

인천국제공항 부지 해성 점토에 대한 피에조콘과 dilatometer 시험 결과 비교 Comparison of Piezocone and Dilatometer Test Results on Incheon International Airport Marine Clay

김주형¹⁾, Ju-Hyong Kim, 김영웅²⁾, Young-Ung Kim, 김명모³⁾, Myoung-Mo Kim

¹⁾ 서울대학교 토목공학과 박사과정 수료, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l Univ.

²⁾ 인천국제공항공사 품질안전팀 건설시험소장, General Manager, Q/S Team Research and Analysis Office, Incheon International Airport Authority

³⁾ 서울대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l University

SYNOPSIS : Piezocone test as well as Dilatometer tests are used worldwide to evaluate the engineering properties of clay soils. The common strong point of the two tests is that they can estimate, by the identical test equipment, various properties of soils, which are the unit weight of soils of OCR, K_0 , undrained shear strength(s_u), coefficient of consolidation(c_h) and soil classification etc.,

A series of the two types of field tests are performed in this study on marine clays with low plasticity at Incheon International Airport construction site to estimate various properties of the soils such as s_u , OCR, and c_h , which are then compared each other as well as with the results of reference tests. The comparisons show that the way of interpretation is the most critical factor in obtaining confidential results for a certain engineering property for both tests.

Keywords : Piezocone, Dilatometer, Undrained shear strength, OCR, Coefficient of consolidation

1. 서론

피에조콘관입시험(CPTU)과 dilatometer 시험(DMT)은 각각 콘과 블레이드를 지반에 삽입하여 여러가지 공학적인 지반 정수를 연속적으로 얻을 수 있는 공통점을 가진 현장 시험 방법이다. 두 시험에 대한 연구는 시험기의 개발 이후 현재까지 오랜 기간 계속되어 왔으며, 그 결과로 경험적 또는 이론적인 많은 지반 정수 산정식들이 제안되어 있다. CPTU와 DMT를 이용하면 지반 분류 뿐만 아니라 점토지반의 비배수전단강도(s_u), 횡방향압밀계수(c_h), 과압밀비(OCR) 등을 구할 수 있는데, 다만 CPTU와 DMT 시험은 많은 경우에 지반 정수를 시험결과로부터 직접 구하는 대신, 두시험의 결과를 각각 기준이 되는 다른 시험 결과와 비교하여 지반 정수별 또는 지반특성에 따라 얻어진 경험 상수를 이용하여 원하는 지반정수를 산정한다.

현재까지 외국에서는 많은 연구를 통해 다양한 지반 정수 산정식들이 제안되어 있으나, 한국에 분포하는 점토 지반에 대해서는 CPTU와 DMT의 비교 분석 자료가 그리 많지 않다. 본 연구에서는 기왕에 제

안된 여러가지 경험식들의 한국점토에 대한 적용성을 가리기 위해 약 10~30 정도의 소성지수와 비교적 큰 압밀계수를 갖는 서해안 해성점토 지반에서 CPTU와 DMT 시험을 실시하고, 그 결과를 이용하여 다양한 방법으로 구한 여러 지반 정수들 즉, 비배수전단강도, 과압밀비 그리고 압밀계수 등을 비교 분석하였다.

2. 피에조콘과 딜라토미터시험으로 구할 수 있는 지반정수들

피에조콘과 딜라토미터시험으로부터 점성토의 비배수전단강도, 과압밀비, 그리고 압밀계수를 산정하는 대표적인 방법들을 표 1에 정리하였다.

표 1 피에조콘과 딜라토미터시험으로 구할 수 있는 지반 정수 산정 방법

시험 종류 지반 정수	Piezocone Test(CPTU)	Dilatometer Test(DMT)
비배수 전단강도	$s_u = (q_T - \sigma_{v0}) / N_{kt}$ (1) (Lunne 등, 1985)	$s_u = 0.22 \sigma'_{v0} (0.5 K_D)^{1.25}$ (4) (Marchetti, 1980)
	$s_u = (u_{bt} - u_0) / N_{du}$ (2) (Vesic, 1972)	$s_u = (p_1 - \sigma_{h0}) / N_c$ (5) (Roque, 1988)
	$s_u = (q_T - u_{bt}) / N_{qu}$ (3) (Campanella, 1982)	
과압밀비	$OCR = 2.3 B_q / (3.7 B_q - 1)$ (6) (Chang, 1991)	$OCR = (0.5 K_D)^{1.56}$ (8) (Marchetti, 1980)
	$OCR = (q_T - \sigma_{v0}) / (K \cdot \sigma'_{v0})$ (7) (Sugawara, 1988)	$OCR = 0.30 K_D^{1.17}$ (9) (Lunne, 1990)
압밀계수	$c = R^2 \cdot T_{50} / t_{50}$ (10) (Torstensson, 1977)	
	$c_h = R^2 \cdot T / t$ (11) (Baligh & Levadox, 1986)	$c_h = 600 (T_{50} / t_{50}) (mm^2 / min)$ (13) (Gupta, 1983)
	$c_h = R^2 \cdot T^* / t \times \sqrt{I_R}$ (12) (Teh & Houlsby, 1991)	

