

# 국내 잔류토층에서 CPT와 SPT와의 상관관계에 대한 연구

Correlations between the CPT and the SPT for the Residual Soil in Korea

구 자 갑\*      이 장 덕\*\*  
Koo, Ja-Kap    Yi, Chang-Tok

## Abstract

Many foundation jobs have been designed and constructed in Korea with the sole information obtained from the SPT. The use of the CPT to estimate equivalent SPT values is becoming a common application for foundation design. The relationship between the CPT and the SPT has been determined in a number of studies over the past three decades. However a few papers have been published on the relationship between the CPT and the SPT in residual soil. Due to the large variation in published correlations between  $q_t$  and  $N$  in residual soil, local correlations should be developed wherever possible. CPT tests have been carried out in the residual soil classified by SM in accordance with USCM and compared with SPT. Value of  $q_t/N = 0.3$  have been suggested for residual soil in Korea.

## 요 지

국내에서는 많은 기초설계가 표준관입시험(SPT)의 N값을 적용하고 있으며, 콘관입시험(CPT)의 효용성 증가로 인해 SPT와 CPT의 상관관계를 설계에 이용하고 있는 실정이다. SPT와 CPT의 상관관계에 대한 연구는 지난 30년 동안 해외에서 많이 진행되어 왔으나 잔류토층에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이는 지역마다 잔류토층의 특성이 달라 그 상관관계의 분산이 크기 때문이다. 따라서 국내 잔류토층의 특성에 맞는 SPT와 CPT의 상관관계 정립을 위하여 SM으로 분류된 잔류토층에 대한 분석을 실시하였으며, 그 결과  $q_t/N_{60}=0.3$ 으로 분석되었다.

**Keywords** : SPT, CPT, Residual soil, Correlation

**핵심 용어** : 표준관입시험, 콘관입시험, 잔류토, 상관관계

\* 정회원, 한경대학교 토목공학과 부교수  
\*\* 정회원, (주)두우건설엔지니어링 기술연구소장

E-mail : jkkoo@hnu.hankyong.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 2004년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

국내·외 대부분의 토목공사에서 반드시 선행되어야 하는 작업 중 하나가 대상지반의 공학적 특성과 지층 구성을 파악하는 지반조사이다. 이러한 지반조사에 사용한 시험장비는 시험목적에 따라 다양한 방법이 있는데, 국내·외에서 가장 널리 적용되고 있는 현장시험 방법으로는 표준관입시험(Standard Penetration Test, SPT), 콘관입시험(Cone Penetration Test, CPT), 공내재하시험(Pressuremeter Test), 그리고 현장배인시험 등이다. 그 외에도 Dilatometer Test 등 새로운 장비의 개발, 또는 기존장비의 개량을 통하여 신뢰성 있는 지반의 공학적 특성 파악을 위해 노력하고 있는 실정이다.

CPT는 네덜란드(1930년대)에서 개발되었으며, 선진국에서는 꾸준한 장비개선과 해석방법의 개발을 통하여 보편적인 현장시험방법으로 정착되었다. 국내에는 1990년대에 본격적으로 도입되었고 그 효용성으로 인하여 적용범위가 점차로 확장되는 추세이다. 하지만 아직까지 국내에서는 대부분의 지반조사를 시추와 병행하여 수행하는 SPT에 의존하는 실정이며, 연약지반의 경우 SPT를 통한 신뢰성 있는 지반물성치 선정의 한계로 인하여 다양한 시험법과 해석법 도입에 대한 필요성이 증대되어 상대적으로 CPT의 적용성이 날로 증대되어 가는 추세이다. 이러한 CPT는 콘관입시 분리 측정할 수 있는 마찰력과 선단저항력으로부터 말뚝의 신뢰성 있는 지지력 산정을 위해 개발된 원래 취지와는 다르게 그 결과를 연약지반만의 공학적 특성파악을 위한 목적으로 축소 적용되고 있는 것이 국내현실이다. 이러한 이유로는 침식작용으로 이루어진 노년기 지층의 특성상 연약지반 하부에 존재하는 조밀한 잔류토층 또는 단단한 기반암층으로 인해 콘의 관입성이 문제가 될 뿐 아니라 국내에 초기에 도입된 CPT 관입장비의 소형화로 인하여 콘 관입심도에 제약을 받아 국내에서는 연약지반의 강도, 압밀특성 파악 등에만 제한적으로 사용되고 있다. 그러므로 국내에서는 CPT의 결과를 SPT의 결과로 변환하여 지반의 액상화 평가, 기초설계 등에 적용하고 있는 실정이다. 특히 기반암이 풍화되어 형성된 잔류토층의 경우에는 불교란

시료 채취의 어려움 등으로 인해 그 거동파악이 수월하지 않으며 CPT 역시 관입의 한계로 인해 충분한 시험자료가 없는 실정이다. 외국에서는 잔류토층에 대한 SPT와 CPT의 상관관계에 대하여 비교적 활발하게 연구되고 있다.

