

# 자기부상열차 계측 신호를 이용한 궤도 조인트 부 형상 추정 Estimation of Rail Joint Shape Using Signals Available in a MagLev Train

노명규† · 송인형‡ · 남성규\* · 박영우\* · 강홍식\*\*

M. Noh, I. Song, S. Nam, Y.-W. Park and H. Kang

**Key Words :** Maglev(자기부상열차), Signal processing(신호처리)

## ABSTRACT

A maglev train records a host of physical variables such as gaps, voltages and currents for suspension control and monitoring purposes. These data available from a maglev contains wealth of information that can be explored for various uses. One possible of such application is to use the gap data to estimate the shape of the rail, especially at the joints where rails are connected. The eddy current sensors that measure the gap between the rail and the car body produce large peaks around the joints. The suspension controller discards these peaks. Since the shape of the peaks is related to the joint, however, these peaks can be utilized to estimate the shape of the joints. In this paper, we present preliminary results on estimating the joint shape using the peak data. The results show that the approach is promising, albeit several technical difficulties to overcome.

## 1. 서 론

자기부상열차는 부상제어를 위해 궤도와 열차 사이의 공극을 실시간으로 계측하여야 한다. 현재 영업 시운전 중인 인천공항철도 자기부상 열차의 경우 공극과 함께 다양한 물리량이 열차 운행 상태의 모니터링을 위해 계측되어, 실시간 계측 시스템에 저장된다. 실시간 계측 시스템에 저장된 방대한 양의 데이터는 열차의 운행 상태 모니터링 외에도 활용 여지가 많으며, 특히 자기 부상 열차 궤도의 이상 유무를 감지하는데 활용될 수 있다.

본 논문에서는 자기부상열차의 실시간 계측 시스템에 저장된 공극 정보를 이용하여 궤도 조인트 부의 형상을 추정하고자 한다.

## 2. 자기부상열차 실시간 계측시스템

인천공항철도 자기부상열차는 2 량 편성이며, 각 차량은 4 개의 차대(bogie)에 의해 지지된다.<sup>(1,2)</sup> 각 차대는 8 개의 전자석이 4 개씩 좌우에 배치되어 있으며 각 전자석은 부상제어를 위해 와전류형 갭 센서가 장착되어 있다. 따라서 자기부상열차의 갭 센서는 모두 64 개이며, 갭 센서 신호는 자기부상열차 실시간 계측시스템에 저장된다. 실시간 계측시스템에는 공극 이외에 전자석 코일 전압, 코일 전류, 가속도, 속도 등이 저장되어 열차의 운행 상태를 소상히 모니터링할 수 있다.

실시간 계측시스템의 샘플링 주파수는 500 Hz 이며, 본 논문에서 사용한 공극 정보는 한 역에서 다음 역까지 약 4 분 동안 계측한 결과이다. 열차는 정지 상태에서 초속 약 5 m/s (18 km/h)로 가속하였다가, 다시 초속 약 10 m/s (36 km/h)로 가속한 후 대부분의 구간을 초속 약 20 m/s (72 km/h)로 운행하고 정지한다. Fig. 1 은 자기부상열차의 속도 프로파일을 보여준다.

Fig. 2 는 갭 센서가 측정한 신호의 한 예를 보여

† 교신저자; 충남대학교 메카트로닉스공학과  
E-mail : mnoh@cnu.ac.kr  
Tel : 042-821-6877, Fax : 042-823-4919  
‡ 발표자; 충남대학교 대학원 차세대기판학과  
\* 충남대학교 메카트로닉스공학과  
\*\* 한국기계연구원 도시형자기부상철도 연구단

