

철도궤도 하부구조물 평가를 위한 타격식 관입 롯데가 체결된 콘 관입기의 개발 및 적용

Development and Application of Cone Penetrometer with Impact Penetration Rod for Evaluation of Track Substructure

홍 원 택¹⁾ · 변 용 훈¹⁾ · 김 상 엽¹⁾ · 최 찬 용²⁾ · 이 종 섭[†]

Wontaek Hong · Yonghoon Byun · Sangyeob Kim · Chanyong Choi · Jongsub Lee

Received: November 10th, 2014; Revised: November 26th, 2014; Accepted: January 14th, 2015

ABSTRACT : To minimize the cost of maintenance, repair and over-design of track substructure, an accurate evaluation of strength and stiffness of the track substructure is necessary. In this study, a cone penetrometer with impact penetration rod (CPI) is developed for the evaluation of track substructure. For applicability test, the chamber and field tests were performed. As the experimental results of the CPI, dynamic cone penetration index (DCPI), cone tip resistance (q_c), friction resistance (f_s) and friction ratio (Fr) were obtained. In the chamber test, the experimental results show reasonable values for the simulated track substructure. In the field test, the CPI clearly detects the interface between the ballast and the subgrade. Also, discontinuous layers are detected in the subgrade. It is expected that the developed CPI may be an effective tool for the evaluation of track substructure by evaluating the ballast layer by dynamic penetration and the subgrade by static penetration of the inner rod.

Keywords : Cone penetration test, Cone tip resistance, DCPI, Friction resistance, Track substructure

요 지 : 철도궤도 하부구조물의 유지, 보수 및 과다설계에 따른 비용을 최소화하기 위하여 궤도 하부구조물의 강도 및 강성특성에 대한 정확한 평가는 필수적이다. 본 연구에서는 궤도 하부구조물의 상태를 평가하기 위한 콘 관입기(CPI)를 개발하였으며, 적용성 검증을 위하여 실내실험과 현장실험을 수행하였다. CPI를 이용한 철도궤도 하부구조물 평가의 결과로서 획득되는 결과는 동적 콘 관입지수(DCPI), 원추관입저항력(q_c), 마찰저항력(f_s) 및 마찰력비(Fr)이다. 실험결과, 실내실험의 경우 도상자갈층에서 획득한 동적 콘 관입지수와 상부노반층에서 획득한 원추관입저항력, 마찰저항력 및 마찰력비는 조성한 시료에 대하여 신뢰할 만한 결과를 보였다. 현장실험의 경우 도상자갈층의 경계면을 명확히 구분해 내었으며, 상부노반층의 불연속면을 감지하였다. 본 연구에서 개발된 CPI는 동적 관입과 정적 관입 방법을 이용함으로써 궤도 하부구조물 평가에 유용한 방법이 될 것이라 기대된다.

주요어 : 콘 관입시험, 원추관입저항력, 동적 콘 관입지수, 마찰저항력, 철도궤도 하부구조물

1. 서 론

최근 국내에서는 철도 경쟁력 확보를 위하여 기존 자갈 도상 궤도 구간에 대해 200km/h 이상의 고속화를 추진 중에 있다(Kim et al., 2013). 철도의 고속화는 기존 150km/h로 설계된 자갈도상 철도궤도 하부구조물의 지지력보다 큰 하중을 가하여 노반의 침하 또는 상태변화를 야기할 수 있으며, 이는 강도와 강성의 변화, 궤도의 뒤틀림, 노반의 전단파괴를 발생시킬 수 있다. 또한 자갈이 노후되어 열차하중에 대한 충격흡수력, 마찰력 등의 기능이 상실될 경우 레일과 침목이 훼손되는 등(Park et al., 2005) 궤도의 파괴를 야기한다. 그러므로 궤도 하부구조물의 유지, 보수 및 과다

설계에 따른 비용을 최소화하기 위하여 도상 및 노반의 정확한 상태평가는 필수적이다. 현재 도상과 노반에 관련된 많은 문제점이 발생하고 있으나, 이를 평가할 수 있는 신뢰할 만한 체계는 구축되어있지 않은 실정이다(Kim et al., 2004).

이러한 문제를 해결하고자 최근 다양한 지반조사 방법을 적용한 연구가 진행되어 왔다. Park et al.(2009c)과 Kim et al.(2004)은 GPR(Ground penetrating radar)을 적용하여 철도지반을 검사하고자 하였으며, 이후 Kim et al.(2005)과 Kim et al.(2008)은 PBS(Portable ballast sampler), LFWD (Light falling weight deflectometer), PBT(Plate bearing test)를 추가 적용하여 궤도하부의 상태를 평가하고자 하였다. GPR은 적은 비용으로 넓은 지역에 대한 탐사가 가능한 반

1) School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

2) Korea Railroad Research Institute

† School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University (Corresponding Author : jongsu@korea.ac.kr)

면, 층 두께, 함수비, 세립분 함량만을 측정하므로 직접적인 궤도 하부구조물의 강도 및 강성 평가에 어려움이 있다. LFWD와 PBT는 직접적으로 강성과 처짐량을 평가할 수 있는 방법이나, 평가범위가 제한적이기 때문에 노반을 평가하고자 할 경우 침목과 도상자갈층을 제거해야 하므로 적용성에 한계가 있다. 또한 탄성파를 발생시켜 노반을 평가하는 표면파(Surface-wave) 기법과 품질관리에 대한 연구도 진행되고 있으나, 아직 실용화 단계에는 이르지 못하였다(Park et al., 2009a; Park et al., 2009b). 이와 같은 이유로 비파괴 시험방법들에 참고 값을 제시할 수 있으며, 심도에 따라 직접적으로 철도궤도 하부구조물을 평가할 수 있는 원위치 관입 시험에 대한 연구가 필요하다.