이러한 결과에 의하면 잔류토층에서 이루어지는 SPT의  $N_{60}$ 값과 CPT의 선단저항인  $q_c$ 와의 상관관계가 각 지역에 따라 상이한 상관성을 보이는 것으로 조사되었는데, 이는 잔류토층의 모암인 기반암의 종류, 풍화정도, 구성 등 그 지역의 기반암 특성에 따라 그 시험결과가 다르게 평가되기 때문으로 추정된다. 그러므로 각 나라마다 기반암 특성에 맞는 SPT와 CPT의 결과에 대한 상관관계가 필요한 실정이지만, 국내의 경우에는 아직까지도 SPT와 CPT의 상관성에 대한 연구가 미비한 실정이므로 국내에서도 신뢰성 있는 설계의 적용을 위하여 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

## 2. 잔류토층에서 콘관입시험과 표준관입시험의 비교

CPT 결과로부터 SPT와의 상관관계를 구하는 것은 간단한 일이 아닌데, 이는 SPT sampler의 관입시 저항이 Fig. 1에서 보는 바와 같이 흙의 강도 및 종류에 따라 영향을 받기 때문이다. SPT sampler의 저항은 Fig. 1에 나타난 대로 선단저항과 마찰저항으로 나뉘며, 이러한 저항력은 CPT의 선단저항( $q_c$ ) 및 마찰저항( $f_c$ )과 대응되는 것으로 콘의 선단저항과 마찰저항을 SPT의  $N$ 치로 상관성을 구하려는 시도가 있어 왔으나 (Olsen, 1994), 대부분 이제까지의 연구결과는 콘의 선단저항( $q_c$ )과 SPT의  $N$ 치와의 상관관계를 경험적으로 나타내고 있다.

Meyerhof(1956)가 처음으로 시도한 콘선단저항치( $q_c$ )와 SPT의  $N_{60}$ 값과의 상관관계를  $q_c/N=0.4$ 로 제안하였으며, Meigh and Nixon(1961)은 균질한 세립모래에 중립질의 모래와 실트가 포함된 지반에 대해서 비교한 결과  $q_c/N=0.4\sim 0.45$ 의 범위에 있는 것을 확인하였다. Meigh and Nixon의 연구 결과는 Meyerhof의 제안식과 크게 차이가 없는 것을 볼 수

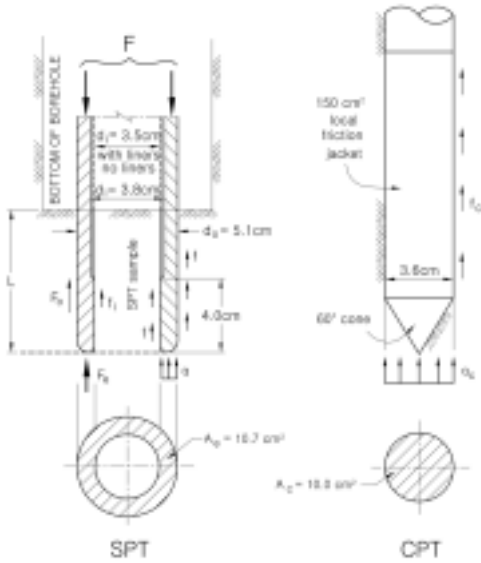


Fig. 3 SPT와 CPT의 측정 원리

있지만, Schmertmann(1970)은 신뢰성 있는  $q_t$ 와  $N_{60}$ 값의 상관식을 유도하기 위해서는 CPT 뿐 아니라, SPT에 대한 표준화가 필요하며 흙 입자의 크기 및 입도 분포에 대한 영향까지 고려하여야 한다고 제안하였다.

이러한 두 시험결과의 상관관계는 대부분 경험적인 식이며, 그 결과의 상관성은 기초설계시 유용하게 사용할 수 있으므로 이에 대한 많은 연구가 진행되어 오고 있고, 이러한 연구결과를 정리한 것이 Fig. 2이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 시험결과의 상관관계는 흙 입자의 입도에 따라 그 분산범위가 큰 것을 볼 수 있는데, 이는 두 시험방법이 다양한 지반조건에 의해 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 즉,  $q_t$ 는 지반의 종류, 밀도, 응력수준, soil fabric과 흙의 mineralogy에 영향을 받을 뿐 아니라  $N_{60}$ 값도 해머의 에너지, 유효응력 등의 영향을 받기 때문이다. 국외에서 이루어진 이러한 상관관계에 대한 연구결과는 대부분 실트질 점토 등의 충적층에서 이루어져 국내에서 이 상관관계를 직접 적용하는데는 한계가 있다. 예를 들면 국내 말뚝기초의 시공에 있어 말뚝의 선단부는 충적층을 통과하여 잔류토 이상의 선단에 위치하므로 큰 저항치를 이용하여 말뚝의 선단지저력을 계산하기 위해서는 잔

