

윤중 측정 방법을 활용한 침목의 레일 좌면부 하중 도출 Calculation of Rail Seat Load(RSL) utilizing Wheel Load Measuring Method

박범호*, 윤경민**, 황성호***, 정요운****, 임남형*†

Beom-Ho Park*, Kyung-Min Yun**, Sung-Ho Hwang***, Yo-Un Jung****, Nam-Hyoung Lim*†

Abstract The domestic design for sleepers is applied KR C-14030(Ballasted Track Structure). In KR C-14030, the design load is calculated by using only the track quality factor for all the track components as well as the sleepers. However, design standards such as UIC 713R or prEN 13230-6 propose specific design methods for sleepers. In this design method, in order to derive the RSL(rail seat load), factors such as train speed, load distribution, sleeper support defects, and rail pad attenuation are considered. In order to accurately derive the RSL determined by these various conditions, it is necessary to compare and analyze with the RSL of the service line, but it is very difficult to measure the RSL through field measurement. Therefore, in this study, the load acting on the rail seat area of the sleepers was derived by using the wheel load measuring method. These results are expected to be applicable to evaluate the design loads of the sleeper.

Keywords : Sleeper Design, Wheel Load, Rail Seat Load(RSL), Measuring Method

초 록 국내 침목 설계는 KR C-14030(자갈궤도 구조)을 적용하고 있다. KR C-14030에서는 설계하중 산정 시, 침목뿐만 아니라 모든 궤도 구성품에 대해서 궤도 품질 계수만을 달리 한 방법을 제시하고 있다. 그러나 국외의 UIC 713R 또는 prEN 13230-6 등과 같은 설계기준에서는 침목에 대해서 특정한 설계법을 제안하고 있으며, 침목의 레일 좌면부 하중(RSL, Rail Seat Load)을 도출하기 위해 윤중 이외에 열차운행 속도에 의한 계수, 침목의 간격으로 인한 하중 분배계수, 침목 지지결함에 따른 계수, 레일패드 탄성에 의한 계수 등을 고려하고 있다. 이와 같이 다양한 조건에 의해 결정되는 RSL을 정확히 도출하기 위해서는 실제 운행선의 RSL과 비교/분석이 필요하나 현장 계측을 통한 RSL의 측정은 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 윤중 측정 방법을 활용하여 RSL을 도출하였으며, 이 결과는 추후 침목의 설계 하중을 정립하는데 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

주요어 : 침목 설계, 윤중, 레일 좌면부 하중, 측정 방법

1. 서 론

철도의 자갈궤도 시스템은 레일, 체결장치, 침목, 자갈도상, 노반 등의 구성요소로 이루어진다. 이 구성요소는 무거운 열차 하중을 레일에서 하부 구성요소로 전달하는 기능을 하

† 교신저자: 충남대학교 공과대학 토목공학과(nhrim@cnu.ac.kr)

* 충남대학교 공과대학 토목공학과

** 충남대학교 철도연구소

*** 한국철도기술연구원 첨단고속철도연구실

**** 삼표이앤씨(주) 기술연구소 개발팀

며, 노반에서는 약 20,000배가 감소한 압력을 받는다[1]. 이러한 하중 전달 메커니즘에서 레일 다음으로 하중이 전달되는 침목은 하부 자갈도상과의 지지 조건에 따라 다양한 크기의 하중을 받는다. 레일에서 침목의 레일 좌면부를 통해 전달되는 하중을 Rail Seat Load(RSL, 레일 좌면부 하중)라 하며, 침목의 설계하중을 결정하는 인자이다.

레일 좌면부 하중을 측정하기 위한 가장 좋은 방법은 레일 좌면부에 가해지는 하중을 취득하는 방법[2]인데 실제 운행선에서 레일 패드를 대신하거나 패드 위에 적용할 압력/하중 측정 센서를 사용하기에는 경제성, 시공성 등에서 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 운행선에서 운중을 취득하는 방법으로 가장 많이 사용되는 변형률 게이지를 이용한 측정 방법을 활용하여 RSL을 측정하는 방법을 제시하였다[3]. 그리고 현장 계측을 수행하여 취득한 데이터를 통해 RSL을 계산하였다.

