

상부노반의 동적 콘 관입지수와 전단파속도 상호관계 연구

A study on the relationship between dynamic cone penetration index and shear wave velocity of the railway subgrade

홍원택*, 강성훈*, 최찬용**, 이종섭*†

Won-Taek Hong*, Seonghun Kang*, Chan Yong Choi**, Jong-Sub Lee*†

Abstract The dynamic behavior of the railway subgrade which supports the train load transferred from the ballast layer affected by the shear modulus of the subgrade. Since the shear modulus is closely related with the shear wave velocity, the shear wave velocity can be used to predict the dynamic behavior of the subgrade. In this study, the relationship between the dynamic cone penetration index (DCPI) and the shear wave velocity (V_s) is suggested experimentally. The dynamic cone penetration test and shear wave velocity assessment are conducted on the compacted subgrade, and a DCPI log and a V_s log are obtained. As a result, the V_s of the subgrade is expressed as a involution form of the DCPI. The relationship suggested in this study can be used to predict the shear modulus and the dynamic behavior of the subgrade by DCPI.

Keywords : Dynamic cone penetration test, Dynamic cone penetrometer, Railway subgrade, Shear modulus, Shear wave velocity

초 록 도상자갈층으로부터 전달된 하중을 지지하는 상부노반의 동적 거동은 전단탄성계수에 영향을 받는다. 지반의 전단탄성계수는 전단파속도와 밀접한 연관을 갖으므로, 전단파속도의 획득은 상부노반의 동적거동 예측 활용될 수 있다. 본 연구에서는, 동적 콘 관입지수와 전단파속도의 관계를 실험적으로 제시하고자 하였다. 동적 콘 관입시험 및 전단파속도 획득은 다짐 완료된 상부노반을 대상으로 수행되었으며, 심도에 따른 동적 콘 관입지수 및 전단파속도가 획득되었다. 상부노반에서의 전단파속도는 동일위치에서 획득된 동적 콘 관입지수의 거듭제곱 형태로 나타났다. 본 연구의 결과는 동적 콘 관입시험을 통한 전단탄성계수 산정 및 상부노반의 동적 거동 예측에 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

주요어 : 동적 콘 관입시험, 동적 콘 관입지수, 철도 노반, 전단 강성계수, 전단파속도

1. 서 론

철도는 대중들로 하여금 가장 많이 이용되는 대중 교통수단이다. 이에 따라, 전 세계적인 철도망 구축 및 연결, 연장이 진행되고 있으며, 승차감 상승 및 소음 완화 등 이용자의 편의와 관련된 분야의 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 또한, 대규모 인명피해 및 재산피해를 사전에 방지하기 위한 철도 시공관리, 유지보수에 대한 연구는 매우 중요한 가치를 지닌

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

* 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부

** 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

다 [1]. 특히, 철도궤도 하부구조물의 노후화로 인한 지지력 감소 및 열차의 고속화는 도상 자갈층 및 상부노반층에 지지력 이상의 큰 하중을 가하여 궤도 뒤틀림, 노반의 전단파괴가 발생될 수 있으며, 파괴까지 이르지 않더라도, 안전관리기준을 벗어난 노반층의 탄성변형은 열차가 탈선 등 큰 사고를 야기할 수 있으므로 노반층에 대한 적절한 상태평가는 필수적이다.

심도에 따라 직접적으로 노반의 상태를 평가하기 위하여 원위치 관입시험 방법이 적용될 수 있다. 대표적인 원위치 관입시험 방법으로, 표준관입시험, 콘관입시험, 공내재하시험, 딜라토미터시험, 베인전단시험이 고려될 수 있다 [2,3]. 그러나 이들 원위치 관입시험방법은 큰 무게와 부피를 차지하는 관입장비가 동반되어야 하며, 필요에 따라 천공되어야 하는 시험공 및 관입로트의 큰 직경으로 인하여 시공 및 다짐 완료된 노반의 파괴 및 교란을 야기한다. 반면, Scala [2] 에 의해 소개된 동적 콘 관입기(dynamic cone penetrometer, DCP)는 선단부 직경 20mm 인 소형화된 원위치 관입시험방법으로서 시험방법이 매우 간결하고 경제적이며 장비의 유지관리 및 보관이 용이하고, 대상지반을 크게 교란하지 않으므로 노반에 대한 적용에 적합하다. 동적 콘 관입시험을 통하여 획득되는 동적 콘 관입지수(dynamic cone penetration index, DCPI)는 대상 지반의 강도특성과 크게 연관되므로 대상 노반의 다짐도 및 강도특성 평가에 유용하게 사용될 수 있으나, 강성특성 획득에는 한계가 있다.