원위치 관입시험에는 SPT(Standard penetration test), CPT(Cone penetration test), DMT(Flat plate dilatometer test), PMT(Pressuremeter test) 그리고 VST(Vane shear test) 등이 있다. 이들 원위치 관입시험법 중 별도의 시추공을 필요치 않으며, 연속적으로 신뢰할 만한 데이터를 획득할 수 있는 CPT의 비중이 증가하는 추세이다(한국지반공학회, 2005; Lunne et al., 1997). 그러나 CPT에 사용되는 원추의 직경은 35.7mm로 주변 지반을 크게 교란하기 때문에 기운영 중인 철도 하부구조물에 적용하기에는 한계가 있다. 특히 CPT에 사용되는 관입장비를 철도현장에 적용하기에는 공간적 제약이 있으며, 국내에서 적합한 장비확보에 어려움이 있다. 교란을 최소화하기 위하여 표준 콘(직경 35.7mm)보다 작은

다양한 직경을 갖는 콘의 개발 및 검증에 대한 연구가 수행된 바 있다(Lee et al., 2008). 특히 Byun et al.(2013)은 스크류롯드에 체결된 소형 콘 관입기를 개발하여 철도지반에 적용하고자 하였다. 그러나 도상자갈층의 상태에 따라 스크류롯드의 회전관입에 어려움이 있으며, 도상자갈층에 대한 상태평가를 수행할 수 없다는 한계가 있다.

본 연구에서는 철도궤도 하부구조물의 교란을 최소화하며 동적 관입에 의하여 도상자갈층의 관입 및 특성 평가가 가능하고, 후속적으로 수행되는 정적 관입에 의하여 노반층을 평가할 수 있는 타격관입 룯드가 체결된 콘 관입기(CPI, Cone penetrometer with impact penetration rod)를 개발하였다. 본 논문은 개발된 CPI의 형상과 측정체계에 대해 소개하였으며, 실내실험과 현장실험을 통하여 적용성을 검증하고자 하였다.

2. 타격관입 룯드가 체결된 콘 관입기(CPI)

2.1 콘 관입기의 구성

본 연구의 대상지반인 자갈도상 철도궤도 하부구조물은 약 500mm의 도상자갈층과 노반층으로 구성된다. 콘 관입기는 도상자갈층 관통 및 평가를 위한 동적 관입용 외부룯드와 동적 관입 완료 후 연속적으로 수행되는 정적 관입을 위한 내부룯드, 타격을 위한 8kg 해머, 해머 가이드룯드로 이루어진다. 외부룯드의 직경은 Fig. 1과 같이 24mm, 길이는 900mm

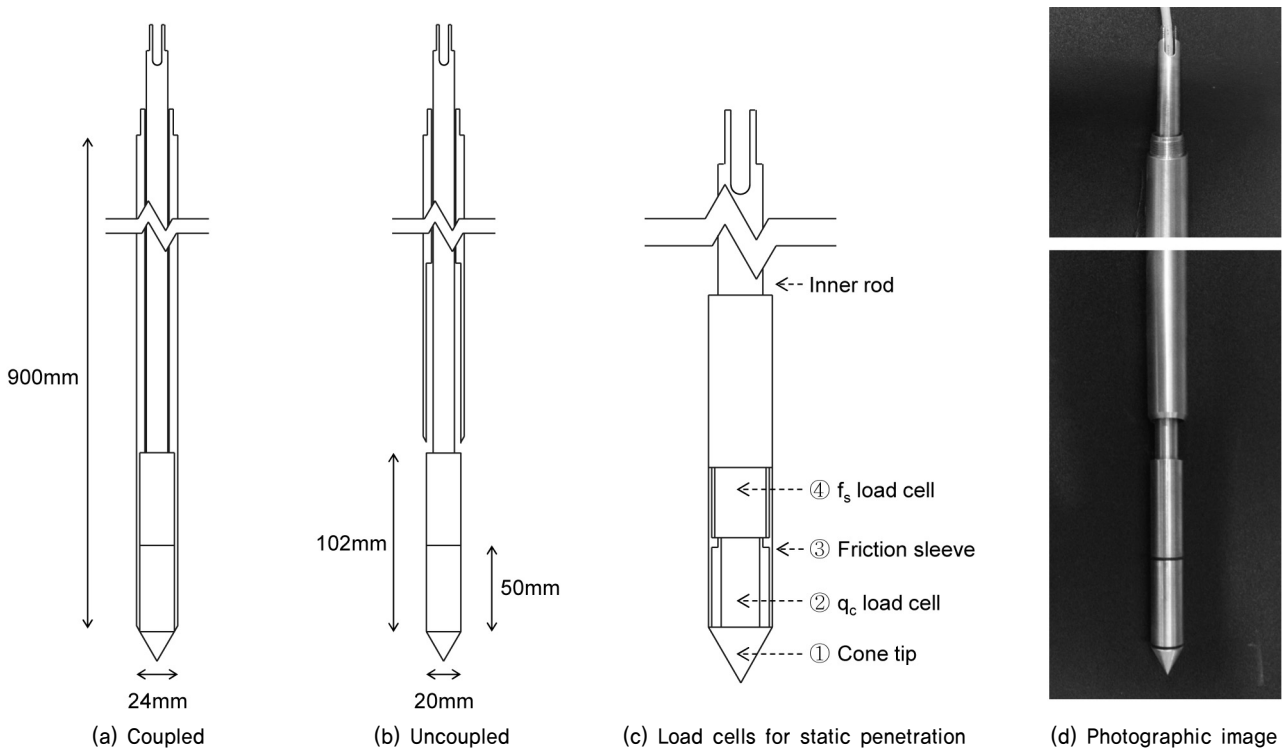


Fig. 1. Cone penetrometer with impact penetration rod

이며, 두부에는 해머 가이드로드 체결이 가능하도록 나사산이 구성되었다. 정적 관입용 내부로드는 관입용 로드(직경 14mm)와 선단부 로드셀로 구성된다. 로드셀의 선단부는 마찰저항력 측정을 위한 길이 50mm, 외경 20mm의 마찰관과 원추관입저항력 측정을 위한 직경 20mm, 선단각 60°의 원추가 체결되었다. 여기서 원추의 직경이 20mm이므로 표준콘(직경 35.7mm)의 단면적에 비해 약 30%의 단면적에 해당된다.

