

# 관입시험을 이용한 상부노반의 최대전단강성계수( $G_{max}$ ) 평가 연구

## Study on the Evaluation of Maximum Shear Modulus ( $G_{max}$ ) using Penetration Test

홍원택\*, 최찬용\*\*, 이종섭\*†

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

**Abstract** For the provision of safe railway transportation services, shear stiffness, which mainly affects the dynamic behavior of the subgrade, should be characterized. The purpose of this study is the evaluation of the shear wave velocity and the maximum shear modulus of the railway subgrade using two dynamic cone penetrometers equipped with accelerometers. The travel time of the shear wave is evaluated using the accelerometers, and the distance between two dynamic cone penetrometers is considered as the travel distance. The maximum shear modulus is estimated using the calculated shear wave velocity and the density of the subgrade determined by the in-situ density test. The dynamic cone penetrometer equipped with accelerometer can be used for the evaluation of the maximum shear modulus of the railway subgrade.

**Keywords** : Dynamic cone penetrometer, Maximum shear modulus, Shear wave velocity, Subgrade

**초 록** 상부노반의 동적 거동특성에 주된 영향을 미치는 전단강성특성은 안정적인 열차교통을 제공하기 위하여 필수적으로 평가되어야 할 요소이다. 본 연구에서는 선단부에 가속도계가 설치된 두 개의 동적 콘 관입기를 이용하여 상부노반의 전단파속도 획득 및 심도에 따른 최대전단강성계수를 평가하고자 하였다. 첫 번째 동적 콘 관입기 및 두 번째 동적 콘 관입기에 설치된 가속도계로부터 전단파의 전파시간을 획득하였으며 콘 관입기 사이의 거리로부터 전파거리를 획득하였다. 또한, 현장 들밀도시험으로부터 획득된 밀도를 이용하여 심도에 따른 상부노반의 최대강성계수를 평가하였다. 본 연구에서 적용된 가속도계가 설치된 동적 콘 관입기는 상부노반의 전단강성특성 평가에 활용될 수 있다.

**주요어** : 동적 콘 관입기, 최대전단강성계수, 전단파속도, 상부노반

## 1. 서 론

안전관리기준을 벗어난 철도 노반의 탄성변형은 열차의 탈선 등 큰 사고를 유발하며, 열차의 운하중에 의한 노반의 동적 거동은 해당 노반의 강성특성에 주된 영향을 받으므로 안정적인 열차교통 제공을 위하여 노반의 강성특성 평가에 대한 연구가 요구된다 [1]. 미연방도로국 및 미공병단에서 다짐토 관리를 위하여 적용하는 동적 콘 관입기는 선단부 직경이 20mm 인 소형화된 원위치 관입시험방법으로서 대상지반을 크게 교란하지 않으므로 다짐시공 완료된 상부노반에 대한 적용성이 우수하다 [2,3]. 그러나, 동적 콘 관입기는 대상지반에

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

\* 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부

\*\* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

영구적인 변형을 가함으로써 강도특성만을 도출하므로 강성특성 평가에 한계가 있다.

본 연구에서는 선단부에 가속도계가 설치된 동적 콘 관입기를 이용하여 대상 상부노반의 강성특성과 관련된 전단파속도 및 최대전단강성계수를 평가하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 가속도계가 설치된 동적 콘 관입기

전단파 발생시간 및 초동시간을 기록하기 위하여 선단부에 일축가속도계가 설치된 두 개의 동적 콘 관입기가 제작되었다. 첫 번째 동적 콘 관입기는 전단파 발생을 위한 발신기 역할을 하며, 두 번째 동적 콘 관입기는 전단파를 수신하는 수신기 역할을 한다. 발신기의 동적 타격시 발신기 선단부에 설치된 가속도계로부터 전단파 발생시간을 기록하며, 수신기 선단부에 설치된 가속도계로부터 전단파 감지 및 초동시간을 기록한다. 두 개의 동적 콘 관입기로부터 기록된 전단파 초동시간 및 발생시간의 차를 이용하여 전단파 전파시간이 계산될 수 있으며 동적 콘 관입기 사이의 거리를 이용하여 식(1)과 같이 전단파속도를 도출할 수 있다.

$$V_s = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1)$$

여기서,  $V_s$ 는 전단파속도를 의미하며,  $\Delta S$  및  $\Delta t$ 는 각각 전단파의 전파거리와 전파시간을 나타낸다.

