

궤도 하부구조물의 전단파속도 획득을 위한 콘 관입기의 개발

Development of Cone Penetrometer for Shear Wave Velocity Assessment of Track Substructures

홍원택*, 강성훈*, 이성진**, 이종섭*†

Won-Taek Hong*, Seonghun Kang*, Sung Jin Lee**, Jong-Sub Lee*†

Abstract Changes in strength and stiffness of the track substructures can lead to serious accidents including the shear failure of the subgrade and the derailment of the train. In this study, a cone penetrometer is developed to obtain the dynamic cone penetration index and shear wave velocity of the track substructures and is applied to the high-speed railway track substructures. In the cone tip with a diameter of 24 mm, an accelerometer with a range of 10,000 g is installed. Experimental results show that the dynamic cone penetration index and the shear wave velocity are about 5 mm/blow and 110 m/s in the ballast layer, 2~5 mm/blow and 150 m/s in the reinforced subgrade and subgrade layer, respectively. The cone penetrometer developed in this study may be a useful tool for strength and stiffness evaluation of the track substructures.

Keywords : Cone penetrometer, DCPI, High-speed railway, shear wave velocity, Track substructure

초 록 궤도 하부구조물의 강도 및 강성특성 변화는 노반의 전단파괴, 열차의 탈선 등 큰 사고로 이어질 수 있다. 본 연구에서는 궤도 하부구조물의 강도 및 강성특성 획득을 위한 콘 관입기를 개발하였으며 고속철도 궤도 하부구조물에 적용하여 동적 콘 관입지수 및 전단파속도를 획득하였다. 콘 관입기의 선단부는 직경 24mm의 원추형으로 제작되었으며 내부에는 측정범위 10,000g의 가속도계가 설치되었다. 적용실험 결과, 동적 콘 관입지수와 전단파속도는 도상자갈층에서 약 5mm/blow와 110m/s로 측정되었으며, 강화노반 및 상부노반층에서는 약 2~5mm/blow와 150m/s로 측정되었다. 본 연구에서 개발된 콘 관입기는 궤도 하부구조물의 강도 및 강성특성 평가를 위한 방법으로 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

주요어 : 콘 관입기, 동적 콘 관입지수, 고속철도, 전단파속도, 궤도 하부구조물

1. 서 론

철도궤도 하부구조물의 노후화로 인한 지지력 감소 및 기존선에 대한 열차의 고속화로 인한 증가된 운중, 횡압, 시·제동력은 궤도 하부구조물의 파괴를 유발하여 큰 인명피해를 발생시킬 수 있으며, 파괴까지 유발되는 큰 변형이 발생되지 않더라도 안전관리기준을 벗어난 궤도 하부구조물의 변형은 열차의 탈선 등 큰 사고로 이어질 수 있다. 그러므로, 철도궤도 하부구조물에 대한 강도 및 강성특성 평가에 대한 연구는 가장 기본적인 임과 동시에 가장 중

† 교신저자: 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부(jongsub@korea.ac.kr)

* 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부

** 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

요한 가치를 지닌다고 할 수 있다.

최근 많은 연구자들에 의하여 다양한 방법을 적용한 철도궤도 하부구조물 평가 방법이 소개되고 있다. Park 등 [1] 과 Kim 등 [2] 은 ground penetrating radar (GPR) 을 궤도 하부구조물에 적용하였다. GPR은 적은 비용으로 단시간 내에 넓은 지역에 대한 탐사가 가능한 반면 [3], 직접적인 궤도 하부구조물의 강도 및 강성 평가에 어려움이 있다. 또한, surface wave 기법 및 품질관리에 대한 연구도 진행되고 있으나 아직 실용화 단계에 이르지 못하였다 [4]. 또한, light falling weight deflectometer (LWDT), plate bearing test (PBT) 를 이용한 궤도 하부구조물 평가가 제안되었다. LFWD와 PBT는 직접적으로 강성과 처짐량을 평가할 수 있는 방법이나, 평가범위가 제한적이기 때문에 노반을 평가하고자 할 경우 침목과 도상자갈층을 제거해야 하므로 적용성에 한계가 있다. 이와 같은 이유로, 비파괴 시험방법들에 참고값을 제시할 수 있으며, 심도에 따라 직접적으로 철도궤도 하부구조물을 평가할 수 있는 원위치 관입시험에 대한 연구가 필요하다.