2.2 정적하중 측정용 로드셀

내부로드 선단부에 위치한 로드셀은 Fig. 1(c)와 같이 원추관입저항력 측정을 위한 ①원추와 ②qc로드셀, 마찰저항력 측정을 위한 ③마찰관과 ④fs로드셀로 구성된다. 원추관입저항력과 마찰저항력의 분리측정을 위하여 각각의 로드셀은 0.5mm 간격으로 분리되었다. 각 로드셀의 표면에는 편심에 의한 보정을 위하여 변형률계를 마주 보도록 설치하였고, 변형률계는 온도에 의한 영향을 보상해주기 위하여 수평 및 수직방향의 2축으로 구성된 변형률계를 사용하였다. 사용된 변형률계는 전기저항식 변형률계로서 정적 관입시 원추와 마찰관에 작용하는 하중으로 인하여 발생한 각 로드셀의 미세변형을 변형률계의 저항 변화로써 측정한다. 각 로드셀에 설치된 변형률계의 회로는 휘트스톤브릿지 중 폴브릿지로 구성되며, 폴브릿지에서 입력전압대비 출력전압은 Eq. (1)로 나타내어진다.

$$\frac{V_{output}}{V_{input}} = \frac{K}{4}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (1)$$

여기서, V_{input} 과 V_{output} 는 각각 폴브릿지 회로에 대한 입력전압 및 출력전압이며 K는 변형률계 상수이다. 또한 ε_1 과 ε_3 은 로드셀의 수직방향 변형률을 ε_2 와 ε_4 는 로드셀의 수평방향 변형률을 의미한다. ε_1 과 ε_3 은 하중과 온도에 의한 변형을 측정하며 ε_2 와 ε_4 는 온도에 의한 변형을 측정하므로, 정적 관입시 온도에 의한 영향을 배제하고 지반의 반력만을 측정할 수 있다.

2.3 하중보정

로드셀에 작용되는 하중은 변형률계 회로의 출력전압 변화를 야기하며, 변형률계로부터 측정하는 값은 로드셀에 작용하는 실제 하중이 아닌 출력전압이므로 출력전압-하중 상관관계 도출을 위한 하중보정실험을 수행하였다. 각 로드셀에 정적하중을 0.17, 0.34, 0.54, 0.76, 1.11, 1.55kN의 크기로 재하 한 후, 이때 출력되는 전압을 측정함으로써 출력전압-

하중 상관계수를 결정하였다.

CPI의 측정 체계는 Fig. 2와 같다. 로드셀에 작용되는 하중에 따라 변화하는 출력전압은 브릿지박스를 통하여 데이터로거로 수집되며, 이를 컴퓨터로 출력하였다.

qc로드셀, fs로드셀의 하중보정실험 결과는 Fig. 3에 나타냈으며, 결정계수 (R^2)가 0.99 이상인 매우 우수한 선형관계를 보였다. 또한 각 로드셀에 작용하는 하중과 출력전압은 입력전압 1.25V에 대하여 Eq. (2), (3)으로 표현된다.