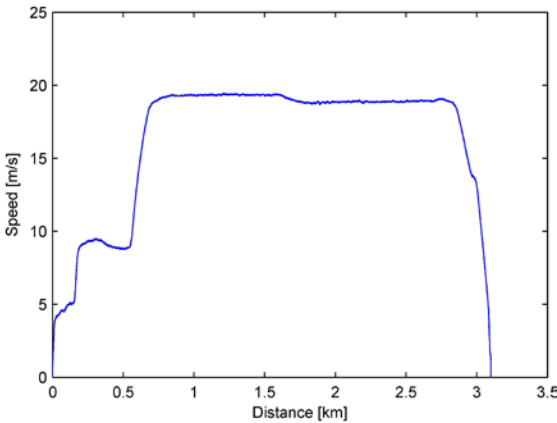


Fig. 1 Speed profile of a maglev train

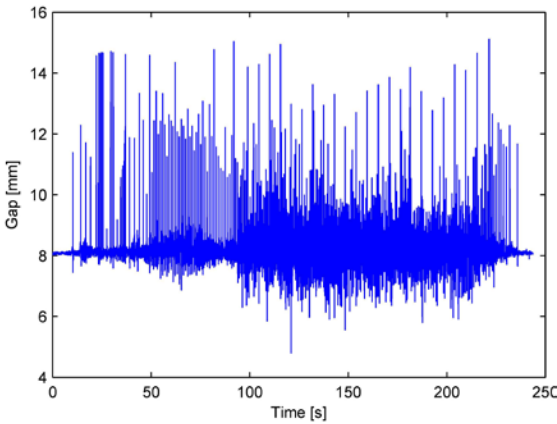


Fig. 2 A representative signal measured from a gap sensor

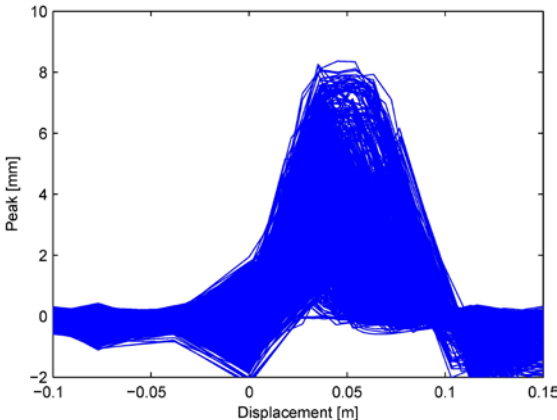


Fig. 3 Aggregate of extracted peaks

준다. 신호의 기준점은 8 mm로서 제어기가 사용한 부상 공극이다. 신호에서는 간헐적으로 부상 공극에서 매우 벗어나는 피크가 관측되며, 이는 궤도와 궤

도를 이어주는 조인트에 의해 발생하는 것으로 추정된다. 자기부상열차의 궤도는 10m 혹은 20m 길이의 단위 궤도로 구성되며 단위 궤도가 이어지는 부분에는 70mm 정도의 간극이 존재한다. 갭 센서가 이 간극을 통과할 때에는 갭 센서의 측정 범위를 벗어나므로, 센서 출력은 최대치로 포화되어 부상제어에 사용하지 않는다. 그러나, 조인트 부에서의 센서 출력은 조인트 부의 형상과 상관 관계가 있으므로, 이를 활용하면 조인트 부의 형상을 추정할 수 있다.

### 3. 피크 감지 및 추출

갭 센서 신호로부터 피크를 감지하여 추출하려면 몇 가지 문제점을 해결하여야 한다. 첫째, 열차의 속도에 따라 피크의 형상이 달라진다. 동일한 70 mm 폭의 조인트이지만, 일정한 샘플링 주파수에서 열차의 속도가 달라지면, 조인트 구간의 샘플 수가 달라지며, 센서의 동적 특성에 따라 조인트에서의 신호 형상이 달라진다. 둘째, 갭 센서의 신호는 열차의 기계적 움직임, 센서의 전기적 잡음 등으로 인해 계속 변하고 있으며, 이러한 신호의 변동성은 피크 감지를 어렵게 한다. 피크의 크기와 폭도 변동성이 있어 일관된 규칙을 적용할 수 없다.

