

소형동평판재하시험을 이용한 자갈궤도강성 예측방안 Evaluation of Rigidity of Ballast Track Using Light Weight Deflectometer

유경석*, 최영태*[†], 장승엽*

Kyung Suk Yoo*, Yeong-Tae Choi*[†], Seung Yup Jang*

Abstract Ballast track is a flexible track system, so is applicable to relatively weak ground but requires continuous maintenance because of track irregularity induced by the deformation. It is well-known that track rigidity is directly related to the track irregularity. In this regard, light weight deflectometer (LWD) was applied to measure quasi-track stiffness on every single sleeper. The quasi-stiffness changes periodically from low to high. The low stiffness appears to indicate unsupported sleepers and high value means supported ones. Therefore, the change of quasi-stiffness seems to be associated with track irregularity. Load-displacement relationship can also provide information whether the sleeper is supported or unsupported.

Keywords : Light weight deflectometer, Ballast track, Track stiffness, Track irregularity, Settlement

초 록 자갈궤도는 지반침하 등에 유연하게 대처할 수 있는 장점과 동시에 궤도틀림으로 인한 지속적인 유지보수가 필요한 단점이 있다. 궤도틀림 발생은 궤도 강성(stiffness)과 연관이 있다고 알려져있다. 본 논문에서는 소형동평판재하시험기(LWD)를 이용하여 자갈궤도의 궤도강성을 평가하였다. 매침목마다 강성을 평가한 결과, 강성의 크기가 주기적으로 변화하였다. 강성이 커 지지역할을 하는 침목과 강성이 낮은 뜬침목이 반복적으로 존재하였다. 이러한 강성 변화는 궤도틀림과 유사한 경향을 나타낼 것으로 예측된다. 또한, 하중-변위곡선으로부터 뜬침목을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 소형동평판재하시험, 자갈궤도, 궤도강성, 궤도틀림, 침하

1. 서 론

자갈궤도는 저렴한 초기건설비용, 지반침하, 소음진동 등의 장점이 있으나, 변형을 허용하는 궤도로서 침하가 발생하고, 궤도틀림으로 이어져 유지관리가 필요하다. Selig and Waters[1]는 자갈궤도 강성이 궤도틀림과 직접적인 상관관계가 있음을 제시하였다. Berggren, Furukawa, Hayano et al.[2, 3, 4]은 자갈궤도의 궤도강성을 평가하는 방법, 강성과 자갈궤도 거동과의 상관관계, 이로부터 자갈궤도의 유지관리에 대한 연구를 수행하였다. 이와 같이 자갈궤도의 강성이 궤도의 거동과 유지관리와 관계가 있음이 알려져 있다. 이 연구에서는 자갈궤도의 궤도강성을 평가하는 방법중 하나인 소형 동평판시험기(LWD, Light Weight Deflectometer)를 활용하여, 자갈궤도의 궤도강성을 평가하였다.

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부 첨단인프라연구팀

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부 첨단인프라연구팀

2. 현장강성평가 개요

2.1 LWD (Light Weight Deflectometer)와 겉보기 강성

LWD는 FWD(Falling Weight Deflectometer)를 간편하게 만든 휴대용 실험장비로서, 하중을 지반에 가하여 지반의 변위를 측정하는 장비이다. 하중과 변위로부터 지반의 탄성계수나 강성을 측정할 수 있는 실험장비로서 노반의 지지력, 다짐도 평가나 포장체의 강성평가에 주로 사용된다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 측정된 하중-변위에서 최대하중(P_{max})과 최대변위(δ_{max})를 이용하여 식(1)과 같이 자갈궤도의 겉보기강성을 평가하였다. 침목과 레일이 체결된 상태에서 강성을 평가함으로써 자갈도상과 침목사이의 빈공간이 변위에 포함되고, 레일의 휨강성, 패드강성도 반영된다. 이런 경우 자갈도상의 영향을 적절히 반영하지 못하기 때문에 겉보기 강성(quasi-stiffness, k_q)라고 이름지었다.

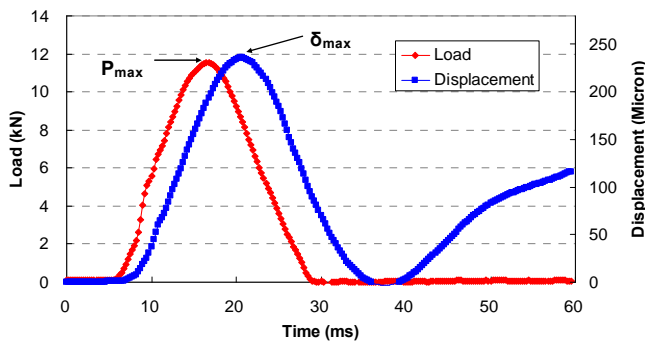


Fig. 1 Time history of load and displacement

$$k_q = \frac{P_{max}}{\delta_{max}} \quad (1)$$

where, P_{max} = 최대하중
 δ_{max} = 최대변위

2.2 현장실험

LWD의 고속선 자갈궤도 적용성을 평가하기 위하여 현재 사용하지 않는 대전남연결선(경부선 옥천역 부근)을 선정하여 실험을 진행하였다. 하부구조에 따른 궤도강성 변화도 함께 평가하기 위하여 토공구간, Box통과구간, 교량구간에 대하여 강성평가를 평가하였다.

