

## 표준관입저항치와 정적콘관입저항치의 상관성에 관한 연구 - 영동지역의 연약지반을 중심으로 -

### A Study on the Correlation between Standard Penetration Resistance Value and Static Cone Penetration Resistance Value of the Soft Ground Subsurface of Yongdong Area

김지남\* · 박홍규†  
Kim, Jinam\* · Park, Heunggyu†

#### Abstract

We have conducted standard penetration tests and static cone penetration tests that are widely used the land base examination on the soft ground subsurface of Yongdong area, and examined the correlation between them. We have also made a comparative analysis of the correlation between the indoor tests on the materials collected on the site and on-the-spot penetration tests. The results are as follows : The relationship between Standard Penetration Test N-value and Dutch Cone Tset show  $Q_c = 1.93N + 0.29$  for organic soil,  $Q_c = 2.19N + 0.20$  for clay,  $Q_c = 2.34N + 1.06$  for silt,  $Q_c = 3.02N + 0.54$  for silty sand, and  $Q_c = 3.47N + 0.46$  for sand. In this case of sand  $Q_c/N$  increases when the soil particles are larger. The relationship between standard penetration test N-value and Unconfined Compression Strength  $q_u$  show  $q_u = 0.11N + 0.03$  for organic soil,  $q_u = 0.11N + 0.25$  for clay, and  $q_u = 0.18N - 0.03$  for silt.

**Keywords** □ Standard Penetration Test, Cone Penetration Test, Dutch Cone Tset, Unconfined Compression Strength

#### 요 지

현장 지반조사시 널리 사용되고 있는 표준관입시험과 정적콘관입시험을 행하여 상관관계를 구하고 현장에서 채취한 시료를 실내시험을 행하여 현장관입시험과의 상관성에 관하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 표준관입시험의 N값과 Dutch Cone Test의  $Q_c$ 의 관계는 유기질토 지반에서는  $Q_c = 1.93N + 0.29$ , 점토지반은  $Q_c = 2.19N + 0.20$ , 실트지반은  $Q_c = 2.34N + 1.06$ 으로 나타났고, 사질토층의 경우 실트질모래지반은  $Q_c = 3.02N + 0.54$ , 모래지반은  $Q_c = 3.47N + 0.46$ 으로 나타났으며, 입자가 큰 토층일수록  $Q_c/N$ 값이 증가하였다. 표준관입시험의 N값과 일축압축강도  $q_u$ 의 관계는 유기질토는  $q_u = 0.11N + 0.03$ , 점토는  $q_u = 0.11N + 0.25$ , 실트는  $q_u = 0.18N - 0.03$ 으로 나타났다.

**주요어** : 표준관입시험, 콘관입시험, 더치콘시험, 일축압축강도

\* 정회원, (주) 남경건설엔지니어링 대표이사  
† 정회원, 관동대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : parkhg@kd.ac.kr)

## 1. 서론

현재 지반조사시 가장 보편적으로 사용되고 있는 표준관입시험(SPT)은 시험과정 및 장비의 표준화에 대한 많은 노력에도 불구하고 반복성과 신뢰성 측면에서 아직도 많은 문제점이 있다. 이러한 비과학적 요소들로 인하여 그 결과에 대한 많은 의문점이 제시되고 있으나, 조사의 단순성, 비교적 저렴한 조사비용 그리고 채취된 시료의 실내시험으로 토질시험이 가능하며 지반 상태를 즉시 판단할 수 있다는 장점과 토목 기술자들의 비교적 높은 인식도 등을 이유로 국내외에서 개략적인 지반조사 뿐만 아니라 본조사에도 가장 폭넓게 사용되고 있다(이명환, 1991).