3. 지반 조건

인천국제공항에서는 많은 지반 조사가 실시되었는데, 본 논문에서는 그 중에서 시험 성토 중에 실시된 지반 조사 자료와 CPTU, DMT 결과를 포함하고 있는 시범 조사 자료를 이용하여 분석하였다. 시험 성토시에는 GMF Gouda사가 제작한 CPTU를 사용하였으며, 시범 조사시에는 A.P. van den Berg사가 제작한 CPTU를 사용하였다. 두 시험기 모두 20t의 관입 용량을 갖는 관입기를 사용하였으며, 시험에 사용한 콘은 원추 뒷면에서 간극수압을 측정하는 다공질 필터가 있는 것이다. DMT는 FHWA(1992)와 SGI(1994)에서 제안한 표준형 시험기를 사용하였으며, FVT는 Geonor사가 제작한 것으로 55×110mm 크기의 베인을 이용하여 시험하였다. 시험 성토 지역과 시범 조사 지역에서 실시한 시험 위치와 수량은 다음 표 3에 나타내었으며, 표 1에는 준설 전 원지반의 대표적인 지질 주상도와 토질 정수들을 나타내었다. 또한, 그림 1에는 인천국제공항 지반의 깊이에 따른 자연함수비, 아터버그 한계, 과압밀비, 그리고 압밀계수 분포를 나타내었다.

표 1. 인천국제공항 지역의 대표적인 원지반 지질 주상도

Depth(m)	Soil Stratification	w_n (%)	I_p (%)	w_l (%)	$c_v \times 10^{-3}$ (cm ² /sec)	N-value	q_c (kg/cm ²)	U.S.C.S
0	Upper Marine layer	26.3 ~ 39.4	3.6 ~ 23.9	30.0 ~ 40.2	2 ~ 28	0 ~ 6	1 ~ 10	ML ~ CL
6	Upper Alluvial layer	27.7 ~ 33.7	-	-	-	1 ~ 50	20 ~ 203.8	ML ~ SM
10	Lower Marine layer	25 ~ 33.4	17.6 ~ 29.1	30.0 ~ 44.2	1 ~ 15	4 ~ 33/30cm	13.1 ~ 327	ML ~ CL
16	Lower Alluvial layer	15.2 ~ 26.6	-	-	-	15 ~ 50/13cm	-	SM
35	Weathered-Residual Soil	16.7 ~ 18.3	NP	NP	-	38/30 ~ 50/7cm	-	-