$$F_{qc}[kN] = 70.265 \times V_{out}[mV] \quad (2)$$

$$F_{fs}[kN] = 84.161 \times V_{out}[mV] \quad (3)$$

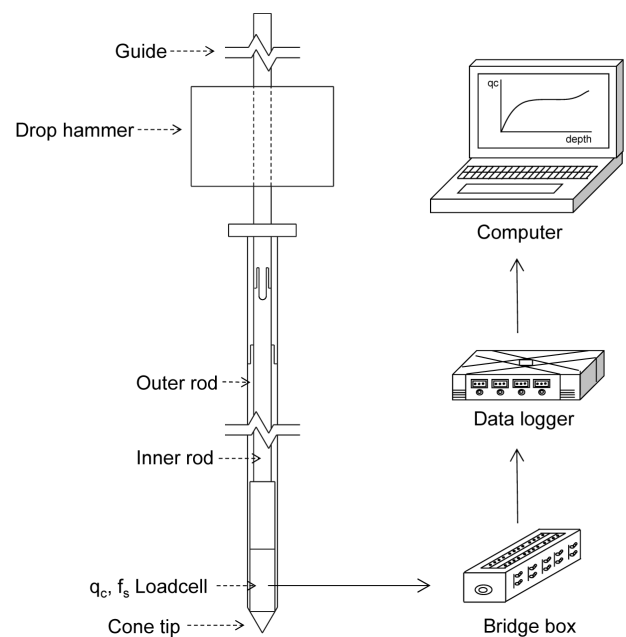


Fig. 2. Measurement system

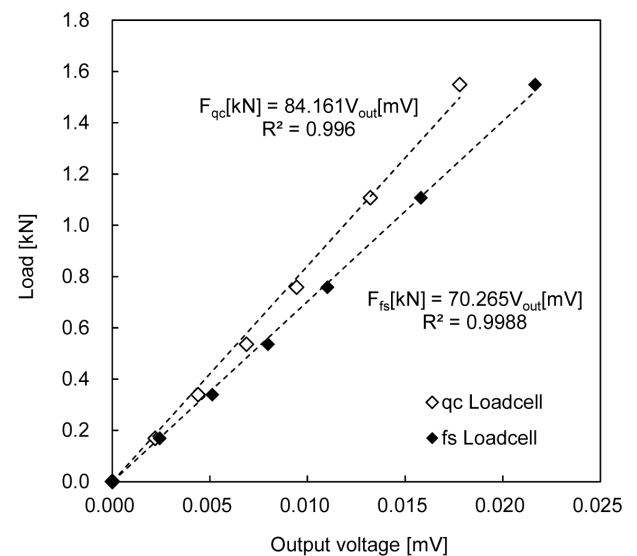


Fig. 3. Calibration results

2.4 콘 관입속도

콘 관입시험과 같이 정적 관입을 통하여 저항값을 측정하는 실험장비의 경우 관입속도의 결정은 중요한 과정이다. 직경이 매우 작은 소형 콘을 사용하여도 지반은 교란되며, 이는 간극수압, 동수경사, 압밀계수 등과 밀접한 관계를 가진다. 이와 같은 교란 효과는 지반의 부피변화를 야기하며 원지반의 강도와 강성을 저하시킨다(Bemben & Myers, 1974; De Lima & Tumay, 1991). 관입속도는 노반에서의 충분한 데이터 획득을 위해 1mm/sec로 결정하였으며, 안정적인 관입속도 유지를 위하여 관입장치로서 출력에너지 1kW의 모터가 사용되었다. 원추관입저항력 및 마찰저항력은 5points/sec로 측정되며, 각 로드셀에서 관입깊이 1mm당 5points의 데이터 획득이 가능하므로 높은 해상도의 실험결과를 획득할 수 있다. 이러한 관입속도는 Lee et al.(2008)과 Yoon et al.(2011)이 수행한 소형 콘 관입시험에서 사용된 것으로 측정 결과의 높은 신뢰성이 검증된 바 있다.

3. 토조 검증실험

3.1 시료조성

본 연구에서 개발된 CPI의 실내실험을 통한 적용성 검증

을 위하여 가로 750mm, 세로 750mm, 높이 1,000mm의 토조를 제작하였다. 토조 하부로부터 500mm는 상부노반층 모사를 위하여 화강풍화토를 무게 4.5kg의 해머를 낙하고 45cm에서 타격하였다. 시료는 한 단면당 25개소에서 2회씩 총 50회를 타격하여 각 층의 높이가 100mm가 되도록 하였으며, 이 과정을 5회 반복하여 전체 높이가 500mm의 다짐 풍화토를 조성하였다. 조성된 화강풍화토의 상대밀도는 63%이며, 물성값은 Table 1과 같다. 화강풍화토 상부로부터 500mm는 도상자갈층을 모사하기 위하여 실제 자갈도상 궤도에서 사용되는 자갈을 화강풍화토와 동일한 방법으로 다짐하여 조성하였다.

3.2 토조 실험과정

본 연구에서 개발된 CPI는 자갈도상 궤도에서 동적으로 관입하면서 도상자갈층의 상태를 평가하며, 상부노반층에서는 정적으로 관입하면서 강도와 강성특성을 평가한다. 이에 따른 실험과정은 다음과 같다.

- (1) 동적 관입 시 콘 관입기의 수직도 유지를 위하여 Fig. 4(a)와 같이 가이드를 설치한다.
- (2) Fig. 4(b)와 같이 콘 관입기 상부에 해머 가이드 및 8kg 도넛형 드롭해머를 설치한 후 낙하고를 575mm로 일정하게 유지하며 동적 관입을 수행한다. 동시에 동적 콘 관입지수(DCPI, Dynamic cone penetration index)

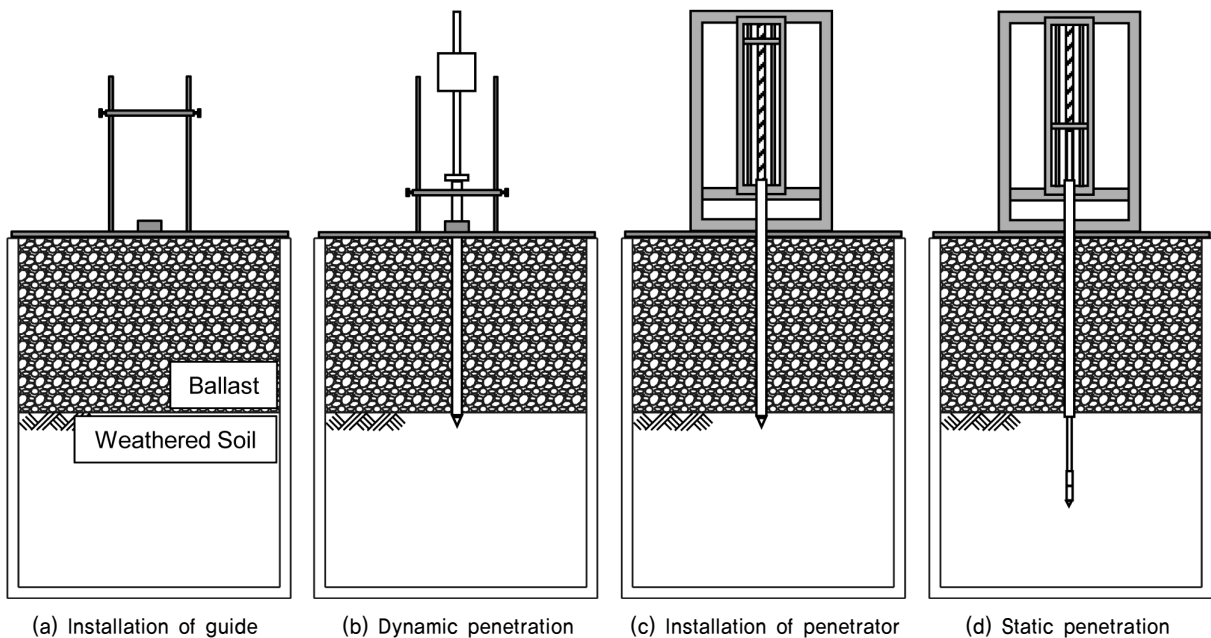


Fig. 4. Experimental procedure

Table 1. Properties of the weathered soil

Coefficient of uniformity (C_u)	Coefficient of curvature (C_g)	Water content (ω)	Specific gravity (G_s)	Maximum void ratio (e_{max})	Minimum void ratio (e_{min})
10.94	1.16	0%	2.65	0.78	0.42

를 측정한다.