콘관입시험(CPT)은 원추모양의 Cone Probe을 지반에 일정한 속도로 관입시킬 때 발생하는 저항력을 측정하여 지반의 공학적 성질을 추정하는 원위치시험이다. 더치콘(Dutch Cone)시험은 1932년 네델란드 P. Barentsen이 강철봉에 콘을 부착하고 안쪽의 강철봉으로 상하 이동이 가능하게 하여 지반의 관입시험을 행한 것이 최초이며 Vermeiden(1948)과 Plantema(1948)이 원추형의 덮개를 사용하여 외관과 내부 강철봉사이의 틈으로 흙이 들어가는 것을 방지하는 새로운 콘과 마찰력을 측정할 수 있는 마찰슬리브 형식의 더치콘 탐을 개발하였다(김주범 등, 1983; 윤길림 등, 2004). 현재 연약지반 조사에 많이 쓰이며, 지반의 깊이 방향에 연속적으로 측정하므로 토층의 성상을 판정하는데 가장 경제적인 설계를 할 수 있다. 또한 표준관입시험으로 파악할 수 없는 얇은 배수층 및 다른 시험으로 확인할 수 없는 강도가 낮은 토질에 대해서도 정확하게 조사할 수 있으며, 구조물의 지지력이나 침하량 추정을 위한 자연시료 채취도 할 수 있어 콘 관입시험의 유효성이 국제적으로 실증되고 있다. 또한 말뚝의 지지력 산정시 그 거동이 비슷하고 신뢰도가 높아 말뚝지지력 산정에 적합한 시험법이라 할 수 있으며 토층의 경연, 성토의 다짐상태, 지반개량 및 압밀에 의한 강도증가의 판정 등에 많이 사용된다(Danziger 등, 1995). 우리나라에서도 이 시험에 대한 중요도가 인식되고 있으며 앞으로는 연약지반 토질조사시 이 시험이 많이 이용될 전망이다.

Portable Cone Penetration Test는 연약한 토층의 지지력 또는 연직 방향의 강도 분포 등을 알기 위하여 실시하는 시험으로 정적콘관입시험 중 가장 조작성이 용이하며, 응용범위도 넓은 휴대식 콘관입시험기이다. 실제로 콘관입시험기는 표준관입시험에 비해 상당히 효율성이 우수함에도 불구하고 우리나라의 경우 지금까지 활발히 사용되고 있지 못했으나 최근 지반조사에 대한 중요성이 인식되면서 급속히 사용빈도가 증가하고 있다.

본 연구의 목적은 많은 단점에도 불구하고 지반 기술자들의 노력에 의하여 표준관입시험을 이용한 설계 방법에 대한 기술축적이 많은 표준관입시험의 N값과 정적콘관입시험치의 상관관계를 비교 분석함으로써 지반조사 결과에 대한 상호 보완과 기초 구조물 설계자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

본 연구는 영동지역의 연약지반 특성을 고려하여 대표적인 3개소를 선정하여, 현장에서 표준관입시험과 Dutch Cone Test, Portable Cone Penetration Test 등을 행하였으며 현장에서 채취한 시료로 실내 실험을 행하여 상관성에 관하여 조사 및 분석을 행하였다.

## 2. 현장조사 및 실내토질시험

### 2.1 현장조사

강원도 영동지역의 연약토층은 겨울철에 기온이 높고, 연 평균 강우량이 많아 유기질토의 생성에 적합한 조건을 가지고 있어 동해안을 연하여 그림 1과 같이 유기질토가 널리 분포되어 있으며 내륙 쪽 하천 주변으로는 점성토층 및 느슨한 사질토층과 점성토층이 교호하여 분포하고 있다.

조사위치는 영동지역 연약지반 특성을 고려하여 대표적인 3지역을 선정하여 표준관입시험, Dutch Cone Test, Portable Cone Penetration Test를 표 1과 같이 행하였고 표준관입시험(SPT)은 KS F 2318규정에 준하여 실시하였으며 N값을 1m마다 측정하였고, Dutch Cone시험은 최대 압입력 2ton이고 로드는 내관과 외관으로 되어 있는 2중관을, 선단콘은 선단각이 60° 이고 저면적은 10cm<sup>2</sup>인 것을 사용하였으며 관입시험은 25cm

마다 행하였으며 내관 5cm관입시 관입속도는 1cm/sec로 행하였다. Portable Cone Penetration는 원추 선단 각은 30°이고 저면적은 6.45cm<sup>2</sup>, 로드의 직경은 16mm인 것을 사용하였고 10cm마다 관입저항을 측정하였다. 현장조사결과 얻어진 토층단면 및 콘관입저항치는 그림 2와 같다.

