

국내 점성토지반의 피에조콘 계수 결정

Evaluation of Piezocone Factors of Clayey Soils in South Korea

이선재¹⁾, Sun-Jae Lee, 김명모²⁾, Myoung-Mo Kim

- 1) 서울대학교 공과대학 토목공학과 박사과정, Ph. D. Student, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l Univ.
- 2) 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l Univ.

SYNOPSIS : Evaluation of the undrained shear strength from piezocone penetration test is one of the most frequently studied items after the development of CPT and many theoretical models for this item were proposed. But, it is very difficult to evaluate the undrained shear strength from theoretical methods because the behavior of soil adjacent to penetrating cone is very complex. In this paper empirical piezocone factors for evaluating the undrained shear strength are presented and the relationships between piezocone factors and plasticity index, OCR are investigated.

주요어 : undrained shear strength, piezocone penetration test, piezocone factor, plasticity index, OCR

1. 서론

피에조콘 관입시험은 매우 신속하고 정확하게 지반의 상태를 파악할 수 있는 현장시험으로 현재 지반조사를 위해 가장 많이 시행되고 있는 방법중의 하나이다. 피에조콘 관입시험을 통하여 추정할 수 있는 지반의 특성으로는 흙의 종류, 연경도, 강도정수, 변형계수, 응력이력, 그리고 압밀특성 등이 있으며, 특히 비배수 전단강도의 산정은 콘 관입시험이 개발된 이후로 가장 많이 연구된 항목이다.

콘 관입시험을 통하여 점성토의 비배수 전단강도를 추정하기 위한 여러 가지의 이론적 방법들이 제안되었다. 그러나, 콘이 지반에 관입될 때 콘 주변 흙의 응력 및 간극수압의 변화는 매우 복잡해서 이론적 접근을 통하여 비배수 전단강도를 산정하는 것은 매우 어려울 뿐만 아니라, 흙의 특성을 광범위하게 고려하지 못하기 때문에 국내 지반에 이 방법들을 검증없이 적용하는데는 무리가 있다. 또한, 현재 비배수 전단강도를 산정하기 위하여 가장 많이 사용되는 콘계수 방법에서도 기존에 제안된 연구결과들에 의하면 지반조건, 응력이력, 그리고 소성지수에 따라 그 값이 다를 수 있기 때문에 국내에 적용하기 위해서는 이에 대한 확인이 필요하다.

이 연구에서는 점성토의 비배수 전단강도 추정을 위한 콘계수를 국내에 분포하는 점성토의 특성별로 산정하였고 응력이력 및 소성지수와 콘계수의 관계를 고찰하였다.

2. 비배수 전단강도의 산정방법

콘이 지반에 관입될 때 원추관입 저항력과 비배수 전단강도는 말뚝의 선단지지력 산정 공식으로서 잘 알려진 바와 같이 다음의 식 (1)과 같은 관계에 있다.

$$q_c = N_c s_u + \sigma_v N_q \quad (1)$$

여기서, q_c 는 원추관입 저항력, N_c 와 N_q 는 무차원 지지력계수, s_u 는 비배수 전단강도, 그리고 σ_v 는 원위 치 상태에서의 총 응력이다. 콘이 점성토지반에 관입될 때 지반의 파괴는 비배수 상태에서 일어나므로 지지력계수 N_q 는 1이 된다. 따라서 식 (1)은 식 (2)와 같이 된다.

$$q_c = N_c s_u + \sigma_v \quad (2)$$

표 1에 나타난 바와 같이 소성이론을 이용한 말뚝의 지지력 산정과 관련된 일련의 연구들에 의하면 N_c 는 7.0~9.94의 값을 가진다. 또한, 콘이나 말뚝의 관입을 구형 공동이 팽창되는 것과 같다고 가정한 구형 공동팽창이론에 의하면 N_c 는 표 1에서와 같이 강성지수의 함수로서 나타낼 수 있다.

표 1. 원형 깊은기초의 이론적 지지력계수(Konrad and Law, 1987)

$N_c(\phi=0)$	σ_v	해석이론	비고	참고
7.41	σ_{vo}	고전적 소성이론		Terzaghi(1943)
7.0				Caquot and Kerisel(1956)
9.34			유연한 저면	Meyerhof(1951)
9.74			거친 저면	
9.94				de Beer(1977)
$\frac{4}{3} \left[1 + \ln \frac{E_t}{3s_u} \right] + 1$	σ_{vo}	소성이론과 결합된 공동팽창이론	구형 공동팽창이론 E_t : 초기 접선계수	Meyerhof(1951)
$\frac{4}{3} \left[1 + \ln \frac{E_s}{s_u} \right] + 1$			구형 공동팽창이론 E_s : 초기 할선계수	Skempton(1951)
$\frac{4}{3} \left[1 + \ln \frac{E_t}{3s_u} \right] + \cot \theta$			구형 공동팽창이론	Gibson(1950)
$\frac{4}{3} \left[1 + \ln \frac{E_s}{s_u} \right] + \cot \theta$			구형 공동팽창이론 (유한변형을 이론)	Gibson(1950)
$\frac{4}{3} [1 + \ln I_R]$			구형 공동팽창이론	Vesić (1972)
$\frac{4}{3} [1 + \ln I_R] + 2.57$	σ_o	공동팽창에 따른 에너지 보존법칙 적용	구형 공동팽창이론	Vesić (1975)
$[1 + \ln I_R] + 11$	σ_{ho}		실린더형 공동팽창이론	Baligh(1975)