- (3) Fig. 4(c)와 같이 도상자갈층을 관통한 이후 정적 관입을 위하여 가이드 제거 및 관입장치를 설치하고 내부로부터 연장한다.
- (4) Fig. 4(d)와 같이 관입속도(Penetration rate)를 1mm/sec로 조정하여 정적 관입을 수행한다. 동시에 Fig. 2의 측정체계를 이용하여 원추관입저항력 및 마찰저항력을 측정한다.

3.3 토조 실험결과

실내 적용성 검증 실험에서는 실험공간의 활용도와 콘 관

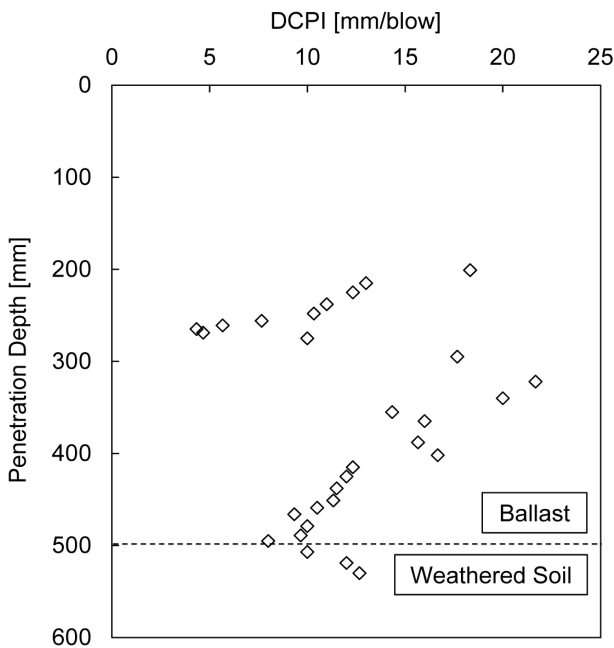


Fig. 5. Experimental result of dynamic penetration (Laboratory test)

입기의 수직도 유지를 위하여 약 200mm의 선관입을 수행하였다. 이후 해머 타격에 의하여 심도 550mm까지 동적 관입을 수행하였으며, 이후 연속적으로 심도 850mm까지 정적 관입을 수행하였다.

동적 관입과 동시에 측정한 동적 콘 관입지수(DCPI)를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5와 같이 동적 콘 관입지수(DCPI)는 관입 깊이 330mm까지는 큰 변동을 보였으나, 그 이후 관입심도에 따라 점차 감소하는 경향을 보이며, 약 10mm/blow로 수렴하였다. 또한 자갈층을 통과하고 화강풍화토층 관입을 시작하는 순간 동적 콘 관입지수(DCPI)가 크게 증가하는 경향을 보였다.

풍화토 지반에서 정적 관입 시 측정한 원추관입저항력과 마찰저항력을 Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)에 각각 나타내었으며, 원추관입저항력 대비 마찰저항력의 비율(Friction ratio)을 Fig. 6(c)에 나타내었다. 원추관입저항력은 상부노반층 상부에서 약 6MPa로 나타났으며, 관입심도에 따라 약 8MPa까지 서서히 증가하는 경향을 보였다. 마찰저항력 또한 원추관입저항력과 유사한 경향을 보였으며 그 값은 100kPa에서 130kPa까지 점진적으로 증가하였다. 원추관입저항력 대비 마찰저항력의 비(Friction ratio)는 약 1.5%로 측정되어 silty sand to sandy silt의 거동특성을 나타내었다(Lunne et al., 1997).

4. 현장 적용실험

4.1 실험과정

현장 적용성 검증 실험을 위하여 본 연구에서는 폐철도 구간을 대상으로 관입실험을 수행하였다. 실험과정은 기본적으로 실내실험 과정과 동일하지만 수직도 유지를 위한 가

