The Journal of Engineering Geology
pISSN : 1226-5268 eISSN : 2287-7169

Vol. 31, No. 4, December, 2021, pp. 541-547
https://doi.org/10.9720/kseg.2021.4.541

RESEARCH ARTICLE

비탈면 취약도 평가를 위한 동적콘관입시험기 모듈개발과 표준관입시험값과의 상관관계 연구

채휘영[1] · 권순달[2*]

[1](주)지오메카이엔지 대표이사, [2](주)지오메카이엔지 이사

Development of Dynamic Cone Penetration Tester Module for Slope Vulnerability Assessment and Correlation of Its Results with Standard Penetration Test Values

Hwi-Young Chae[1] · Soon-dal Kwon[2*]

[1]President, Geomecca Engineering Inc.
[2]Director, Geomecca Engineering Inc.

Abstract

To assess the stability of a slope and the likelihood of its loss or collapse requires information about the ground, such as the composition of the stratum and its mechanical characteristics. This information is generally gathered through standard penetration testing (SPT) and cone penetration testing. SPT is not widely used due to problems with accessing slopes, most of which are steep and without ramps. A drop cone penetrometer, a portable device that can make up for these shortcomings, can be used in a limited way in some circumstances. Therefore, we developed a portable drilling machine and a small dynamic cone penetration test module that can easily access a slope site and perform SPT. The correlation of the developed system's results with those from SPT was analyzed. Analysis of the correlation between the energy shear rate passing to the load during the different test types established that the energy shear rate is reflected in the test result. The correlation between corrected dynamic cone penetration testing and corrected SPT was $N_d' = 3.13\ N'$.

Keywords: vulnerable slopes, portable drilling machine, dynamic cone penetration, standard penetration test, correlation analysis

초 록

비탈면의 유실, 붕락사고 등 비탈면에 대한 안정성을 파악하기 위해서 지층의 구성상태, 역학적 특성 등의 지반정보 파악이 필요하다. 이러한 지반정보를 파악하기 위해서 일반적으로 표준관입시험(SPT) 및 콘 관입시험 등이 널리 이용되고 있다. 대부분이 급경사로 이루어지고 진입로가 없는 비탈면에 대한 접근성 문제로 표준관입시험이 널리 활용되지 못하고 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 있는 휴대용 장비인 Drop Cone Penetrometer(DCP)를 이용한 조사도 여러 가지 문제로 제한적으로 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 비탈면 현장접근이 용이한 휴대용 시추기와 동적콘관입시험 모듈을 개발하고, 개발된 동적콘관입시험기를 이용한 결과와 동일 현장에서 수행한 표준관입시험값과 상관성을 분석하였다. 에너지전단율로 보정된 동적콘관입시험과 표준관입시험간의 상관식은 $N_d' = 3.13\ N'$ 으로 나타났다.

주요어: 비탈면 취약도, 휴대용 시추기, 동적콘관입시험기, 표준관입시험, 상관관계

OPEN ACCESS

***Corresponding author:** Soon-dal Kwon
E-mail: kwonsd147@naver.com

Received: 18 October, 2021
Revised: 18 November, 2021
Accepted: 22 November, 2021

Ⓒ 2021 The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

산악지형이 많은 우리나라는 도로 및 철도 인근에 많은 비탈면(사면)이 형성되어 있으며, 이러한 비탈면들이 최근 집중호우에 의해 비탈면의 유실, 붕락사고 등이 증가하는 추세로 비탈면에 대한 안정성을 정확하게 파악하기 위한 방법이 필요한 상태이다.

비탈면의 취약도 평가를 위해서는 지층의 구성상태, 역학적 특성 등의 지반정보 파악이 필요하며. 이러한 지반정보를 파악하기 위한 시험장비들 중에서는 일반적으로 표준관입시험(SPT) 및 콘 관입시험 등이 널리 이용되고 있다. 지반조사에서 사용되는 표준관입시험은 표준 규격화되고 오랫동안 사용되고 있지만 시험장비의 크기와 무게 때문에 대부분이 급경사로 이루어지고 진입로가 거의 없는 비탈면에 대한 접근성이 어려워 현장에서는 널리 활용되지 못하고 있다.

