

해성점토지반에서 CPT를 이용한 응력이력(OCR, σ'_p)의 산정

Profiling Stress History(OCR, σ'_p) of Marine Clay Using Piezocone Penetration Test

이 강 운*¹ Lee, Kang-Woon
윤 길 림*² Yoon, Gil-Lim
채 영 수*³ Chae, Young-Su

Abstract

Various CPT-based prediction models for profiling stress history of marine clay at the southern part of the Korean peninsula were investigated by using both statistical analysis and case history study. Preconsolidation pressures(σ'_p) and overconsolidation ratio(OCR) estimated by empirical correlations and cone penetration tests were compared with those of laboratory odometer test results. Stress history of marine clay determined by odometer test results was in general overconsolidated at below 10m depth from the mudline, whereas marine clay at below 10m depth from the mudline which has an around 0.3 overconsolidation ratio showed variable stresses and unstable states. Preconsolidation pressures were computed by both empirical methods of the Chen and Mayne(1996) and theoretical method of Konrad and Law(1987). It is estimated that Chen and Mayne(1996)'s prediction method based on pore water pressure is more reliable than any other prediction methods, and their method proved to be the most reliable for overconsolidation ratio estimation. However, it is recommended that Mayne & Holtz(1988) and Mayne & Bachus(1988) methods are more suitable than any other methods for predicting the overconsolidation ratio at an underconsolidated (OCR<1) clay. For these reasons, rather than making use of existing prediction models, development of site specific empirical correlations which considers local characteristics and site conditions may be required due to different local stress history and variable soil properties.

요 지

국내 남해안 해성점토 지반의 응력이력(stress history)에 대하여 피조콘 관입시험 방법을 이용하여 통계분석과 사례 연구를 통하여 조사하였다. 경험식과 피조콘 관입시험으로 산정한 선행압밀응력과 과압밀비는 이론적, 경험적 상관관계를 찾고자 회귀분석을 수행하였고 기준값은 실내 표준압밀시험 결과를 토대로 하였다. 표준압밀시험에서 나타난 조사 지반의 응력이력 상태는 전체적으로 해수면 아래 표층 10m까지는 과압밀된 상태였으나, 표층 10m 아래 깊이에서는 과압밀비(OCR)가 0.3까지도 존재하여 전반적으로 지층상태는 불안정한 구조를 가지고 있었다. 응력이력에서 선행압밀하중의 결정은 Chen과 Mayne(1996)의 경험방법과 Konrad와 Law(1987)의 이론공식을 사용하였다. 산정결과, Chen과 Mayne(1996)의 경험공식중에서 간극수압을 이용한 예측방법이 가장 신뢰성이 높았다. 그리고 과압밀비도 Chen과 Mayne(1996)의 경험식이 가장 높은 신뢰성을 보였다. 하지만 Mayne과 Holtz(1988), 그리고 Mayne과 Bachus(1988)방법은 각각 OCR이 1.0이하인 미압밀 지반에서 좋은 결과를 제시하였다. 그러므로 피조콘 관입시험으로부터 지반의 응력이력을 산정하는 다양한 방법은 대부분 지반조건과 위치에 따라 그 결과가 크게 다르므로 지역과

*1 정회원, (주)동성엔지니어링 전무 (Member, Managing Director, Dept. of Geotechnical Engrg., Dongsung Engrg., kangwoon@korea.com)

*2 정회원, 한국해양연구원, 연안항만공학본부 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Coastal & Harbor Engrg., Div., Korea Ocean Research & Development Institute(KORDI))

*3 정회원, 수원대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Suwon)

현장특성을 반영한 적합식을 개발하여 지반 설계에 활용하는 것이 타당한 것으로 판단되었다.

Keywords : Marine clay, OCR, Piezocone, Porewater pressure, Preconsolidation, Stress history

1. 서론

응력이력은 연약지반 개량공법을 선정할 경우 설계 침하량 예측과 경제성을 판단하기 위한 주요 지반정수로서 그 신뢰성이 미치는 영향력은 대단히 크다. 따라서 통상적으로 실내 표준압밀시험으로부터 산정하는 응력이력은 시험시 발생하는 제반 불확실성 요소로인해 신뢰성과 비용, 그리고 시간적인 면 등에서 불리하며, 초연약지반이거나 대단히 과압밀된 지역은 시료채취가 불가능하여 시험이 곤란하다. 이에 비해 피조콘 시험은 원위 치상에서 직접 실시하므로 연속적인 지반정수를 얻을 수 있을 뿐만아니라 신속하고, 비용면에서 유리하며 시험수량이 풍부하여 신뢰성 높은 자료를 얻을 수 있다.

