

표준관입시험 N값을 활용한 지반정수의 경험적 산정

Empirical Estimations of Soil Constants Using Standard Penetration Test N Value

강 병 주¹⁾ · 황 범 식¹⁾ · 조 완 제[†]

ByeungJu Gang · Bumsik Hwang · Wanjei Cho

Received: May 1st, 2018; Revised: May 17th, 2018; Accepted: May 25th, 2018

ABSTRACT : Domestic design manuals provide various empirical relationships of design parameters of soils with N values from the Standard Penetration Test (SPT), which can be widely used in the basic design process as well as during the construction process. However, the currently used empirical relationships are based on the data from foreign countries and are rarely evaluated with domestic data with currently used site investigation techniques. Therefore, in this study, those empirical relationships and conversion tables are evaluated with the geotechnical information in the Integrated DB Center of National Geotechnical Information and new empirical relationships are newly proposed with the consideration of domestic geotechnical conditions.

Keywords : SPT, Geotechnical information, Empirical relationship

요 지 : 국내설계기준에서는 표준관입시험을 통해 산정된 N값으로 여러 지반 설계정수를 산출할 수 있는 경험식을 제시하고 있으며 이렇게 산출된 지반 설계정수는 시공현장과 기본설계에서 유용하게 활용될 수 있다. 하지만 기존 통용되고 있는 경험식은 대부분 국외에서 연구되어 제시된 것으로, 국내 지반조건과 현재 사용되고 있는 지반조사기술이 적용된 자료에 대한 적용성과 타당성을 검토하는 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문은 국토지반정보 통합DB센터에 제공하는 시추공 데이터를 이용하여 토질시험에서 얻어진 설계정수값과 N값을 이용해서 경험식에서 얻어진 설계 정수값을 비교 분석하여 기존 국내에 사용되고 있는 경험식을 검증하였고 국내의 지반조건을 고려한 경험식과 산정지표를 제안하였다.

주요어 : 표준관입시험, 지반정보, 경험식

1. 서 론

국내 서울시 지반조사편람(2006)과 구조물기초설계기준 해설(2015)에서는 표준관입시험에서 얻어진 N값을 이용해서 사질토의 경우 상대밀도, 내부마찰각의 범위, 지지력, 액상화의 가능성을 추정하는 방법과 점성토의 경우 연경도, 일축 압축강도 또는 점착력, 지지력을 추정하는 방법을 제시하고 있다. 지반의 불확실성 및 부족한 지반조사 비용 등의 문제로 인하여 표준관입시험과 같은 범용 시험결과를 통하여 다양한 지반정수를 추정하고자 하는 노력이 지속되고 있다.

표준관입시험은 국내에서 수행되는 대표적인 현장 지반 조사시험 중 하나이며 시추조사와 병행되는 간편성과 범용성, 토질정수와의 상관성, 시료 채취 가능과 같은 특징을 가지고 있다. 또한 풍부한 데이터 자료를 이용한 여러 지반정수를 산정하는 경험식의 연구가 진행되어 왔다(Terzaghi &

Peck, 1948; Dunham, 1954; Ohsaki, 1962; Yoon et al., 2010).

대표적으로 국외에서 Terzaghi & Peck(1948)은 표준관입 시험의 N값과 내부마찰각, 상대밀도의 관계를 제시하였고 N값을 이용한 일축압축강도의 경험식을 제안하였다. Dunham (1954)는 입자모양과 입도분포에 따라 내부마찰각을 산정하는 경험식과 일축압축강도의 경험식을 제안하였고 그 이후 Ohsaki(1962)는 N값을 이용한 내부마찰각을 산정하는 경험식을 제안하였다. Yoshinaka(1968)와 Schmertmann(1978)은 N값을 이용하여 탄성계수를 산정하는 경험식을 제안하기도 하였다. 하지만 현재 국내에서 사용되고 있는 경험식은 모두 국외에서 연구되어 제시된 경험식으로 국내 지반조건에 따르는 경험식과 산정지표에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 국토지반정보 통합DB센터에서 제공하는 시추공 데이터를 이용하여 설계지반정수 중 활용성이 높은 내부마찰각, 점착력, 탄성계수를 선정하여 토질시

1) Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University

† Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University (Corresponding Author : jei0421@dankook.ac.kr)

험에서 얻어진 설계정수값과 N값을 통하여 추정한 설계정수값을 비교·분석하였다. 또한 기존 국내에 통용되고 있는 경험식의 타당성을 검증하였고 지반정보에 나타난 설계정수의 적합성과 한계성을 분석하여 국내의 지반조건을 고려한 경험식과 산정지표를 제안하였다.