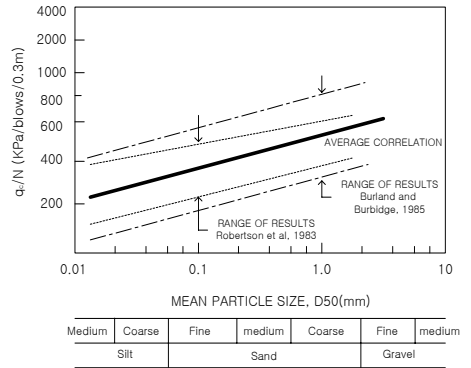


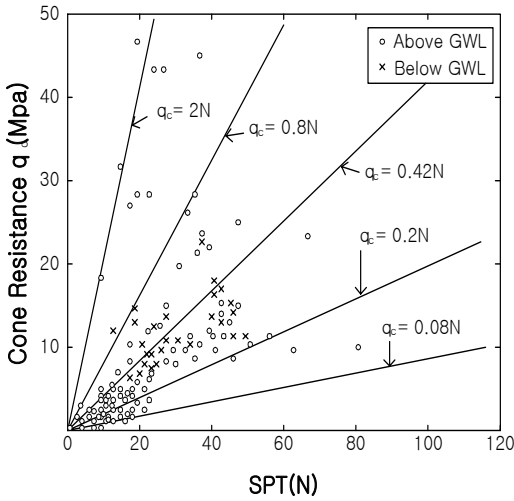
Fig. 2  $q_t/N$ 의 편차  
(Robertson et al. 1983 ; Burland and Burbridge, 1985)

류토층에 대한  $q_t$ 와  $N_{60}$ 값에 대한 상관관계의 정립이 필요하다. 또한, 직접기초 침하량 계산에 많이 적용되는 변형률 영향계수를 사용한 Schmertmann(1970)의 방법은 CPT의 결과를 이용하여 불균질한 지반의 탄성계수를 결정하고 지반의 즉시 침하량을 구하는 경험적 방법인데, 직접기초가 위치하는 지층이 잔류토층 이상인 국내의 경우 콘관입의 한계로 인해 SPT의 결과로부터 지반의 탄성계수를 구하여 적용하고 있는 실정을 감안할 때, 잔류토층에 대한 두 시험의 상관관계를 정립하는 것이 필요한 실정이다.

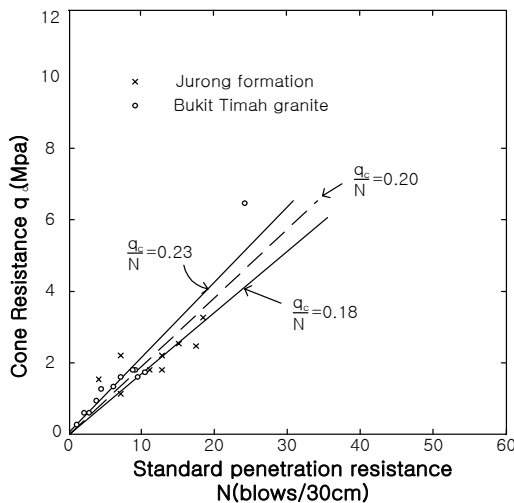
잔류토(Residual soils)란 모암이 물리적 풍화를 받아 형성된 것으로 모암과 잔류토층의 구분이 모호하고, 입자의 형태는 풍화정도에 따라 영향을 받으며 국내의 경우 일반적으로 매립토나 충적토층 하부에 존재한다. 즉, CPT가 수행되는 국내지반은 충적층하부에 잔류토층이 존재하는 경우가 대부분이다. 잔류토층은 자연상태 시료의 채취 및 공학적 특성을 파악하는 것이 곤란하여 CPT와 SPT 결과의 상관관계에 대한 연구가 비교적 빈약한 실정이다(Brand and Phillipson (1985), Chang(1988)).

풍화가 많이 진행되지 않는 풍화암에서의 CPT는 관입성에 어려움이 많아 Sowers(1985)은 75mm 직경의 콘을 이용하여 잔류토층에 대한 시험을 수행하였으며, Peuchen 등(1995)은 싱가포르, 태국, 말레이시아에서 20ton 트럭에 장착된 CPT 장치에 Friction Reducer를 사용하여 시험을 수행하였다.