본 논문에서는 피크 감지를 위해 갭 신호의 변화율을 이용하였다. 열차 속도의 변화폭이 크므로, 시간에 따른 변화율 대신 거리에 따른 변화율을 사다리 공식을 이용하여 계산하고 문턱값(threshold) 비교를 통해 피크를 감지하였다. 피크가 감지되면 피크 시작점을 기준으로 일정 거리만큼의 샘플 수를 계산하고 피크를 추출하였다. 속도에 따라 각 피크의 샘플 수가 다르므로, 선형 보간법을 이용하여 동일한 간격으로 재 샘플링(resampling)하였다.

### 4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 위의 방법을 이용하여 8개의 센서에서 추출한 2463개의 피크를 보여준다. 갭 센서 변화율의 문턱값을 이용하여 감지한 피크의 시작이 0으로 보정되어 피크 전 0.1 m, 피크 시작으로부터 0.15 m, 총 0.25 m 구간의 피크 형상을 볼 수 있다. 이 결과로부터 조인트 부에서의 전반적인 피크 형상을 확인할 수 있으나, 변동성이 상당히 큰 것을 알 수 있다. 이는 열차의 속도에 따라 피크의 형상이 달라

## 참 고 문 헌

(1) Kim, K., Han, H. and Yang, S., 2013, Analysis of Dynamic Interaction Between Maglev Vehicle and Guideway, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 37, No. 12, pp. 1559~1565.

(2) Han, J., Kim, K., Han, H. and Kim, S., 2014, Parametric Study of Curved Guideways for Urban Maglev Vehicle, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 38, No. 3, pp. 329-335.

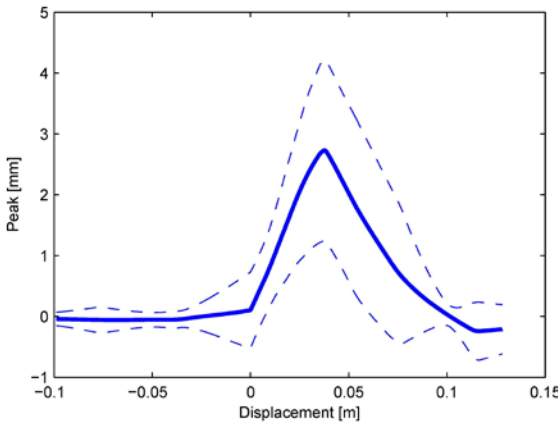


Fig. 4 Ensemble average of peaks (solid line). The bounds on the variability of data are shown with dashed lines.

지기 때문이다. 이를 보다 정량적으로 확인하기 위해 피크의 평균, 그리고 표준편차를 구하였다. Fig. 4는 피크의 평균을 실선으로 나타내었다. 또한 변동성의 범위를 점선으로 나타내었는데, 변동성은 평균에 표준편차를 더하여 상한, 표준편차를 빼서 하한을 구하였다. 이 결과에 알 수 있는 바와 같이, 피크의 시작 지점까지는 변동성이 비교적 작지만, 피크가 시작된 후 특히 피크의 최대를 지난 후 변동성은 커진다. 또한, 피크가 다시 기저선으로 돌아온 후 (즉 조인트 부를 지난 후) 변동성은 줄어든다. 이는, 피크의 형상이 열차의 속도에 매우 의존함을 의미한다. 저속에서는 피크의 형상이 사다리꼴과 유사하지만, 고속에서는 센서의 동적 특성으로 인해 미처 일정한 값에 도달하기 전에 센서 출력이 다시 감소하여 피크의 형상이 삼각형에 가깝다. 따라서, 피크가 감소하는 부분에서는 변동성이 커지게 된다.

## 3. 결 론

본 연구를 통해 자기부상열차의 실시간 계측 데이터 중 기존에 활용되지 않았던 조인트 부에서의 꺾 데이터를 이용하여 조인트 부의 형상을 추정할 수 있는 가능성을 확인하였다. 피크의 형상은 속도에 따른 변동성이 큰 특성을 가지고 있으므로, 속도 데이터를 이용하여 조인트 부 형상 추정의 정확성을 높일 필요가 있다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업에 의해 지원되었음. (14RTRP-A069839-02)