2. 표준관입시험 결과를 활용한 기존 설계정수 경험식

2.1 표준관입시험과 N값

표준관입시험의 기원은 1902년 임의깊이의 시추공저에 1인치 직경의 튜브샘플을 넣고 시료를 채취함과 동시에 이 튜브샘플을 110파운드의 해머로 타격하면서 관입저항을 측정하여 지질주상도에 기록한 것에서 시작되었다. 1927년 Ramond Concrete pile에서는 140파운드(63.5kg)의 해머와 30인치(약 76cm)의 낙하높이를 표준화하여 spoon sampler를 착안하였고 그 후 Terzaghi & Peck(1948)은 이전의 관입시험형태를 표준화하여 현재의 형태와 같은 표준관입시험(SPT, Standard Penetration Test)을 제안하였다.

국내의 경우, KS F 2307(2002)에서 N값은 “중량 63.5kg의 해머를 75cm 자유 낙하시켜서 로드 꼭대기에 부착된 노킹 헤드를 타격하여 로드 앞 끝에 부착된 표준관입시험용 샘플

러를 지반에 30cm 박아 넣는 데 필요한 타격수”라 정의하고 있다.

N값은 시험장비, 시험자의 관리정도와 개인차, 시험방법에 따라서 현저한 차이가 존재함은 이미 많은 연구들로부터 밝혀졌으며 일찍이 Schmertmann(1978)은 표준관입시험의 결과에 영향을 줄 수 있는 요소를 시추공의 크기, 로프의 회전수, 룯드의 회전수, 룯드의 길이, 케이싱의 사용여부, 샘플링 튜브의 표준과 여부, 샘플러의 관입량 등으로 정리하였다.

또한 현재 사용되는 N값에 관한 경험식은 1950-60년대 개발된 것으로 당시의 타격에너지와 현재 장비의 타격에너지와 상당히 다르기 때문에 당시의 에너지에 상응하는 N값으로 환산되어야 한다(Lee et al., 2001). Schertmann & Palacios (1979)는 N값의 에너지보정을 위한 Eq. (1)과 같은 식을 제안했다.

$$N_{60} = N_m \times \frac{E_m}{60} \quad (1)$$

여기서, N_{60} 은 에너지효율 60%으로 보정된 N값, N_m 는 측정된 N값, E_m 는 낙하에너지효율을 의미한다.

2.2 N값을 이용한 설계정수 경험식

N값을 통해서 얻을 수 있는 설계정수 중 활용성이 높고

Table 1. Empirical equations of ϕ using SPT N-value

Researcher	Empirical equation ($^\circ$)	Remarks
Dunham (1954)	$\phi = \sqrt{12N} + 15$	Angular and well-grained soil particles
	$\phi = \sqrt{12N} + 20$	Round and well-grained or angular and uniform-grained soil particles
	$\phi = \sqrt{12N} + 25$	Round and uniform-grained soil particles
Ohsaki (1962)	$\phi = \sqrt{20N} + 15$	
Peck et al. (1974)	$\phi' = 271 + 0.3N' - 0.00054N'^2$	
Hatanaka & Uchida (1996)	$\phi' = \sqrt{20N} + 20$	

Table 2. Empirical equations of q_u using SPT N-value

Proposer	Empirical equation (kgf/cm ²)	Remarks
Terzaghi & Peck (1948)	$q_u = \frac{1}{8}N$	
Dungam (1954)	$q_u = \frac{1}{7.7}N$	

Table 3. Empirical equations of q_u using SPT N-value

Proposer	Empirical equation (kgf/cm ²)	Remarks
Yoshinaka (1968)	$E_p = \alpha N^{0.998}$	The modulus of deformation obtained by borehole loading test is 4~10 times of N value. Therefore, the modulus of deformation = 7N may be applied in design.
Schmertmann (1978)	$E_s = \alpha N$	However, silt or sand silt $\alpha = 4$, medium sand in $\alpha = 7$, granulated sand $\alpha = 10$, sandy gravel, gravel $\alpha = 12\sim 15$

실시 설계 이전 기본 설계에서 적용할 수 있는 대표적인 설계정수인 내부마찰각, 점착력, 탄성계수에 대한 기존 경험식들을 Table 1과 Table 2, Table 3에 나타내었다.

설계정수 경험식은 N값을 하나의 변수로 두고 산출하는 식으로 N값의 정확도가 추정된 설계정수의 정확도에 직접적인 영향을 끼치게 된다. 따라서 대상 지반을 정확하게 대표하는 설계정수를 산정하기 위해서는 보다 정밀한 N값을 확보하는 것이 매우 중요하다.

3. 분석대상 시추공 및 기존 경험식의 타당성 검토

3.1 분석대상 시추공

기존 경험식을 통해 얻어진 설계정수값과 시험값을 비교 분석하기 위해서 국토지반정보 통합DB센터에서 제공받은 시추공을 대상으로 공내재하시험과 공내전단시험, 표준관입시험이 동시에 수행된 시추공 110개를 선별하였고 Table 4에 각 공구명과 시추공 개수를 표현하였다. 공내재하시험과 공내전단시험이 수행된 도로건설을 위한 시추공이 다수를 차지하였다.