따라서 본 연구는 남해안 신항만 건설지역에서 실시한 실내.외시험 결과에 대해 상호 비교 평가하므로써, 피조콘 시험을 통한 정량적 응력이력 예측방법을 추정하고자 한다. 이를 위해 기 제안된 추정방법중 경험적 방법인 Chen과 Mayne(1996) 등외에 Mayne과 Holtz(1988), Mayne과 Bachus(1988), 그리고 Chang(1991), Schmertmann(1978)의 방법을 사용하였으며, 이론적 방법은 Konrad와 Law(1987)의 방법을 사용하였다.

2. 이론적 배경

2.1 콘시험에 의한 선행압밀하중의 산정

콘관입시험에 의한 선행압밀하중 산정은 경험적방법과 이론적방법으로 구분되며, 이와 관련된 연구는 경험적 방법인 Chen과 Mayne(1996)방법에 따르면 선단저항값과 간극수압을 이용한 방법, 그리고 조합방법외에 다수가 있으며, 이론적 방법으로는 응력경로를 이용한 Konrad와 Law(1987)의 방법등이 있다. 이에 주요 산정 방법을 보면 다음과 같다.

(1) 선단저항값을 이용한 방법

Tavenas와 Leroueil(1979)는 선단저항값(q_t)과 선행압밀하중(σ'_p)과의 사이에는 경험적으로 볼 때 일정한

상관관계가 있음이 밝혀지므로써 다양한 방법으로 비교 연구가 시작되었는데, 이와 관련하여 Wroth(1984)는 지지력 이론을 통해, Mayne(1986)과 Leroueil(1987) 등은 경험적 방법을 통해 그 상관성을 밝혔는데, 이를 구체적으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$\sigma'_p = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{N_{\sigma t}} \quad (1)$$

여기서 σ_{vo} : 수직응력이며, q_t : 보정된 선단저항값 ($q_t = q_c + (1 - a)u_2$)이며, $N_{\sigma t}$: 추정 상관계수이다.

(2) 간극수압을 이용한 방법

간극수압을 이용한 방법은 예민한 지반에 적용성이 높은 것으로 예측되었는데, Mayne(1986)외에 Mayne과 Bachus(1988), Mayne과 Holtz(1988) 등은 다양한 지역에서의 연구시험을 통해 경험적으로 과잉간극수압과 유효수직응력 사이의 상관성을 보여줌으로써 선행압밀하중 산정의 타당성을 밝혔으며, 이로부터 산출된 관계식은 식 (2)와 같다.

$$\sigma'_p = K_{EPP}(u_2 - u_o) \quad (2)$$

여기서 u_2 : 콘선단면 뒤에서의 측정 간극수압이고, u_o : 정수압이며, K_{EPP} : 상수이다.

(3) 조합방법

선단저항과 간극수압의 조합관계로부터 선행압밀하중을 산정하는 방법은 Senneset(1982) 등이 제안한 간극수압비 ($B_q: \frac{u - u_o}{q_t - \sigma_{vo}}$)와 Housby(1988)가 제안한 L계수 ($L: \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma_{vo}}$) 등의 관계를 응용하여 Chen과 Mayne(1995), Larsson과 Mulabdic(1991) 등이 여러현장의 조사자료로부터 상관성을 찾아냈으며, 이와 관련된 식은 식 (3)과 같다.

$$\sigma'_p = \frac{(q_t - u_2)}{N_{\sigma e}} \quad (3)$$

여기서, $N_{\sigma e}$: 추정 상관계수이다.

(4) 기타방법

Konrad와 Law(1987) 등은 자연점토에 대해 콘관입시 유효응력경로를 추적하여 유효 수직항복 응력을 구하므로써 콘 선단부 측정값이 항복상태에서의 선형압밀 하중(σ'_{yc})을 구하는 방법을 제안하였으며, 이로부터 유도된 방정식은 식 (4)와 같다.

$$\sigma'_{yc} = \left[\frac{q_t - (1-1.1)u_2}{1 + M \tan \phi \cot \theta} \right] \quad (4)$$

여기서, θ 는 콘 선단각이며, M 은 콘표면에 작용하는 흙의 마찰계수로서 한계상태선의 기울기로 정의되는 값으로서, $\frac{6 \sin \phi}{(3 - \sin \phi)}$ 이다.

한편 Brown과 Mayne(1993) 등은 식 (4)를 단순화하여 마찰각이 30° 이고, 유효점착력이 0인 상태에서 식 (5)를 제안하였다.

$$\sigma'_p = K_2 (q_t - u_2) \quad (5)$$

여기서, K_2 : 상수이다.

2.2 콘시험에 의한 과압밀비 산정

퇴적토의 응력경로를 나타내는 대표적인 방법인 과압밀비(OCR) 산정은 실내시험시 시료 교란문제 때문에 원위치 시험의 중요성이 강조되고 있어 다양한 방법을 이용한 연구가 이루어지고 있다. 이와 관련하여 Wroth (1984), Mayne(1986), Konrad와 Law(1987), Mayne(1987) 그리고 Crook(1988) 등외에 Mayne와 Mitchell(1988), Mayne와 Holtz(1988), Mayne와 Bachus(1988) 등은 피조콘 시험으로부터 과압밀비를 직접 산정하는 방법을 제안하였는바 이중 적용성이 가용한 방법을 보면 다음과 같다.