2. 침목의 레일 좌면부 하중(RSL) 도출

2.1 RSL 측정 원리 및 방법

레일 좌면부 하중을 측정하기 위해 침목 사이에서 측정하는 운중 측정 방법을 활용하여 침목 직상부에서의 운중을 측정하였다. 침목 직상부에서 운중을 측정하면 침목이 하부 도상에 전달하는 하중을 제외하고 감소한 운중이 검측되는데 이 원리를 이용하면 RSL을 식 (1)과 같이 도출할 수 있다. Fig. 1은 운중 측정 게이지 부착 위치를 나타내며, 침목과 침목 사이, 침목 직상부에 운중 측정 게이지(2-axis strain gauge)를 연속해서 부착한 후 통과 열차에 대한 계측을 수행하였다. 그리고 Fig. 2는 운행선에 운중 측정 게이지를 설치한 모습이다.

$$RSL = VWL - SWL \tag{1}$$

여기서,

VWL : 침목과 침목 사이에서 측정하는 운중(Vertical Wheel Load)

SWL : 침목 직상부에서 측정하는 운중(Sleeper Wheel Load)

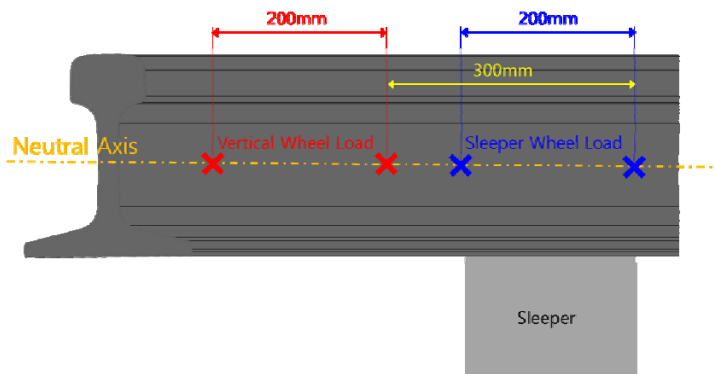


Fig. 1 Schematic diagram of strain gauge attachment position for wheel load measurement



Fig. 2 Field measurement photograph for wheel load measurement

2.2 RSL 도출

현장에 설치된 윤중 측정 게이지로부터 검출되는 침목 사이 및 침목 직상부의 윤중은 Fig. 3과 같은 형상을 나타낸다. Fig. 3에서 (a)는 일반적으로 측정되는 윤중 형상으로 KTX(10량)에 대한 계측 데이터이며, (b)는 침목 직상부에서 측정된 윤중 데이터로 일반적인 윤중 형상과 다르게 윤중 측정 게이지 세트 영역(20cm) 이외의 인근에서 하중이 반대방향으로 나타나는 특징이 있다. 이는 침목 사이에서 윤중 데이터와 다르게 침목 직전이나 직후에 차륜이 오는 경우, 위로 볼록해지는 레일 형상으로 발생한 전단 변형률 변화로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 그리고 윤중과 같은 방향의 하중은 침목의 레일 좌면부에 작용하는 하중을 제외한 하중이 검출되는 것으로 분석된다.

RSL을 도출하기 위해 식 (1)을 적용하면, Fig. 4 (a)와 같이 동일 시간에서 VWL과 SWL 선도는 윤중 측정 게이지 세트의 간격을 고려하지 않아 정확한 RSL을 구할 수 없다. 따라서 윤중 측정 게이지 세트의 간격만큼 VWL과 SWL 선도 중 하나를 시간축 기준으로 평행이동하고, 그 차(SWL-VWL)를 선도로 작성하면 Fig. 4 (b)의 파란색 선도와 같이 작성할 수 있다. 이 때 파란색 선도는 녹색의 SWL 선도와 침목 하중 재하 부분 제외하고 매우 유사한 형상 (Curve Fitting, 곡선맞춤)이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