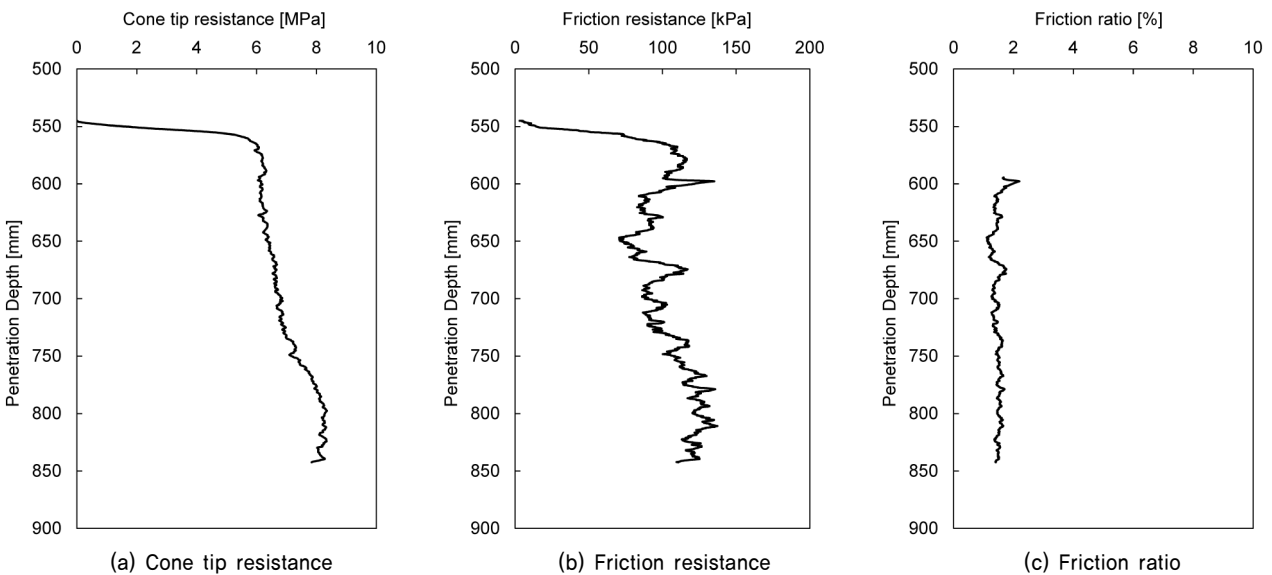


Fig. 6. Experimental result of static penetration (Laboratory test)

이드 및 정적 관입 시 충분한 반력 확보를 위하여 사용되는 토조 및 프레임이 부재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 7(a)와 같이 가이드를 이웃한 침목 사이에 거치하였으며, Fig. 7(b)와 같이 침목에 앵커볼트를 설치한 후 L형강을 이용하여 관입장치를 고정하였다. 폐철도구간이 아닌 사용 중인 구간에 대해서는 L형강을 레일에 고정함으로써 침목에 손상을 가하지 않고 실험을 수행할 수 있다.

4.2 동적 관입특성

현장 적용성 검증 실험의 과정 중 도상자갈층에 대한 동적

관입이 포함되나, 대상 지반 단면에 대한 자료가 부재하기 때문에 CPI 실험에 앞서 표준 동적 콘 관입시험(DCP, Dynamic cone penetrometer test)을 수행하였다. 이를 통하여 도상자갈층의 분포깊이에 대한 정보를 획득하고, CPI의 동적 관입 결과와 비교하고자 하였다. 동적 콘 관입시험은 직경 20mm의 원추가 체결된 룯드의 상부에 8kg의 도넛해머를 낙하고 575mm로 유지하여 타격하며, 타격당 관입깊이를 측정함으로써 지반의 강도를 평가하는 시험이다(Mohammadi et al., 2008). 본 대상현장의 표준 동적 콘 관입시험 결과는 Fig. 8(a)와 같다. 동적 콘 관입지수(DCPI)는 관입심도 약 500mm까지



(a) Installation of guide



(b) Installation of penetrator

Fig. 7. Photographic image of field test

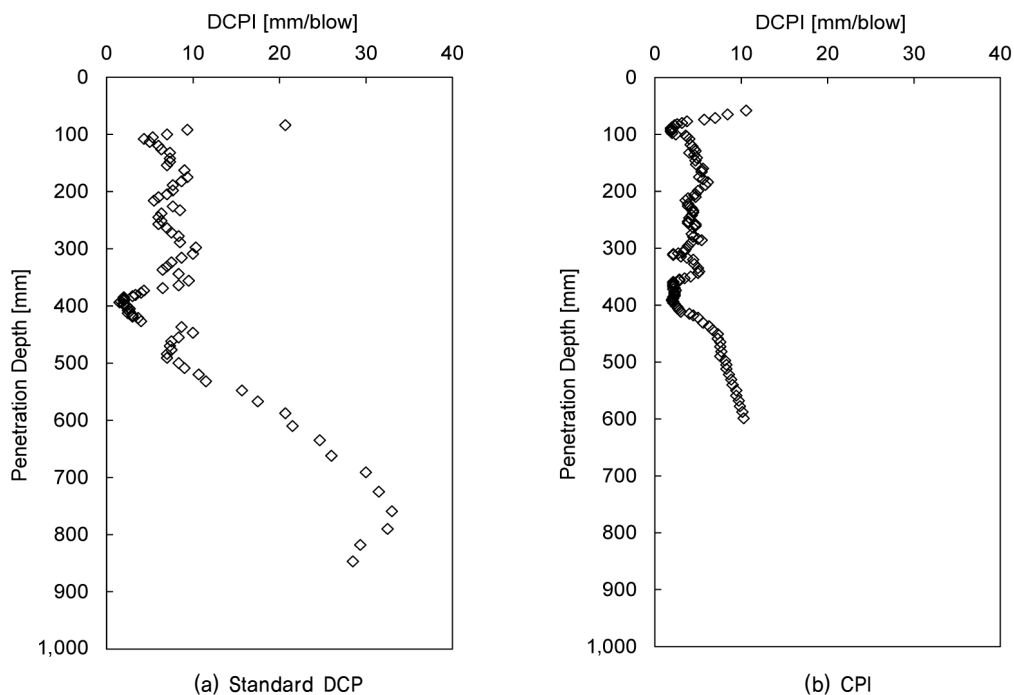


Fig. 8. Experimental result of dynamic penetration (Field test)

10mm/blow 이하를 유지하며 도상자갈층에 대한 특성을 반영하고 있다. 관입심도 약 600mm까지는 전이영역(Transition zone)이 존재하며 동적 콘 관입지수(DCPI)가 급격히 증가한다. 이후의 심도에서는 동적 콘 관입지수(DCPI)가 20mm/blow 이상이며 상부노반층이 분포하고 있는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 8(b)는 동일 현장에서 CPI의 동적 관입특성을 보여준다. 동적 콘 관입지수(DCPI)는 관입심도 약 400~500mm까지 5mm/blow를 유지하였으며, 이후 심도에서 나타나는 전이영역으로부터 상부노반층이 나타나는 관입심도 약 600mm까지 10mm/blow의 값으로 크게 증가하였다. CPI의 동적 콘 관입지수(DCPI)는 표준 DCP 시험 결과값에 비하여 약 50%의 감소율을 보였지만, 이는 DCP와 CPI의 형상과 크기에 기인한다. 즉 DCP는 룯드의 직경(18mm)이 원추의 직경(20mm)보다 작지만, CPI는 원추와 룯드의 직경이 모두 24mm로 동일하며, DCP에 비하여 단면이 더 크기 때문이다. 그러나 DCP와 CPI는 모두 도상자갈층의 두께를 잘 파악하는 것으로 나타났다.