Chang(1988), Ajayi and Balogun(1988) 등은 싱가포르, 나이지리아, 브라질에서 수행한 SPT와 CPT의 결과에 대한 상관관계를 분석하여 Fig. 3과 같이 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 싱가포르에서 수행한 시험결과는 좋은 상관성을 보이는 반면 아프리카에서 수행한 시험결과는 분산정도가 커 일반적인 경향을 유도하기에는 무리가 있다. 또한, Ajayi and Balogun(1988)은 나이지리아 잔류토층의 점토



(a) 아프리카 잔류토(Ajayi and Balogun, 1988)



(b) 싱가포르 잔류토(Chang, 1988)

Fig. 3 잔류토  $q_c$ 와  $N$ 치의 상관관계

에서 삼축압축전단시험(UU)의 결과와 CPT의 콘 저항치( $q_c$ )와의 상관관계를 검토한 결과 분산이 많은 상관성을 보이는 것으로 검토되어 아직까지 잔류토층에서 일반적으로 적용할 수 있는 두 시험 결과의 상관성을 찾아내지는 못하였다. 이러한 이유는 지역에 따라 잔류토층의 공학적인 특성이 서로 다르기 때문이다. 따라서 SPT와 CPT 결과의 상관관계를 적용한 신뢰성 있는 설계를 위해서는 각 지역의 특성에 맞는 두 시험결과에 대한 상관관계의 정립이 필요하다(Lunne, Robertson and Powell, 1997).

### 3. 콘관입시험과 표준관입시험 상관관계의 영향요소

#### 3.1 입자의 크기

Schmertmann(1970)이 지적한 것처럼 흙입자의 크기 및 입도분포와 SPT의 에너지 보정이 CPT와 SPT의 상관관계에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Robertson 등(1983)은  $q_c/N$ 의 관계를 평균입도직경인  $D_{50}$ 으로 일반화하였으며 Fig. 4와 같이 제안하였다. 그림에서  $K_{60}$ 으로 표시된 수치는 SPT의 에너지 보정 수치를 나타낸 것이다. Fig. 4 역시 Fig. 2와 같이 흙 입경에 따라  $q_c/N$ 의 상관관계가 영향을 받는데, 이는 콘저항치에 직접적인 영향을 미치는 흙입자의 압축성이 입자의 크기와 직접적인 관계가 있기 때문이다.

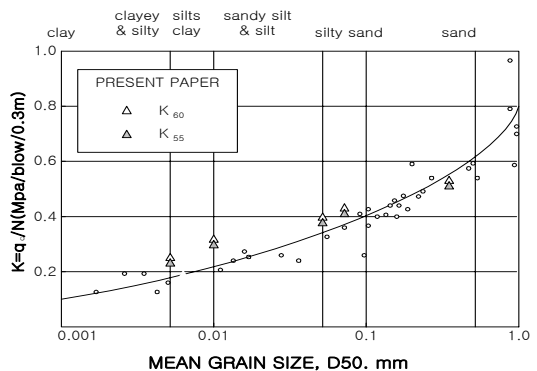


Fig. 4 입자에 따른  $q_c/N$ 의 변화(Robertson et al, 1983).

### 3.2 에너지 보정

국내의 SPT는 KS F-2318에 의해 수행되고 있는데, 이 규정에 의하면 "Split Barrel Sampler를 지반에 관입시켜 그 저항치를 N값으로 표시하는 것과 동시에 토질분류시험 및 실내시험을 위한 대표적인 시료를 채취하는 방법" 이라고 정의되어 있다. 그러나 표준이라는 낱말이 뜻하는 의미와는 걸맞지 않게 시험 장비가 갖고 있는 구조적인 문제점과 시험관리의 차이에 따른 문제점 등으로 인하여 측정된 N값은 적지 않은 오차를 포함하고 있는 것이 사실이다. 이러한 요인 들로는 해머 무게의 오차, 낙하고의 부정확성, 로프 감는 횟수, 해머와 리더의 마찰, 슈의 마모로 인한 영향, 시험자의 부주의 등 종합적인 영향으로 인해 실제 룯드에 전달되는 에너지에 큰 차이를 나타낼 수 있다. 이렇게 측정된 N값도 그 신뢰성에 영향을 미칠 뿐 아니라 실제로 CPT의 결과와 비교시 영향을 미치게 된다. 그러므로 Schmertmann(1970)은 SPT의 에너지 효율을 60%로 표준화하여 두 시험의 결과를 비교함으로써 에너지 효율에 따른 오차를 보정하였다.

