에 대하여 검토하였다. 궤도검측 차량에서 궤도틀림을 측정하는 방법으로는 진동 가속도와 변위 센서를 이용한 관성 측정법과 여러 지점에서의 궤도 변위의 차를 이용하여 궤도의 틀림을 측정하는 방식인 종거법이 있으며, 본 연구에서는 국내 검측차량에서 적용하고 있는 “10n 현 중앙 종거법”에 의한 궤도 검측 데이터를 변환하기 위한 방법을 검토하였다.

---

* (주)로템,응용기술연구팀,비회원
E-mail :gbpark@rotem.co.kr
TEL : (031)460-1295 FAX : (031)460-1780
**(주)로템,응용기술연구팀,비회원

2 궤도 검측 데이터 분석

궤도검측차량에서 검측 되는 궤도의 틀림은 그림 1에서 나타난 바와 같이 궤도의 면틀림(surface error), 줄틀림(alignement error), 게이지틀림(gauge error), 수평틀림(cross level error)등으로 표현된다. 이중에서 면틀림과 줄틀림은 종거법에 의하여 측정 되어지고, 게이지틀림과 수평틀림은 측정 차륜에 의하여 직접 측정되어진다.

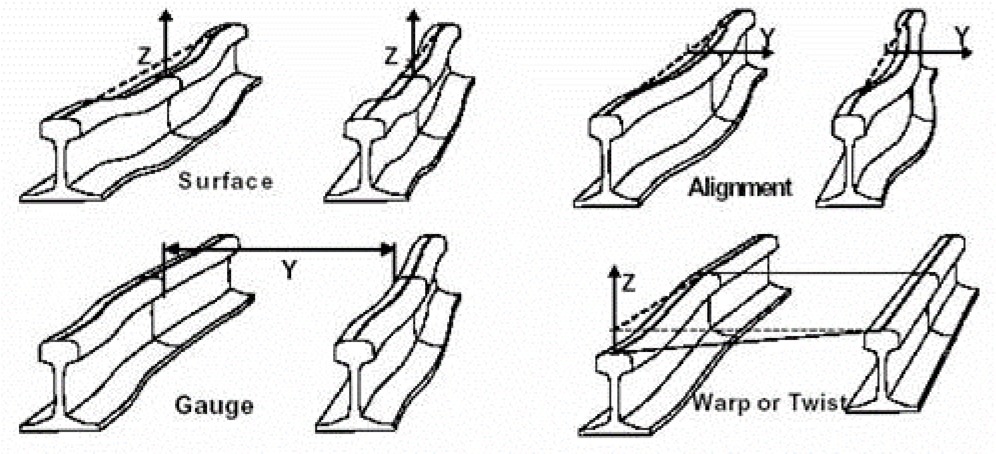

그림 1. 궤도 틀림 정의 및 좌표

2.1 현 종거법에 의한 궤도 측정 원리

현 종거법에 의한 궤도 틀림 측정 원리는 그림 2와 같다.

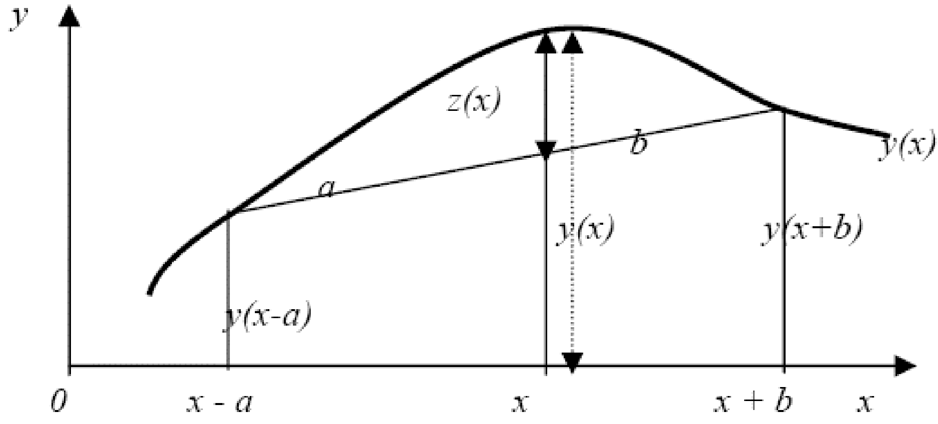

그림 2. 현 종거법에 의한 측정 원리

그림 2에서 보이는 것과 같이 측정지점 x에서의 궤도 틀림은 측정점 x, x-b, x+a의 세 지점에서 측정되는 변위들을 이용하여 다음 식 (1)과 같은 관계로 부터 구할 수 있다.