이러한 단점을 보완할 수 있는 있는 휴대용 장비인 DCP(Drop Cone Penetrometer)의 경우 타격에너지가 부족하고 관입되는 Cone-rod의 강성이 부족하여 필요 깊이까지 관입이 어려운 문제점이 있으며, 또한 콘 관입결과에 대한 원위치시험결과의 상관관계 등에 대한 연구결과가 부족하여 많이 활용되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 비탈면 현장접근이 용이한 자가굴진이 가능한 휴대용 시추기 및 동적콘관입시험 모듈을 개발하였으며, 개발된 휴대용 시추기의 동적콘관입시험 모듈을 이용한 동적콘관입시험을 수행하였다. 그리고 기존에 지반정수와의 상관관계가 많이 연구되어진 표준관입시험값(N값)과 동적콘관입시험값(N_d값)의 상관관계를 평가하였으며, 에너지 효율도 고려하여 분석하였다.

시험장비 및 기존 연구결과

휴대용 시추기

비탈면 점검 및 조사를 목적으로 인력 운반이 가능한 무게를 고려한 국내외 휴대용 시추기 유형을 분석하여 휴대용 시추기를 개발하여 사용하였다. 개발된 시추기의 장비형식은 지주 형식으로 제작되었으며, 배낭형으로 2~3명으로 이동이 가능하다. 또한 오거드릴 형식으로 토사층의 천공이 가능하다. 시추기는 크게 유압으로 구동되는 엔진부와 지지대, 오거드릴을 작동시키는 오거드릴부로 구분된다(Fig. 1). 오거드릴부의 탈부착이 가능하여 동적콘관입시험 모듈의 설치가 가능하다.

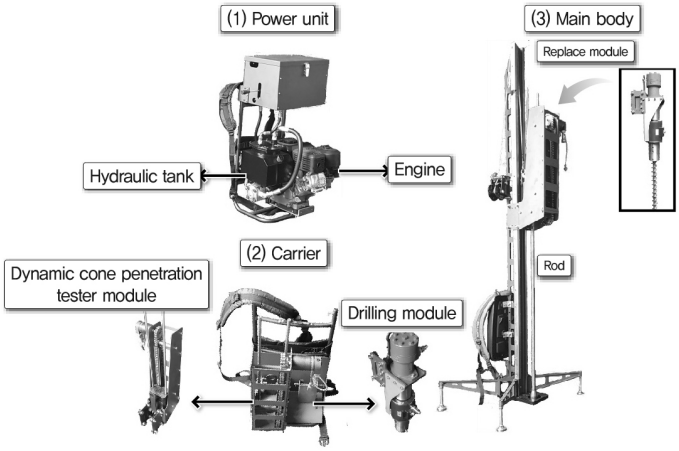


Fig. 1. Portable drilling machine.

동적콘관입시험 장치

동적콘관입시험은 원위치의 개략적인 토질특성 파악과 지중의 동적응력 및 전단강도를 측정하기 위해서 많이 사용되고 있다. 시험방법은 표준관입시험과 동일하게 해머를 일정높이에서 낙하시켜 콘이 부착된 로드를 타격하여 콘을 일정심도까지 관입시킨다. 이때 일정심도까지 콘이 관입될 때의 타격횟수와 관입저항지수를 측정한다(ASTM, 2001).

동적콘관입시험기는 해머의 중량, 낙하고, 관입깊이 등의 규격이 통일되지 않은 상태로 여러 가지 형태로 사용되고 있다. Table 1은 일반적인 동적콘관입시험기의 종류를 보여주고 있으며, 본 연구에서 사용된 시험기는 로드의 지름 27 mm, 해머 8.0 kg, 낙하높이 57.5 cm, 관입깊이 10 cm로 적용하였다. 콘의 제원은 지름이 35 mm의 원추 각 45°로 구성된다. 해머를 낙하시키는 방법은 유압을 이용한 자동방식을 적용하였으며, 또한 해머의 낙하를 위해 2개의 가이드를 설치하여 정확한 타격을 유도 하였다(Fig. 2).