### 2.2 적용실험 및 결과

상부노반의 최대전단강성계수를 평가하기 위하여 다짐시공 완료된 상부노반에 가속도계가 설치된 동적 콘 관입기를 적용하였다. 동적 콘 관입기의 총 관입심도는 900mm 이며 심도 100mm 간격으로 전단파속도를 측정하였다. 동적 콘 관입기로부터 측정된 전단파 속도로부터 최대전단강성계수를 도출하기 위하여 해당 관입위치에서 들밀도시험을 수행하였으며, 건조밀도는  $2.12\text{g/cm}^3$ 으로 평가되었다. 해당 상부노반의 최대전단강성계수는 전단파속도 및 밀도를 이용하여 식(2)과 같이 계산될 수 있다.

$$G_{max} = \rho \times V_s^2 \quad (2)$$

여기서,  $G_{max}$ 는 최대전단강성계수를 의미하며,  $\rho$  및  $V_s$ 는 각각 상부노반의 밀도 및 전단파속도를 의미한다.

Fig. 1(a) 및 Fig. 1(b)는 각각 관입심도에 따라 평가된 전단파속도 및 최대전단강성계수를 보여준다. 관입심도에 따른 전단파속도는 약 140m/s부터 280m/s까지 증가하였으며, 최대전단강성계수는 약 40MPa부터 160MPa까지 증가하였다.

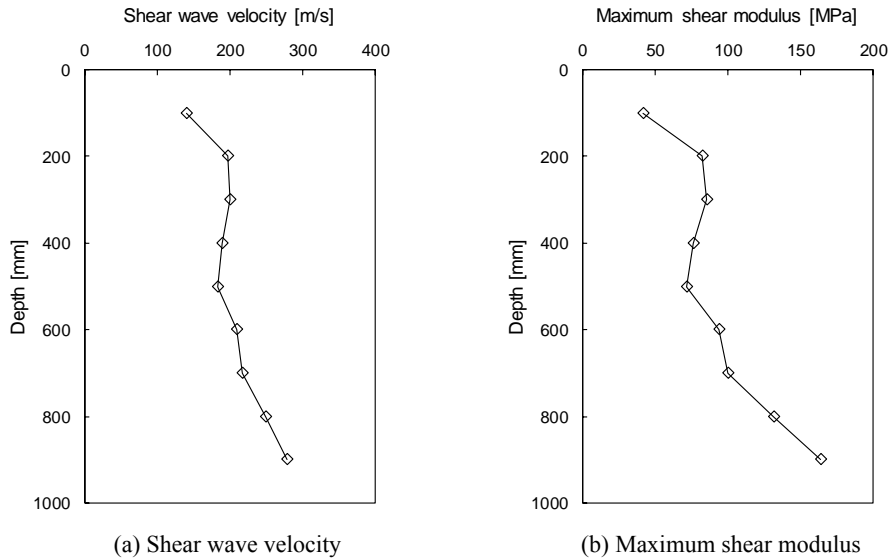


Fig. 1 Experimental results

### 3. 결론

본 연구에서는 상부노반의 강성특성 평가를 위하여 동적 콘 관입기에 가속도계가 설치된 동적 콘 관입기를 제작 및 다짐시공 완료된 상부노반에 대하여 적용하였다. 상부노반의 전단파속도를 측정하기 위하여 발신기 및 수신기 역할을 하는 두 개의 동적 콘 관입기를 동시에 관입하였으며, 선단부에 설치된 가속도계로부터 전단파의 전파시간을 획득하였다. 또한, 현장들밀도시험으로부터 획득된 건조밀도를 이용하여 심도에 따른 최대전단강성계수를 평가하였다. 본 연구에서 적용된 가속도계가 설치된 동적 콘 관입기는 대상지반의 강도특성 평가와 동시에 강성특성 평가를 위하여 효과적으로 이용될 수 있을 것이라 기대된다.

### 후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(17RTRP-B067919-05)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] A. J. Scala (1956) Simple methods of flexible pavement design using cone penetrometer, *New Zealand Engineering*, 11(2), 34.
- [3] 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.