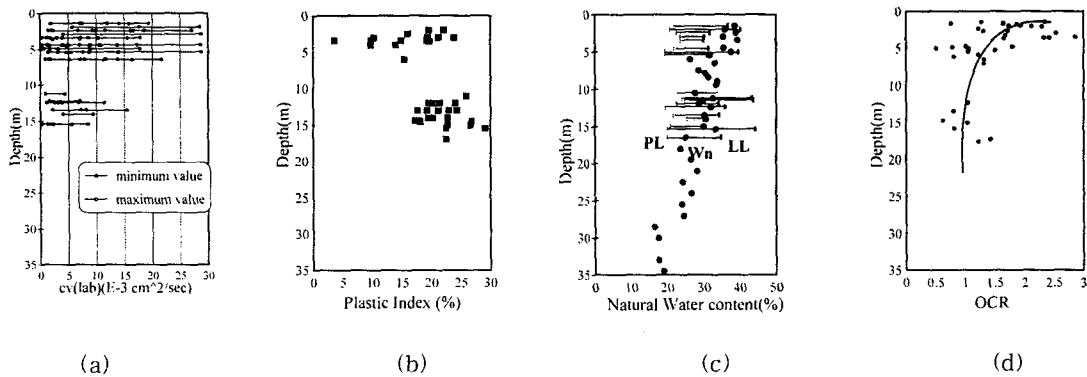


그림 1. 인천국제공항 지반의 압밀계수, 아터버그한계 및 과압밀비 분포도

표 1과 그림 1(a)에서 보면 상부해성층의 압밀계수는 하부해성층의 압밀계수보다 평균적으로 크고 위치에 따라 그 크기가 큰 폭으로 변화하는데, 이는 상부해성층 곳곳에 실트질 함량이 큰 흩이 넓게 산재해 있기 때문이다. 이와 같은 경향은 소성지수를 비교해 보아도 알 수 있다(그림 1(b)). 그림 1(c)에서 보는 것처럼 상부 5m까지의 자연함수비는 액성한계와 비슷한 값을 가지며, 하부로 갈수록 함수비가 서서히 감소한다. 또한 그림 1(d)는 상부해성층의 과압밀비가 0.8~2.5 정도로서 조수간만의 차이에 의한 영향과 표층의 각질화로 인해 상부해성층이 약간 과압밀되어 있음을 보여주며, 하부해성층의 경우에는 정규압밀에 가까운 응력이력 상태를 나타내고 있다.

그림 2와 3은 이 지역에서 실시한 피에조콘관입시험과 딜라토미터시험 결과 예를 나타낸 것인데 선행재하공법 시행 전에 약 2m정도 준설매립을 한 후에 실시한 시험 결과이다.

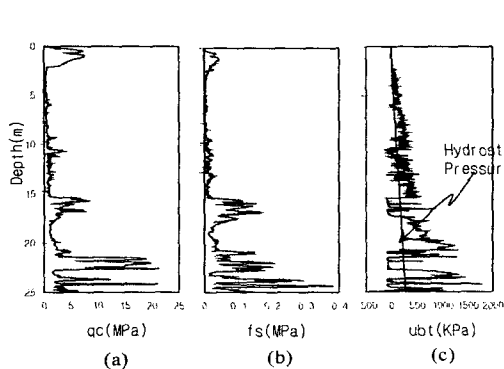


그림 2. 피에조콘관입시험 결과

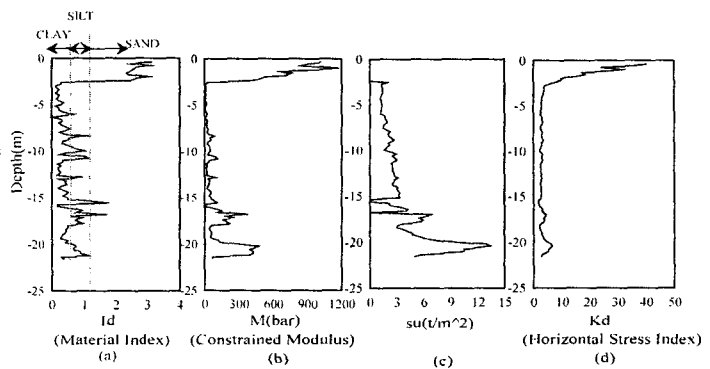


그림 3. 딜라토미터시험 결과

4. 지반 정수 평가

그림 4는 dilatometer 시험에서 측정된 p_0 와 피에조콘의 원추 후면에서 측정된 간극수압 u_{bt} 비를 피에조콘 관입시험시 흙의 분류에 사용되는 간극수압계수 $B_q(=\Delta u/(q_T - \sigma_{vo}))$ 와 함께 나타내었으며, Sunneset과 Janbu(1985) 그리고 Lee 등(1998)이 제안한 흙 분류 영역도 같이 나타내었다. 이들이 제시한 분류 도표에서는 B_q 값에 따라 유일한 흙을 구분해 내지는 못하나 대체로 보면 B_q 값이 0.1~0.2이상일 때 소성성이 있는 세립토로 분류된다. 이 그림에서 보면 CPTU와 DMT는 지반에 관입되는 콘과 블레이드의 모양이 다르고 간극수압 측정 방법은 다르지만 B_q 가 0.2보다 큰 경우 즉, 점토질이 우세한 지반에서는 Mayne(1987)이 주장한대로 dilatometer로 구한 p_0 와 피에조콘의 원추 후면에서 측정된 간극수압 u_{bt} 가 일치하는 양상을 나타내고 있지만, B_q 가 0.2 이하인 경우에는 피에조콘의 원추 후면에서 측정된 간극수압(u_{bt})이 dilatometer로 측정된 간극수압(p_0)보다 작은 값을 나타내고 있다. 이는 압밀계수가 큰 점토질 실트에서 나타나는 순간배수의 영향과 다일라턴시(dilatancy)에 의한 음의 간극수압 발생이 피에조콘에 더 큰 영향을 미치기 때문으로 생각된다(Bruzzi and Battaglio, 1987).