$$z(x) = \frac{b}{L} y_{x+a} + \frac{a}{L} y_{x-b} - y_x \qquad (1)$$

2.2 중앙 종거법에 의한 전달함수 특성

위의 식 (1)로부터 실제 궤도 틀림과 측정 값간의 관계를 아래식 (2)와 같은 전달함수로 표현할 수 있다. 식 (1)을 공간 주파수영역으로 변환하면 다음 식(2)와 같이 된다.

$$H(i\omega)\Big|_{z/y} = \frac{b}{L} e^{i\omega a} + \frac{a}{L} e^{i\omega b} - 1 \qquad (2)$$

여기서 ω는 공간주파수를 나타내며 단위는 cycles/metre

$$|H| = \sqrt{1 + \frac{a^2}{L^2} + \frac{b^2}{L^2} + 2\frac{ab}{L^2}\cos(\omega L) - 2\frac{b}{L}\cos(\omega a) - 2\frac{a}{L}\cos(\omega b)} \qquad (3)$$

여기서 L은 현의 길이

국내에서 사용하고 있는 검측차 EM-120 은 "10m 현 중앙 종거법"을 사용하고 있으므로 이에대한 전달함수를구하면 다음 식(4)와 같다.

$$H(i\omega)\Big|_{z/y} = 1 - \cos(\frac{\omega L}{2}) \qquad (4)$$

이와 같이 10m 현 중앙 종거법에 의하여 측정하는 검측차의 검측 특성은 식(4)와 같고, 그림 3은 이 전달 함수를 파장에 대한 전달함수의 절대값으로 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 10m 현 w 중앙 종거법에 의하여 측정될 경우 현 길이의 1/2인 5m에 해당하는 wavelength에 해당하는 값은 측정되지 않는 것을 확인할 수 있다. 또한 측정 현의 길이인 10m보다 큰 파장에 대해서도 제대로 측정되지 않음을 확인할 수 있다.

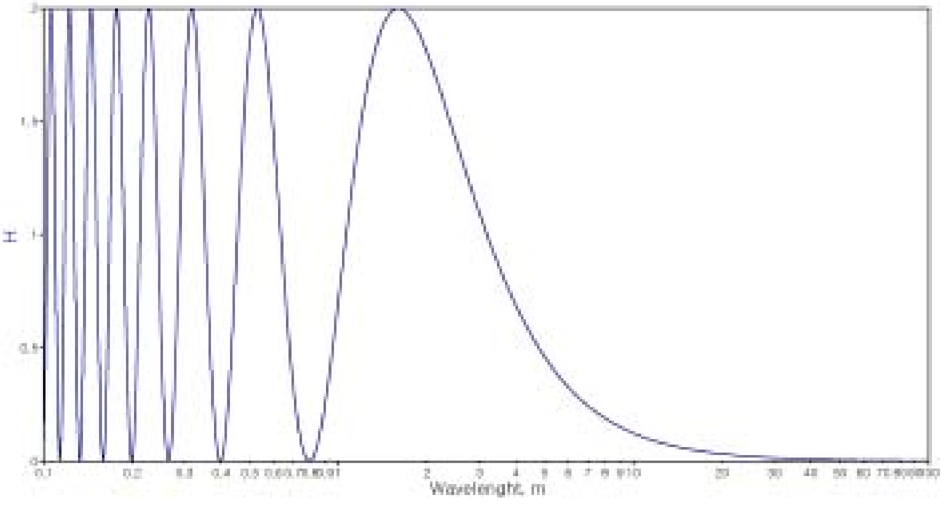

그림 3. 10m 현 중앙종거법에 의한 전달함수

3. 측정 데이터의 주파수 특성

그림 4와 5는 EM120 궤도 검측차량을 이용하여 측정한 궤도틀림 데이터의 주파수 영역 특성을 나타내고 있다. 측정된 데이터에서 0.2Hz의 harmonic 성분의 데이터가 빠지는 것을 볼수 있는데 이는 10m 현의 1/2인 5m에 해당하는 데이터이다.