분석대상 설계정수는 기본설계와 실시설계에서 많이 활용되고 있는 내부마찰각, 점착력, 탄성계수를 선정하였고

Table 4. List of construction sites and number of boreholes

Name	Number of boreholes
Ulsan Highway Expansion Construction X site	6
Andong Highway Construction X site	8
Jechoen Highway Construction XX site	5
Jechoen Highway Construction X site	9
Samcheog Donghae Highway Construction X site	3
Samcheog Donghae Highway Construction X site	7
Ulsan Highway Construction X site	2
Ulsan Highway Construction X site	6
Pohang Construction line XX area	7
Busan Ring Highway Construction X site	6
Busan Ring Highway Construction X site	8
Deagu Belt way Construction X site	3
Anseong Eumseong Highway station X site	13
Yeondo Bridge Construction site	3
GimHea Highway National Expansion Construction X site	13
Yeondo Bridge Construction site	5
Nncheon Incheon New Port Construction site	6
Total	110

시험을 통해 얻어진 결과값과 표준관입시험의 N값과 경험식을 이용해 얻은 결과값을 서로 비교·분석하여 경험식의 타당성을 검토하였다.

또한 분석 이전에 공내전단시험으로 얻은 데이터 82개 중 환산된 N값이 150이 넘거나 N값이 3 이하인 데이터 10개는 전체적인 데이터의 상관성과 경향을 벗어나는 이상치로 판단하였고 분석대상에서 제외하였다.

3.2 내부마찰각

Fig. 1은 N값을 통한 경험식으로 산정된 내부마찰각과 시험값으로 얻은 내부마찰각의 상관성을 보여주는 그래프이다. 국내에서 가장 많이 활용되는 Dunham이 제시한 경험식과 Ohsaki(1962), Peak at al.(1974)가 제시한 경험식과 함께 가장 최근 발표된 Hatanaka & Uchida(1996)이 제시한 경험식을 통하여 산정된 내부마찰각과 시험에서 얻어진 내부마찰각을 함께 나타내었다.

경험식을 통하여 얻어진 값과 시험을 통해 얻어진 값의 상관관계를 분석해본 결과 정성적인 측면에서 보았을 때 그들의 상관관계는 찾기 어려웠다. 기존 설계경험식을 통해서 계산된 내부마찰각은 시험값보다 과대평가되었음을 확인할 수 있었고 실제 얻어진 내부마찰각은 N값이 높아짐에 따라 증가하는 일정한 선형관계를 가지는 것이 아닌 최소 23°와 최대 35° 사이에 분포하는 경향을 보였다.

Fig. 2는 시험을 통해 얻어진 내부마찰각과 각 경험식을 통해 얻어진 내부마찰각을 비교한 것이다. x축은 측정값이며 y축은 경험식을 통해 얻어진 예측값이다. 가운데 굵은 라인은 1:1-Line이며 그 라인을 중심으로 아래와 위에 위치하는 라인은 오차가 ±10°에 해당하는 라인이다. 데이터가 1:1-Line 근처에 분포하면 할수록 예측값과 시험값이 오차가 낮음을 의미하게 되고 예측된 경험식이 신뢰도가 높음을 확

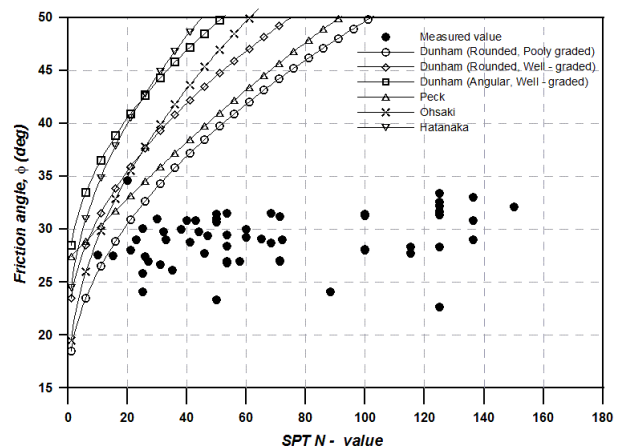


Fig. 1. SPT N - value Versus friction angle calculated by empirical equations

인할 수 있다.

Table 5는 각 분석대상의 경험식을 통해 예측된 내부마찰 각이 시험으로 얻어진 내부마찰각과 오차율 $\pm 10^\circ$ 안쪽으로 포함하는 정밀도를 %로 나타내었다. Dunham(1954)이 제시한 경험식이 정밀도가 가장 높았으나 33% 수준이었으며, Hatanaka & Uchida(1996)이 제시한 경험식은 4.17%로 가장 낮은 결과를 나타내었다.

이는 국토지반정보 통합DB센터에서 제공받은 시추공 중 분석에 이용된 시추공은 대부분 도로현장에서 공내전단시험을 수행하여 얻어진 데이터이기 때문이라 판단된다. 공내전단시험은 대부분 풍화대에서 수행되어 풍화암과 풍화토의 강도정수를 산출하는 시험이다. 분석된 총 72개의 데이터 중 46개의 데이터는 N값이 50이 넘는 결과를 보였으며 이는 대부분 풍화암과 풍화토의 경계에서 측정된 값이다.