이러한 에너지의 표준을 정하여 SPT의 결과를 보정하는 것이 시험의 신뢰성 확보를 위해 필요하며, 또한 국제적 표준으로 사용되고 있는 에너지 효율과 비교

할 때 어느 정도의 신뢰성이 있어야 한다. 국내에서도 이러한 에너지 효율에 대한 연구가 제한적으로 이루어져 오고 있다. 해머의 에너지 측정은 낙하속도, Dynamic Load Cell, Strain Gauge, 가속도계 등을 이용하여 해머의 에너지 효율을 평가하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 박용원 외(1996)에 의하면 해머의 낙하속도를 이용하여 에너지수준을 측정한 결과 도너츠 해머의 경우 45%로 측정하였다.

일반적으로 국내에 사용되고있는 도너츠 해머의 룯드에 Fig. 5에서와 같이 가속도계와 변형률계를 부착하고 해머의 에너지를 측정하여 그 효율을 정리한 것이 Table 1이다. 이 표에서 보는 바와 같이 국내 현장의 도너츠 해머에 대한 에너지 효율의 평균치가 46.1%로 박용원 외(1996)의 측정치에 근접해 있는 것을 볼 수 있으며 Skempton(1986)이 정리한 세계 각국의 도너츠 해머 에너지 효율 중 북미의 45%와도 근사한 것을 볼 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 SPT의 에너지를 국내에서 조사된 에너지 평균치인 46.1%를 60%의 에너지로 보정하여  $N_{60}$ 으로 적용하였다. 이러한 입자의 크기, 에너지 보정에 의한 SPT와 CPT의 상관관계에 관한 연구는 Danziger, B.R와 Velloso, D.A.(1995)에 의하여 실시된바 있으며 그 연구결과를 정리하면 Table 2와 같다.

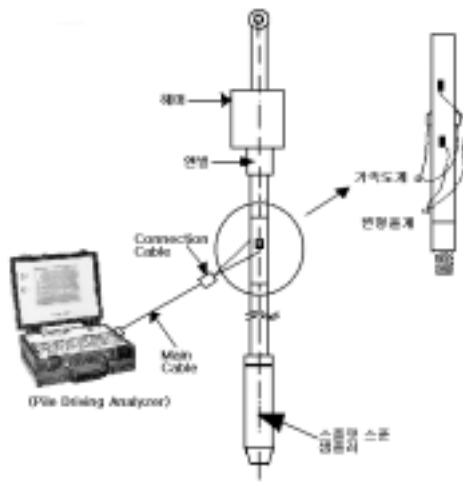


Fig. 5 표준관입시험의 에너지 측정을 위한 시험장치

Table 1 국내현장에서 측정한 도너츠 해머의 에너지 효율

시추장비	심도(m)	에너지효율(%)	N치	지반조건
YT-150	3.0	49.6	50	풍화암
OP-300	4.0	55.4	50	풍화암
OP-500	4.0	39.0	33	사질토 및 점성토
	1.5	51.0	4	
	3.0	44.8	30	
	6.0	47.2	45	
	0.5	37.5	50	
	1.5	42.9	23	
OP-300	0.5	49.1	50	점성토
	2.2	47.8	2	
	5.8	41.9	4	
	10.3	43.6	10	
	2.5	49.5	5	
에너지평균치	-	46.1	-	-

Table 2 SPT와 CPT의 상관관계

Soil nature	$q_t(\text{MPa})/N$	
	에너지 보정 전	60% 에너지 보정 후
Sand	0.60	0.50
Silty sand, clayey sand, sand with clay and silt	0.53	0.44
Silt, sandy silt, sandy clay	0.48	0.40
Silt with sand and clay, clay with silt and sand	0.38	0.32
Clayey silt	0.30	0.25
Clay, silty clay	0.25	0.21

#### 4. 국내 잔류토층의 SPT와 CPT의 상관관계

국내 잔류토층의 SPT와 CPT의 상관관계를 연구하기 위하여 무안, 김포, 부산 등지에서 직접수행한 CPT 결과와 SPT 결과를 비교하였다. CPT는 상부 연약층 특성을 파악하기 위하여 수행하였으며 충적층 하부에 존재하는 잔류토층에 대한 콘관입 선단저항( $q_t$ )과 CPT를 수행한 위치에서 가장 인접해서 수행한 SPT의 관입저항치(N)와의 상관관계를 분석하였다. 지층은 주로 충적층과 모암의 풍화작용에 의해 원위지에서 형성된 지층으로 모암에 따라 실트질 내지 모래질로 구성되어있다. SPT 시험을 통해 충적층과 잔류토층의 경계를 구별하는 것은 쉽지 않지만 CPT 시험의 경우 연약층적층에서 콘관입 선단저항( $q_t$ )이 적고 간극수압이 크게 측정되다가 잔류토층에서는 선단저항( $q_t$ )이 급격히 증가하면서 간극수압이 감소하는 경향을 보여 이 위치를 잔류토층으로 평가하였다. 계속해서 콘관입이 이루어질 경우 간극수압은 정수압보다 약간 크게 측정되며 선단저항이 커지므로 콘의 관입이 어려워져 CPT 시험이 종료되는 경우가 대부분이다. 그러므로 잔류토층에서 많은 CPT 시험결과를 얻기가 쉽지 않아 영종도 등에서 수행했던 CPT 시험결과도 분석에 이용하였다. SPT 수행시 sampler에서 회수한 교란된 시료에 대하여 잔류토층의 구성 및 입도분포 등 그 특성을 분석하였으며, 일부 현장에서는 시험시 사용된 장비의 해머효율을 측정 할 수 있는 시험도 병행하였다. CPT가 수행된 현장의 기반암은 국내지반에서 흔히 볼 수 있는 화강암, 화강섬록암, 흑운모편마암