(1) Chang의 방법

비배수 삼축압축시험으로 얻는 Henkel의 간극수압계수(α_f)와 유사값인 간극수압비(B_q)를 이용하여 과압밀비를 산정하는 방법은 Wroth(1984)가 이들 사이에 상관성이 높다는 것을 밝힌 이후로 세계 각지에서 실시된 시험자료를 이용하여 Chang(1991) 등은 과압밀비(OCR)가 8이하인 퇴적점토에 대해 hyperbolic model을 사용하여 식 (6)을 제안하였다.

$$OCR = 2.3 \frac{B_q}{(3.7B_q - 1)} \quad (6)$$

여기서 B_q : 간극수압비이다.

(2) Mayne and Holtz의 방법

점토지반에서의 말뚝관입과 콘관입시험의 유사성을 도입한 한계상태개념과 공동확장이론에 근거하여 Mayne (1986), Mayne와 Holtz(1988) 등은 약 30개 현장 시험자료를 이용하여 실내 표준압밀시험과 정규화한 과잉간극수압($\frac{\Delta u}{\sigma'_{vo}}$)과의 관계도로부터 식 (7)을 제안하였다.

$$OCR = \left(\frac{0.317 \Delta u}{\sigma'_{vo}} \right)^{1.79} \quad (7)$$

여기서 Δu : 과잉간극수압이다.

(3) Mayne and Bachus의 방법

Mayne와 Bachus(1988) 등은 Mayne와 Holtz(1988)의 방법과는 또다른 차원에서 공동확장이론과 Cam-clay 이론을 도입하여 식 (8)을 제시하였다. 단 식 (8)은 등방압밀 비배수 삼축압축 시험조건에서 실시한 시험자료인 $G/S_u = 400, M = 1.5$ 이고, $\Lambda = 0.75$ 등을 사용하여 산정된 식이다. 여기서 Λ 는 소성체적 변형비이다.

$$OCR = 0.38 \left(\frac{\Delta u}{\sigma'_{vo} - 1} \right)^{1.33} \quad (8)$$

(4) Schmertmann의 방법

Schmertmann(1978)은 Ladd와 Foott(1974)가 제안한 경험식을 기초로 식 (9)를 주장하였다.

$$OCR = \left(\frac{S}{S_1} \right)^{1.13 + 0.04 \left(\frac{S}{S_1} \right)} \quad (9)$$

여기서 $S = \frac{q_t - \sigma'_{vo}}{\sigma'_{vo}} / N_{60}$ 로서 콘의 비배수 전단강도이며, $S_1 = \left(\frac{S_q}{\sigma'_{vo}} \right)_{NC}$ 로서 Skempton(1957)의 강도증가율($0.11 + 0.0037 I_p$)이다.

(5) 기타 방법

Mayne(1986)은 현위치 유효수직응력(σ'_{vo})과 순 콘선단 저항력($q_t - \sigma'_{vo}$)과의 비로 정의되는 Q계수를 제안하였으며, 이것은 식 (10)과 같다.

$$Q = \frac{(q_t - \sigma'_{vo})}{\sigma'_{vo}} \quad (10)$$

식 (10)에 대해 Mayne(1986), Wroth(1988), Powell등 (1988) 그리고 Lutenege와 Kabir(1988) 등은 OCR과 Q 가 대단히 양호한 상관성이 있음을 입증함으로써 이를 적극 추천하였으며, 그 관계식을 보면 식 (11)과 같다.

$$OCR = k \left(\frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} \right) \quad (11)$$

여기서 k 는 Mayne(1986)이 q_t 대신 q_c (보정전 측정값)를 사용할 경우 0.15~0.9를 제안하였으며, Powell등 (1988)은 영국 점토에서 시험한 결과 0.2~2.2를 추천하였다.

3. 연구 대상지역의 지반조건

3.1 조사수량 및 조사결과

본 연구를 위해 실시된 조사지역은 남해안 해상지역으로서, 현장조사는 전기식 피조콘과 Vane 시험 그리고 시추조사와 병행된 표준관입시험이 실시되었으며, 실내시험은 압밀시험외에 제반 물리, 역학시험이 실시되었다. 그리고 실시된 시험 및 조사수량은 표 1과 같다.

3.2 조사결과

본 연구지역에서 실시된 시험 및 조사 결과에 대해 역학적 특성치와 물리적 특성을 보면 해성점토는 지질 시대상 빙하기 이후에 생성된 현생 해성퇴적층으로 대부분 Illite가 주성분인 점토로 구성되어있다. 토질은 흙분류상 CL~CH에 속하며, 소성지수는 33~55% 내외이다. Consistency는 자연함수비가 대체로 액성한계를 초과하여 대단히 연약한 상태이다.