참고) I_R : 강성지수(= $G/s_u = E_u/3s_u$), σ_o : 평균 총 수직응력(= $(\sigma_{vo} + 2\sigma_{ho})/3$), θ : 선단각의 1/2

1978년 Schmertmann은 식 (2)에 근거하여 식 (3)과 같이 비배수 전단강도를 산정하는 경험적인 방법을 제안하였다.

$$s_u = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N_k} \quad (3)$$

여기서, q_c 는 원추관입 저항력, σ_{vo} 는 총 수직응력, 그리고 N_k 는 N_c 와 같은 개념의 무차원 계수인 콘계 수로서 흙의 특성 및 시험 방법 등에 따라 경험적으로 산정되는 값이다.

또한, 1985년 Lunne et. al.은 피에조콘을 사용할 때의 부등단면적 효과를 고려한 보정 원추관입 저항력을 사용하여 식 (4)와 같은 방법을 제안하였다.

$$s_u = \frac{q_T - \sigma_{vo}}{N_{kT}} \quad (4)$$

여기서, q_T 는 피에조콘을 사용할 때 부등 단면적 효과를 고려한 원추관입 저항력이고 N_{kT} 는 피에조콘 계수이다.

1980년 Baligh와 Levadox는 콘이 지반에 관입될 때 주변지반의 응력과 간극수압 변화를 해석적으로 알아보기 위하여 변형을 경로법을 이용하였는데, 1991년 Houlsby와 Teh는 이 변형을 경로법을 이용하여 피에조콘 계수 N_{kT} 를 식 (5)와 같이 유도하였다.

$$N_{kT} = 1.25 + 1.84 \ln(I_r) + 2\alpha_f - 2\Delta \quad (5)$$

여기서, I_R 은 강성지수, α_f 는 원추 거칠기 계수, 그리고 Δ 는 무차원계수로서 각각 아래의 식 (6) 및 식 (7)과 같다.

$$\alpha_f = \frac{\sqrt{3}\tau_f}{2s_u} \quad (6)$$

여기서, τ_f 는 원추면에서의 전단응력이다.

$$\Delta = \frac{\sigma_{ho} - \sigma_{vo}}{2s_u} \quad (7)$$

여기서, σ_{ho} 는 총 수평응력이고 σ_{vo} 는 총 수직응력이다.

한편, 공동팽창이론(Vesić, 1972)에 의하면 점성토의 비배수 전단강도는 피에조콘 관입시험시 발생하는 과잉간극수압과 식 (8)과 같은 관계에 있다.

$$s_u = \frac{u_{bt} - u_o}{N_{\Delta u}} \quad (8)$$

여기서, u_{bt} 는 측정된 간극수압, u_o 는 정수압, 그리고 $N_{\Delta u}$ 는 N_{kT} 와 마찬가지로 강성지수 등에 의해 좌우되는 피에조콘 계수로서 식 (9)와 같다.

$$N_{\Delta u} = \frac{4}{3} \ln I_R + 0.67(3A_f - 1) \quad (9)$$

여기서, I_R 은 강성지수이고 A_f 는 파괴시의 간극수압계수이다.

1993년 Chen과 Mayne은 구형 공동팽창이론에 Modified Cam Clay모델을 적용하여 비배수 전단강도와 피에조콘 관입시험 결과와의 관계를 식 (10)과 같이 나타내었다.

$$s_u = \frac{q_T - u_{bt}}{N_{qu}} \quad (10)$$

여기서, q_T 와 u_{bt} 는 각각 다공질 필터가 원추뒷면에 위치한 경우의 원추관입 저항력과 간극수압이며 N_{qu} 는 피에조콘 계수로서 유효마찰각과 소성 부피 변형을 비의 함수이다.

3. 콘계수

앞 절에서 보인 바와 같이 콘 관입시험을 통하여 비배수 전단강도를 산정하는 이론적 방법은 많은 가정이 포함되어 있을 뿐만 아니라 원추면에서의 전단응력을 추정해야 하는 등 어려움이 있고, 강성지수 등과 같이 측정이 쉽지 않은 변수들이 많이 포함되어 있어 실제문제에 적용하는데는 어려움이 많다. 따라서, 콘 관입시험의 결과를 이용하여 점성토지반의 비배수 전단강도를 추정하기 위해서는 경험적인 방법이 사용되는데, 이는 식 (4), 식 (5), 그리고 식 (6)에 나타난 콘계수를 경험적인 방법으로 산정함으로써 가능하다.

비배수 전단강도와 콘 관입시험 결과의 비교를 통하여 콘계수를 제안한 사람들은 매우 많다. 이들의 결과는 표 2와 같다.