Scala [5] 에 의해 소개된 dynamic cone penetrometer (DCP) 는 선단부 직경이 20 mm 인 소형화된 원위치 관입시험 방법으로서 시험방법이 매우 간결하고 경제적이며 장비의 유지관리 및 보관이 용이하고, 대상지반을 크게 교란하지 않으므로 운영중인 철도궤도 하부구조물에 대한 적용에 적합하다. DCP 시험을 통하여 획득되는 동적 콘 관입지수 (dynamic cone penetration index, DCPI) 는 대상 지반의 강도특성과 크게 연관되므로 대상 궤도 하부구조물의 강도특성 평가에 유용하게 사용될 수 있으나, 궤도 하부구조물의 강성특성 평가에는 한계가 있다.

본 연구에서는 동적 콘 관입 시험을 통하여 강도특성 평가와 동시에 목표 심도에서 직접적으로 강성특성과 관련된 전단파속도를 측정할 수 있는 콘 관입기를 개발하였으며, 현재 운영중인 철도궤도 하부구조물을 대상으로 현장실험을 수행하여 적용성을 검증하였다. 본 논문은 개발된 콘 관입기 및 현장실험의 결과를 다룬다.

2. 본 론

2.1 전단파속도 획득을 위한 콘 관입기

2.1.1 형상 및 측정체계

본 연구에서 개발된 콘 관입기를 이용한 궤도 하부구조물 평가는 두 개의 콘 관입기가 동시에 관입되며 수행된다. 첫 번째 콘 관입기는 특정 심도에서 해머 타격에 의하여 전단파를 발생시키는 발신기 역할을 하며, 두 번째 콘 관입기는 해당 심도에서 첫 번째 콘 관입기에 의하여 발신된 전단파를 감지하는 수신기 역할을 한다. 콘 관입기는 Fig. 1 과 같이 길이 60 mm, 직경 24 mm 의 선단부와 길이 1,000 mm, 직경 22 mm 의 관입로드, 무게 118 N 의 해머 및 가이드로 구성되며, 관입로드가 모두 관입된 후 추가 관입수행이 가능토록 길이가 각각 500 mm, 300 mm 인 연장로드가 제작되었다. 또한, 선단부에는 해머 타격 및 수직방향 지반 진동을 감지할 수 있도록 측정범위가 10,000 g 인 일축 가속도계가 설치되었다. 가속도계를 통하여 측정된 가속도 신호들은 데이터로거로 수집되며, 컴퓨터로 출력된다.

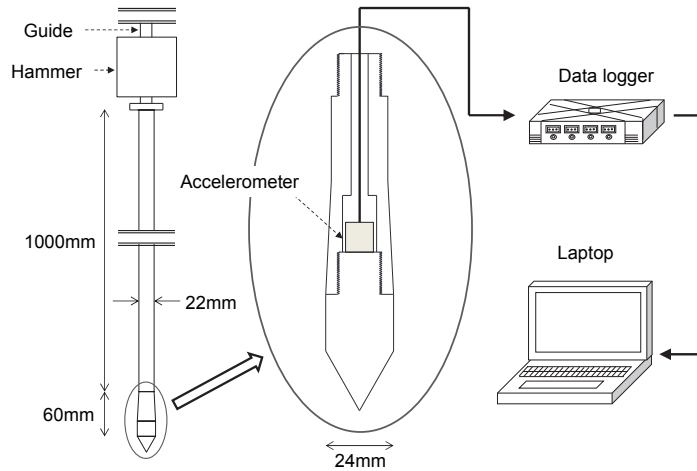


Fig. 1 Schematic drawing and measurement system of the cone penetrometer

2.2 현장 적용실험

2.2.1 개요

본 연구에서 개발된 콘 관입기에 대한 현장 적용을 위하여 경부고속철도 구간에 속한 자갈도상 궤도 하부구조물을 대상으로 관입실험이 수행되었다. 전단파속도 획득을 위하여 수신기 역할을 하는 콘 관입기를 측정 목표심도까지 선행하여 관입한 후, 발신기 역할을 하는 콘 관입기의 관입이 수행되었으며, 각 콘 관입기의 심도가 유사할 때 가속도신호를 획득하여 전단파속도를 산정하였다. 또한, 발신기 역할을 하는 콘 관입기의 관입시 대상 지반의 강도특성과 관련된 동적관입저항을 획득하기 위하여 매 타격마다 관입심도를 기록한 후, DCPI 주상도를 획득하였다. 본 적용실험에서는 1,310 mm의 심도까지 관입이 수행되었으며, 전단파속도는 심도 200 mm 부터 1,300 mm 까지 100 mm의 간격으로 획득되었다.

2.2.2 실험 결과

Fig. 2는 현장 적용실험으로부터 획득된 DCPI 주상도 및 전단파속도 주상도를 보여준다.