표 1. 조사지역 및 현장시험

조사 위치	S. P. T	Dutch Cone Test	Portable Cone Penetration Test
A지역 (강릉시 구정리)	3지점	3지점	3지점
B지역 (양양읍 임천리)	3지점	3지점	3지점
C지역 (주문진읍 교항리)	3지점	3지점	-

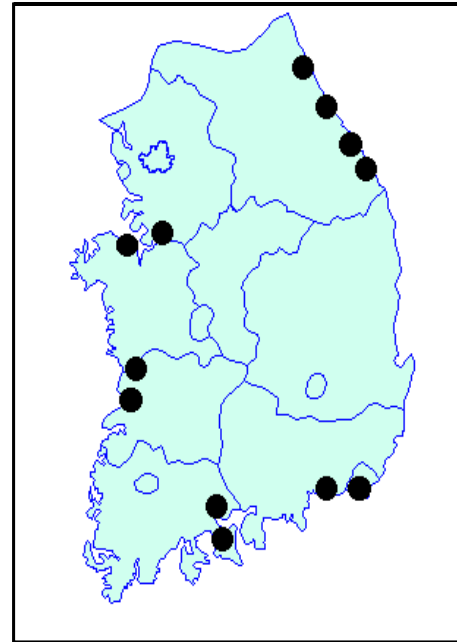
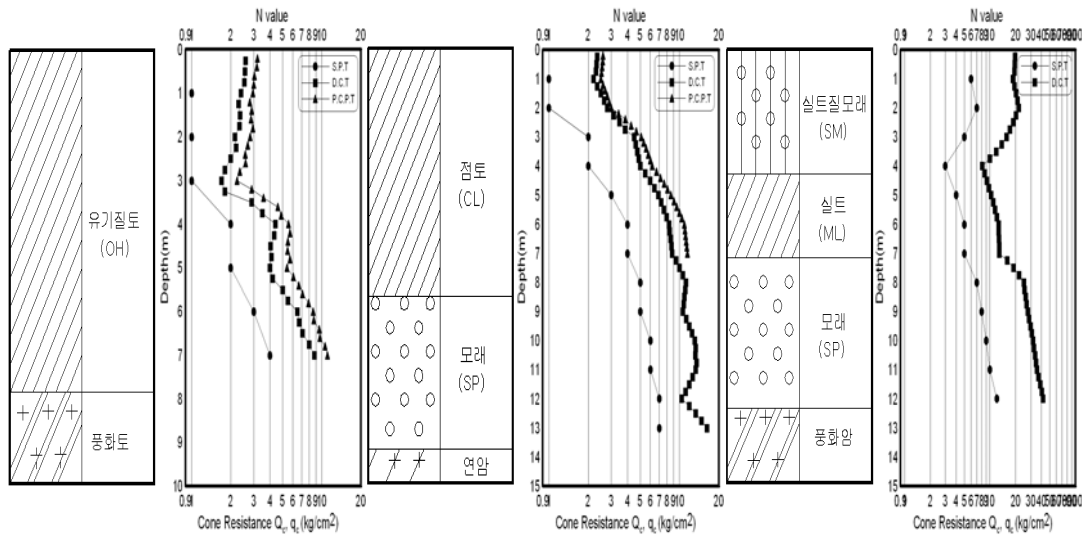


그림 1. 유기질토의 분포 위치



(a) A지역

(b) B지역

(c) C지역

그림 2. 토층단면 및 콘관입저항치

표 2. 흙의 공학적 특성

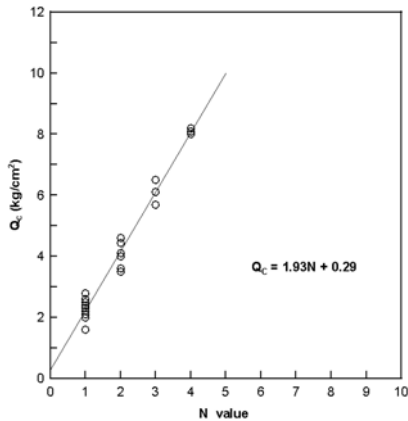
지역	MC(%)	Gs	Atterberg Limit		Shear Parameter		$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	USCS
			LL(%)	PI(%)	$\Phi$ (°)	c(kg/cm <sup>2</sup> )		
A	126.0	2.53	124.5	73.2	-	0.14	0.30	OH
B	43.5	2.70	27.0	15.1	-	0.25	0.52	CL
C	14.2	2.65	NP	NP	-	-	-	SM
	52.5	2.68	35.0	7.1	-	0.34	0.72	ML
	15.1	2.66	NP	NP	-	-	-	SP