표 2. 기존에 제안된 콘계수

지역	비배수 전단강도 측정방법	콘계수	비고
노르웨이 일부지역	현장 베인전단시험	$N_k = 13 \sim 19$	Lunne et. al.(1976)
북해	등방압밀 삼축압축시험	$N_k = 17$	Kjekstad et. al.(1978)
런던	평판재하시험	$N_k = 10 \sim 30$	Marsland(1974) Marsland and Powell(1979)
영국 북부	등방압밀 삼축압축시험	$N_k = 12 \sim 20$	Nash and Duffin(1982)
노르웨이 일부지역	현장 베인전단시험	$N_k = 12 \sim 19$	Lacasse and Lunne(1982)
이탈리아	현장 베인전단시험	$N_k = 8 \sim 16$	Jamiołkowski et. al.(1982)
	Ko압밀 삼축압축시험	$N_k = 8 \sim 10$	
벤쿠버	현장 베인전단시험	$N_k = 8 \sim 10$	Konrad et. al.(1985)
	공내재하시험		
-	문헌고찰	$N_{kT} = 4 \sim 32$	Powell and Quaternmann(1988)
캐나다 일부지역	현장 베인전단시험	$N_{du} = 2 \sim 10$	Campanella et. al.(1985)
캐나다 일부지역	현장 베인전단시험	$N_{du} = 6.2 \sim 7.0$	Konrad et. al.(1985)
대만	등방압밀 삼축압축시험	$N_{qu} = 5.0 \sim 6.8$	Chen and Mayne(1993)
	이방압밀 삼축압축시험	$N_{qu} = 6.0 \sim 7.2$	

표 2와 같이 콘계수는 각 지역에 따라, 즉 점성토의 특성에 따라 다소간의 차이를 가지며 비배수 전단강도의 측정방법에 따라 다른 값을 가짐을 알 수 있다.

4. 국내에서 시행한 현장시험 및 실내시험 결과

이 연구에서는 국내에 분포하는 여러 점성토에 대한 피에조콘 계수를 산정하기 위하여 경기도, 충청남도, 전라남도, 그리고 경상남도의 여러 지역에서 피에조콘 관입시험을 시행하였다. 경기도 지역에서는 안중-평택간 도로확장공사 현장(이하 평택현장), 시흥시청 신축현장(이하 시흥현장), 그리고 인천 영종도 신공항 건설현장(이하 영종도 현장)에서 시험을 수행하였다. 평택현장은 소성이 작은 점토층이 약 7m의 두께로 존재하며 점토층내에 나무뿌리 등과 같은 물질들이 다소 포함되어 있으며, 점토층 하부에 모래질 자갈층이 있는 지역이며, 시흥현장은 1m내외의 두께를 가진 소성이 작은 점토층과 실트질 모래가 존재하고 있다. 또한, 영종도 현장은 소성이 작은 점토가 10m내지 20m정도 존재하며 점토층 중간중간에 실트질 모래층이 산재해 있는 지층구성을 나타낸다.

충청남도 지역에서는 서천-군산간 고속도로 건설현장(이하 서천현장)과 아산항 기지 건설현장(이하 아산현장)에서 시험을 수행하였는데, 서천현장은 소성이 작은 점토가 10m내지는 20m이상의 두께로 분포하며 점토층 상하부에 실트층이 존재하고 있으며, 아산현장은 소성이 작은 점토가 10m정도의 두께로 존재하며 중간에 실트질 모래층이 분포하는 지역이다.

전라남도와 경상남도 지역에서는 각각 영산강 유역개발 현장(이하 영암현장)과 양산-구포간 고속도로 현장(이하 양산현장)에서 시험을 실시하였는데, 영암현장은 소성이 비교적 큰 점토가 10m내지 15m의 두께로 비교적 균질하게 존재하고 있으며, 양산현장은 중간에 실트질 모래층을 포함하고 있는 점토층이 약 30m두께로 존재하고 있다. 각 현장의 점토에 대한 소성지수와 과압밀비는 표 3과 같다.

각 현장에서 점토의 비배수 전단강도를 측정하기 위하여 현장 배인전단시험을 실시하였고, 비교란 시료를 채취하여 삼축압축시험을 실시하였다. 그림 1~그림 9에는 피에조콘 관입시험 결과와 현장 배인전단시험 및 등방압밀 삼축압축시험과 이방압밀 삼축압축시험 으로부터 산출한 비배수 전단강도가 나와 있다(단, 각 현장에서 가장 대표적인 결과가 하나씩 나와 있다). 시험에 사용한 피에조콘은 선단각이 60°, 저면적이 10cm², 그리고 마찰슬리브 표면적이 150cm²이며, 그리고 간극수압 측정을 위한 다공질필터가 원추 바로뒷면에 위치한 형태이다.