또한 표준 압밀시험으로부터 산정된 과압밀비는 해저로부터 10m이내에서는 1이상 최대 8이상까지 나타나 대단히 과압밀 되어 있거나 정규압밀상태인 반면 그 이하에서는 0.3을 나타내기도 하므로 대단히 불안정한 초연약지반으로 예상되었다.

표 1. 조사 및 시험수량 집계표

구 분	시 추 조 사	피조콘시험	삼축압축시험	현장베인시험	일축압축시험
시 험 수 량	25 개소	25 개소	75 회	124회	75 회

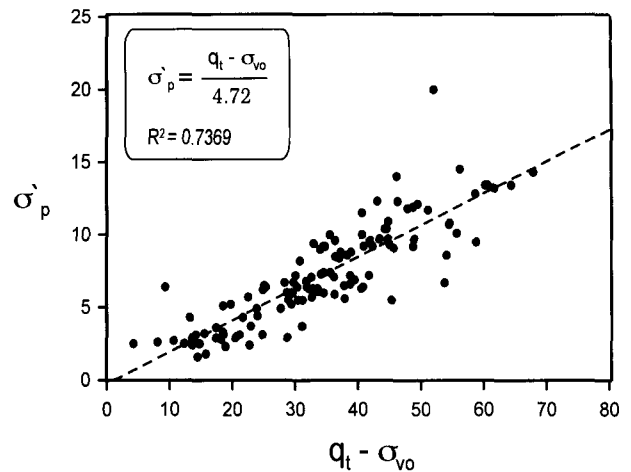


그림 1. $q_t - \sigma_{vo}$ 와 σ_p 관계도

4. 선행압밀하중 분석

4.1 선단저항값을 이용한 방법

선단저항값 ($q_t - \sigma_{vo}$)을 직접 선행압밀하중으로 산정하는 방법은 Tavenas와 Leroueil(1979) 등이 제안한 경험적 분석법인 식 (1)을 활용할 수 있으며, 이를 본 연구대상 지역에서 실시된 시험값으로 환산하면 그림 1과 같다.

그림 1로부터 회귀분석을 통해 구한 선행압밀하중은 식 (12)이다.

$$\sigma_p = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{4.72} \quad (12)$$

그림 1에서 N_{60} 값은 1.45~9.90의 분포를 보이며, 평균 4.72인데, 이 값은 Mayne과 Holtz(1988)의 2.5, Chen과 Mayne(1996)의 3.28, Larsson과 Mulabdic(1991), Leroueil(1995)의 3.43 등에 비하면 대체로 크게 나타났다.

4.2 간극수압에 의한 방법

과잉간극수압과 선행압밀하중과의 상관관계에 대해 식 (2)를 사용하여 비교 분석한 결과 그림 2와 같이 신뢰성은 다소 낮으나 상호간의 상관성은 높은 것으로 예상되었다. 이를 선형함수로 나타내면 식 (13)과 같다.

$$\sigma_p = 0.39(u_s - u_o) \quad (13)$$

예측된 선형함수를 통해 나타난 상관계수는 Larsson과 Mulabdic (1991)이 제안한 값 0.3 ~ 0.4, Kulhawy와 Mayne(1990)의 0.4와 비교하면 유사하다. 그리고 Mayne과 Holtz(1988), Kulhawy와 Mayne(1990), Chen과 Mayne (1996), Larsson과 Mulabdic(1991) 등이 과압밀비 14이하인 지반에서 실시한 결과 0.3~0.4와 비교해도 적절한 것으로 나타났다.

4.3 조합방법

그림 3은 식 (3)을 적용하여 선단저항치와 간극수압의 조합결과를 비교분석한 것으로서, 신뢰성은 비교적 높은 것으로 나타났으며, 선형함수 관계는 식 (14)와 같다.

$$\sigma'_p = 0.17 \times (q_t - u_2) \quad (14)$$

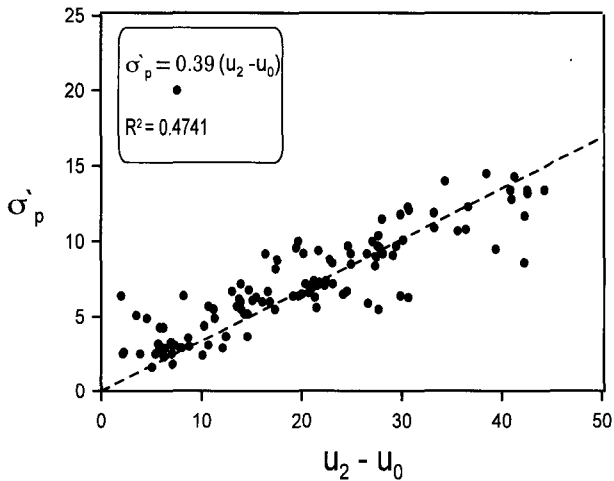


그림 2. 과잉간극수압과 선행압밀하중의 관계도

그림 3에서 추정된 N_{se} 는 0.17로 예측되어 Larsson과 Mulabdic(1991) 등이 제안한 값 1.0에 비해 대단히 작은 것으로 나타났다. 또한 Chen과 Mayne의 제안값 0.5와 Konrad와 Law(1987)의 0.5, 그리고 Mayne(1991)의 0.6, Sandven(1988) 등의 0.23과 비교해도 다소 작은 것으로 나타났다. 따라서 지역과 지반조건에 따라 결과값이 달라 지므로 신중히 검토하여 사용해야 할 것으로 판단되었다.