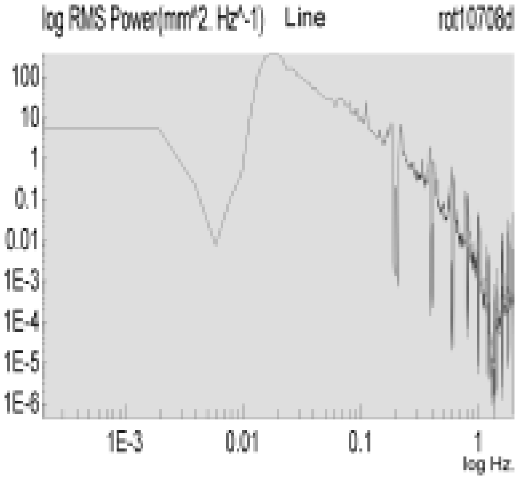

그림 4. 줄틀림 데이터의 PSD

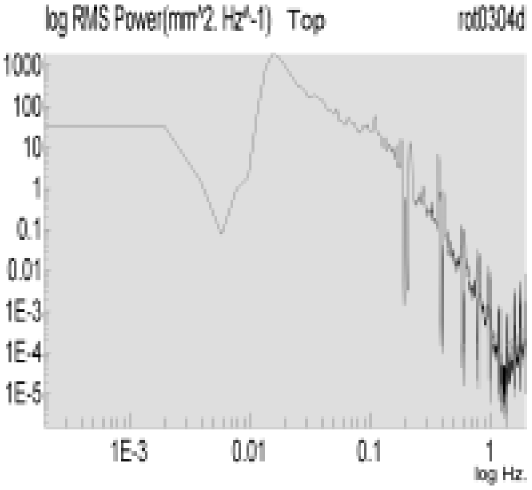

그림 5. 고저틀림 데이터의 PSD

4. 검측 데이터의 변환

일반적으로 선형시스템의 전달함수를 알고있으면 그 전달함수의 역함수를 이용하여 출력값으로부터 입력값을 구할 수있다. 따라서 현 종거법에 의하여 측정된 궤도 틀림 데이터로부터 실제 궤도의 틀림을 구하기 위하여 식(4)의 역함수를 이용하는 방법을 검토하였다. 하지만 앞에서 확인한 바와 같이 5m wavelength에 해당하는 부분의 이득값이 0이므로 이 함수의 역함수는 무한대 값을 갖는 함수가 된다.

이러한 전달함수를 그대로 측정 데이터에 적용하게 되면 그림 6과 같이 0.2Hz의 harmonic 성분이 과도하게 증폭된 데이터를 얻게 된다. 이는 실제 궤도 데이터에서는 나타날 수 없는 형태로서 이렇게 구해진 데이터는 0.2Hz 성분으로 진동하는 데이터를 얻게 된다. 이는 실제 궤도선형에서 존재하지 않는 성분이 과도하게 증폭되어 나타난 결과이다.

실제 궤도 데이터의 주파수 특성은 저주파수에서 고주파수에 이르는 데이터가 완만하게 변하는 특성을 갖고 있다. 따라서 궤도 변환 작업을 함에 있어서 주파수 영역에서 완만한 변화를 갖는 특성을 갖도록 역 전달함수의 특성을 찾아야 한다.

따라서 이러한 역 전달함수를 구함에 있어서 0.2Hz 성분의 이득값을 적당하게 조절하여 최적의 변환 데이터를 얻을 수 있도록 하였다.