표 3. 각 현장 점성토의 소성지수 및 과압밀비

현장	소성지수(%)	과압밀비	통일분류기호	
경기도	평택	17~26(평균 22)	3.3~3.8(평균 3.6)	CL
	시흥	21~24(평균 23)	1.0~1.3(평균 1.2)	CL
	영종도-1	17~25(평균 21)	1.4~2.3(평균 1.9)	CL
	영종도-2	14~26(평균 20)	1.4~2.4(평균 1.9)	CL
충청남도	서천-1	11~20(평균 15)	1.1~1.7(평균 1.4)	CL
	서천-2	21~26(평균 24)	1.0~1.7(평균 1.4)	CL
	아산	17~22(평균 20)	1.1~1.6(평균 1.4)	CL
전라남도	영암	27~35(평균 31)	1.6~4.2(평균 2.9)	CH
경상남도	양산	8~32(평균 20)	1.0~2.0(평균 1.5)	CL

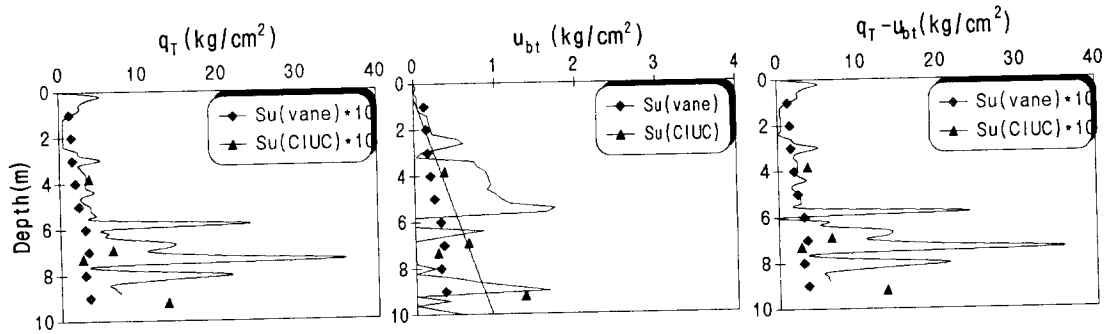
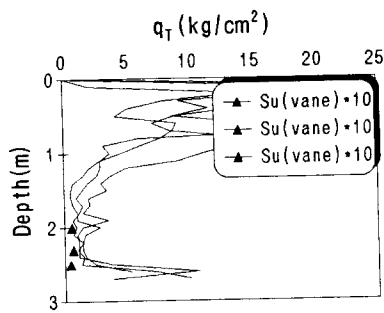