## 2.2 실내토질시험

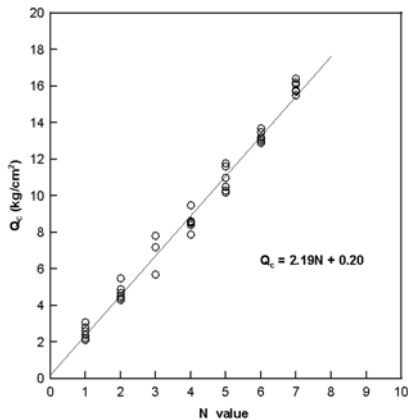
현장에서 시료를 채취하여 실내토질시험 행하였고 흙의 공학적 특성은 표 2와 같다.

## 3. 실험결과의 분석

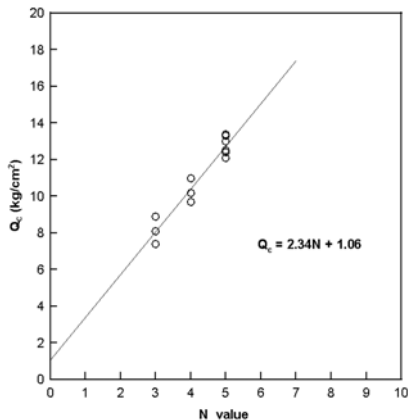
### 3.1 표준관입치(N값)와 Dutch Cone Test( $Q_c$ )의 관계



(a) A지역(OH)



(b) B지역(CL)



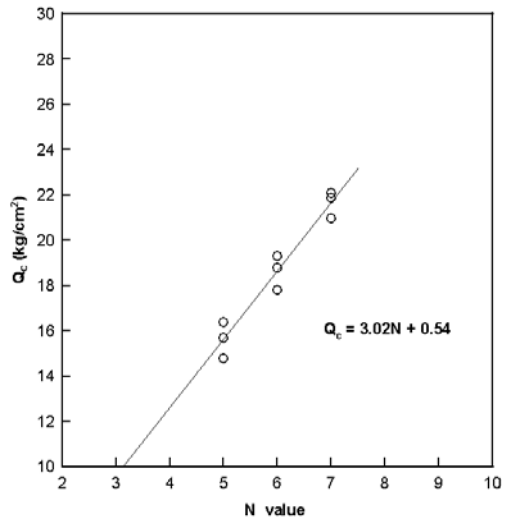
(c) C지역(ML)

그림 3. N값과  $Q_c$ 의 관계

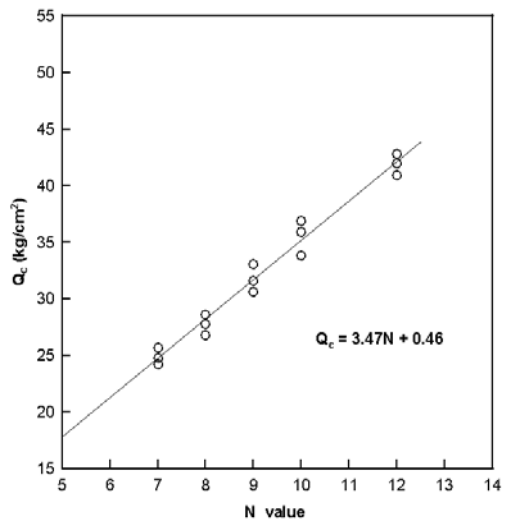
그림 3은 지역별 표준관입치(N값)와 Dutch Cone Test( $Q_c$ )의 상관관계를 나타내었다.

A, B 및 C지역에 분포하고 있는 연약지반의 N값과  $Q_c$ 의 범위는 A지역의 유기질토지반은 N값이 1~4,  $Q_c=1.6\sim 8.2(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 의 값을 나타내고 있으며, B지역의 점토지반은 N값이 1~7,  $Q_c=2.1\sim 16.4(\text{kg}/\text{cm}^2)$  그리고 C지역의 실트지반은 N값이 3~5,  $Q_c=7.4\sim 13.4(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 의 범위로 분포하고 있다.

지역별 N값과  $Q_c$ 의 상관관계식으로 나타내면 A지역의 유기질토의 경우  $Q_c=1.93N+0.29(\text{kg}/\text{cm}^2)$ , B지역의 점토는  $Q_c=2.19N+0.20(\text{kg}/\text{cm}^2)$ , C지역의 실트는  $Q_c=2.34N+1.06(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 이다.