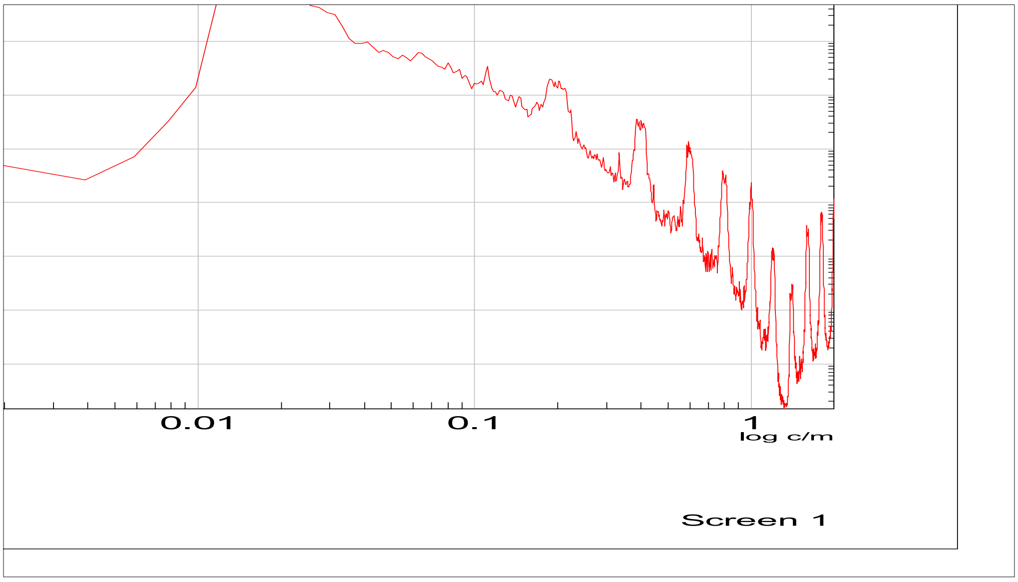

그림 6. 이득값 미조정 역전달함수에 의한 면틀림데이타

그림 7 이 바로 본 연구에서 이득값을 조정한 역 전달 함수를 나타내었다. 이득값을 조정함에 있어서 장파장 영역의 데이터는 불규칙도에 미치는 영향은 미미함으로 filter를 통하여 제거할 필요가 있다. 특히 차량의 거동에 있어서 면틀림에 대한 장파장의 데이터가 미치는 영향은 크지않으나 줄틀림데이타 포함되어있는 장파장 신호는 선로의 곡선과 관계되고 이에 따른 차량의 주행성능은 큰 영향을 받으므로 이에대한 적절한 데이터 처리가 필요하다.