그림 1. 평택현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교



* 시험시 콘의 포화불량으로 간극수압과 관련된 자료는 배제하였음

그림 2. 시흥현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교

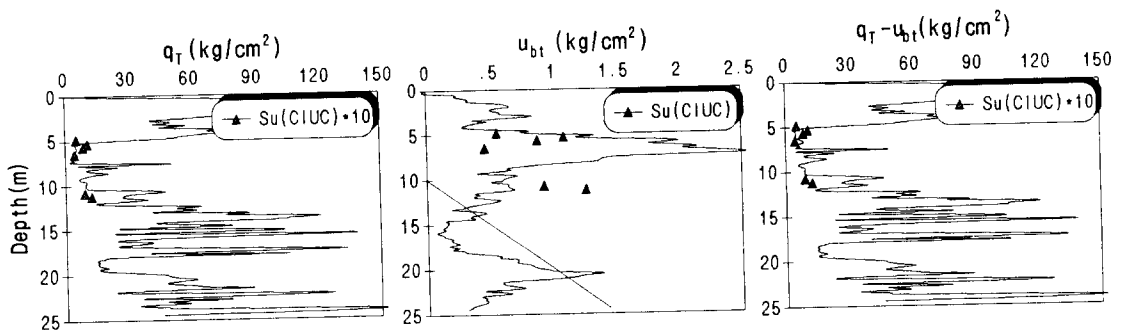


그림 3. 영종도-1현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교

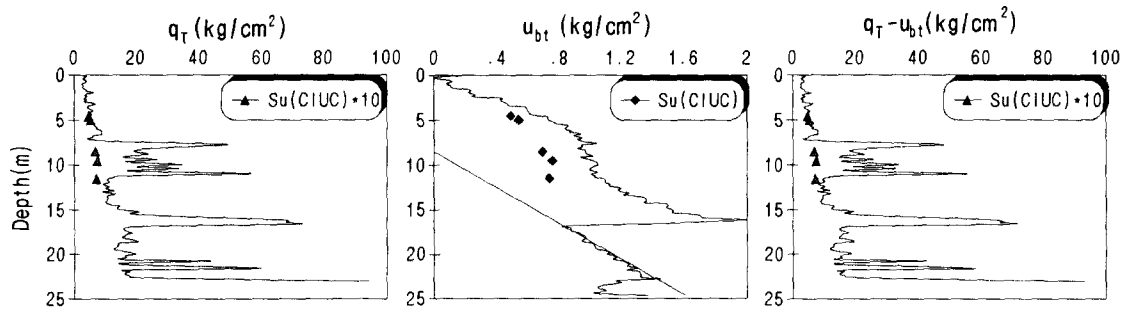


그림 4. 영종도-2현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교

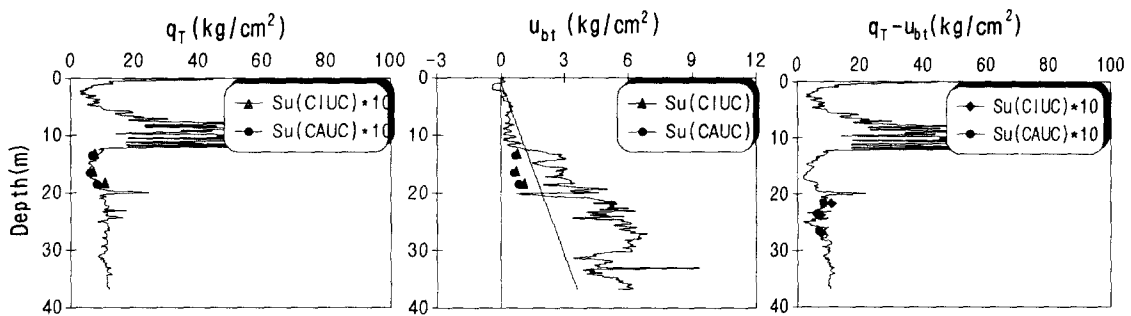


그림 5. 서천-1현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교

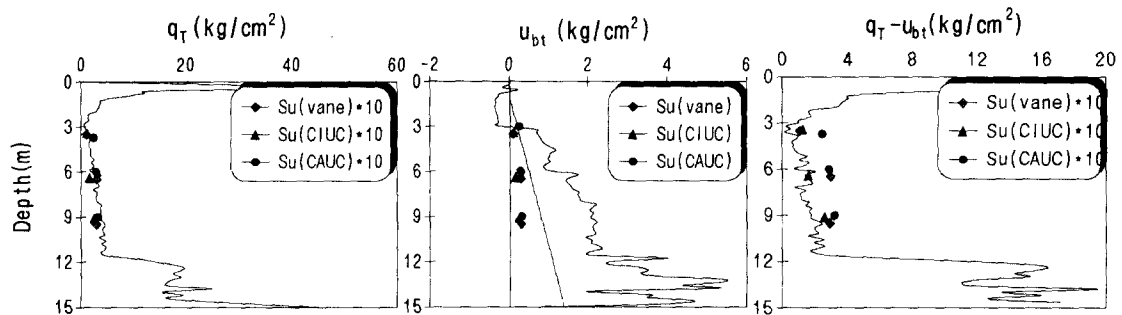


그림 6. 서천-2현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교

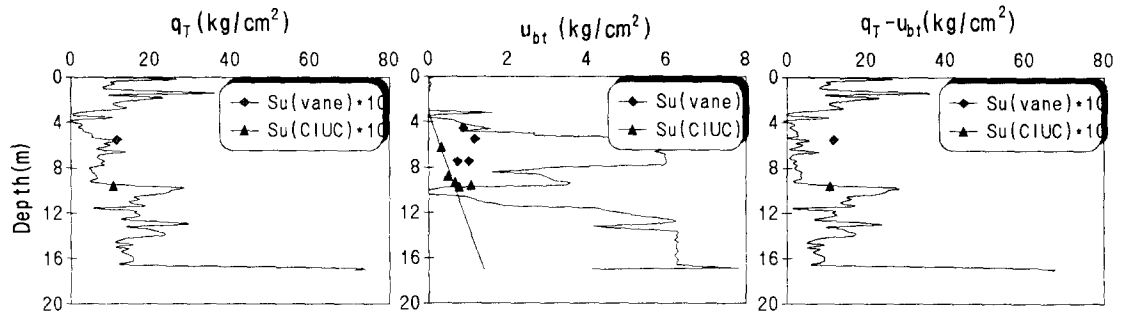


그림 7. 아산현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교

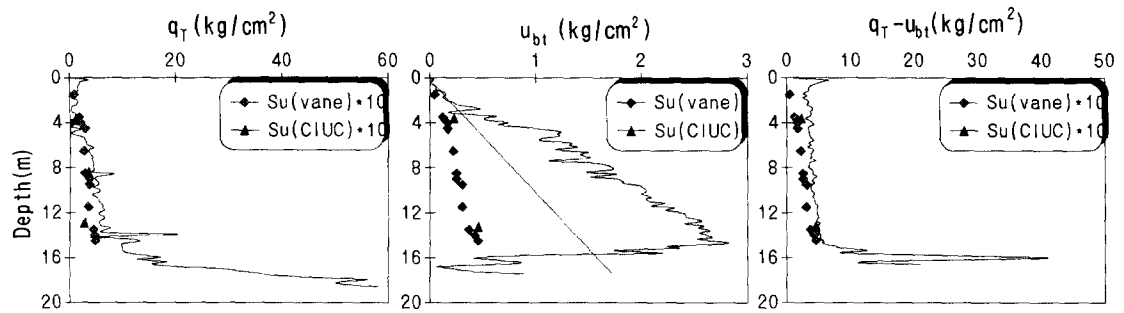


그림 8. 영암현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교

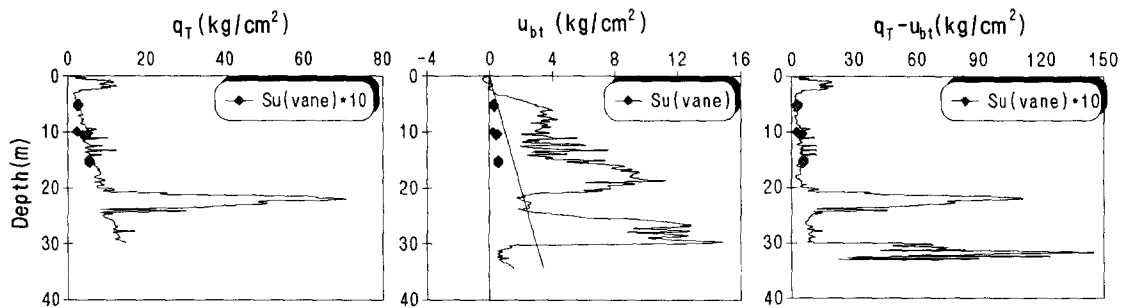


그림 9. 양산현장의 피에조콘 관입시험 결과와 비배수 전단강도 비교

5. 국내 점성토지반의 피에조콘 계수 산정

이 연구에서는 그림 1~그림 9의 비배수 전단강도와 피에조콘 관입시험 결과를 비교함으로써 N_{KT} , N_{du} , 그리고 N_{qu} 를 산정하였다. 피에조콘 계수는 앞에서 언급한 바와 같이 시험 방법 및 점성토의 특성에 따라 그 값이 달라지므로 소성지수와 과압밀비를 기준으로 하여 평택현장(평균소성지수 22, 평균 과압밀비 3.6), 영암현장(평균 소성지수 31, 평균 과압밀비 2.9), 그리고 나머지 현장(평균 소성지수 15~24, 평균 과압밀비 1.2~1.9)으로 구분하여 피에조콘 계수를 산정하였다. 표 4에는 비배수 전단강도 측정방법에 따른 평균 피에조콘 계수가 나와 있고, 산정된 계수 각각에 대하여 분산정도를 점검하고자 식 (11)과 같이 정의되는 분산계수(V)를 계산하여 수록하였다.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad (11)$$