지반에 대하여 동적 하중이 작용했을 때, 대상 지반의 동적 거동은 전단 탄성계수에 큰 영향을 받는다. 또한, 작은 변형에서 매우 우수한 선형 하중-변형률 관계를 보이는 최대 전단 탄성계수(G_{max})는 노반의 동적 거동 해석 요소로써 이용될 수 있으며, 이는 해당 지반의 전단파속도와 밀접한 관련을 갖으므로 철도노반의 전단파속도 추정은 대상 노반의 동적 거동을 예측하는 데에 활용될 수 있다 [5].

본 연구에서는 동적 콘 관입지수와 전단파속도의 상호관계를 제시하고자 다짐된 상부노반에 대하여 전단파속도를 획득하였으며, 동일 위치에서 동적 콘 관입시험을 수행하였다. 본 논문은 실험의 과정 및 실험으로부터 획득한 동적 콘 관입지수와 전단파속도의 상호관계 구성 결과를 다룬다.

2. 본 론

2.1 현장실험

대상 현장으로서, 시공 및 다짐 완료된 상부노반이 선택되었으며, 전단파속도 및 동적 콘 관입지수를 획득하기 위하여 크로스홀 시험, 동적 콘 관입시험이 수행되었다 [6,7]. 동적 콘 관입시험으로 인한 노반의 교란 및 획득된 전단파속도의 불확실성을 최소화 하기 위하여 크로스홀 시험에 의한 전단파속도 획득이 선행되었다. 크로스홀 시험은 Fig. 1과 같이 송신부와 수신부를 약 600mm 간격으로 배치하여 수행되었으며, 송신기와 수신기를 상부노반의 표면에서 하부로 이동시키며 심도에 따른 전단파속도를 획득하였다. 동적 콘 관입시험은 크로스홀 시험에 의한 전단파속도 획득 이후, 수신부와 송신부의 중간 위치에서 수행되었다. 크로스홀 시험을 이용한 전단파 속도 획득 및 동적 콘 관입시험을 이용한 동적 콘 관입지수

획득은 심도 약 1,000mm까지 수행되었다.

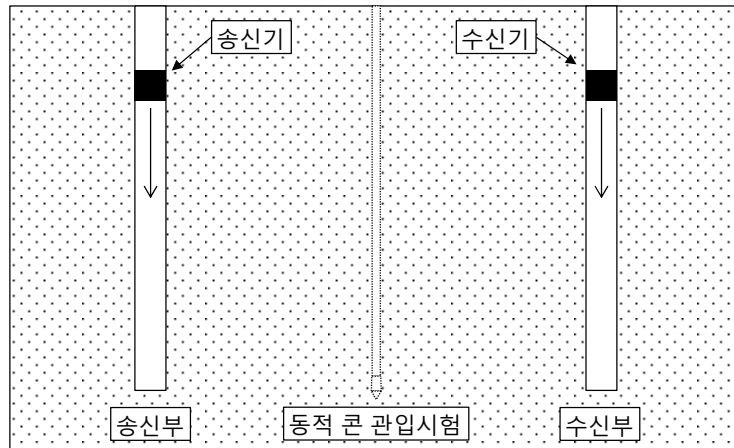


Fig. 1 Schematic drawing of field tests

2.2 실험 결과

동적 콘 관입지수는 심도에 따라 약 2mm/blow에서 15mm/blow의 값을 나타내었으며, 획득된 전단파속도는 약 110m/s에서 300m/s의 값을 나타내었다. 또한, 본 연구에서 획득된 동적 콘 관입지수와 전단파속도의 상호관계를 구성하여 Fig. 2에 나타내었다. 여기서, 동적 콘 관입지수의 획득 심도와 전단파속도의 획득 심도가 완벽히 일치하지 않을 때에는 전단파속도 획득 위치를 기준으로 동적 콘 관입지수를 선형보간하였다.