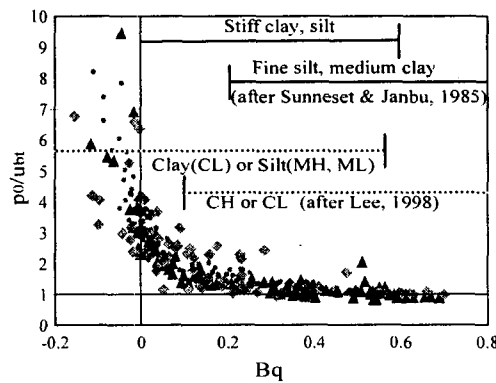


그림 4. B_q 와 p_0/u_{bt} 와의 관계

4.1 비배수전단강도

피에조콘시험으로 비배수전단강도를 산정하기 위해서는 앞의 식 (1), (2), (3)에 보인 콘계수를 먼저 결정하여야 하는데, 이 때 기준이 되는 시험에 의한 비배수전단강도 값이 필요하다. 본 해석 대상지반과 같이 압밀계수가 크고 저소성의 특성을 가지는 경우에는 일축압축시험과 같은 실내시험으로 현장지반의 강도 특성을 평가하기 어렵다고 판단하여 현장배인시험을 기준시험으로 이용하였다.

인천국제공항 지역에서 실시한 29개의 피에조콘관입시험과 다수의 현장배인시험 결과를 근거로 콘저항력과 간극수압을 이용하여 경험적으로 콘계수 $N_{kt}(=(q_T - \sigma_{vo})/s_u)$ 와 $N_{\Delta u}(=(u_{bt} - u_0)/s_u)$ 를 산정하여 그림 5(a)와 (b)에 I_p 에 대하여 각각 도시하였다. 그림 5(a)는 원추관입저항력(q_T)과 현장배인시험 결과($s_{u(FVT)}$)로부터 구한 콘계수(N_{kt})와 소성지수의 관계를 보인 것이다. 콘계수는 일반적으로 OCR과 소성지수에 영향을 받아 감소하거나 증가하게 되는데, 본 현장과 같이 정규압밀상태에서 약간 과압밀되어 있는 경우에는 OCR에 따른 콘계수의 변화는 볼 수 없으나, 소성지수가 증가할수록 콘계수(N_{kt})가 감소하는 양상을 나타내고 있다($N_{kt} = -0.72PI + 28.9$). 콘계수(N_{kt})의 평균값은 14.5이며 전체 평균 콘계수(N_{kt}) 90% 신뢰구간은 아래 보인 식(14)와 같다.

$$N_{kt} = 14.5 \pm 1.3 \quad (14)$$

그림 5(b)는 간극수압(u_{bt})과 현장배인시험 결과($s_{u(v)}$)로부터 구한 콘계수($N_{\Delta u}$)와 소성지수의 관계를 보인 것이다. $N_{\Delta u}$ 는 N_{kt} 와는 달리 소성지수에 따라 감소하거나 증가하는 양상을 나타내기보다는 낮은 소성지수 영역에서는 극심한 분산을 보이고 소성지수가 20이상일 때 분산도가 급격히 줄어드는 양상을 보이는데, PI가 20 이상일 때의 평균 $N_{\Delta u}$ 는 대략 5.0이다.