여기서, σ 는 표준편차이고 \bar{x} 는 평균 값이다.

표 4. 점성토의 특성에 따른 피에조콘 계수

현장 및 점토특성		피에조콘 계수		S_u 측정	N_{KT}	V(%)	N_{du}	V(%)	N_{qu}	V(%)
		S_u 측정	N_{KT}	V(%)	N_{du}	V(%)	N_{qu}	V(%)		
나머지 현장	평균 과압밀비 1.2~1.9	Vane	9.6	10	5.4	10	13.4	34		
	평균 소성지수 15~24%	CIUC	13.0	12	3.0	32	13.2	12		
영암 현장	평균 과압밀비 2.9	Vane	13.9	24	2.9	12	28.1	58		
	평균 소성지수 31%	CIUC	14.3	46	2.5	21	19.0	43		
평택 현장	평균 과압밀비 3.6	Vane	21.2	10	1.7	17	23.6	13		
	평균 소성지수 22%	CIUC	44.6	31	1.9	21	32.1	41		

참고) 이방압밀 삼축압축시험에 대한 피에조콘 계수도 산정하였으나 데이터 수가 6개에 지나지 않아 배제하였음.

표 4에서 보면 분산계수는 N_{qu} 의 경우 등방압밀 비배수 삼축압축시험으로 비배수 전단강도를 측정할 경우에 작게 나왔으나, N_{KT} 와 N_{du} 경우 현장 배인전단시험을 통하여 비배수 전단강도를 측정할 경우에 더 작기 때문에 각 현장에서 현장 배인전단시험을 통한 비배수 전단강도를 기준으로 하여 산정한 콘 계수에 대해서 논의하고자 한다.

N_{KT} 값은 표 4에서와 같이 각 현장별(점성토의 특성별)로 각각 9.6, 13.9, 그리고 21.2로 산정되었다. 이 값들을 기존의 연구결과와 비교했을 때, 그림 10과 같이 Marsland(1974), Marsland and Powell(1979)와 Powell and Quartermann(1988)이 제안한 값의 범위안에 들고 있으며 그외의 다른 결과와도 잘 일치하고 있다. 한편, N_{KT} 의 과압밀비에 대한 경향은 표 4에서 알 수 있듯이 과압밀비가 증가함에 따라 그 값이 증가함을 알 수 있는데, 이는 De Ruiter(1982)의 문헌고찰 연구에 제시된 내용과 일치한다. 또한, Konrad and Law(1987)는 여러 사람들의 연구 결과를 바탕으로 소성지수와 콘계수 간에는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않는다고 제시하였는데, 이 연구결과에서도 소성지수에 대한 콘계수의 경향은 일정하지 않은 것으로

로 나타났다.