(a) C지역(SM)



(b) C지역(SP)

그림 4. N값과  $Q_c$ 의 관계(사질토지반)

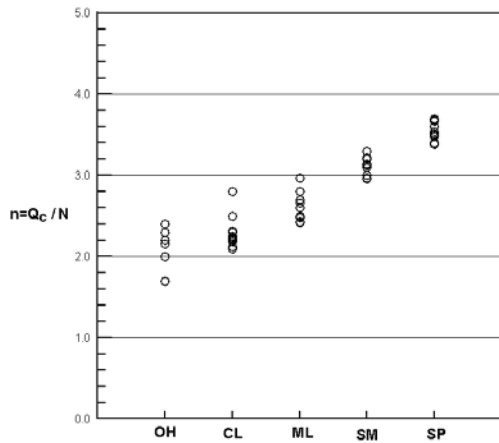


그림 5. 토질에 따른  $n$ 값( $=Q_c/N$ )의 빈도

그림 4는 C지역의 상부 실트질모래와 하부 모래에서의  $N$ 값과  $Q_c$ 의 상관관계를 나타내었다. C지역에서 실트질모래의  $N$ 값과  $Q_c$ 의 범위는  $N$ 값이 5~7,  $Q_c = 14.8 \sim 22.1$ (kg/cm<sup>2</sup>)의 범위이며 하부 모래에서는  $N$ 값이 7~12,  $Q_c = 24.2 \sim 42.8$ (kg/cm<sup>2</sup>)의 범위로 분포하고 있다.

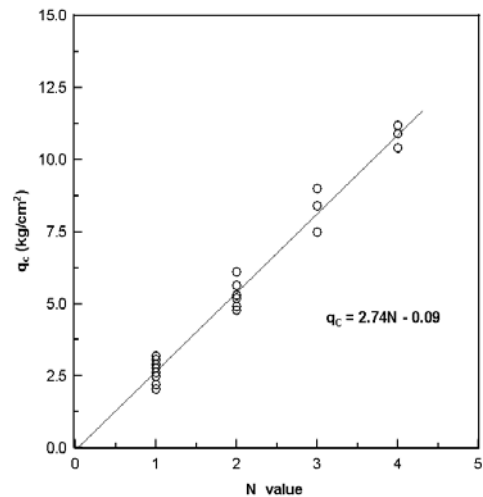
$N$ 값과  $Q_c$ 의 상관관계식으로 나타내면 실트질모래 ( $N > 5$ )의 경우  $Q_c = 3.02N + 0.54$ (kg/cm<sup>2</sup>), 모래( $N > 7$ )의 경우  $Q_c = 3.47N + 0.46$ (kg/cm<sup>2</sup>)이다. 이러한 결과는 Meyerhof (1956)가 연구한 세사 및 실트질모래의  $Q_c = (2.5 \sim 5.5)N$ 와 Schmertmann(1975)가 연구한 모래의  $Q_c = (3 \sim 4)N$ 와도 비슷한 결과를 나타내고 있다.

그림 5의 토질에 따른  $n$ 값( $= Q_c/N$ )의 빈도를 보면 점토에서 실트로 갈수록 즉, 입자가 큰 토층일수록  $Q_c/N$  값은 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 Schmertman (1975)은 순수점토에서  $Q_c/N < 2.0$ , 실트에서  $Q_c/N = 2.0$ 의 관계식과 室町, 小林(1980)이 점성토층(흙포함)에서  $Q_c = 2N$ 의 결과 보다 조금 큰 결과를 나타내고 있다.

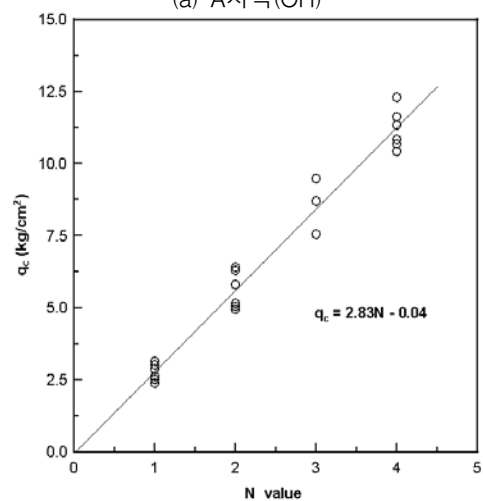
실험결과로 얻어진 실트질모래와 모래의  $Q_c/N$ 은 그림 5에서 모래가 실트질모래보다 큰 값을 나타내고 있다. 사질토도 입자가 큰 토층일수록  $Q_c/N$ 은 증가함을 알 수 있다.

