

# 궤도틀림 검측 데이터의 확률분포 검토

## Probability Distribution of Track Recording Data

이지하†  
Jeeha Lee

나성훈\*  
Sung Hoon Na

김박진\*\*  
Bag Jin Kim

최유복\*\*\*  
You Bok Lee

### 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 in Korea use normal distribution as probability distribution of track irregularity. But some countries use non-normal distribution according to their own track recording system.

In this report, reviewed probability distribution of Kyung-Bu high-speed line and tested normality.

### 1. 서론

궤도의 선형은 설계 시 완벽한 직선과 곡선으로 이루어지나 시공과정을 통하여 물리적인 형상을 가지게 되며, 열차의 운행 시 궤도선형이 점차 변화되어 열차 주행품질을 저해하고 안전운행에 위협을 주기도 한다. 이 오차를 궤도틀림(track irregularity)이라 하며 이를 설정된 기준값 이내로 관리하는 것이 궤도유지보수에서 가장 중요한 업무이다.

궤도틀림은 다양한 방법으로 검측하게 되며 궤도틀림의 관리기준과 비교하여 보수작업의 수행여부를 결정하게 된다. 측정한 궤도틀림값은 표준편차를 이용하여 그 품질 정도를 판단하여 실제의 유지보수 업무에 적용하고 있는데 이는 국외의 사례를 참조하여 국내의 궤도틀림 분포를 정규분포로 가정하고 있기 때문이다. 그러나, 프랑스 등 일부국가에서는 고속철도 선로의 궤도틀림기준에서 정규분포가 아닌 확률분포를 사용하고 있다. 국내의 경우도 궤도틀림기준의 보다 명확한 분석을 위하여 국내에서 운용되고 있는 검측차의 특성에 맞도록 궤도틀림확률분포를 검토하여 적절한 분포함수를 찾아낼 필요가 있다.

† 이지하 : 정회원, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실, 선임연구원  
E-mail : jhlee@krri.re.kr  
TEL : (031)460-5325 FAX : (031)460-5814

\* 나성훈 : 정회원, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실, 선임연구원

\*\* 김박진 : 정회원, 서울메트로, 철도토목팀, 차장

\*\*\* 최유복 : 정회원, 한국철도시설공단, 고속철도궤도차, 차장

본 연구에서는 경부고속선에서 측정된 궤도틀림데이터의 확률분포를 추정하기 위하여 정규성 검정을 수행하였다.

## 2. 본 론

궤도의 유지보수 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것이 궤도틀림의 관리이며 궤도틀림을 관리한다는 것은 검측된 궤도틀림 데이터의 값이 관리기준에 도달하였는지를 지속적으로 확인하고, 이 값이 기준을 넘지 않도록 적절한 보수작업을 시행하여 궤도틀림을 적정상태로 유지하는 것이다. 궤도틀림관리 기준은 크게 단일결함을 추출하는 법과 전체 측정데이터를 일정구간으로 나누어 통계적으로 처리하여 품질지수를 찾아내는 방법으로 나눌 수 있다. 통계적처리는 기본적으로 궤도틀림이 정규분포라는 가정에서 시작하고 있으나, 본 연구에서는 실제의 궤도틀림데이터를 이용한 정규성검정을 수행하여 궤도틀림분포를 확인하고자 한다.

### 2.1 확률분포에 근거한 궤도 관리 현황

현재 국내의 철도운영기관에서 궤도품질지수 (TQI : Track Quality Index)를 이용하는 방법으로는 궤도틀림을 정규분포로 보고 평균값( $m$ ) 및 표준편차( $\sigma$ )를 하나의 지수로 P값으로 표현하여 관리하는 방법과 표준편차(Standard Deviation)를 이용하는 방법, 평균편차(Mean Deviation)를 이용하는 방법이 있다.