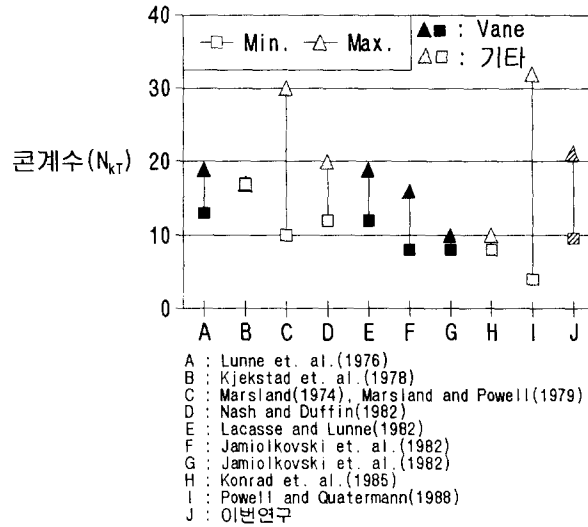


그림 10. $N_{KT(vane)}$ 값의 기존 결과와의 비교

$N_{\Delta u}$ 값은 표 3과 같이 점성토의 특성에 따라 각각 5.4, 2.9, 그리고 1.7로 산정되었다. 이 값들은 그림 11에서와 같이 Campanella et. al.(1985)이 제안한 값과 잘 일치하고 있으나, Konrad et. al.(1985)의 결과에 비해서는 그 평균값에서 약 50%정도 작게 산정됐음을 알 수 있다. 한편, 과압밀비에 대한 $N_{\Delta u}$ 의 경향은 과압밀비가 증가함에 따라 그 값이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 추가적인 연구를 통한 비교검증이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 소성지수에 대한 $N_{\Delta u}$ 의 경향은 표 4에서 알 수 있듯이 불규칙한 것으로 나타났다.

N_{qu} 값은 점성토의 특성에 대하여 각각 13.2, 19.0, 그리고 23.6으로 산정되었는데, 그림 11과 같이 기존의 연구결과에 비해 약 3~4배 정도 큰 값을 알 수 있다. 한편, N_{qu} 의 과압밀비와 소성지수에 대한 경향은 N_{KT} 및 $N_{\Delta u}$ 와 마찬가지로 과압밀비가 증가할수록 그 값이 증가하며 소성지수에 대해서는 불규칙한 것으로 나타났다.

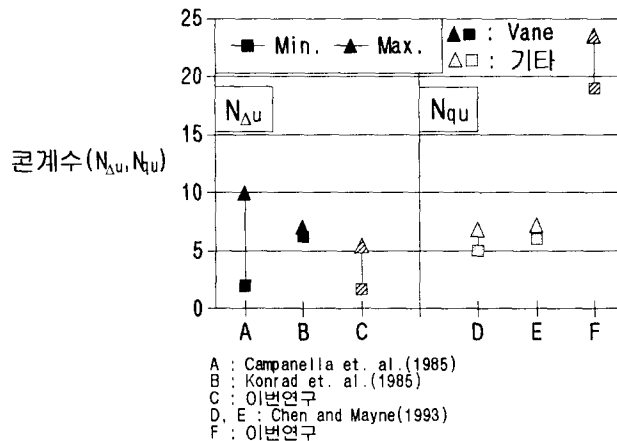


그림 11. $N_{\Delta u(vane)}$ 및 $N_{qu(vane)}$ 값의 기존 결과와의 비교

한편, 삼축압축시험으로 산출한 비배수 전단강도를 토대로 한 피에조콘 계수 N_{kT} , N_{Ju} , 그리고 N_{qu} 를 기존의 연구결과와 비교하면 그림 12 그림 13과 같다.

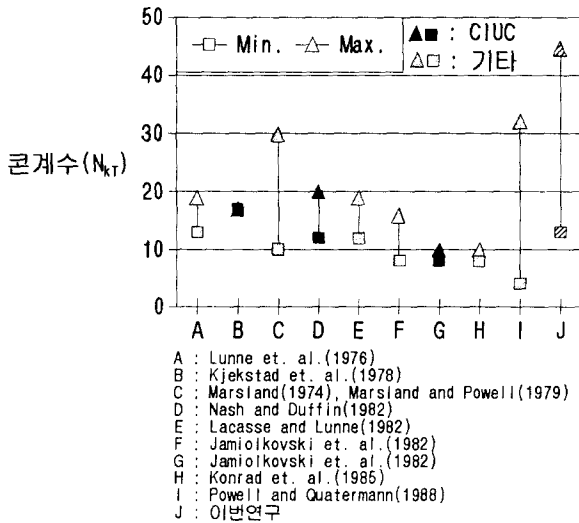
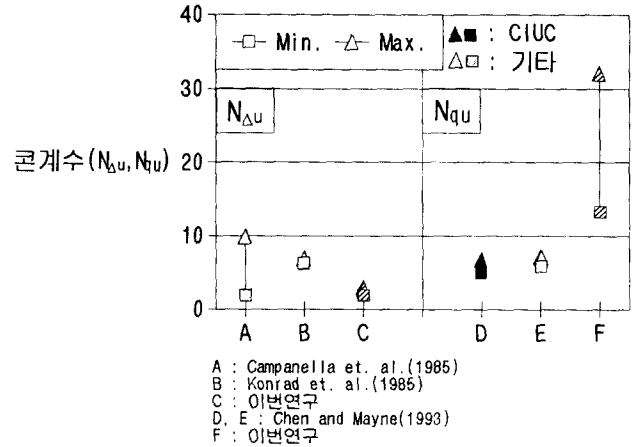


그림 12. $N_{kT(CIUC)}$ 값의 기존 결과와의 비교그림



13. $N_{Ju(CIUC)}$ 및 $N_{qu(CIUC)}$ 값의 기존 결과와의 비교

그림 12 및 그림 13과 같이 삼축압축시험을 통하여 산정한 피에조콘 계수 N_{kT} 는 기존의 결과에 비해 그 평균값에서 2배이상 크게 산정되었으며 N_{Ju} 는 약 50%정도 작은 값으로 산정되었고, N_{qu} 는 약 3배 정도 큰값으로 산정되었다. 그러나, 소성지수 및 과압밀비의 관계는 표 4에서 알 수 있듯이 세가지 계수 모두 현장 배인전단시험에 의한 결과와 일치하고 있다.