### 3.2 표준관입치(N)와 Portable Cone Penetration Test( $q_c$ )의 관계

A, B지역에서 표준관입치(N)과 Portable Cone Penetration



(a) A지역(OH)



(b) B지역(CL)

그림 6.  $N$ 값과  $q_c$ 의 관계

Test( $q_c$ )를 실시한 결과 그림 6과 같으며 A지역의 유기질토지반은  $N$ 값과  $q_c$ 의 범위는  $N$ 값이 1~4,  $q_c = 2.0 \sim 11.2$ (kg/cm<sup>2</sup>)의 범위이며, B지역의 점토지반은  $N$ 값이 1~4,  $q_c = 2.4 \sim 12.3$ (kg/cm<sup>2</sup>)의 범위로 분포하고 있다.  $N$ 값과  $q_c$ 의 상관관계식으로 나타내면 유기질토의 경우  $q_c = 2.74N - 0.09$ (kg/cm<sup>2</sup>), 점토의 경우  $q_c = 2.83N - 0.04$ (kg/cm<sup>2</sup>)이다.

### 3.3 Dutch Cone Test와 Portable Cone Penetration Test의 관계

A, B지역에서 Dutch Cone Test( $Q_c$ )와 Portable Cone Penetration Test( $q_c$ )를 실시한 결과 그림 7과

같으며  $Q_c$  값과  $q_c$  값의 상관관계식으로 나타내면 유기질토의 경우  $Q_c = 0.70 q_c + 0.37(\text{kg/cm}^2)$ , 점토의 경우  $Q_c = 0.71 q_c + 0.63(\text{kg/cm}^2)$ 이다.

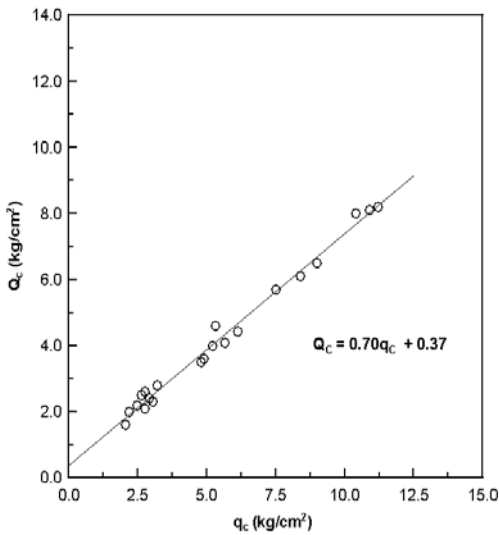
### 3.4 표준관입치(N) 및 Dutch Cone Test( $Q_c$ )와 일축압축강도의 관계

그림 8은 지역별 N값과 일축압축강도( $q_u$ )의 관계이다. A, B 및 C지역의 표준관입시험(N)값과 일축압축강도( $q_u$ )와의 상관관계식은 유기질토의 경우  $q_u = 0.11N + 0.03(\text{kg/cm}^2)$ , 점토의 경우  $q_u = 0.11N + 0.25(\text{kg/cm}^2)$

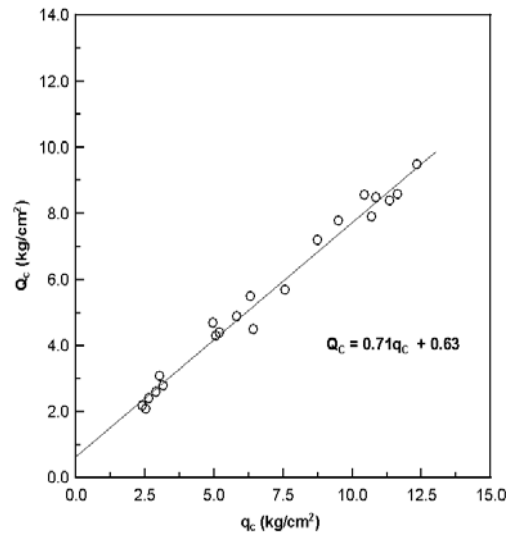
( $\text{cm}^2$ ), 실트의 경우  $q_u = 0.18N - 0.03(\text{kg/cm}^2)$ 이다.