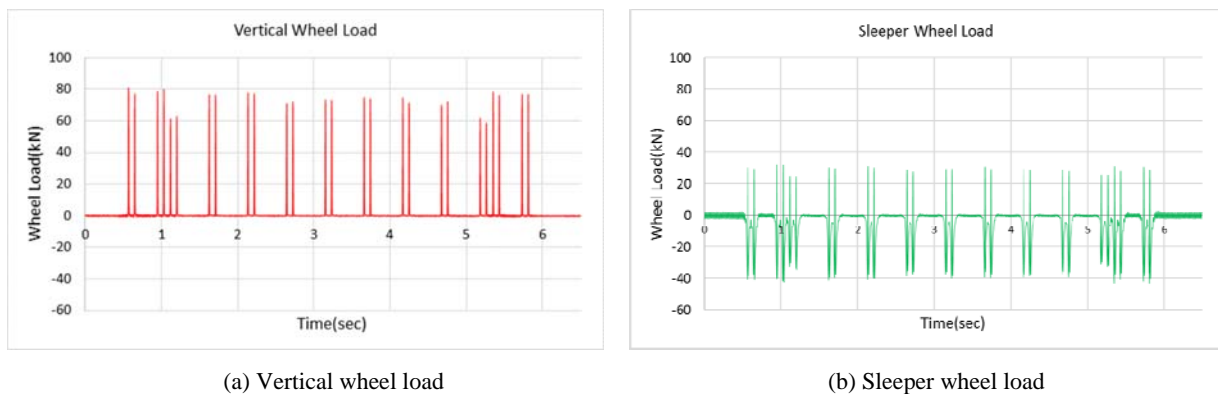
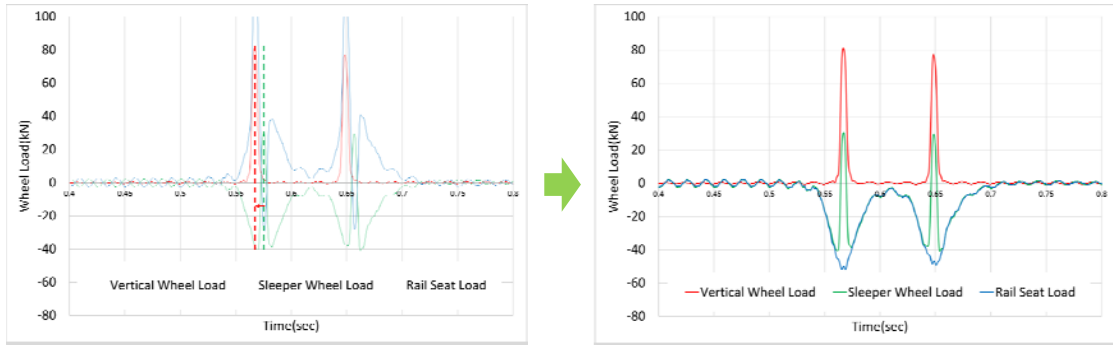


Fig. 3 The VWL and SWL for KTX (Example)



(a) Data processing at the same time

(b) Data processing considering interval of gauge set

Fig. 4 Process of wheel load data

곡선맞춤이 확인된 파란색 선도를 시간축 기준으로 대칭이동을 하면 Fig. 5와 같이 RSL 선도를 작성할 수 있다. Fig. 5와 같이, 윤중(VWL)이 80.92kN, 침목 직상부의 윤중(SWL)이 30.35kN이면, 침목의 레일 좌면부 하중(RSL)은 $80.92 - 30.35 = 50.57\text{kN}$ 로 도출되며, 이 침목에는 윤중의 62.5%가 작용한다.