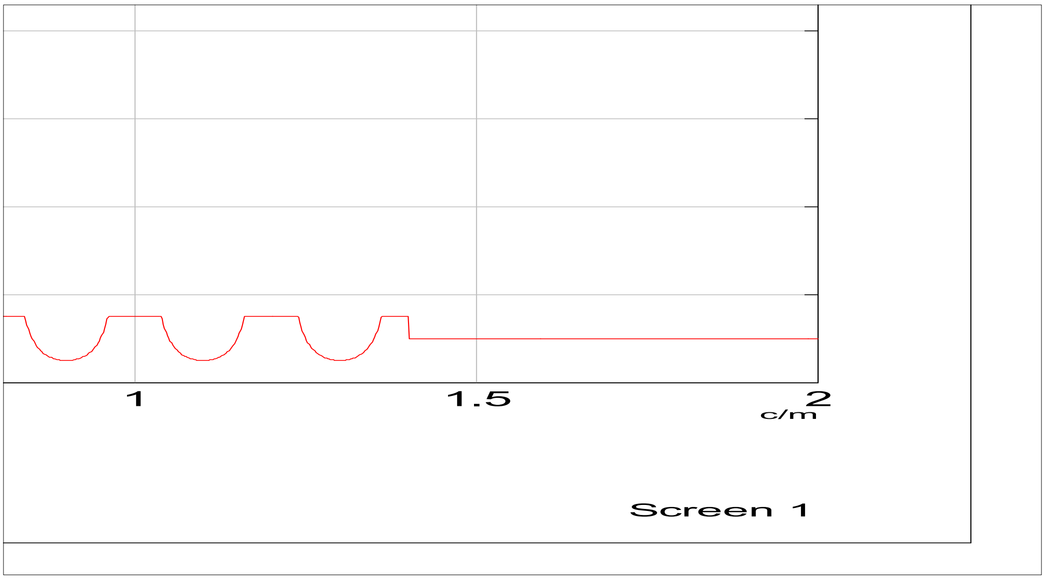

그림 7. 이득값을 조정한 역전달함수

그림 8에 그림 7와 같은 이득값을 갖는 전달함수를 적용하여 구한 궤도 틀림 데이터를 보이고 있다. 0.2Hz 주파수 영역의 데이터에 대한 특이성이 없으며 전체적으로 데이터의 수준이 고주파수 영역으로 가면서 완만한 기울기를 가지는 것을 볼 수 있다.

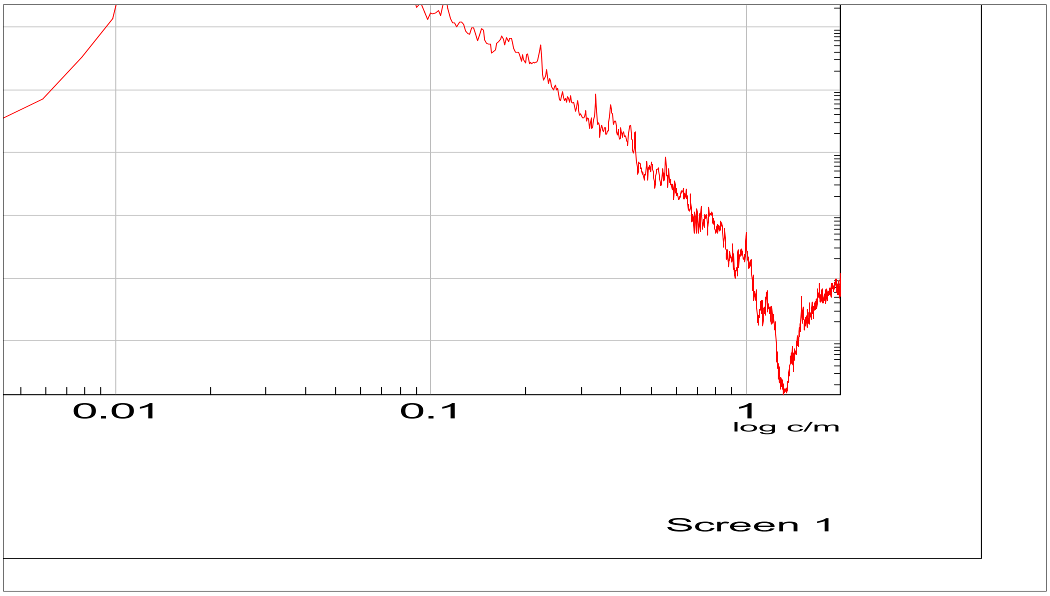

그림 8. 조정된 이득값을 적용한 역전달함수로 변환된 면틀림데이터

5. 결론

이상의 연구로부터 궤도검측차량으로부터 검측된 데이타를 이용하여 철도 차량의 동특성에 해석에 필요한 궤도 틀림 데이터를 구하는 방법을 검토하였다. 현재 국내에서 적용하고 있는 궤도 검측차량인 EM-120이 적용하고 있는 "10m현 중앙종거법"에 의한 측정 시스템의 전달함수를 구하였으며, 이 전달함수의 역함수를 이용하여 측정된 궤도검측 데이타로부터 실제 궤도 불규칙 데이타를 구하는 방법을 검토하였다. 본 연구를 통하여 측정 시스템 자체의 특성에 의하여 실제 궤도 틀림을 100% 완벽하게 재구성하는 것은 불가능하지만 궤도틀림에 의한 차량의 동특성을 검토하기에 적당한 데이터 확보는 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강기동, (2004년), "고속철도 궤도검측 자료 분석기법에 관한 연구" , 한국철도학회논문집, 제7권 4호, pp.291-295

2. Mehdi Ahmadian. (1999), "Filtering effects of mid-chord offst measurements on track geometry data," Preceedings of the 1999 ASME /IEEE Joint railroad conference, Vol.16,pp.157-161