이런 결과는 점토지반에서 Terzaghi-peck(1948)의  $q_u = 0.125N$ 와 비슷한 값을 나타내고 있으며, 久野悟郎(1962)의 점성토에서의  $q_u = 0.15N$ , 福岡保(1956)의 실트질점토에서의  $q_u = 0.15N + 0.1$ ,  $N < 10$ 의 점토에서의  $q_u = 0.15N + 0.2$  보다는 약간 적은 경향을 나타내고 있다.

A, B, C지역의 지반에서 Dutch Cone Test( $Q_c$ )를 실시한 결과와 일축압축강도( $q_u$ )시험한 결과는 그림 9와 같으며 상관관계식은 유기질토의 경우  $q_u = 0.05 Q_c + 0.02(\text{kg/cm}^2)$ , 점토의 경우  $q_u = 0.07 Q_c - 0.06(\text{kg/cm}^2)$ , 실트의 경우  $q_u = 0.06 Q_c + 0.21(\text{kg/cm}^2)$ 이다.

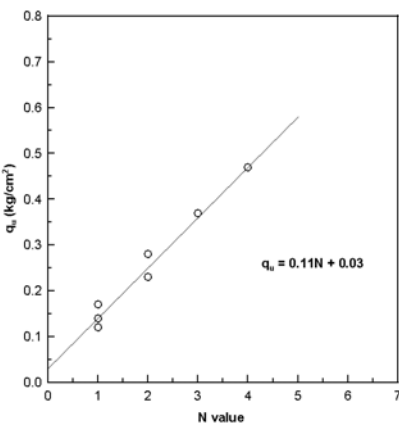


(a) A지역(OH)

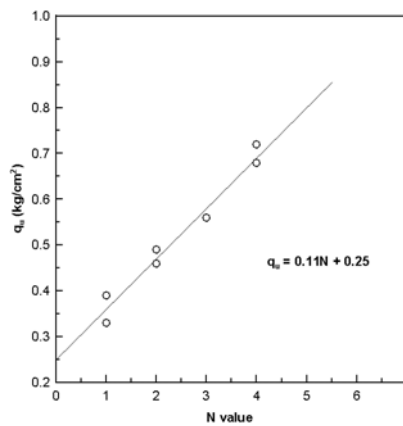


(b) B지역(CL)

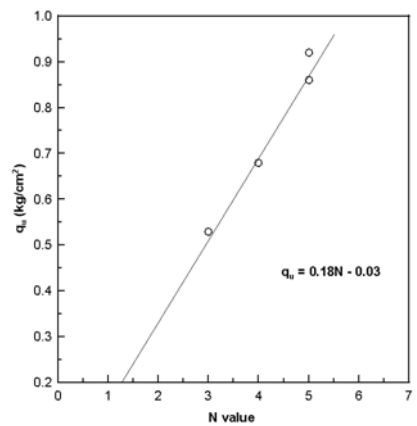
그림 7.  $Q_c$  값과  $q_c$ 의 관계



(a) A지역(OH)



(b) B지역(CL)



(c) C지역(ML)