4.3 상부노반층 정적 관입특성

동적 관입 완료 후 연속적으로 수행되는 정적 관입은 침목 상부로부터 약 1,400mm까지 수행되었으며, 실험결과를 Fig. 9에 나타내었다. 실험결과는 높은 해상도로 노반의 강도특성을 보여주며 이로부터 강성특성도 판단될 수 있다. 실험결과, 원추관입저항력은 약 4~6.5MPa로 측정되었으며, 마찰저항력은 약 100~170kPa로 측정되었다. 여기서 원추관입저항력 대비 마찰저항력의 비율(Friction ratio)은 약 2%로 계산되었으며, 이는 상부노반층이 silty sand to sandy silt의

거동특성을 보이는 것으로 판단할 수 있다(Lunne et al., 1997). 특히 두 단면 모두 관입심도 약 900mm에서 원추관입저항력이 크게 측정되었으며, 이후 심도 약 1,000mm에서 그 값이 작게 측정되어 상부노반층 내에 불규칙 단면이 존재하는 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 철도궤도 하부구조물에 대하여 시험굴착 과정 없이 도상자갈층 및 상부노반 강도와 강성특성을 평가할 수 있는 콘 관입기(CPI)를 개발하였으며, 실내 및 현장실험을 통하여 적용성을 검증하고자 하였다. CPI는 동적 관입을 위한 직경 24mm의 외부룯드와 정적 관입을 위한 직경 14mm의 내부룯드가 일체화된 형태이며, 내부룯드 선단부에는 원추관입저항력 및 마찰저항력 측정을 위한 직경 20mm의 원추 및 센서부가 설치되어있다. 이는 도상자갈층으로 보강되어 정적 관입에 한계가 있는 궤도 하부구조물에 대해 적절히 활용될 수 있도록 고안된 구조이다. 또한 동적 관입에 의하여 도상자갈층을 관통 및 평가한 이후에 연속적으로 정적 관입에 의한 상부노반층을 평가함으로써 실험수행의 효율성을 높이고자 하였으며, 표준 콘 관입 시 사용되는 원추 단면적의 약 30%의 단면을 갖는 원추를 사용함으로써 사용 중인 궤도 하부에 대한 교란 최소화 및 실험장비의 경량화를 도모하였다.

적용성 검증을 위한 실내실험에서는 동적 관입에 의한 도상자갈층 관입성 및 정적 관입에 의한 다짐 풍화토 지반의 관입성을 평가하였다. 또한 실내실험이므로 이미 파악하

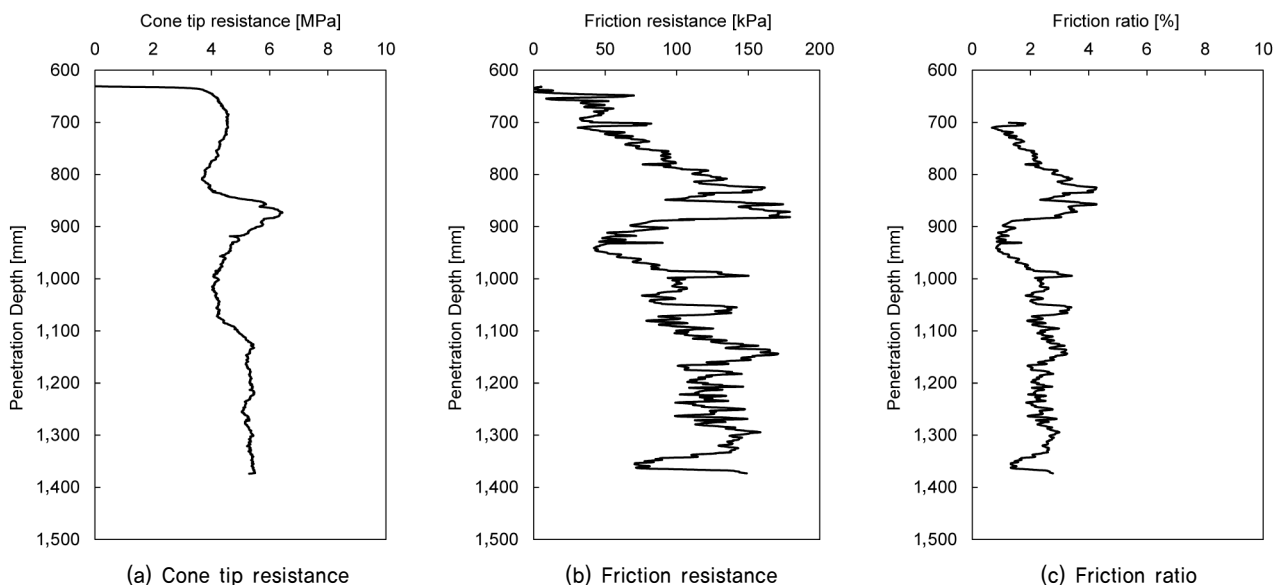


Fig. 9. Experimental result of static penetration (Field test)

고 있는 지반상태에 대하여 정적 관입을 수행함으로써 실험으로부터 획득한 원추관입저항력, 마찰저항력 및 마찰응력비의 타당성을 검증하고자 하였다. 실험결과, 원추관입저항력은 깊이에 따라 약 6MPa에서 8MPa로 서서히 증가하며 동일한 에너지로 다져서 조성한 시료에 대한 경향을 잘 나타내었다. 마찰저항력은 원추관입저항력과 유사한 경향을 보이며 약 100kPa로 측정되었다. 또한 원추관입저항력 대비 마찰저항력의 비율은 약 1.5%로 일정한 값으로 측정되어 silty sand to sandy silt의 거동특성을 나타내었다.