예비실험으로서 일정구간에서 침목당 3회이상 추를 떨어뜨려 강성을 측정하였다. 최대하중은 11-12kN으로 일정하게 나타났으며, 강성도 비교적 일정하게 측정되었다. 따라서 본실험에서는 각 침목에서 1회 타격을 원칙으로 하였으며, LWD의 수직도가 확보되지 않아 측정결과가 이상한 경우 등 측정결과 정확도가 의심이 되는 경우에 대해서 2-3회 추가 타격하여 실험오차를 줄였다. 매 침목마다 강성을 측정하여 강성의 변화를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 침목별 겉보기강성 변화

토공, 박스통과구간, 교량구간의 침목별 강성변화는 아래 Fig. 2와 같다. 주기적으로 침목의 강성이 변화하였다. 겉보기강성이 큰침목과 낮은 침목이 번갈아가면서 나타났다. 강성이 큰 침목은 지지침목으로 강성이 낮은 침목은 뜬침목으로 분류할 수 있을 것으로 판단되며, 뜬

침목과 지지침목의 분포양상은 궤도틀림과 직접적으로 연관이 있을 것으로 생각된다. 박스가 끝나는 지점에서 성토부의 침하가 발생하여 레일의 처짐이 육안으로 확인되었는데, 이는 궤보기 강성의 변화와 경향이 유사하다 (Fig 2(b) 참조). 따라서 실제 운영선에서 궤보기 궤도 강성을 측정하여 궤도틀림과 상관관계를 분석하면, 강성으로부터 궤도틀림을 예측할 수 있을 것이다.

박스통과구간에서는 왼쪽과 오른쪽 레일위치에서 강성차가 나타났으나, 다른 구간에서는 유사한 값과 변화 양상을 보였다. 구간별로 평균 궤보기 강성은 72-79kN/mm로 비슷했으며, 구간별로도 유사하였다. 따라서 고속선 현장 적용시, 제한된 차단시간동안 효율적인 평가를 위해서 좌우측을 모두 측정하기보다는 한쪽을 연속으로 측정하여도 대표적인 궤보기강성의 변화를 평가할 수 있을 것을 생각된다.

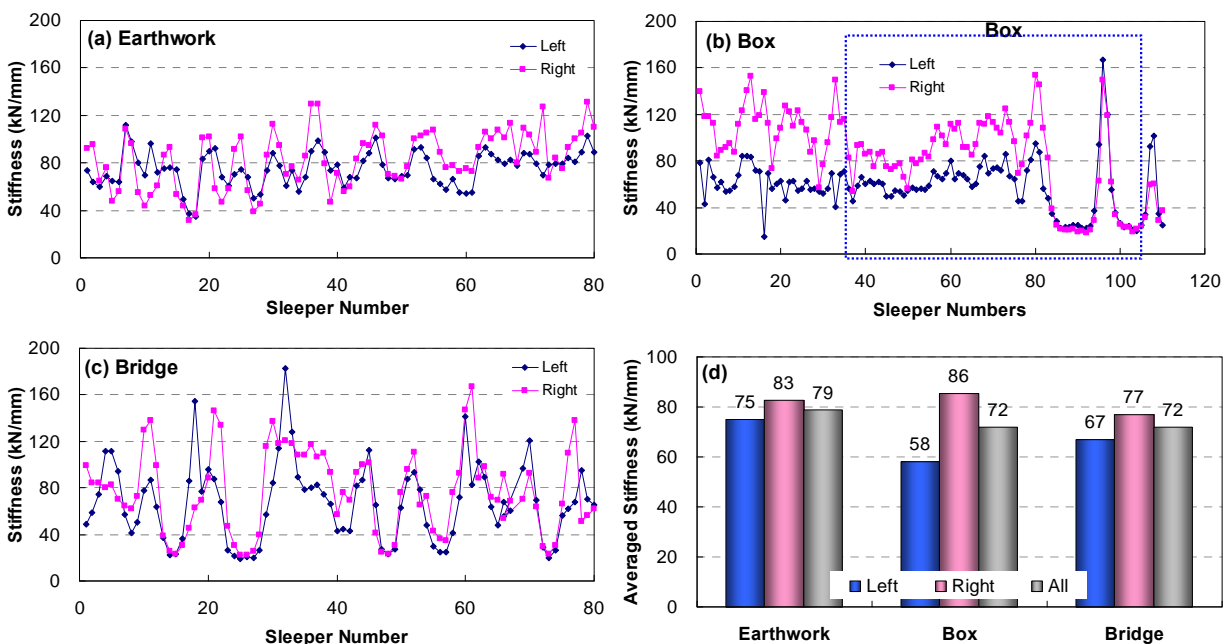


Fig. 2 Quasi-stiffness variation: (a) Earthwork, (b) Box, (c) Bridge, and (d) averaged stiffness