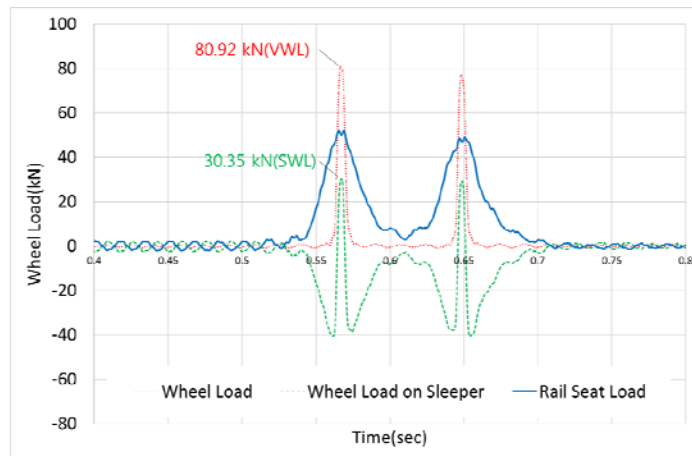


Fig. 5 Calculation result of RSL

3. RSL 분석

현장 계측을 통해 취득한 208편의 열차 데이터를 활용하여 RSL를 계산하였으며, RSL의 측정 및 계산 결과가 타당한지 검토하였다. B. J. Van Dyk 등[4]에 의해 연구된 도상 지지조건에 따른 윤중과 RSL의 관계를 바탕으로 본 연구에서 도출된 윤중 및 RSL를 비교하였으며, 그 결과는 Fig. 6과 같다. 그 결과, 본 연구에서 계측한 구간의 침목 지지조건은 양호한 상태(Good Condition)인 것으로 나타났으며, 침목의 단부 변위 측정 결과 또한 0.5mm 내에서 거동하는 것으로 나타나 RSL 도출 방법은 타당성이 있는 방법이라 평가할 수 있다.

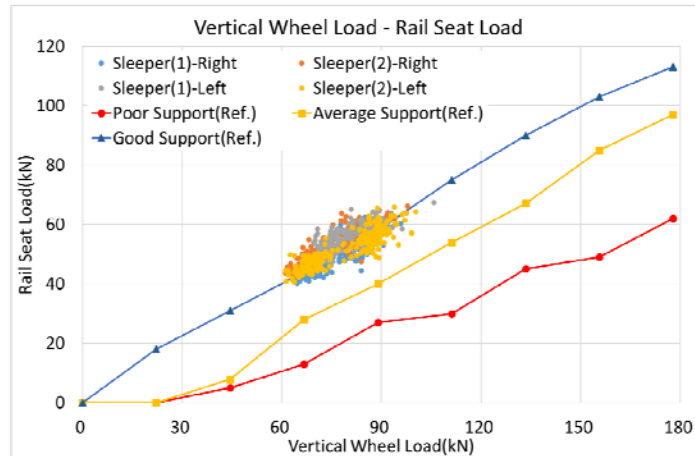


Fig. 6 Verification of RSL deriving method through relationship between VWL and RSL

4. 결론

국내 설계기준에서 침목의 설계 하중은 윤중에 충격 및 분배계수 등을 고려한 설계 RSL을 고려하고 있다. 그러나 설계 RSL과 실제 운행선에서의 RSL 비교를 통한 설계 RSL의 적절성은 규명이 미흡한 상태이다. 이에 따라 운행선상에서 RSL을 측정 및 계산하였으며, RSL 결과를 통해 도상 지지조건이 양호한 경우에 대해 기존 연구 결과와 유사성을 확인하였다. 또한 이 방법에 의해 도상 지지조건이 양호한 경우에 설계 RSL 계산 시 반영하는 하중 분배 계수(0.5)에 비해 다소 증가한 분배 계수가 도출되는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(17TRP-B065581-05)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] C. Esveld (2001) Modern Railway Track, MRT-Productions, Zaltbommel.
- [2] M. J. Greve, M. S. Dersch, J. R. Edwards, C. P. L. Barkan, H. Thompson, T. R. Sussmann, M. McHenry (2014) Examination of the Effect of Concrete Crosstie Rail Seat Deterioration on Rail Seat Load Distribution, *Transportation Research Board 94th Annual Meeting*.
- [3] D. Mishra, E. Tutumluer, H. Boler, J. P. Hyslip, T. R. Sussmann (2014) Railroad Track Transitions with Multidepth Deflectometers and Strain Gauges, *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2448, pp. 105-114.
- [4] B. J. Van Dyk, A. J. Scheppe, J. R. Edwards, M. S. Dersch, C. P. L. Barkan (2015) Methods for quantifying rail seat loads and a review of previous experimentation, *Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(3), pp. 935-945.