4.4 기타 방법

유효 수직 항복응력을 선행압밀하중(σ'_{yc})으로 평가하는 이론적 방법인 식 (4)를 사용하여 본 연구 지반조건($M=1.37, \theta=30^\circ, \phi'=34^\circ$)을 적용하여 산정하였다. 선행압밀하중은 $\sigma'_{yc} = (q_t - 1.1 u_2) / 2.6$ 으로서 Konrad와

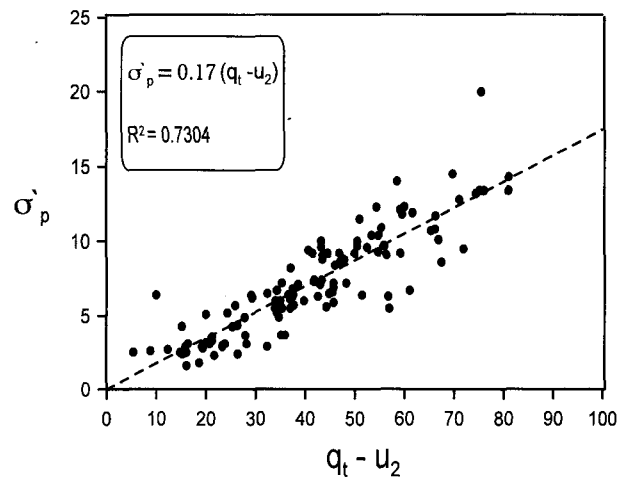
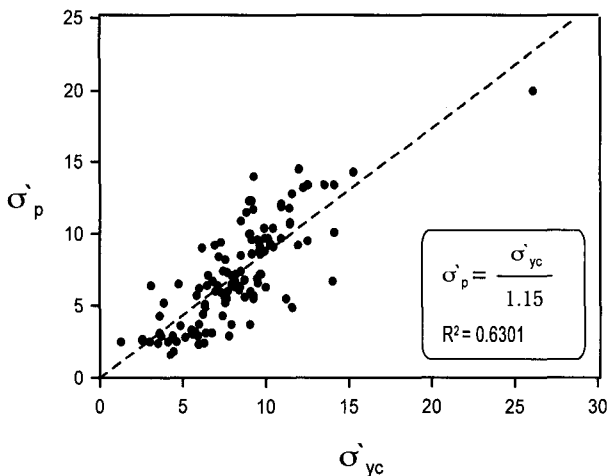
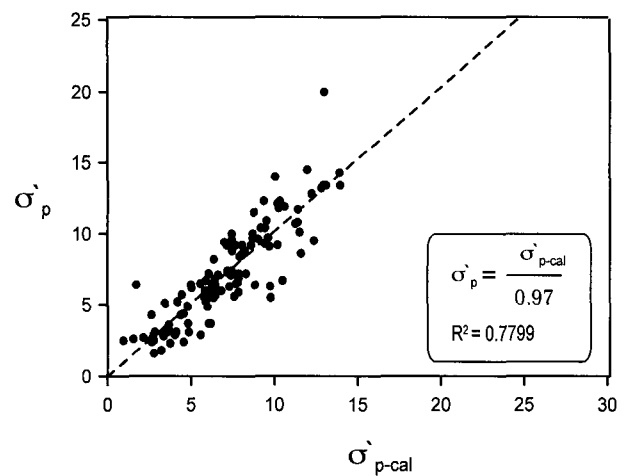