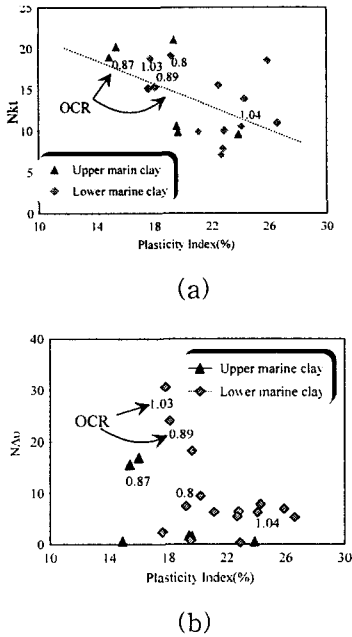


그림 5. (a) 콘계수(N_{kt})와 PI
(b) 콘계수(N_{du})와 PI

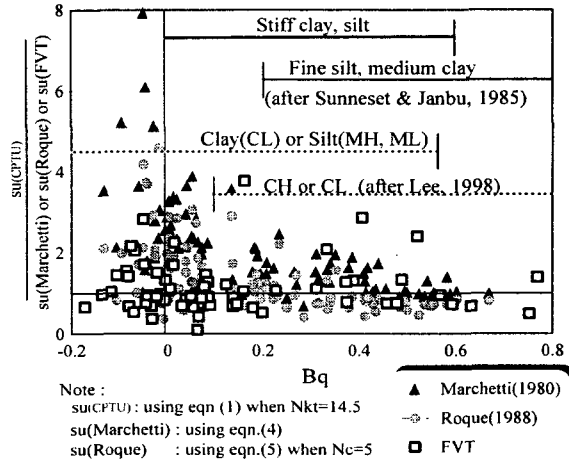


그림 6. 흙의 분류에 따른 Su_{CPTU} 와
 $Su(Marchetti)$, $Su(Roque)$ 비의 관계

DMT로부터 비배수전단강도를 구하기 위해서는 앞에서 이미 설명한 바와 같이 횡방향응력지수(K_D)를 이용하는 Marchetti의 식(4)와 보정압력 p_f 과 토질 특성에 따른 N_c 및 횡방향응력(σ_{H0})을 함께 사용하는 Roque의 식(5)를 이용하는 것이 일반적이다. 본 논문에서도 이 두 가지 방법으로 비배수전단강도(S_u)를 산정하였는데, Roque의 식(5)에 포함되어 있는 횡방향응력(σ_{H0})은 Lunne(1990)이 신생점토에 대해 제안한 $K_0=0.34K_D^{0.51}$ 관계를 이용하여 산정하였으며, N_c 는 Roque(1988)가 부서지기 쉬운 점토 또는 실트에 대하여 제안한 값 5를 사용하였다.

그림 6은 앞에 설명한 평균 콘계수, $N_{kt}=14.5$,를 이용하여 CPTU 결과로부터 구한 인천국제공항 실트질 점토지반의 비배수전단강도($Su_{CPTU, N_{kt} 14.5}$)를 DMT 결과를 이용하여 Marchetti (1980)와 Roque(1988) 제안식으로 구한 비배수전단강도($Su_{Marchetti}$, Su_{Roque})와 현장배인시험으로 구한 비배수전단강도 등으로 정규화 한 값을 B_q 와 함께 나타낸 것이다. 그림 6에서 보면 B_q 값이 작을수록 $Su_{CPTU}/Su_{Marchetti}$, Su_{CPTU}/Su_{Roque} 의 분포가 산만하고 B_q 가 대략 0.1 이상이면 $Su_{CPTU}/Su_{Marchetti}$, Su_{CPTU}/Su_{Roque} 는 대체로 1에 수렴하는 경향을 나타내고 있는데, 이 때에도 Marchetti와 Roque 결과를 자세히 비교하면 Roque 결과가 FVT나 CPTU결과와 보다 더 가까운 것을 알 수 있다. 그리고 실트질이 우세한 지반에서 Marchetti와 Roque의 방법으로 비배수전단강도를 산정하면 CPTU로 구한 비배수전단강도보다 매우 작게 나타남을 알 수 있다.

종합하여 보면 B_q 값이 0.1~0.2이상인 점성질 세립토의 경우에 N_{kt} 를 이용한 CPTU시험, 그리고 Roque 방법에 의한 DMT 시험으로 비배수전단강도를 산정할 경우에 FVT에 의한 비배수전단강도와 유사한 결과를 얻는다고 볼 수 있다.

4.2 과압밀비

그림 7은 Chang(1991)이 CPTU시험의 B_q 를 이용해 제안한 식(6)과 실내압밀시험으로 구한 OCR 결과를 비교한 것이다. 이 그림에서 보면 피에조콘시험의 간극수압을 이용하여 산정한 OCR은 실내압밀시험 결과와 큰 차이를 보인다. 특히 실트질이 많이 섞인(즉 c_c 값이 큰) 상부해성층에서 CPTU에 의한 OCR 예측 값은 매우 과소하게 산정된다. 이는 비배수전단강도의 경우와 마찬가지로 실트질이 많이 포함되

어 있는 지반에서 피에조콘시험으로 측정된 간극수압(u_{bt})값이 실제보다 매우 작기 때문이며, 이로부터 투수성이 큰 실트질 점토 지반에서는 CPTU로 측정된 간극수압을 이용하여 과압밀비를 산정하기가 어렵다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 원추관입저항력을 이용한 Sugawara(1988) 제안식(7)에 국내 점토에 대해 제안된 $K=4.5$ (동부엔지니어링 & 서울대학교, 1998)을 적용하여 구한 OCR과 실내압밀시험을 이용하여 구한 OCR값을 비교한 것이다. 시료 채취과정에서 나타나는 교란효과에 대해 약 25%정도의 선행압밀하중의 편차를 고려하면 하부해성층에서는 실내압밀시험 결과와 국내 점토에 대한 제안 식(7)과 비교적 일치하는 반면에 실트질이 많이 섞인 상부해성층에서는 역시 잘 일치하지 않고 있다. 그러나 불일치 정도는 식(6)의 결과에 비하여 많이 개선되었다.