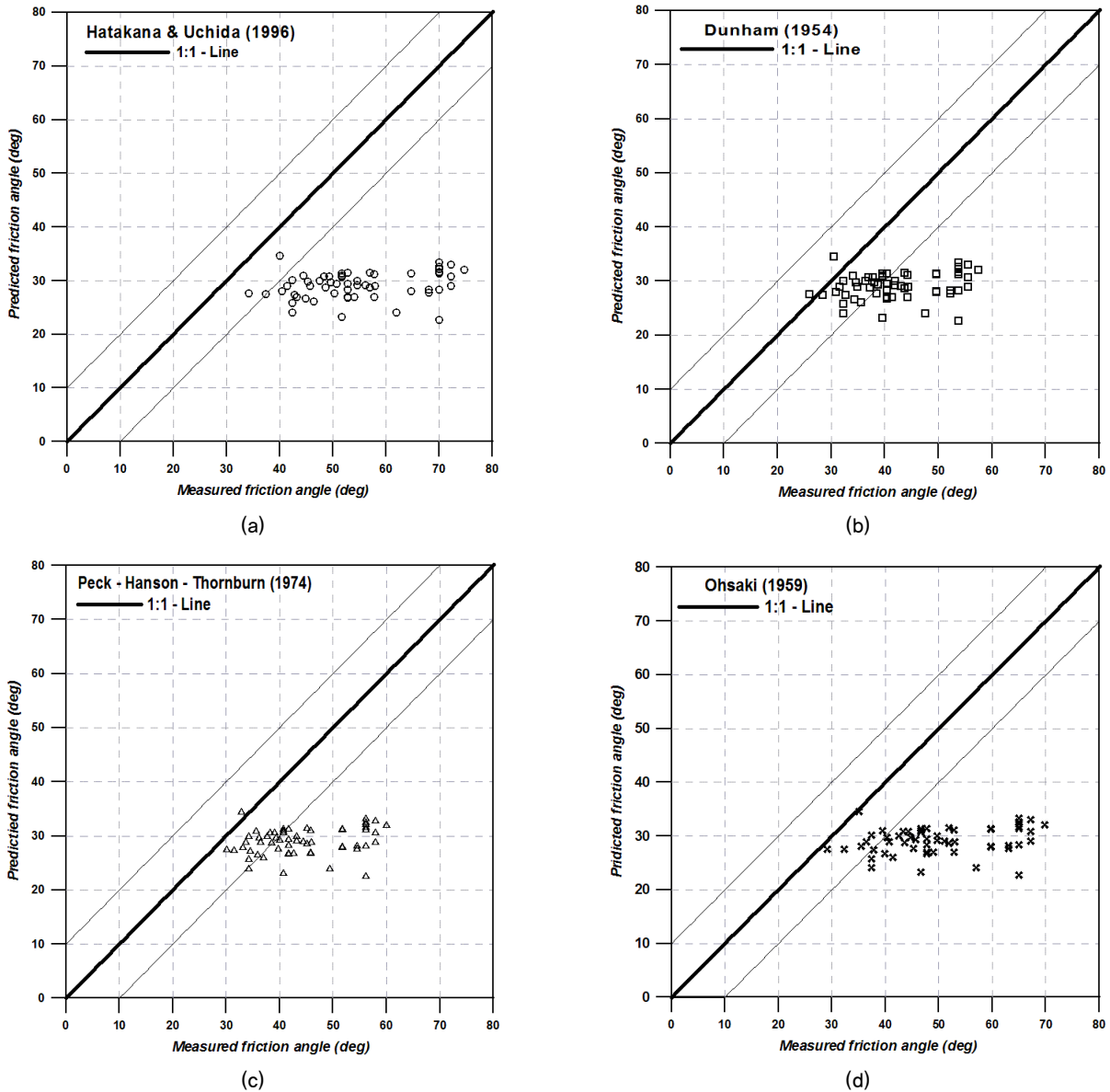


Fig. 2. Correlation between measured value and predicted value in case of friction angle

Table 5. Correlation between measured value and predicted value in case of friction angle

Proposer	Number of total data	Number of data included in error of $\pm 10^\circ$	Accuracy rate (%)
Dunham (1954)	72	24	33.33
Ohsaki (1962)	72	7	9.72
Peck et al. (1974)	72	18	25.00
Hatanaka & Uchida (1996)	72	3	4.17

Table 6. Correlation between measured value and predicted value in case of young' modulus

Proposer	Number of total data	Number of data included in error of $\pm 10\%$	Accuracy rate (%)
Yoshinaka (1968)	25	10	40.00
Schmertmann (1978)	25	12	48.00

실시설계 이전 기본설계에서는 N값이 50 이상인 데이터를 활용하여 여러 설계정수를 산정하는 경우가 있지만 일반적으로는 기존경험식은 N값 50 이하의 사질토를 대상으로 제시된 식이다. 따라서 N값이 50보다 높은 풍화대에서는 기존 경험식을 적용하는 것은 지양해야 할 부분이라 판단된다.