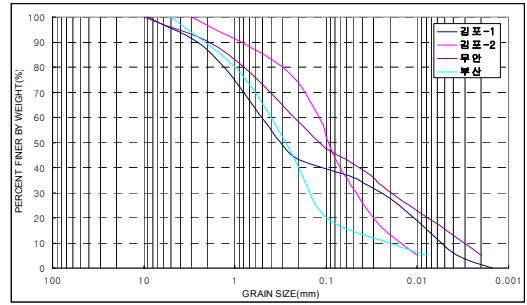


Fig. 6 잔류토의 입도분포곡선

암으로 석영, 장석, 운모 등의 조암광물이 우세하였으며 풍화작용으로 인해 기반암이 토사화 되었을 때 통일분류법에 의하면 SM에 해당하는 것으로 분석되었다. 연구대상 구간의 잔류토층에 대한 대표적인 입도분포 곡선은 Fig. 6과 같으며, 대부분 지역의 잔류토에 대한 입도분포 곡선은 비슷한 형태를 나타내고 있다. 일반적으로 기반암의 특성에 따라 풍화잔류토층의 특성이 달라지는데 지층의 압축성, 입자의 크기 및 형태에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그러므로 국내에서 수행된 CPT 결과 중에서 기반암이 화강암, 화강섬록암, 흑운모편마암 등으로 구성된 지반에서 수행된 것은 간극수압이 급격히 줄어들면서 선단저항이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 지층의 SPT와 CPT의 콘저항치( $q_t$ )와의 상관관계를 보인 것이 Fig. 7이다. 그림에서처럼 대부분의 N치가 25 이내의 것을 비교하였는데, 이는 본 현장에 적용하였던 콘 장비의 관입 능력이 크지 않아 N치가 큰 지반에서는 CPT 수행이 불가능하였기 때문이다.

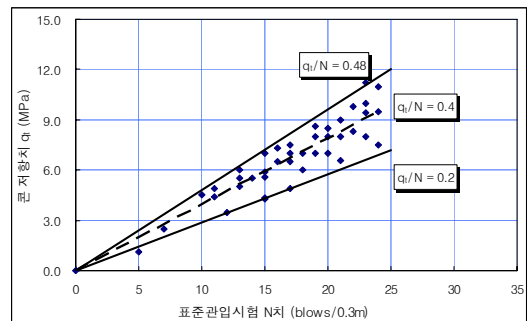


Fig. 7  $q_t$ 와 N치의 관계(잔류토층)

그러므로 대부분의 국내 CPT는 연약층인 충적층과 기반암이 풍화되어 형성된 잔류토층의 경계인 잔류토층 상단에서 시험이 종료되어 많은 CPT 자료의 수집에 많은 어려움이 있는 실정이다. 따라서, 보다 광범위한 자료를 얻기 위해서는 CPT 장치에 Friction Reducer를 사용하거나 국내 큰 장비의 관입성 증대가 필요하며, 이 경우 잔류토층 깊이에 따라 CPT와 SPT를 병행하여 수행할 수 있다면 보다 많은 자료의 수집이 용이하다. 하지만 본 연구에서는 많은 시험자료 중에 잔류토층 상단에서 측정된 자료만 이용할 수 있어 N치가 25 이하인 잔류토층의 자료에 대한 분석이 이루어졌다.

분석결과  $q_t(\text{MPa})/N$ 의 상관관계는 0.2~0.48의 범위에 있으며, 회귀분석 결과  $q_t(\text{MPa})/N=0.4$ 로 분석되었다. 이러한 상관관계는 나이지리아나 브라질 등의 잔류토층에서 수행했던  $q_t(\text{MPa})$ 와 N치와의 상관관계인 Fig. 3보다 훨씬 분산정도가 작아 시험자료에 일관성이 있는 것으로 보인다. 하지만 CPT 중 잔류토층 상부의 충적연약층에서의 CPT와 SPT의 결과를 보인 것이 Fig. 8이다. 그림에서 보는 바와 같이 SPT의 N치는 10 내외로 대부분 연약지반인 CL 또는 CH 층으로서  $q_t(\text{MPa})/N=0.07\sim 0.4$  정도로 그 분산 정도가 크게 평가되었는데, 이는 N치가 4 이내인 연약한 점토층에서 SPT 결과의 신뢰도에 문제가 있어 상관관계의 분산이 크기 때문이다.