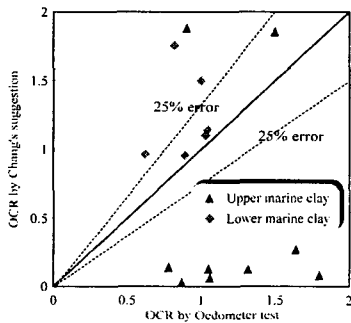


그림 7. Chang(1991)이 제안한 OCR 분포

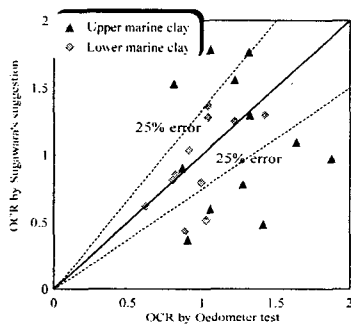


그림 8. Sugawara(1988)가 제안한 OCR 분포

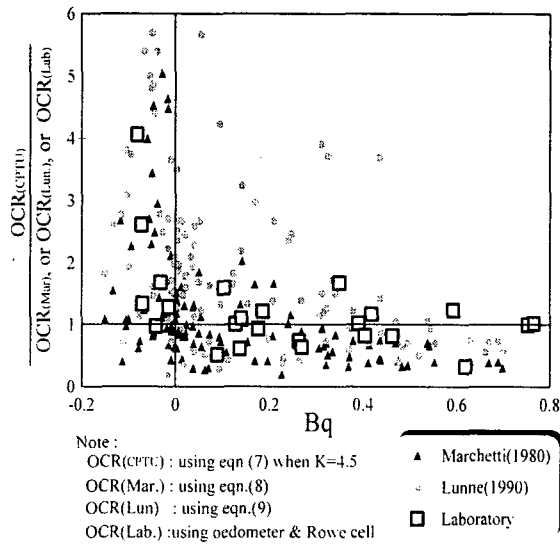


그림 9. 흙의 분류에 따른 $OCR_{(CPTU)}$ 와 $OCR_{(Mar.)}$, $OCR_{(Lun.)}$, $OCR_{(Oedo.)}$ 비의 관계

DMT를 이용하여 Marchetti(1980)와 Lunne(1990)이 제안한 과압밀비 산정식 식(8)과 (9)로 구한 결과와 CPTU를 이용한 과압밀비 산정식(식7)에 의한 결과를 간극수압계수 B_q 와 함께 그림 9에 나타내었다.

이 그림에서 보면, 과압밀비의 경우에도 비배수전단강도와 마찬가지로 B_q 값에 따라 피에조콘, 딜라토미터 그리고 표준압밀시험으로 구한 각각의 과압밀비가 서로 차이를 보인다. 먼저 B_q 가 0.1보다 큰 실트질 점토에 대해서는 CPTU로 구한 과압밀비($OCR_{(CPTU, K=4.5)}$)와 실내압밀시험으로 구한 과압밀비($OCR_{(Lab.)}$)는 비교적 잘 일치하며, DMT 결과로 산정한 과압밀비($OCR_{(Mar.)}$, $OCR_{(Lun.)}$)도 이와 비슷한 경향을 나타낸다. 그러나, $OCR_{(Mar.)}$ 은 B_q 가 증가할수록 $OCR_{(Lab.)}$ 과 $OCR_{(CPTU, K=4.5)}$ 보다 작은 값을 나타내는데, 이는 Marchetti가 제안한 식(8)이 대체로 과압밀비를 크게 평가한다는 것을 의미하며, Chang(1991)이 싱가포르와 말레이시아 점토에 대해 실시한 DMT 분석 결과와도 일치한다. 동일한 그림에서 Lunne(1990)이 신생점토에 대해 제안한 $OCR_{(Lun.)}$ 산정 결과를 B_q 에 대하여 도시하였는데, 이 그림에서 보면 얼마간의 분산은 있지만 $OCR_{(Lab.)}$ 과 $OCR_{(CPTU, K=4.5)}$ 와 대체로 일치하는 경향을 보인다.

그러나 B_q 가 0에 근접할수록 $OCR_{(CPTU, K=4.5)}$ 은 $OCR_{(Lab.)}$, $OCR_{(Mar.)}$, $OCR_{(Lun.)}$ 과 큰 차이를 보이고 있다. B_q 가 0.1보다 작은 경우에는 $OCR_{(CPTU)}/OCR_{(Mar.)}$, $OCR_{(CPTU)}/OCR_{(Lun.)}$ 뿐만 아니라 $OCR_{(CPTU)}/OCR_{(Lab.)}$ 도 1

보다 훨씬 큰 값을 나타내는데, 이는 B_q 가 작아질수록 $OCR_{(CPTU, K 4.5)}$ 이 매우 작게 평가되는 것을 의미하며 이 경향은 그림 6과 유사하다.