3.3 점착력

Fig. 3은 N값을 통해 기존 경험식으로 산정된 점착력과 역학시험을 통해 산정된 점착력의 상관관계를 표현한 그래프이다. 분석 결과 Terzaghi & Peck(1948)와 Dunham(1954)이 제시한 점착력에 대한 N값의 경험식은 상당히 과대평가되었음을 확인할 수 있었으며 시험을 통해서 얻어진 점착력은 N값이 증가함에 따라서 증가하는 경향을 가지지 않고 최소 7kPa 최대 37kPa에서 사이에 분포함을 확인할 수 있었다.

Terzaghi & Peck(1948)과 Dunham(1954)이 제시한 점착력에 대한 N값의 경험식은 지반의 마찰각이 0°일 때를 가정한 점성토의 경우 적용하는 식이다. 따라서 마찰각이 0°에 해당하는 점토는 오직 점착력만으로 전단강도를 발현한다고 가정하는데 이때 N값이 크고 단단한 점토일수록 N값이 점착력에 끼치는 영향이 클 것이라고 판단한 것이다. 따라서 N값이 조금만 증가하여도 경험식을 통해 산정된 점착력은 굉장히 커짐을 확인할 수 있다.

따라서 대부분 풍화대에서 얻어진 시험값들은 기존 제안된 경험식으로 계산된 점착력과 오차가 매우 크게 나타났으

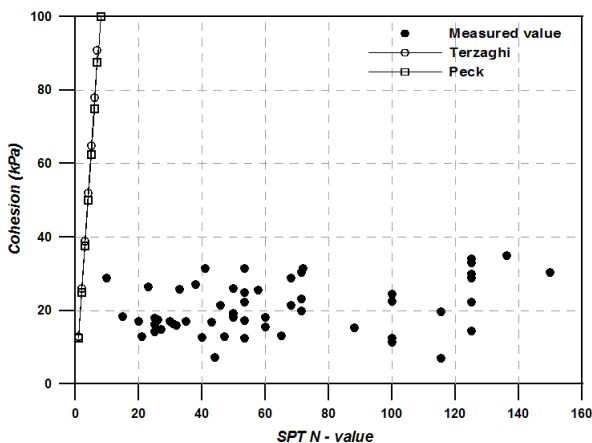


Fig. 3. SPT N - value Versus cohesion by empirical equations

며 풍화대에서 기존 경험식을 적용하는 것은 무리가 있을 것이라 판단된다.

3.4 탄성계수

Fig. 4는 N값을 통해 경험식으로 산정된 탄성계수와 시험값으로 얻은 탄성계수의 상관성을 보여주는 그래프이다. 추출한 데이터들은 풍화대에서 국한하여 수행된 것이 아닌 다양한 지반에서 수행되었기 때문에 앞서 분석한 설계정수에 비교하여 기존 경험식과 상관성이 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한 N값이 낮으면 낮을수록 제안한 경험식과 근접함

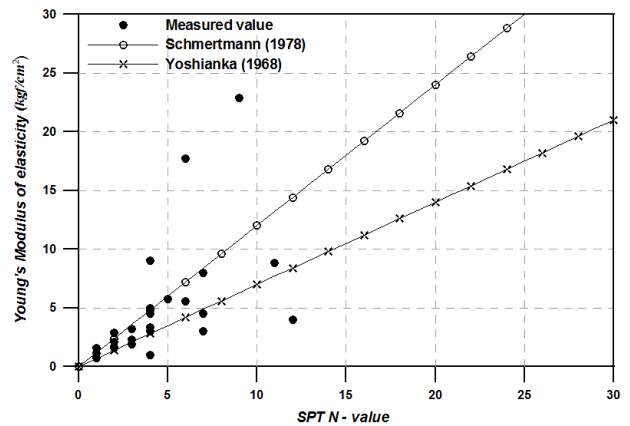


Fig. 4. SPT N - value Versus Young's modulus by empirical equations

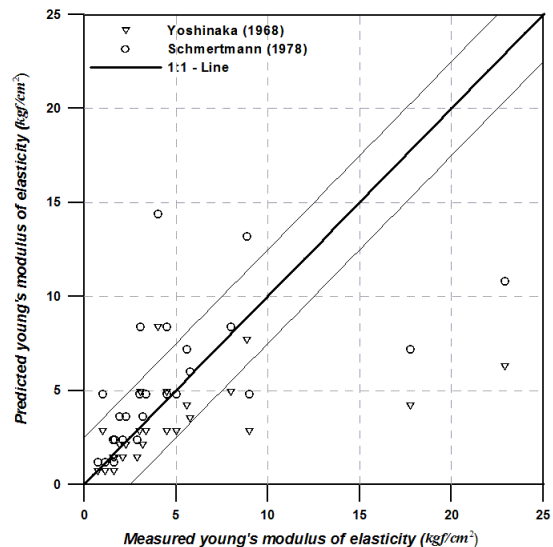


Fig. 5. Correlation between measured value and predicted value in case of Young's modulus

을 확인할 수 있었다.