그림 3. σ'_p 와 $q_t - u_2$ 의 관계도



(a) Konrad and Law(1987) 방법



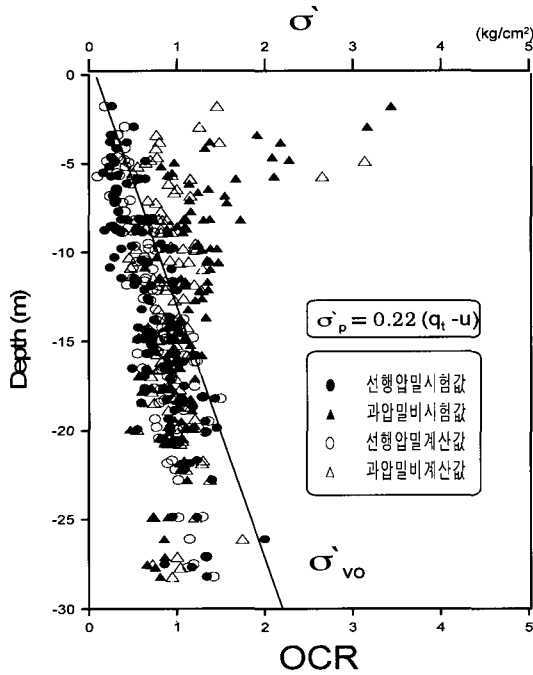
(b) Brown and Mayne(1993)의 방법

그림 4. 이론값과 시험값의 선행압밀하중 비교도

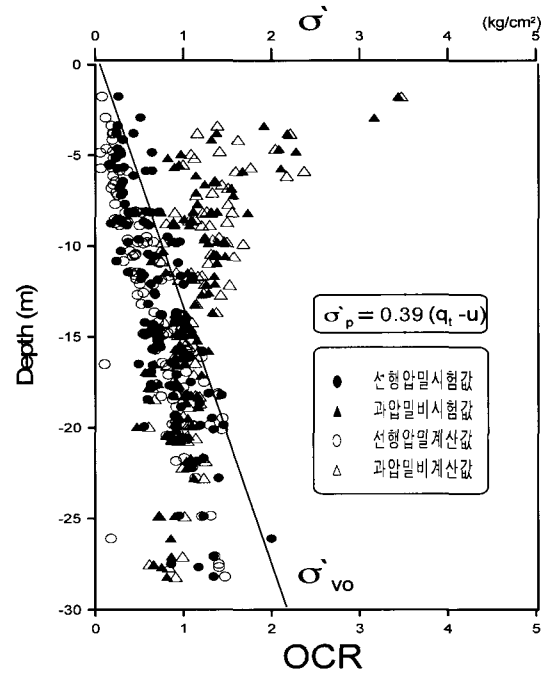
Law(1987)의 유효 항복응력 $\sigma'_{yc} \approx \frac{(q_t - 1.1 u_2)}{2}$ 과 비교하면 다소 작은 것으로 나타났으나 가정조건이 많아 지반조건에 따라 결과값 차가 클 수 있으므로 적용시 주의를 요한다. 그리고 산정된 이론적 결과값과 실내시험 결과를 비교평가 하므로써 신뢰성을 파악하였다. 분석결과 Konrad와 Law(1987) 그리고 Brown과 Mayne

(1993)의 이론적 추정 결과값은 실내시험 값과 유사(그림 4(a), 그림 4(b))한 것으로 나타나 대체로 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

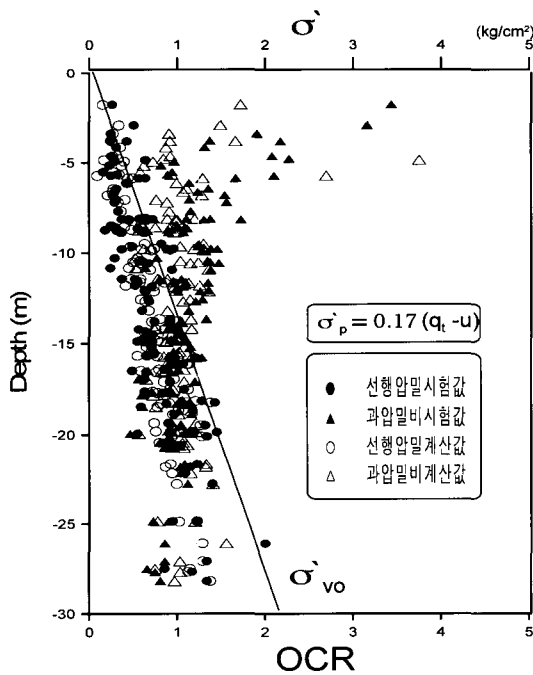
상기 정량적 회귀분석을 사용해 비교 분석한 결과 간극수압에 의한 Chen과 Mayne(1996)방법과 Konrad와 Law(1987)의 이론적 방법외의 방법들은 기 제안된 추정