#### 2.1.1 표준편차를 이용한 궤도관리

궤도틀림을 불규칙 신호로 보고 확률분포를 정규분포로 가정하면 궤도틀림의 특성을 평균값과 표준편차로 나타낼 수 있다. 평균값은 승차감에 영향이 없어 평균화에 의해 제거할 수 있으며, 표준편차는 평균값에 대한 분산 또는 흩어진 각각의 값들을 나타내므로 궤도틀림의 정도를 표현하는 방법으로 사용할 수 있다. 그림 3을 보면 궤도틀림 데이터의 68.26%가 평균값으로부터 표준편차량  $\pm\sigma$  범위 내에 분포하며,  $\pm 2\sigma$  범위 내에서는 95.44%가 분포한다는 것을 의미한다.  $\pm 3\sigma$  범위내에는 99.74%가 분포한다.

이러한 표현방법을 이용하면 95%의 궤도를  $\pm 2\text{mm}$  틀림 범위 내로 유지 위해서는 궤도틀림표준편차는 1mm이내로 제한하면 된다는 것을 알 수 있다.

즉, 표준편차는 자료의 분산정도를 나타내는 지표이나 궤도에서와 같이 평균값이 매우 유사한 대상에 대해서는 분산정도를 궤도품질지수(TQI)로 활용할 수 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 표준편차가 커질수록 평균값에서 떨어진 궤도틀림데이터가 많이 존재하고 있으므로 궤도상태가 나쁘다고 볼 수 있다.

표준편차를 계산하는 구간의 길이가 짧은 경우는 충분한 통계적 자료를 제공하지 못하여 신뢰성이 저감되고 또 지나치게 긴 경우는 중요한 단일 결함이 양호한 구간의 검측데이터와 상쇄되어 유지보수 작업량이 과다하게 될 수 있다. 국내의 고속철도 고저틀림기준에서도 궤도틀림 표준편차의 계산 구간길이를 200m로 하고 있으며, 이는 네덜란드의 ECOTRACK 및 영국철도와 비슷한 값이다.

영국철도기준(Railway Group Standard)의 궤도틀림 관리기준으로 1/8mile(약201m)에 대한 표준편차를 적용하고 있으며, 35m, 70m 두 종류의 현을 사용하고 있다. 표준편차가 Very poor 값이 되면 1개월내에 재검측을 수행하고 보수작업의 수행여부를 고려하도록 하고 있다. Maximum 값을 초과하면 1주일 내로 궤도틀림의 검측을 수행하고 운행속도제한을 검토한다.

### 2.1.2 평균편차를 이용한 궤도관리

초기 프랑스의 SNCF는 궤도틀림의 확률분포를 정규분포가 아닌 지수분포(truncated exponential distribution)로 추정하였고, 최근의 연구에서 일반구간의 MAUZIN 검측차 측정 결과를 이용하여 확률분포곡선을 산출하였으며 그 확률밀도함수  $Y$ 는 다음 식으로 나타내었다.

$$Y = \frac{1}{2\sigma} \left( \cosh \frac{\pi y}{\sigma} \right)^{-1} \text{-----(1)}$$

여기서  $\sigma$ 는 표준편차이다. SNCF의 실측에 의한 궤도틀림 확률분포는 정규분포가 아니므로 확률분포곡선의 특성을 나타는 궤도품질지수로 표준편차를 사용하지 못하고 300m구간에 대한 평균편차를 사용하였다. 평균편차는 통계에서 자료의 평균과 각 변량 편차의 절댓값을 평균한 값으로 계량적인 성질에 관한 집단의 불균일성을 나타내는 도수 특성 값의 하나이다. 표준편차와 평균편차의 비는 1.3822다.