하지만 국토지반정보 통합DB센터에서 제공받은 시추공 중 암반이 아닌 일반 토사에서 공재재하시험이 수행된 시추공 수는 25개 밖에 존재하지 않았기에 추출한 시추공 데이터가 전체 토사를 대표하기에는 무리가 있다고 판단된다.

4. 새로운 설계정수경험식 및 산정지표

4.1 내부마찰각

국토지반정보 통합DB센터에서 제공받은 시추공과 기존 경험식의 타당성을 검토한 결과를 토대로 새로운 경험식을 Eq. (2)와 같이 제안하였다.

$$\phi = 0.08N + 25 \quad (2)$$

Fig. 6은 시험으로 얻어진 내부마찰각과 제안식을 통해 추정된 내부마찰각을 표현한 그래프이며 대략적으로 N값이 50이 넘어가면 측정값과 제안식을 통하여 추정된 값과 상관성이 상당히 떨어짐을 확인할 수 있었다. 이와 같은 측면을 고려하여 N값이 50 이상인 데이터를 소거시킨 후 제안식을 통해 얻어진 결과값과 시험값을 서로 비교해보았다. 그 결과 N값이 50 이상인 데이터를 소거시킨 데이터 값이 1:1-line으로 오차범위 $\pm 10\%$ 안쪽에 많이 분포됨을 확인할 수 있었다. 총 72개 데이터 중 N값이 80 이상인 데이터 17개가 제외시킨 후에 상관성은 5개를 제외한 50개 데이터가 오차율 $\pm 10\%$ 안쪽으로 분포하였다. 이는 약 91%의 정밀도에 해당하는 결과값으로 기존 제안식과 비교해볼 때 보다 신뢰성 높은 제안식이라 판단할 수 있다.

하지만 대부분의 데이터가 풍화대에서 추출되었으므로

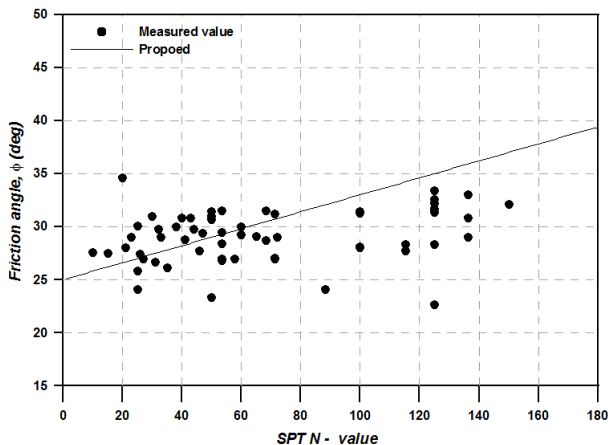


Fig. 6. SPT N - value friction angle calculated by proposed equation

새로운 경험식은 풍화대에서만 적용하는 것이 타당할 것이며 N값이 80 이상일 경우, 제안식과 상관관계는 낮아지기 때문에 새로운 식을 적용함에 있어서 유념해야 할 것이다.

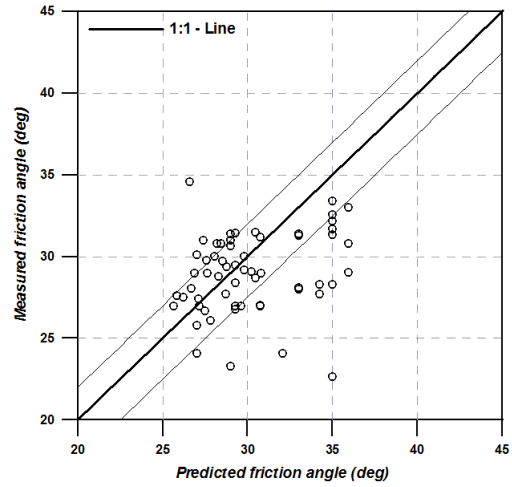


Fig. 7. Correlation between measured value and predicted value using proposed equation in case of friction

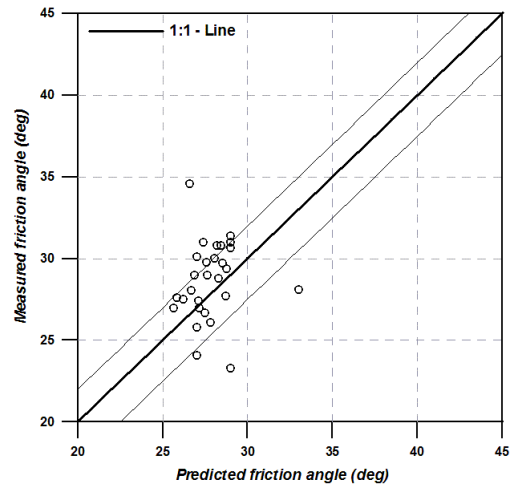


Fig. 8. Correlation between measured value and predicted value under N - value 50

4.2 점착력

기존 경험식과 실제 시험으로 얻어진 점착력과 상관성을 분석해본 결과, 실제 얻어진 데이터는 N값에 따라 선형관계나 일정한 상관관계는 보이지 않았고 일정 범위 안에 분포하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 풍화대에서 국한하여 점착력은 평균값 18kPa를 기준으로 오차범위 ± 10 kPa를 제안하였고 Fig. 9에 나타내었다.