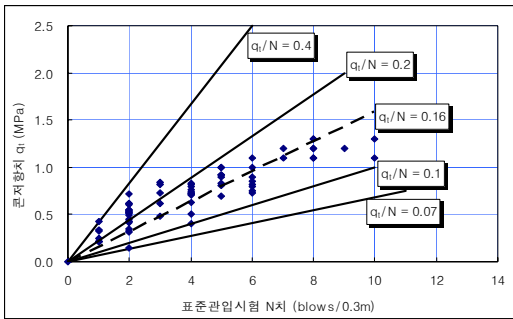


Fig. 8  $q_t$ 와 N치의 관계(CL~CH)

Table 3 잔류토층, 충적층에서  $q_t/N$ 의 상관관계

지층구분	에너지 보정전 $N_{45}(\%)$	에너지 보정후 $N_{60}(\%)$	비 고
잔류토층(SM)	0.4	0.3	$D_{50}=0.3\sim 0.009\text{mm}$
충적층(CL-CH)	0.16	0.12	

그러므로 잔류토층 상부의 연약점토인 CH, CL 층에서 CPT와 SPT의 상관관계를 실무에 적용하는 것은 한계가 있을 것으로 판단된다. 이러한 상관관계는 N값에 대한 에너지 보정을 적용하지 않은 것이므로,  $N_{60}$ 으로 보정하여 Table 3과 같이 다시 정리하였다.

국내의 일부 잔류토층에 대한 SPT와 CPT의 상관관계는  $q_t/N=0.3$ 으로 평가되었으며, 외국의 자료인 Fig. 4와 비교해 보면  $q_t/N$ 의 상관관계가  $D_{50}$ 이 0.3~0.009mm의 범위에서 0.42~0.32로 국내의 상관관계가 비교적 작게 평가된 것을 볼 수 있다. 하지만 Fig. 3(b)의 싱가포르 잔류토에 대한 관계  $q_t/N=0.2$  보다는 크게 평가 된 것을 볼 수가 있다. 국내 잔류토층에 대한  $q_t/N$ 의 상관관계가 외국의 연구 결과와 비교해 볼 때 크게 차이가 없는 비슷한 양상을 보이는 것으로 평가된다.

흙의 변형특성은 변형계수(deformation modulus)로 나타낼 수 있으며, 응력이력, 응력수준, 배수조건 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. CPT 결과를 이용한 지반의 변형계수 측정방법은 간접적인 방법과 직접적인 방법으로 나누는데, 점토 지반의 경우 지반의 비배수강도로부터 지반의 변형계수를 구하는 간접적인 방법을 쓰는 반면 사질토 지반의 경우 CPT의  $q_t$  값으로부터 직접 지반의 변형계수를 구하는  $E=2q_t$ 의 직접적인 방법을 적용한다. Schmertmann(1970)의 얇은기초 침하량을 구하는 공식에서  $E=2q_t$  식을 제안하고 있다. 하지만  $2q_t$  값은 2.0~6.0까지 광범위하게 적용하고 있으며 실트질 모래(SM)의 경우 2.0을 적용하고 있다. Barata(1983)는 실트질 모래(SM)층에 CPT와 평판재하시험을 수행하여 편마암으로부터 풍화되어 형성된 지반의 변형계수와 CPT의  $q_t$  값과의 상관성을 비교한 결과  $E=1.2q_t$  값을 제안하였다. 그러나 상대밀도가 커지는 지반일수록  $2q_t$  값은 증가하는 것으로 평가하였다.

그러므로 풍화잔류토층(SM)의 변형계수를 추정하기 위한  $\mu$ 값은 1.2~2.0이 적절할 것으로 판단되며 이 경우 국내지반의 잔류토층에 적용할 수 있는 지반의 변형계수는  $E = (1.2 \sim 2.0) \cdot 0.3N$  (MPa)의 범위를 갖는 것으로 분석된다. 즉,  $E = (360 \sim 600)N$  (kPa)으로 지반의 상대밀도에 따라 차이가 있는 것으로 판단된다.