Table 1. Dynamic cone penetrometer (Oh, 2009; Langton, 1999)

Dynamic cone penetrometer	Rod (mm)	Hammer (kg)	Drop height (cm)	Peneration depth (cm)
Prototype DCP (Scala, 1956)	15.9	9.0	50.8	76.2
Iron DCP	40.5	63.5	75.0	30.0
Large DCP	60.0	100.0	150.0	30.0
Texas DCP	-	77.5	50.0	-
Light weight DCP (ASTM)	16.0	8.0	57.5	10.0

(a) Dynamic cone penetration module (b) Module close-up

Fig. 2. The developed dynamic cone penetrometer.

기존연구 결과

Table 2에서는 선행연구자들에 의한 동적콘관입시험값과 표준관입시험값의 상관성 분석 결과이며, 시험에 사용된 동적콘관입시험기는 대부분 해머의 중량이 큰 Large DCP 및 Texas DCP를 사용하여 상관관계를 연구 하였다.

국내에서는 표준관입시험기에 원추형 콘을 부착한 방식으로 현장시험을 수행하고 에너지효율을 측정하여 결과값을 보정하여 N_d값을 평균적으로 1.21 N의 값을 제안하기도 하였다(Lee and Lee, 2014).

Table 2. Correlation between N value and N_d value (Daniel and Howie, 2003; Oh, 2009; TxDOT, 2012)

Proposer	N - N_d	DCP type
Iqbal H. Khan	N_d = 1.5 N (less than 4 m) N_d = 1.75 N (more than 4 m)	Large DCP
Tomlinson	N_d = 0.75 N (sand & gravel) N_d = 0.92 N (chalk)	Large DCP
N. N. Som & S. C. Das	N_d = 1.5~2.0 N	Improvement large DCP
TxDOT	N_d = 1.5 N (clay) N_d = 2.0 N (sand)	Texas DCP
Muromachi	N_d = 1.15 N	Improvement large DCP
Morita	N_d = 1.3 N (clay, sand) N_d = 1.5 N (sandy gravel)	Improvement large DCP

현장시험결과

현장자료 분석

개발된 동적콘관입시험기의 현장 적용성을 평가하기 위하여 시추조사와 병행하여 시험을 수행하였다. 시추조사 결과 구성지층은 퇴적층과 풍화토층으로 확인되었다. 퇴적층은 0.0~1.5 m 심도에서 대부분 실트질모래(SM)로 나타나고 일부 심도에서 소량의 잔자갈(gravel)이 분포하고 있으며, 풍화토층은 실트질모래(SM)로 구성되어 나타난다. 지표하 0.5~4.0 m 구간의 심도에서 표준관입시험 및 동적콘관입시험을 수행하였으며, 관입심도를 10 cm로 동일하게 설정하여 관입되었을 때의 타격수를 기록하였다. 시추조사에서 표준관입시험장비는 자동해머를 사용하였으며, 굴진간격은 예비타를 포함한 45 cm 관입 후에 시험기를 제거하고 50 cm를 재굴진하여 다음 표준관입시험을 수행하였다. 동적콘관입시험은 연속적인 시험결과를 얻었으며, 두 시험으로 획득된 결과는 Fig. 3과 같이 나타났다. 획득된 자료에 대하여 회귀분석을 수행한 결과 관계식은 식 (1)과 같다.