이러한 제안 범위는 한정된 자료에 의한 것으로 풍화대의 점착력을 추정함에 있어서 새로운 경험식을 사용하는 것은 신중을 기해야 할 것이다.

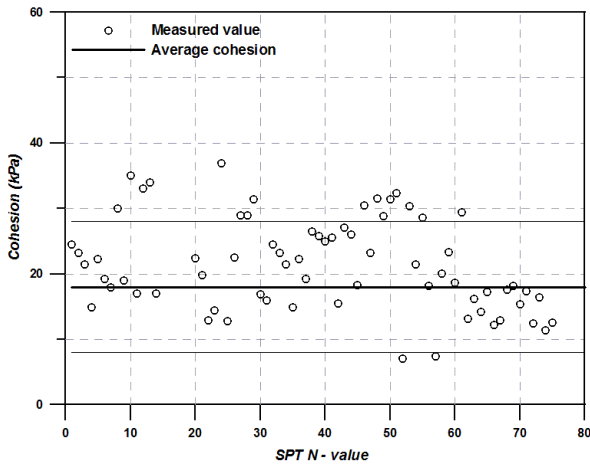


Fig. 9. SPT N - value measured cohesion

4.3 탄성계수

기존 경험식과 실제 시험으로 얻어진 탄성계수의 상관관계를 분석한 후 그 결과를 토대로 아래와 같이 국내 실정에 맞는 새로운 경험식을 Eq. (3)과 같이 제안하였다.

$$E_s = 10.5 N \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (3)$$

Fig. 10은 새로운 경험식을 통해 얻어진 탄성계수와 시험값의 상관성을 나타낸 그래프이며 총 25개의 데이터 중에서 오차범위 $\pm 10\%$ 로 하였을 때 15개의 데이터가 범위 안에 들어왔다. 정량적인 측면에서 65%의 정밀도를 가지며 기존 제시된 경험식보다 정밀도가 높음을 확인할 수 있다.

하지만 분석대상에서 사용된 시추공 및 시험 데이터 개수가 국내 지반조건을 대표하기에는 충분치 않기에 제시된 경험식을 적용함에 있어서 신중함을 가져야 될 것이다.

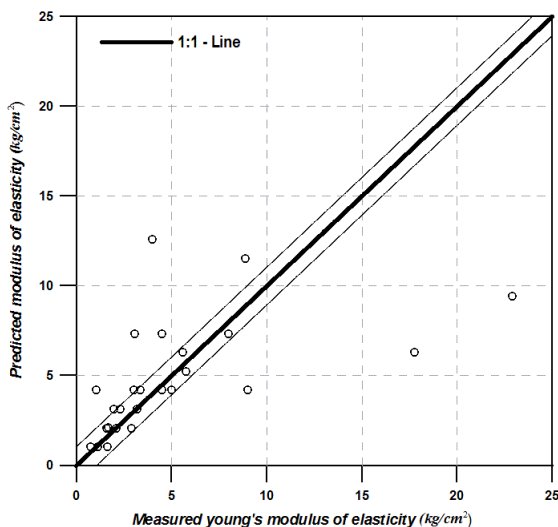


Fig. 10. Correlation between measured value and predicted value using proposed equation in case of young's modulus