현장실험을 통한 적용성 검증에서는 표준 동적 콘 관입시험(DCP)에서 획득한 동적 콘 관입지수와 CPI의 동적 관입으로부터 획득한 동적 콘 관입지수의 비교 및 층분리 경계면 감지능을 비교하고자 하였으며, 실내 검증실험과 동일한 실험방법을 통하여 해당 현장의 강도특성을 평가하고자 하였다. 실험결과, 본 연구에서 개발된 콘 관입기의 동적 콘 관입지수는 장비의 크기 차이로 인하여 표준 동적 콘 관입시험에 비하여 약 50% 정도의 작은 값을 나타내었으나, 도상자갈층과 상부노반층의 경계면을 명확히 감지해 낼 수 있었다. 또한 상부노반층 정적 관입 시 관입심도 900mm에서 원추관입저항력이 크게 측정되었으며, 이후 심도 약 1,000mm에서 그 값이 작게 측정되어 상부노반층 내에 불규칙 단면이 존재하는 것으로 판단된다. 마찰응력비(Friction ratio)는 약 2%로 측정되어 silty sand to sandy silt의 거동특성을 반영하였다.

본 연구에서 개발된 콘 관입기(CPI)는 자갈도상 철도궤도 하부구조물 평가에 적합한 원위치 관입시험 장비이다. 동적 관입에 의한 도상자갈층 평가와 연속적으로 수행되는 정적 관입에 의한 상부노반층 평가로써 강도와 강성을 평가하고 노반의 이상유무를 평가할 수 있으며, 동시에 측정된 마찰저항력을 통하여 노반 재료분류 또한 가능하여 철도궤도 하부구조물 평가에 유용한 방법이 될 것이라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(14RTRP-B067919-02)에 의해 수행되었습니다.

References

1. 한국지반공학회 (2005), 지반조사결과의 해석 및 이용, 구미서관, 서울, 734 p.
2. Bembem, S. M. and Myers, H. J. (1974), The influence of rate of penetration on static cone resistance in connecticut river valley varved clay, Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, pp. 33~34.
3. Byun, Y. H., Kim, J. H. and Lee, J. S. (2013), Cone penetrometer with a helical-type outer screw rod for evaluation of the subgrade condition, Journal of Transportation Engineering, 139, pp. 115~122.
4. De Lima, D. C. and Tumay, M. T. (1991), Scale effects in cone penetration tests, Proceedings of the Geotechnical Engineering Congress, Boulder, Colorado, 1, pp. 38~51.
5. Kim, D. S., Hwang, S. K., Shin, M. H. and Park, T. S. (2005), Evaluation on the condition of track substructure using GPR/PBS/LFWD, Journal of the Korean Geotechnical Society, 21(5), pp. 163~170 (in Korean).
6. Kim, D. S., Lee, S. H., Kang, S. G. and Son, K. H. (2004), Research for assessing railway trackbed condition, 2004 Spring Conference of Korean Society for Railway, Korea, pp. 54~60 (in Korean).
7. Kim, D. S., Park, S. Y. and Kim, S. I. (2008), Evaluation of correlation between subgrade reaction modulus and strain modulus using plate loading test, Journal of the Korean Geotechnical Society, 24(6), pp. 57~67 (in Korean).
8. Kim, M. C., Park, Y. G., Lim, H. J., Park, S. H. and Ryu, J. Y. (2013), A study on the condition assessment of ballasted tracks of various substructure types of in-service railway line, 2013 Autumn Conference of Korean Society for Railway, Korea, pp. 178~186 (in Korean).
9. Lee, J. S., Shin, D. H., Yoon, H. K. and Lee, W. (2008), Development and application of ultra small micro-cone penetrometer, Journal of the Korean Geotechnical Society, 24(2), pp. 77~86 (in Korean).
10. Lunne, T., Robertson, P. K. and Powell, J. J. M. (1997), Cone penetration testing in geotechnical practice, Blackie Academic & Professional, London, 352p.
11. Mohammadi, S. D., Nikoudel, M. R., Rahimi, H. and Khamsehchian, M. (2008), Application of the dynamic cone penetrometer (DCP) for de-termination of the engineering parameters of sandy soils, Eng. Geol., 101(3-4), pp. 195~203.
12. Park, C. S., Mok, Y. J., Hwang, S. K. and Park, I. B. (2009a), A methodology for quality control of railroad trackbed fills using compressional wave velocities: 1. preliminary investigation, Journal of the Korean Geotechnical Society, 25(9), pp. 45~55 (in Korean).
13. Park, C. S., Mok, Y. J., Hwang, S. K. and Park, I. B. (2009b), A methodology for quality control of railroad trackbed fills using compressional wave velocities: 2. verification of applicability, Journal of the Korean Geotechnical Society, 25(9), pp. 57~66 (in Korean).
14. Park, J. O., Min, H. K. and Jeon, I. S. (2009c), 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 (in Korean).
15. Park, Y. G., Choi, J. Y. and Kang, D. M. (2005), A study on the dynamic behaviors of track due to deterioration characteristics of ballast, 2005 Spring Conference of Korean Society for Railway, Korea, pp. 94~99 (in Korean).
16. Yoon, H. K., Jung, S. H., Cho, S. H. and Lee, J. S. (2011), Study of temperature compensation method in mini-cones, Journal of Korean Society of Civil Engineering, 31(1), pp. 29~38 (in Korean).