그림 8. N값과  $q_u$ 의 관계

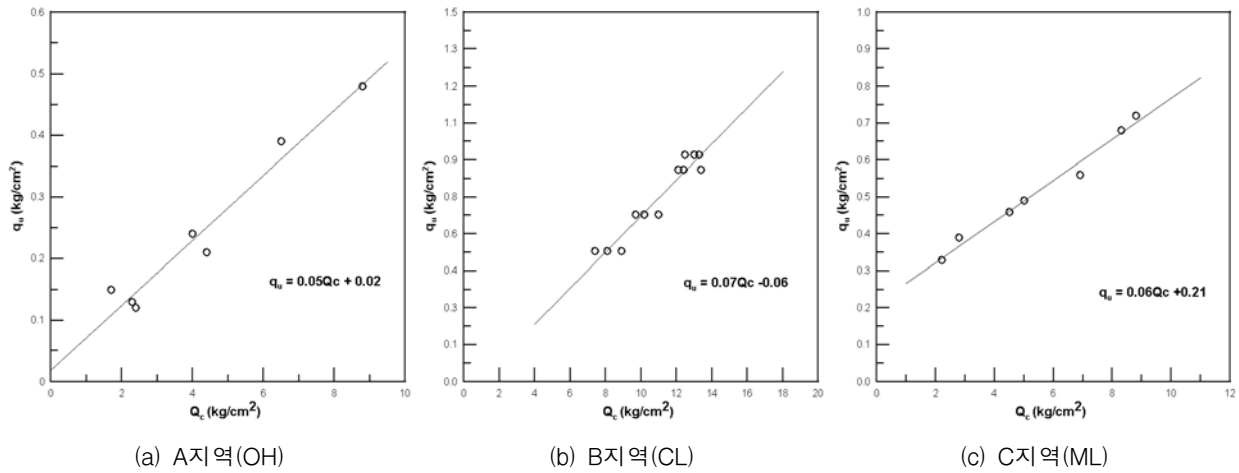


그림 9.  $Q_c$  값과  $q_u$ 의 관계

#### 4. 결론

현장 지반조사시 널리 사용되고 있는 표준관입시험과 정적콘관입시험을 행하고 현장에서 채취한 시료를 실내시험을 행하여 상관성에 관하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표준관입시험의 N값과 Dutch Cone Test의  $Q_c$ 의 관계는 유기질토지반에서는  $Q_c = 1.93N + 0.29$ , 점토지반은  $Q_c = 2.19N + 0.20$ , 실트지반은  $Q_c = 2.34N + 1.06$ 으로 나타났고, 사질토지반인 경우 실트질모래는  $Q_c = 3.02N + 0.54$ , 모래는  $Q_c = 3.47N + 0.46$ 으로 나타났으며, 입자가 큰 토층일수록  $Q_c/N$ 값이 증가하였다.

2. 표준관입시험의 N값과 Portable Cone Penetration Test  $q_c$ 의 관계는 유기질토지반인 경우  $q_c = 2.74N - 0.09$ , 점토는  $q_c = 2.83N - 0.04$ 로 나타났다.

3. Dutch Cone Test  $Q_c$ 와 Portable Cone Penetration Test  $q_c$ 의 관계는 유기질토지반은  $Q_c = 0.70 q_c 0.37$ , 점토지반은  $Q_c = 0.71 q_c + 0.63$ 으로 나타났다.

4. 표준관입시험의 N값과 일축압축강도  $q_u$ 의 관계는 유기질토는  $q_u = 0.11N + 0.03$ , 점토는  $q_u = 0.11N + 0.25$ , 실트는  $q_u = 0.18N - 0.03$ 으로 나타났다.

(접수일 : 2006. 3. 7 심사일 : 2006. 3. 13 심사완료일 : 2006. 6. 7)

#### 참고 문헌

1. 김주범, 유기송, 김호일(1983), Dutch Cone 관입시험에 대하여, *한국농공학회지*, Vol. 25, pp. 25~33.
2. 윤길립, 이규환(2004), 콘 관입시험의 활용 및 지반설계, 구미서관, pp. 119~121.
3. 이명환(1991), 표준관입시험 결과의 표준화, *대한토질공학회지*, Vol. 7, No. 1, pp. 69~85.
4. 久野悟郎(1962), 軟弱地盤工法, 山海堂, 일본, pp. 18.
5. 福岡 保(1956), 標準打込 試験の實用性擴張の問題, *土と基礎*, 일본, Vol. 4, No. 2, pp. 11~17.
6. 室町忠彦, 小林精二(1980),  $q_c/N$ 의 粒度による 變化の實測例について, *サウソデイ ソグシソボジウム 發表論文集*, 일본, pp. 151~154.
7. Danziger, B. R. and Velloso, D. A.(1995), Correlations between the CPT and the SPT for some Brazilian soils, Svenska Geotekniska Föreningen Swedish Geotechnical Society, *International Symposium on Penetration Testing, CPT '95*, vol. 2, pp. 157~160.
8. Meyerhof, G. G.(1956), Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, *Proc. of the ASCE, Jour. SMF*

*Div.*, Vol. 82, SM. 1, pp. 1~19.

9. Schmertman, J. H.(1975), Measurement of In Situ Shear Strength, *Proc. of the ASCE, Speciality on In Situ Measurement of Soil Properties, Raleigh*, Vol. 2, pp. 57~138.