4.3 압밀계수

그림 10은 CPTU와 DMT의 간극수압 소산시험 결과를 해석적 방법으로 산정한 횡방향압밀계수 ($C_{H(CPTU)}, C_{H(DMT)}$)와 실내시험으로 구한 연직방향압밀계수($C_{v(Oedo)}$), 그리고 Rowe cell 압밀시험으로 구한 횡방향압밀계수($C_{H(Rowe)}$)를 소성지수에 대하여 도시한 것이다. 이 그림의 $C_{H(CPTU)}$ 는 50% 압밀도를 기준으로 하여 Torstensson의 원통형 이론해(식 10)와 Levadox & Baligh가 제안한 이론해(식 11) 및 Teh & Housby의 해(식 12)를 이용하여 산정하였다. 그림 10에서와 같이 피에조콘으로 구한 횡방향압밀계수 $C_{H(CPTU)}$ 는 해석 방법에 따라 약간씩 다른 결과를 나타내는데, 강성지수를 고려한 Torstensson과 Teh & Housby의 해는 비슷한 횡방향 압밀계수를 나타내는 반면에 Levadox & Baligh의 해는 이보다 2.1~3.5배 큰 횡방향압밀계수 나타내고 있다. 또한 Torstensson과 Teh & Housby의 해는 표준압밀시험으로 구한 연직방향압밀계수(c_v)보다 각각 1.3~2.6배, 1.1~2.1배 정도 큰 값을 나타내며 Levadox & Baligh의 해는 표준압밀시험으로 구한 연직방향압밀계수(c_v)보다 4.5~5.5배정도 큰 값을 나타낸다. 이때, 압밀계수비는 소성지수가 감소할수록 증가하는 경향을 나타낸다.

DMT 간극수압 소산시험 결과로부터 $C_{H(DMT)}$ 를 얻기 위하여 재료지수 $I_D \leq 0.6$ 와 횡방향응력지수 $K_D \leq 5.0$ 인 조건에서 관측한 보정압력 p_2 를 이용하여 \sqrt{t} 법으로 50% 압밀도를 결정하고, 이에 상응하는 시간계수는 Gupta(1983)가 제안한 도표를 활용하였다. 이때, 강성지수($I_r = G/s_u$)는 압밀비배수삼축(CU)시험으로 구한 E_{50} 과 s_u 를 대입하여 산정하였다. 이렇게 하여 구한 3개의 횡방향압밀계수 $C_{H(DMT)}$ 와 Rowe cell 압밀시험으로 구한 횡방향압밀계수($C_{H(Rowe)}$)는 $C_{H(CPTU)}$ 와 비슷하거나 이보다 작은 압밀계수를 나타내주고 있으나, 두 시험 모두 시험 갯수가 적고 분산이 상당히 크게 나타나 정량적으로 분석하기가 어렵다.

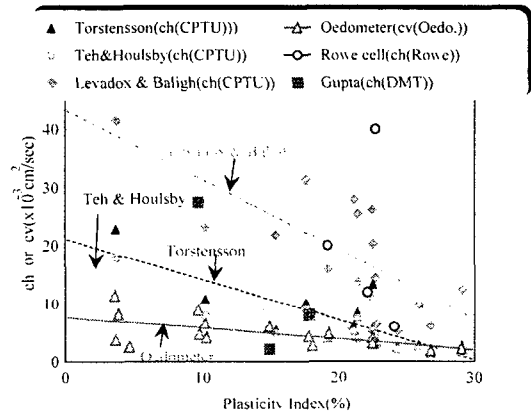


그림. 10 소성지수에 따른 c_H/c_v

5. 결론

인천국제공항 건설 지역과 같이 낮은 소성지수와 평균 $5 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 정도의 높은 압밀계수를 가지는 실트질 점토에 대해서 실시한 CPTU와 DMT 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 간극수압계수 B_q 가 0.2이상인 지반의 경우에는 DMT로 구한 p_0 와 피에조콘으로 구한 u_{bt} 가 거의 일치하며, B_q 가 0.2이하인 경우에는 B_q 가 작아지면 p_0 가 u_{bt} 보다 점점 크게 평가되는 경향을 나타낸다.
- 2) 소성지수가 10~30정도이며 $5 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 정도의 비교적 높은 압밀계수를 가지는 실트질 점토지반에서 콘지수 N_{kt} 는 평균 14.5정도이고 소성지수에 따라 다소 감소하는 경향을 보이는 반면, N_{du} 는 자료의 분산정도가 커서 저소성성 점토에서는 N_{du} 를 이용한 비배수전단강도 산정은 적절하지 않다고 판단된다.
- 3) B_q 값이 0.1~0.2이상인 점성토의 경우에 N_{kt} 를 이용한 CPTU시험, 그리고 Roque 방법에 의한 DMT 시험으로 구한 비배수전단강도는 FVT로 구한 비배수전단강도와 유사한 결과를 나타낸다.
- 4) B_q 값이 0.1이상인 점성토의 경우 국내 점토에 대해 제안된 경험상수를 적용하여 구한 $OCR_{(CPTU, K 4.5)}$ 과 실내압밀시험으로 구한 $OCR_{(Lab)}$ 은 유사한 결과를 나타낸다. 하지만, DMT로 구한 $OCR_{(Mar)}$ 과