## 5. 결론

국내의 일반적인 기초설계는 표준관입시험 결과를 많이 이용하고 있으나 콘관입시험의 효용성으로 인하여 그 시험의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 두 시험결과와 상관관계에 대한 연구는 많이 이루어지고 설계에 적용되고 있으나, 잔류토층에 대한 상관관계는 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 국내 일부 현장에서 모암이 화강암, 화강섬록암, 화강편마암인 잔류토층에서 수행된 콘관입시험과 표준관입시험의 결과를 토대로 그 상관관계에 대한 연구를 하였으며 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 국내에서 수행된 표준관입시험의 에너지효율은 45~50% 범위에 있으며 본 연구를 위해 추가적으로 수행한 에너지효율 측정에서도 평균 46%의 범위에 있는 것으로 평가되었다.
- 2) 표준관입시험시 sampler에서 회수된 시료의 체분석, 기본물성시험 결과 본 연구대상 지층은 실트질 모래층으로 흙의 통일분류법에 의해 SM으로 평가되었다.
- 3) 잔류토층에서  $q_t(\text{MPa})/N$ 은 0.2~0.48의 분산을 보이는 것으로 분석되었으며, 평균적으로  $q_t(\text{MPa})/N_{60}=0.3$ 을 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 분산정도는 기존의 외국문헌과 비교할 때 양호한 정도로 평가되며, 콘 장비 관입성의 한계로 인해 N치가 25 이내인 지반의 시험결과를 분석하였으나 N치가 증가할수록 자료의 분산정도가 작아지고 상관성이 좋아지는 것을 볼 때 N치가 큰 잔류토층에 적용 가능할 것으로 기대된다.
- 4) 잔류층 상부의 충적점토층은 N치가 10 이하로 평가되었으며 N치가 작을수록 SPT의 N치와 CPT

의  $q_t$ 와의 상관관계는 분산이 매우 큰 것으로 조사되어  $q_t(\text{MPa})/N$ 이 0.07~0.4 범위에 분포하는 것으로 분석되었는데, 이는 연약점토층에서 SPT의 신뢰도 문제로 인해 분산이 커졌기 때문인 것으로 판단된다.

- 5) 잔류토층에 대한 변형계수를 기존의 연구자료와 본 연구의 결과인  $q_t(\text{MPa})/N=0.3$ 을 적용하여 간접적으로 평가해본 결과, 국내 실트질 모래(SM)로 분류되는 잔류토층에서  $E(\text{kPa})=(360 \sim 600)N$ 으로 분석되었다.

## 참고문헌

1. 박용원, 이호준 (1996). 표준관입시험의 해머에너지 수준. Hammer Energy Level of SPT in Korea. 한국지반공학회지 1996, 10 v. 12, n.5, pp. 117-126 1225-9632
2. Ajayi, L.A. and Balogun, L.A. (1988). Penetration testing in tropical lateritic and residual soils-Nigerian experience. Proceeding of the International Symposium on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, 2, 315-28, Balkema Pub., Rotterdam.
3. Barata, F.E. (1983). Soil Mechanis. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro (in Portuguese).
4. Brand, E.W. and Phillipson, H.B. (1985). Review of international practice for the sampling and testing of residual soils. Sampling and Testing of Residual Soils: a Review of International Practice, 7-21, Scorpion Press, Hong Kong
5. Chang, M.F. (1988). In Situ testing of residual soils in Singapore. Proceedings of the 2nd International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore, 2, 97-108, Balkema Pub., Rotterdam.
6. Danziger, B.R. and Velloso, D.A. (1995). Correlations between the CPT and the SPT for some Brazilian soils. Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT '95, Linkoping, Sweden, 2, 155-160, Swedish Geotechnical Society.
7. Lunne, T., Robertson, P.K., Powell John J.M. (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, Blackie Academic and Professional, London. UK.



- 
8. Meigh, A.C. and Nixon, I.K. (1961). Comparison of In Situ Tests for Granular Soils. Proc. 5th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, Vol. 1, 499-507
  9. Meyerhof, G.G.(1956). Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 82, No SMI, January, 866, 1-18.
  10. Peuchen, J., Brusse, M., van Staveren, M., van de Graaf, H. and Nohl, W. (1995). New concepts for CPT standardisation in the Netherlands. Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT '95, Linkoping, Sweden, 2, 67-72, Swedish Geotechnical Society.
  11. Richard S. Olsen (1994). Normalization and Prediction of Geotechnical Properties Using the Cone Penetrometer Test(CPT). PhD. Thesis, University of California at Berkeley.
  12. Robertson, P.K., Campanella, R.G. and Wightman, A. (1983). SPT-CPT Correlations. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 109, No 11, 1449-1459.
  13. Schmertmann, J.H. (1970). Static cone to compute static settlement over sand. ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 96, No. SM3, May, 1011-1043.
  14. Skempton, A.W. (1986). Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. Geotechnique 36, No. 3, 425-447.

(접수일자 : 2003년 5월 19일)