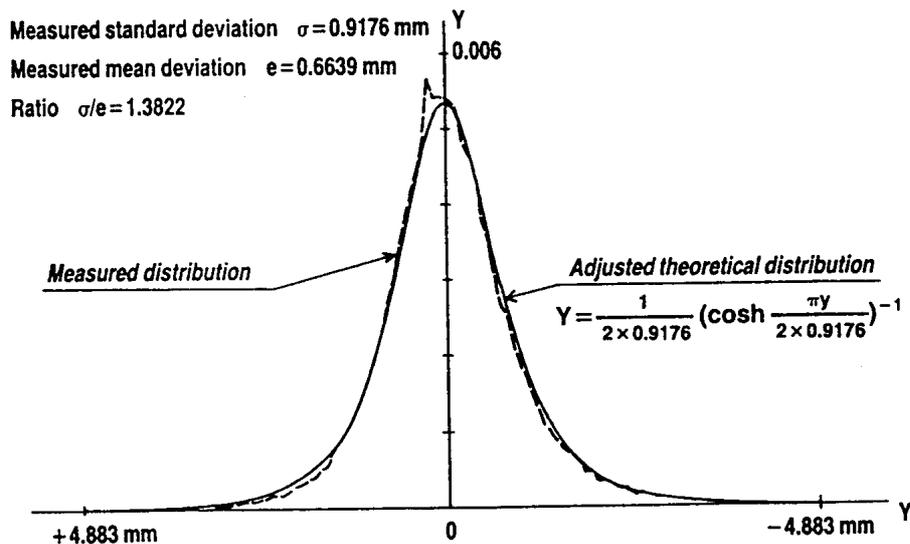


그림 1. 고저틀림의 확률분포 (Strasbourg-Mulhouse 선, 10~82km)

## 2.2 궤도틀림 확률분포의 정규성 검정

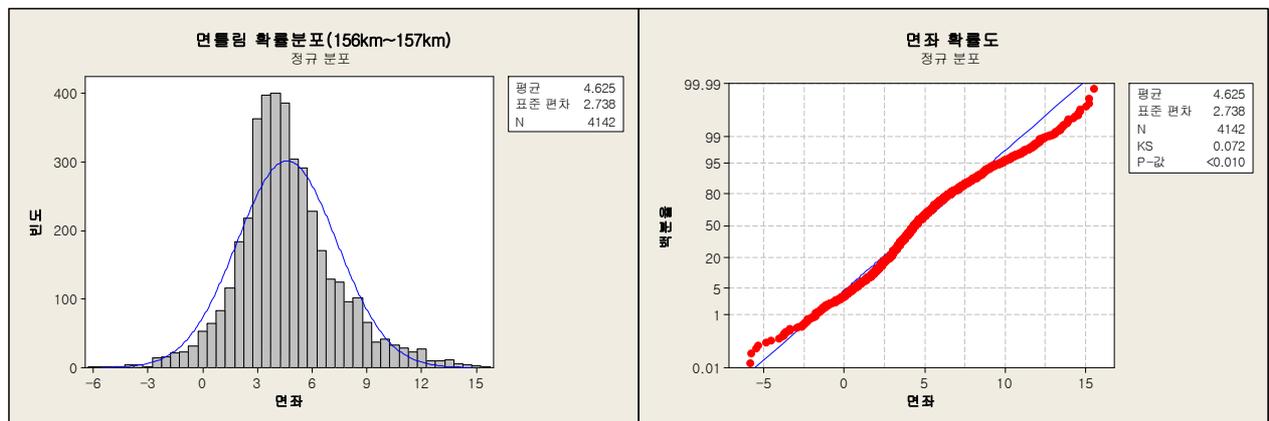
### 2.2.1 가설의 설정

통계학에서는 모집단의 확률적특성에 대해 가정되어 있는 사항에 대해 참인지 아닌지를 가리는 검정이라 하며, 궤도틀림의 경우 동일한 특성을 가진 모집단의 확률분포 종류를 가정하는 가설을 세우고, 이 가설을 표본으로부터 얻어진 정보에 의해 검정하고자 한다. 현재 모집단인 궤도틀림은 정규분포로 가정하고 있으므로 이를 귀무가설로 설정하고 정규분포가 아니라는 가설을 대립가설로 설정한다. 이 경우 모집단의 정규성을 검증하게 된다.