$OCR_{(Lun.)}$ 은 B_q 가 0.1보다 큰 값을 갖는 경우에도 분산정도가 크며, 특히 $OCR_{(Mar.)}$ 는 $OCR_{(CPTU, K=4.5)}$ 과 $OCR_{(Lab.)}$ 보다 크게 평가하는 것으로 나타났다.

- 5) 피에조콘으로 구한 횡방향압밀계수 $Ch_{(CPTU)}$ 는 해석 방법에 따라 약간씩 다른 결과를 나타내는데, Torstensson과 Teh & Houlsby의 해는 표준압밀시험 결과보다 1.1~2.6배정도 큰 값을 나타낸다. 또한, dilatometer시험으로 구한 횡방향압밀계수 $Ch_{(DMT)}$ 는 $Ch_{(CPTU)}$ 와 비슷하거나 이보다 작은 압밀계수를 나타내내고 있는데 매우 제한적인 시험 결과만을 이용했기 때문에 이에 대한 추후의 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 동부엔지니어링, 서울대학교, 국립건설시험소(1998), "피에조콘관입시험 활성화를 위한 협동 연구", 피에조콘관입시험 활성화를 위한 국립건설시험소, 서울대학교 공과대학 협동 연구 최종보고서, pp62-74
2. Baligh, M. M. & Levadoux, J. N.(1986), "Consolidation after Undrained Piezocone Penetration, II: Interpretation," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 112, No. 7, pp.727-745
3. Bruzzi, D. et al.(1987), "Pore pressure measurements during cone penetration test", ISMES Research Report No. 229
4. Campanella, R. et al.(1982), "Pore Pressure during Cone Penetration Testing", Proc. of 2nd European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, Vol. 2, pp.507-512.
5. Chang., M. F.(1991), "Interpretation of Overconsolidation Ratio from In-Situ Tests in Recent Clay Deposits in Singapore and Malaysia", Canadian Geotechnical Journal, 28, pp.210-225.
6. Gupta, R. C.(1988), "Determination of the In Situ Coefficient of Consolidation and Permeability of Submerged Soils Using Electrical Piezoprobe Soundings", PhD. Dissertation to the University of Florida, 282pp.
7. Lee, S. J. & Kim, M. M.(1998), "Estimations of Geotechnical Properties from Piezocone Penetration Tests in Korea", 1st Int'l Conference on Site Characterization, Atlanta, pp.1099-1104.
8. Lunne, T. et al.(1985), "Engineering use of Piezocone data in North Sea Clays", Proc. of 11th Int'l Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 2, pp907-912
9. Lunne, T., et al.,(1990), "Correlation of Dilatometer Readings to Lateral Stress", Paper submitted to specialty session on Measurement of Lateral Stress, 69th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C., USA
10. Marchetti, S.(1980), "In-Situ Tests by Flat Dilatometer", ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 106, pp.299-321.
11. Mayne, P. W.(1987), "Determining Preconsolidation Stress and Penetration Pore Pressures from DMT Contact Pressures", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 10, No.3, pp.146-150.
12. Roque, R. et al.(1988), "Basic Interpretation Procedures of Flat Dilatometer Tests", Proc. of the 1st International Symposium on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, Florida, Vol.1, pp.577-587
13. Sugawara Noriaki(1988), "On the Possibility of Estimating In-Situ OCR using Piezometer (CPTU)", Penetration Testing, Vol. 2, pp.985-992.
14. Sunneset, K., and Janbu, N.(1985), " Shear Strength Parameters obtained from Static CPT", Strength Testing of Marine Sediments(STP 883), R. C. Chaney and K. R. Demars, ed, ASTM, Philadelphia, pp.41-54.
15. Teh, C. I. & Houlsby, G. T.(1991), "An Analytical Study of the Cone Penetration Test in Clay", Geotechnique, No. 41, Vol 1., pp.17-34.
16. Torstensson, B. A.(1977), "The Pore Pressure Probe", Nordiske Geotekniske Mote, Oslo, Paper No. 34, pp.34.1-34.15.