$$N_d = 4.89\,N + 0.42 \tag{1}$$

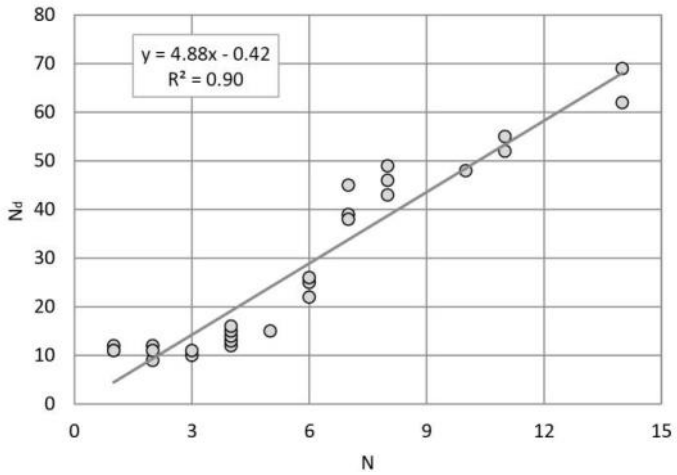


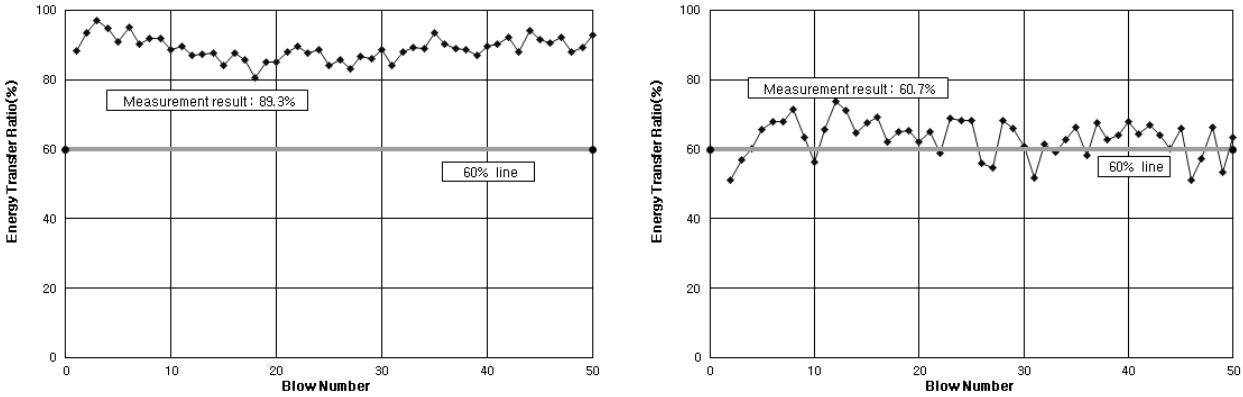
Fig. 3. Correlation between N value and N_d value.

현장시험시 해머의 타격이 로드에 전달되는 에너지전달율에 따른 타격수 영향을 제거하기 위하여 두 장비에서 모두 에너지효율을 측정하였다. 개발된 동적콘관입시험기의 경우에는 로드에 적합한 에너지효율을 측정하기 위하여 새롭게 제작하여 측정하였다(Fig. 4). 에너지효율측정에 사용된 장비는 미국의 Pile Dynamics사의 제품을 사용하였다(Pile Dynamics, 2015).

(a) SPT (Standard Penetration Test) (b) DCPT (Dynamic Cone Penetration Test)

Fig. 4. Energy efficiency measurement.

측정된 에너지전달율은 표준관입시험 장비에서 89.3%, 동적콘관입시험 장비에서 60.7%로 나타났으며, 측정된 결과는 Fig. 5와 같다.



(a) SPT (Standard Penetration Test) (b) DCPT (Dynamic Cone Penetration Test)

Fig. 5. The result of energy efficiency measurement.

각 장비에서 에너지효율을 반영하여 측정된 시험값들을 보정한 N′값과 N_d′값을 다시 분석하였으며(Fig. 6), 회귀분석에 의한 관계식은 식 (2)와 같이 나타났다.