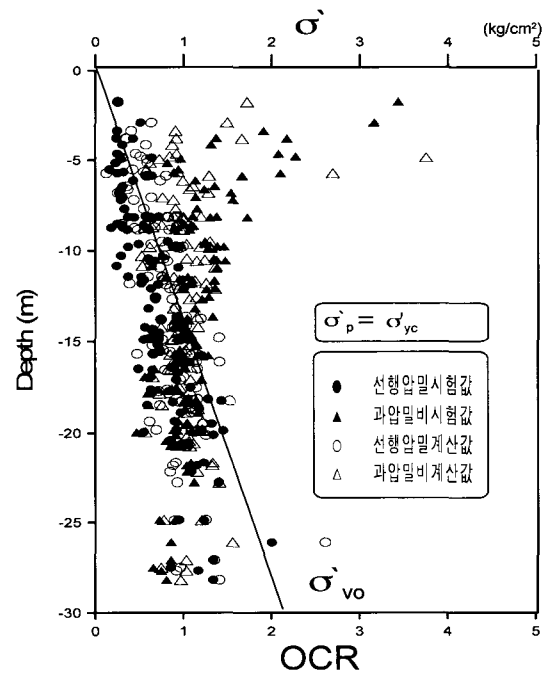
(a) 선단 저항값을 이용한 방법



(b) 과잉간극수압에 의한 방법



(c) 조합식에 의한 방법



(d) 유효 항복하중에 의한 방법

그림 5. 심도별 응력비교도

값에 비해 그 결과값의 편차가 커서 부분적으로 신뢰성의 한계가 있어 보이는바 적용성이 낮을것으로 예상된다. 따라서 회귀분석법과는 별도로 심도별로 시험값과 예측값을 동시에 plotting 한 결과 그림 5와 같이 대부분의 추정방법이 그 특성상 큰 차가 없는 것으로 나타나 적용성이 높은 것으로 예상되었다. 특히 간극수압을 이용한 추정방법은 상관계수가 기존 추정값과 비교해도 타당한 것으로 나타나 적용성이 뛰어난 것으로 밝혀졌다.

이같은 결과는 본 현장 대상 지반조건이 해성 점토지반으로서 해저 부근(G.L-10m)에서는 다소 과압밀되었다해도 강도정수가 대단히 작으며, 하부지반은 대부분 정규압밀이거나 압밀진행중인 지반으로서 간극비가 커서 콘관입시 선단저항의 대부분이 간극수압에 의해서 크게 지배를 받기 때문인 것으로 예상된다. 따라서 상기 결과를 본 현장의 지반조건과 유사한 현장 조사과업에

적용해도 무리가 없을 것으로 예측된다.

5. 과압밀비 분석결과

5.1 Chang의 방법 등

원위치시험으로부터 과압밀비를 신속히 구하는 방법을 찾기위해 표준압밀시험과 피조콘 시험결과를 경험적 방법을 사용하여 회귀 분석한 결과는 그림 6~그림 9와 같다. 분석 결과에 따르면 Mayne과 Holtz(1988), Mayne과 Bachus(1988)의 방법은 대체로 과압밀비가 1.0이하인 값에서 수렴도가 높은 것으로 나타났고, 그 절대값은 실내시험값에 비해 작은 것으로 나타났으며, 이에 비해 Chang(1991)과 Schmertmann(1978) 등의 방법은 과압밀비가 1.0이상인 지반에서 분포도가 높은 것