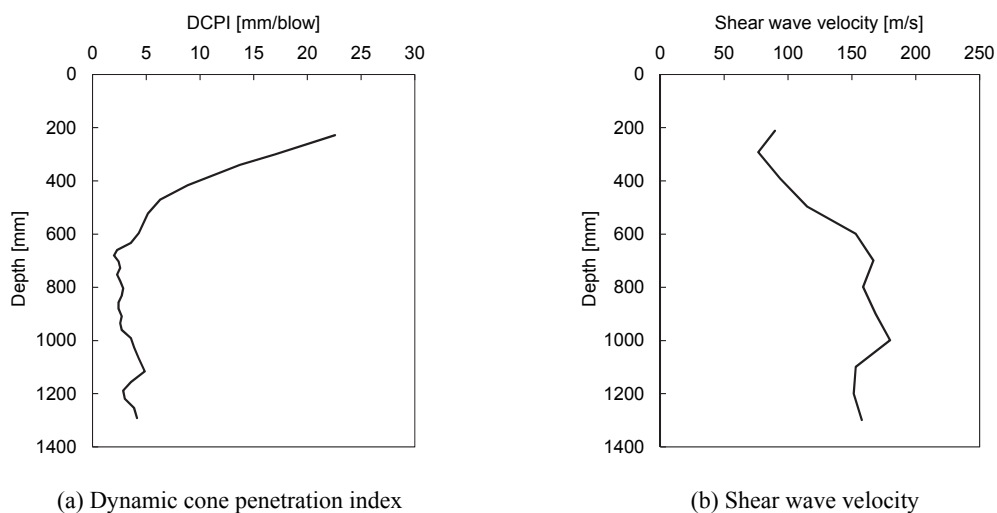


Fig. 2 Experimental results of the application test

DCPI 는 관입 초반 낮은 구속압의 효과로 인하여 매우 큰 값을 나타내었으나, 심도 약 500 mm 부터 약 5 mm/blow 의 값을 나타내었으며, 600~1,000 mm 구간에서는 약 2.5 mm/blow 로 수렴하였다. 이후 1,000 mm 이상의 심도에서는 DCPI 가 다소 증가하는 경향을 보였다. 전단파속도의 경우, 심도 200 mm 에서는 이후 심도에서의 경향과는 상이하게 약 90 m/s 로 비교적 큰 값을 나타내었다. 이는 높이 200 mm 로 제작된 콘크리트재질로 이루어진 침목의 영향으로 판단된다. 이후 심도 300 mm 에서는 약 70 m/s 로 감소하였으며, 측정심도 500 mm 까지 115 m/s 로 증가하였다. 심도 600 mm 부터 1,000 mm 까지의 전단파속도는 약 160 m/s 로 측정되었으며, 이후 심도에서는 약 150m/s 의 값을 나타내었다.

3. 결론

본 연구에서는 철도궤도 하부구조물에 대하여 직접적으로 강도 및 강성특성을 획득할 수 있는 콘 관입기를 개발하였다. 콘 관입기는 118 N 의 해머를 이용하여 575 mm 의 낙하고로 동적관입되며, 강도특성과 관련된 DCPI 및 강성특성과 관련된 전단파속도를 획득할 수 있다. 현장 적용성 검증을 위하여 고속철도 궤도 하부구조물에 대하여 관입실험을 수행하였으며, 심도 약 1,310 mm 까지의 DCPI 주상도 및 전단파속도 주상도를 획득하였다.

본 연구에서 개발된 콘 관입기는 동적관입 방법을 이용함으로써 장비의 경량화 및 이동성 상성을 도모하였으며, 관입과 동시에 강도 및 강성특성을 획득할 수 있으므로 향후의 철도 궤도 하부구조물 평가 방법으로써 유용하게 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

후 기

이 연구는 국토교통부 미래철도기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 14-RTRP-B065581-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] J. O. Park, H. K. Min, I. S. Jeon (2009) Evaluation of subgrade state in the Gyeongbu high speed railway through GPR tests and drilling boreholes, *2009 Spring Conference of Korean Society for Railway*, Korea, pp. 984-996.
- [2] D. S. Kim, S. K. Hwang, M. H. Shin, T. S. Park (2005) Evaluation on the condition of track substructure using GPR/PBS/LFWD, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 21(5), pp. 163-170.
- [3] D. Carpenter, P. J. Jackson, A. Jay (2004) Enhancement of the GPR method of railway trackbed investigation by the installation of radar detectable geosynthetics, *NDT & E International*, 37, pp. 95-103.
- [4] H. S. Ko, S. H. Joh, S. K. Hwang, I. H. Lee (2004) The evaluation of roadbed stiffness using continuous surface-wave (CSW) method, *2004 Autumn Conference of Korean Society for Railway*, Korea, pp. 1-6.
- [5] A. J. Scala (1956) Simple methods of flexible pavement design using cone penetrometer, *New Zealand Engineering*, 11(2), 34.