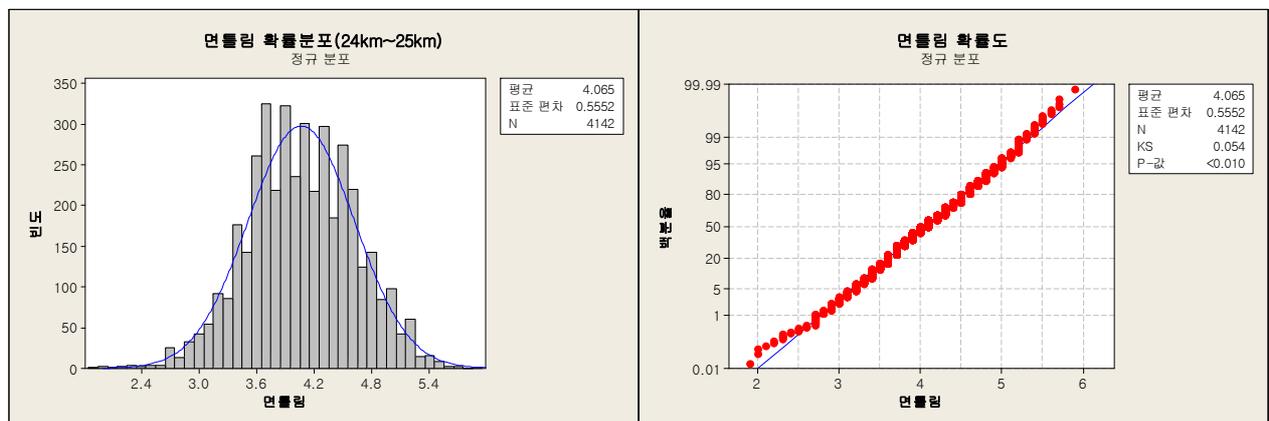
### 2.2.2 표본의 추출

표본은 경부고속철도의 자갈도상 궤도(교량구간 제외) 구간과 콘크리트도상 궤도구간이 다른 유지보수 특성을 보이므로 이를 각각 다른 모집단으로 설정하여 표본을 추출하였다.

각각 1km 구간에 대한 궤도틀림 값을 이용하였으며 데이터의 개수는 약 4,000개가 된다.



a. 자갈도상 궤도구간의 면틀림 확률분포



b. 콘크리트 도상 궤도구간의 면틀림 확률분포

그림 2. 면틀림의 정규성 검정 그래프

### 2.2.3 가설의 검정결과

검정에 사용한 Tool은 신뢰도가 있는 상용프로그램인 Minitab을 이용하였다. 검정방법은 데이터가 많아서 충분한 신뢰도를 확보할 수 있으며 간편하게 적용이 가능한 Kolmogorov-Smirnov test법을 이용하였다.

자갈도상 궤도의 경우 데이터의 개수는 4,142개이며, 적합도 값 p가 0.01보다 큰 경우 유의 수준 99%에서 정규분포를 따른다고 할 수 있는데, 검토한 자료에서는 자갈도상과 콘크리트도상 모두 이를 만족하지 못하고 있다. 히스토그램에서도 실선으로 표시된 정규분포와 다르게 나타나고 있으며, 확률도(probability paper)에서도 이를 만족하지 못하고 있다. 따라서 검정통계량이 귀무가설과 중대한 의미의 차이가 있으므로 귀무가설은 기각된다.

## 3. 결론

기존의 국내의 궤도틀림 관리업무에서는 국외의 연구결과를 적용하여 궤도틀림이 정규분포라는 가정 하에 표준편차를 이용한 궤도품질지수(TQI)의 설정이나 궤도틀림 진전도 분석 등을 수행하여 왔다. 그러나, 정규성검정 결과 경부고속철도선로의 경우 정규분포일 것이라는 귀무가설은 기각되었으므로 향후 보다 많은 데이터와 분포함수 검정을 통하여 적합한 분포함수를 찾아 보다 효율적인 궤도틀림 관리가 될 수 있도록 하여야 할 것이다. 또한 열차의 운행속도 향상에 따라 궤도틀림의 관리기준을 재설정할 필요가 있으므로 이에 궤도틀림 분포를 반영하기 위하여 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 국토해양부 산하 한국건설교통기술평가원의 “차세대 고속철도기술개발사업”의 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Janin, "Maintaining track geometry", French Railway Review Vol1.No1., 1983. pp88-89
2. 이지하, 최유복, “궤도틀림 검측결과의 유지보수 활용” 한국철도학회 2009 추계학술대회 논문집, 2009
3. 송지호, 박준협, “신뢰성공학 입문”. 도서출판 인터비전, 2007