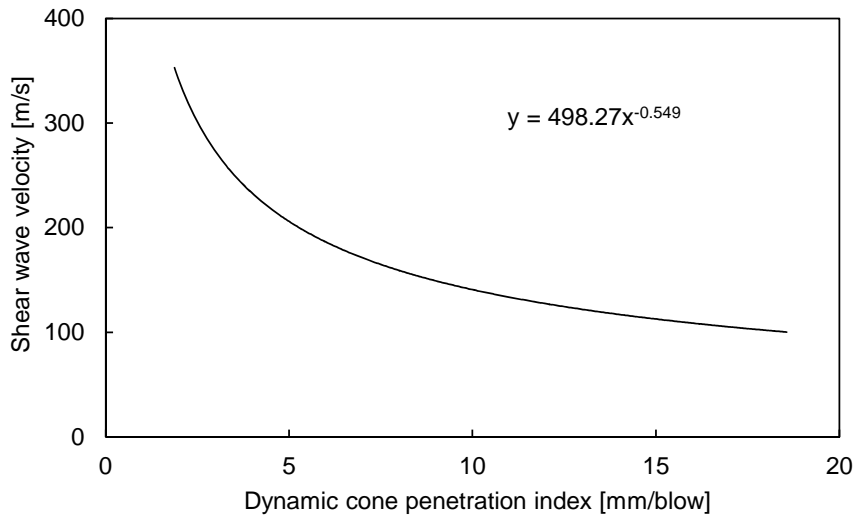


Fig. 2 Relationship between the dynamic cone penetration index and the shear wave velocity

본 연구에서 획득된 전단파속도는 동적 콘 관입지수의 거듭제곱 형태를 나타내었으며, 결정계수가 0.85 이상인 매우 우수한 상호관계를 나타내었다.

3. 결 론

본 연구에서는 철도 상부노반의 전단파속도를 추정하기 위하여 다짐 및 시공 완료된 노반을 대상으로 크로스홀 시험 및 동적 콘 관입시험이 수행되었다. 노반의 교란으로 인한 전단파속도의 불확실성을 최소화 하기 위하여 크로스홀 시험에 앞서 동적 콘 관입시험이 수행되었으며, 각각의 시험은 심도 약 1,000mm까지 수행되었다. 상호관계 구성 결과, 전단파속도는 결정계수가 0.85 이상인 동적 콘 관입지수의 거듭제곱 형태를 나타내었다. 동적 콘 관입 시험은 소형화된 원위치 관입시험방법으로써 대상 노반의 교란을 최소화 하며 심도에 따른 강도특성을 획득할 수 있으나, 강성특성 획득에는 한계가 있으므로 본 연구의 상호관계 구성 결과는 동적 콘 관입지수를 이용한 강성특성 획득 방법으로써 활용될 수 있다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(15RTRP-B067919-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] H. Chebli, D. Clouteau, L. Schmitt (2008) Dynamic response of high-speed ballasted railway tracks: 3D periodic model and in situ measurements, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, pp.118-131.
- [2] Korean Geotechnical Society (2005) *Analysis and use of results of geotechnical investigation*, Goomibook, Seoul, 734p.
- [3] T. Lunne, P. K. Robertson, J. J. M. Powell (1997) *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, Blackie Academic & Professional, London, 352p.
- [4] A. J. Scala (1956) Simple methods of flexible pavement design using cone penetrometer, *New Zealand Engineering*, 11(2), 34.
- [5] H. B. Seed, I. M. Idriss (1970) *Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses*, Report No. EERC 70-10, University of California, Berkely, CA.
- [6] ASTM D4428 (2009) *Standard test method for crosshole seismic testing*, Annual Book of ASTM Standard, 04.08, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [7] ASTM D6951 (2009) *Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications*, Annual Book of ASTM Standard, 04.03, ASTM International, West Conshohocken, PA.