6. 결론

- 1) 국내 점성토지반에서 산정한 피에조콘 계수 $N_{kT(vane)}$ 는 해외에서 제안된 값과 비교해 볼 때 합리적인 값으로 생각되며, 소성지수와는 특별한 관계가 없고 과압밀비가 증가함에 따라 그 값이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 기존에 연구된 결과와 일치한다.
- 2) 피에조콘 계수 $N_{Ju(vane)}$ 는 기존의 연구결과와 대체로 일치하게 산정되었으며, 과압밀비가 증가함에 따라 그 값이 감소하는 것으로 나타났고 소성지수에 따라서는 경향성이 없는 것으로 나타났다.
- 3) $N_{qu(vane)}$ 값은 분산계수를 비교하면 본 연구의 경우 $N_{kT(vane)}$ 및 $N_{Ju(vane)}$ 에 비해 신뢰성이 가장 작다고 할 수 있다.
- 4) 삼축압축시험을 통하여 비배수 전단강도를 측정했을 때의 피에조콘 계수($N_{kT(CIUC)}$, $N_{Ju(CIUC)}$, $N_{qu(CIUC)}$)는 현장 배인전단시험에 의한 결과보다 그 분산계수가 크게 나왔다. 또한, 기존의 값과 비교했을 때 본문에 보인 바와 같은 차이를 나타내었다.

7. 감사의 글

이 연구는 동부건설(주) 기술연구소의 지원협력 아래 이루어진 것으로 김의성 소장님 이하 관계자 여러분에게 진심으로 감사드립니다.

8. 참고문헌

- 1) Campanella, R. G., Robertson, P. K., Gillespie, D. G. and Greig, J.(1985), "Recent developments in insitu testing of soils", *Proceedings of 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Fransisco, pp. 849-854
- 2) Chen, B. S.(1994), "Profiling stress history of clays using piezocones with dual pore pressure measurements", *Ph. D. Thesis*, Georgia Institute of Technology
- 3) Chen, B. S. and Mayne, P. W.(1993), "Piezocone evaluation of undrained shear strength in clays", *Proceedings of 11th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Singapore, pp.91-98
- 4) De Ruiter, J.(1982), "The static cone penetration test, State-of-the-Art Report", *Proceedings of Second European Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, Vol. 2, pp. 389-405
- 5) Jamiolkovski, M., Lancellotta, R., Tordella, L. and Battaglio, M.(1982), "Undrained strength from CPT", *Proceedings of Second European Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, Vol. 2, pp. 599-606
- 6) Kjekstad, O., Lunne, T. and Clausen, C. J. F.(1978), "Comparison between insitu cone resistance and laboratory strength for overconsolidated North Sea clays", *Marine Geotechnology*, Vol. 3, No. 4
- 7) Konrad, J. M., Bozozuk, M. and Law, K. T.(1985), "Study of insitu test methods in deltaic silt", *Proceedings of 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Fransisco, pp. 879-886
- 8) Konrad, J. M. and Law, K. T.(1987), "Undrained strength from piezocone tests", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 24, pp. 392-405
- 9) Lacasse, S. and Lunne, T.(1982), "Penetration tests in two Norwegian clays", *Proceedings of Second European Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, Vol. 2, pp. 661-669
- 10) Lunne, T., Eide, O. and De Ruiter, J.(1976), "Correlation between cone resistance and vane shear strength in some Scandinavian soft to medium stiff clays", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 13, pp. 430-441
- 11) Marsland, A.(1974), "Comparison of the results from static penetration tests and large in-situ plate tests in London clay", *BRE*, CP 87/74
- 12) Marsland, A. and Powell, J. J. M.(1979), "Evaluating the large scale properties of glacial clays for foundation design", *Proceedings of BOOS*, Vol. 1, pp. 193-214
- 13) Nash, D. F. T. and Duffin, M. J.(1982), "Site investigation of glacial soils using cone penetration tests", *Proceedings of Second European Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, Vol. 2, pp. 733-738
- 14) Powell, J. J. M. and Quarterman, R. S. (1988), "The interpretation of CPT in clays with reference to rate effects", *Proceedings of 1th International Symposium on Penetration Tests*, Balkema, Vol. 2, pp. 903-910
- 15) Schmertmann, J. H.(1978), "Guidelines for cone penetration test, Performance and Design", *Federal Highway Administration, Report FHWA-TS-78-209*, Washington, July, 145pgs
- 16) Teh, C. I. and Houlsby, G. T.(1991), "An analytical study of the cone penetration test in clay", *Geotechnique*, Vol. 1, pp. 17-34