$$N_d' = 3.13\ N' \tag{2}$$

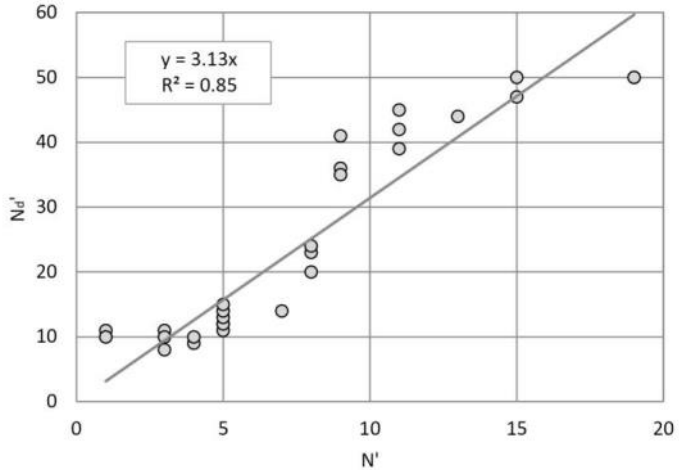
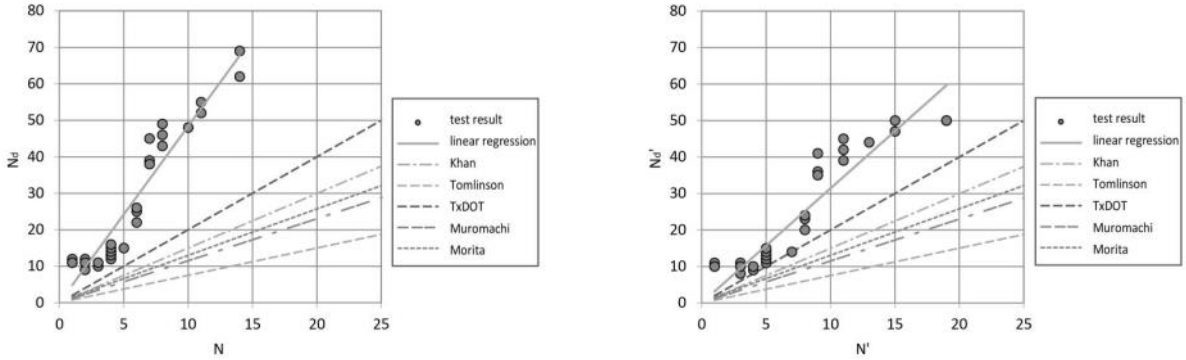


Fig. 6. Correlation between N′value and N_d′value.

기존 관계식과의 비교 분석

이 연구에서 확인된 N값과 N_d값의 관계식에 대해서 기존에 연구된 관계식과의 비교 분석을 수행하였으며, 에너지효율을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우 2가지 모두를 비교 분석하였다(Fig. 7).



(a) Before correction (b) After correction

Fig. 7. Relationship with existing relational expressions.

이 연구에서의 N_d값과 N값의 관계식은 기존 관계식보다 높은 보정계수가 나타나며, 에너지효율을 반영한 관계식이 기존 관계식과 더 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 기존 관계식에서도 제원이 상이한 동적콘관입시험기를 사용하여 조금씩 차이가 나타나고 있지만, 본 연구 결과와는 더 많은 차이를 보이고 있다.

이러한 결과는 이번 연구에서 기존의 관계식에 사용된 시험기의 제원차이에 의한 결과로 판단된다.

결 론

비탈면 취약도 평가를 위해 개발된 동적콘관입시험기와 널리 사용되고 있는 표준관입시험과의 상관관계를 연구를 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 비탈면 취약도 평가가 가능한 동적콘관입시험기 모듈을 개발하였다.
(2) 개발된 동적콘관입시험기에 대한 에너지효율은 60.7%로 타격에 대한 에너지전달율이 안정적으로 나타났다.
(3) 개발된 동적콘관입시험기를 이용한 N_d' 값과 N' 값의 상관식은 $N_d' = 3.13\ N'$ 으로 나타났다.
(4) 본 연구에서는 1개소에 대한 결과로 향후 다양한 매질(지층)에서의 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(비탈면 대상 조사· 점검개선 및 보강시설 노후화 대응 기술개발(20SCIP-C151408-02) 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

ASTM (American Society for Testing and Materials), 2001, Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications, ASTM D 6951-03, Retrieved from http://www.astm.org/.

Daniel, C.R., Howie, J.A., 2003, A method for correlation large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts, Canadian Geotechnical Journal, 40(1), 66-77.

Langton, D.D., 1999, The panda lightweight penetrometer for soil investigation and monitoring material compaction, Ground Engineering, 32(9), 33-37.

Lee, B.J., Lee, J.K., 2014, Correlation analysis between DCPT value and SPT value, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, 15(8), 23-30 (in Korean with English abstract).

Oh, H.J., 2009, Reliability analysis and resistance characteristics of dynamic cone penetration test according to ground characteristics, Master's thesis, Chungju National University, 1-15 (in Korean).

Pile Dynamics, 2015, Manual for the SPT analyzer system, Retrieved from http://pile.com.

Scala, A.J., 1956, Simple methods of flexible pavement design using cone penetrometers, Proceedings of the 2nd Australia New Zealand Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Christchurch, 73-84.

TxDOT, 2012, Geotechnical manual, Manual Notice 2012-1, Texas Department of Transportation, Texas, 3-1~3-5.