5. 결 론

본 연구는 국토지반정보 통합DB센터(2017)로부터 시추공을 제공 받아 기존 국내에서 통용되고 있는 설계정수 산정을 위한 경험식의 타당성을 분석하였고 국내 실정에 맞는 새로운 설계정수 경험식을 개발하고자 하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 내부마찰각의 경우, 기존 제시되었던 경험식 가운데 대표적으로 Dunham(1954), Ohsaki(1962), Peck et al.(1974), Hatanaka & Uchida(1996)이 제시한 경험식을 검토하였다. 분석결과 제시된 식 모두 시험값과 큰 상관관계는 보이지 않음을 확인할 수 있었다. 기존 설계경험식을 통해서 계산된 내부마찰각은 시험값보다 과대평가되었고 실제 얻어진 내부마찰각은 N값이 높아짐에 따라 증가하는 일정한 선형관계를 가지는 것이 아닌 최소값 23°와 최대값 35° 값 사이에 분포하는 경향을 보였다. 이는 분석에 이용된 시험 데이터들은 대부분은 풍화대에서 수행됨에 따라서 N값이 높게 산출되었으며 이러한 지엽적인 측면에서 기존 설계경험식과 상관관계를 가지지 않는 것이라 판단된다.
- (2) 점착력의 경우, Terzaghi & Peck(1948)과 Dunham(1954)이 제시한 경험식을 토대로 점착력을 산출하였고 분석결과 제시된 식 모두 시험값과 상관관계는 보이지 않다. Dunham(1954)이 제시한 점착력에 대한 N값의 경험식은 점착력을 상당히 과대평가되었음을 확인할 수 있었으며 N값이 증가함에 따라서 점착력이 증가하는 경향은 보이지 않고 최대 37kPa에서 최소 7kPa 사이에 분포함을 확인할 수 있었다. 이는 기존 제시된 경험식은 토사의 마찰각이 0°일 때를 가정한 점성토인 경우에 적용하는 경험식으로써 N값이 증가함에 따라서 점착력의 증가 폭이 상당히 커진다. 따라서 풍화대에서 얻어진 시험값을 적용했을 경우에는 기존 경험식을 통해 얻어진 점착력과 시험값의 오차가 크게 발생함을 확인할 수 있었다.
- (3) 탄성계수의 경우, Yoshinaka(1968)가 제시한 경험식과 Schmertmann(1978)가 제시한 경험식을 검토하였고 분석결과 N값이 낮을수록 실제 시험값은 기존 경험식을 잘 따르는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 추출한 시추공 데이터 수가 전체를 대표하기에는 충분치 않기에 기존 경험식의 타당성을 분석하는 점에는 무리가 있다고 판단된다.
- (4) 국토지반정보 통합DB센터에서 제공받은 시추공과 기존 경험식의 타당성을 검토한 결과를 토대로 새로운 경

험식과 산정지표를 제안하였다. 내부마찰각의 경우 새로운 경험식 Eq. (4)를 제안하였다.

$$\phi = 0.08N + 25 \quad (4)$$

이 제안식은 풍화대에서 적용이 가능하며 N값이 50 이상인 경우에는 시험값과 상관관계가 떨어지기 때문에 제안식을 적용하는 점에 있어서 유념해야 될 것이다. 점착력의 경우 풍화대에서 국한하여 점착력은 평균 18kPa를 기준으로 범위 ±10kPa에 해당하는 산정지표를 제안하였다. 탄성계수의 경우, 새로운 경험식 Eq. (5)를 제안하였다.

$$E_s = 10.5N \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (5)$$

하지만 분석에 사용된 시추공 개수는 지반조건을 대표하기에 충분치 않기 때문에 제시된 경험식을 신중하게 적용해야 할 것이다.

향후 새롭게 제시한 경험식과 시험을 통해 얻어진 지반정수들과 비교분석을 통해 제시된 식의 적용성을 검토하고 또한 보다 활용성 높은 설계정수 경험식을 개발하기 위해 다양한 지층에서 역학시험이 수행된 시추공데이터를 확보하는 것이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 국토교통기술촉진 연구사업, “3차원 지하공간통합지도 활용성 제고를 위한 지반정보 정밀도 향상 모듈 개발”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. 서울특별시 (2006), 서울특별시 지반조사편람, 서울특별시.
2. 한국지반공학회 (2015), 구조물기초설계기준해설, 도서출판 씨아이알.
3. Dunham, J. W. (1954), Pile foundation for buildings, Proc. ASCE, Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 80, No. 285.
4. Hatanaka, M. and Uchida, A. (1996), “Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sand soils.” Soils and Foundations, Vol. 36, No. 4, pp. 1~9 (in Japanese).
5. KS F 2307 (2002), Test method for standard penetration, Korea Standards Association (in Korean).
6. Lee, W. J., Yu, J. M. and Ryu, D. H. (2001), Energy correction and use of standrad penetration test N value, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 2001, No. 13, pp. 241~264 (In Korean).
7. Ohsaki, Y. (1962), Geotechnical properties of Tokyo subsoils, Soils and Foundations, Vol. 2, No. 2, pp. 17~34.
8. Peck, R. B., Hanson, W. E. and Thornburn, T. H. (1974), Foundation Engineering 2nd ed., Wiley, New York.
9. Schmertmann, J. H. (1978), Use of the SPT to measure dynamic soil properties, dynamic geotechnical testing, ASTM SPT 654, American Society for Testing and Materials, pp. 341~355.
10. Schmertmann, J. H. and Palacios, A. (1979), Energy dynamics of SPT, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 105(8), pp. 909~926.
11. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948), Soil mechanics in engineering practice, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.
12. Yoon, W. S., Park, M. G., Han, J. W., Shin, S. G. and Chea, Y. S. (2010), Study in the N value characteristics of automatic recording system of SPT, Journal of Korean Geotechnical society, Vol. 2010, No. 114, pp. 1168~1176 (In Korean).
13. Yoshinaka, R. (1968), Lateral coefficient of subgrade reaction, Civil Engineerign Journal, Vol. 10, No. 1, pp. 32~37 (in Japanese).