3.2 조건에 따른 강성변화

박스통과구간에서 궤보기 강성이 큰 침목(supported sleeper)과 작은 침목(unsupported sleeper)에 대해서 LWD의 재하하중과 체결조건을 변화시키면서 궤보기강성을 측정하였다(Fig. 3 참조). 지지침목에서는 체결여부와 적용하중에 관계없이 일정한 강성이 측정되었다. 이는 자갈도상의 지지강성이 충분하고, 침목과 도상도 충분히 접촉하여 지지하기 때문인 것으로 보인다. 그러나 뜬침목의 경우, 체결구 체결상태에서는 레일의 영향으로 궤보기강성이 비교적 일정하게 나타났다. 그러나 체결구를 해체하였을 때, 자갈도상의 영향으로 적용하중이 증가함에 따라 강성이 증가하는 경향을 보였으나 체결상태보다 편차가 크게 나타났다. 하중이 커짐에 따라 도상에 접촉하는 면적이 넓어져 궤보기강성이 증가하는 경향을 보이나, 지지침목위치에 비하여 뜬침목구간에서는 도상이 이완되어 작은 변형률(낮은 하중 수준)에서 측정 시, 궤

보기강성 편차가 상대적으로 크게 나타난 것으로 판단된다. 이는 제한적인 실험에 의한 결과로서 추가실험을 통하여 검증이 필요하다.

체결된 상태에서 최대하중(약 12kN)을 재하한 경우, 하중-변위곡선을 Fig. 3 (c)에 나타내었다. 지지침목은 탄성적인 거동을 나타내는 반면, 뜬침목은 점탄성거동을 나타내었다. 하중-변위곡선에 손실에너지(loss energy)를 이용하여 뜬침목을 구별해낼 수도 있을 것이다.

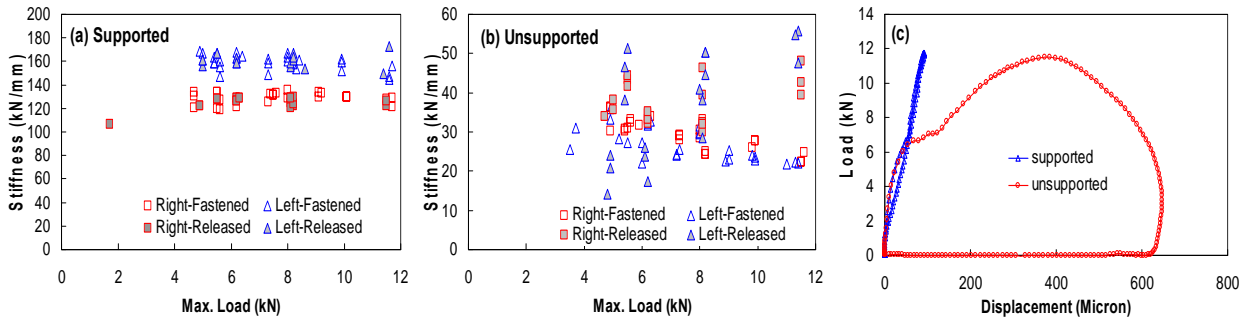


Fig. 3 Stiffness variation according to applied load level at (a) a supported sleeper and (b) an unsupported sleeper.

4. 결론

자갈궤도 강성은 궤도의 거동에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이에 궤도의 강성을 평가하기 위하여 소형동평판재하시험기(LWD)를 이용하여 자갈궤도의 결보기강성을 측정하였다. 뜬침목과 지지침목이 주기적으로 나타나 계속해서 결보기강성이 변화하는 것으로 나타났으며, 좌우측 레일위치에서 비교적 유사한 값을 나타냈다. 강성의 변화가 궤도틀림과 높은 상관성이 있을 것으로 예상되며, 하중-변위곡선으로도 뜬침목을 구별해 낼 수 있을 것으로 기대되었다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구개발사업의 연구비지원(16RTRP-B065581-04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] E. Selig, J. Waters (1994), *Track Geotechnology and Substructure Management*, Thomas Telford.
- [2] E. Berggren (2009), *Railway Track Stiffness Dynamic Measurements and Evaluation for Efficient Maintenance*, Doctorial Dissertation, Royal Institute of Technology (KTH) Aeronautical and Vehicle Engineering Div. of Rail Vehicles SE-100
- [3] A. Furukawa (2016) Recent Tendencies in Ballasted Track Maintenance, *84 QR of RTRI*, 57(2), Railway Technical Research Institute, pp.80-84
- [4] K. Hayano, K. Ishii, K. Muramoto (2013) Effects of ballast thickness and tie-tamper repair on settlement characteristics of railway ballasted tracks, *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris 2013, pp. 1275-1278.