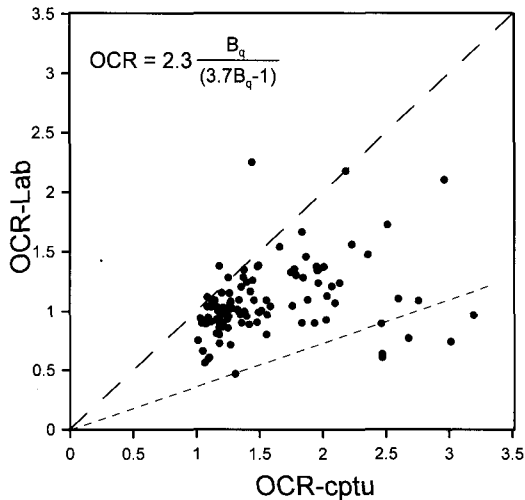


그림 6. 실내시험과 Chang방법의 OCR 비교도

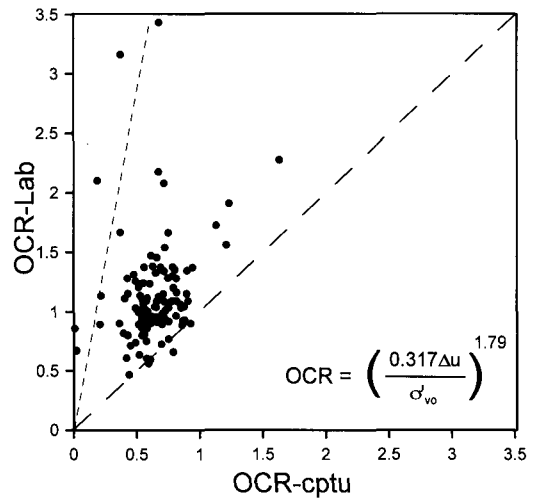


그림 7. 실내시험과 Mayne and Holtz의 비교도

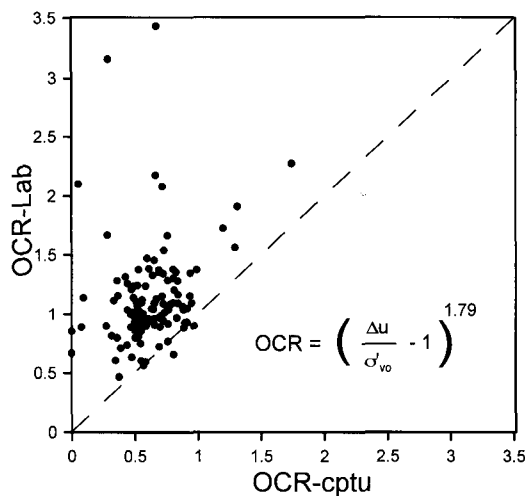


그림 8. 실내시험과 Mayne and Bachus 비교도

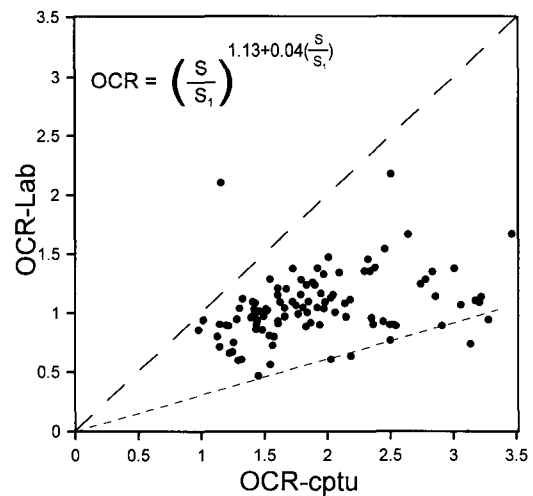


그림 9. 실내시험과 Schmertmann OCR 비교도

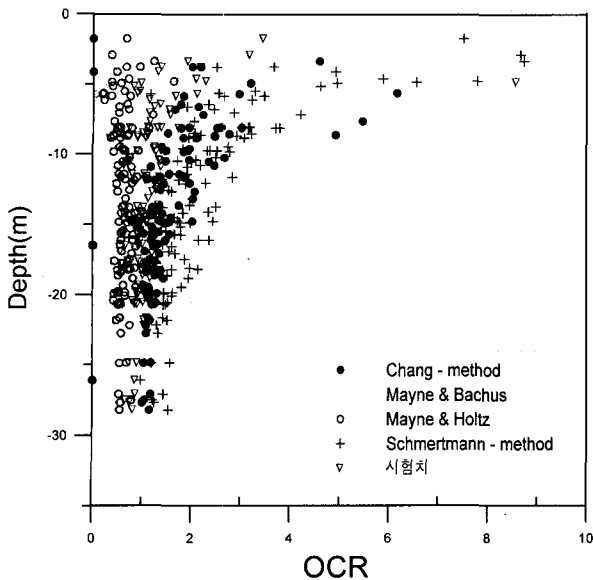


그림 10. Chang(1991) 등의 응력이력도

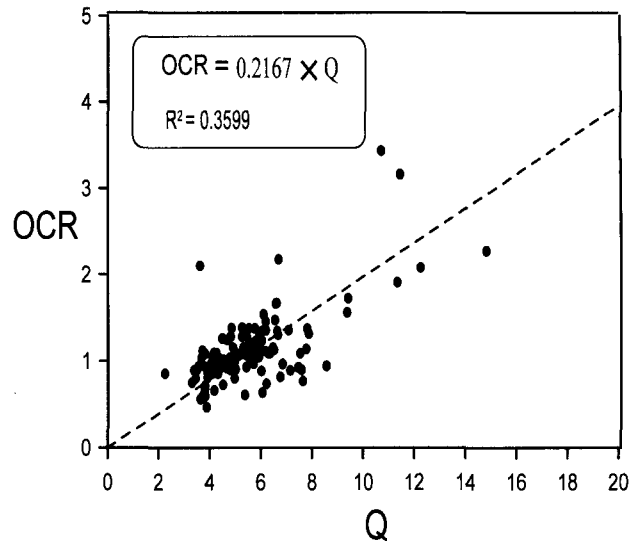


그림 11. Q와 OCR 관계도

으로 나타났으며, 대체로 절대값은 실내시험값에 비해 큰 것으로 나타났다.

이같은 결과는 제안식 자체가 갖고있는 특성에 의해 지배되기 때문인 것으로 추정된다. 한편 이와는 별도의 또다른 방법으로 심도별 응력이력을 나타낸 비교도는 그림 10이다. 그림 10은 예측값과 실측값을 동시에 나타낸 그림으로서 과압밀비가 1.0이상인 해저 지반으로부터 지반깊이 10m까지는 대체로 Chang(1991), Schmertmann(1978)의 방법이 시험값과 유사한 결과를 보였으며, 과압밀비가 1.0이하인 하부 지반에서는 대체로 Mayne과 Holtz(1988), Mayne과 Bachus(1988)의 방법이 실내 표준압밀시험 결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

따라서 그림 6~그림 9에 나타난 결과와 비교하더라도 이같은 추이는 타당한 것으로 판단된다. 그리고 동일한 방법으로 심도별 응력이력을 나타낸 결과는 그림 5와 같이 Chen과 Mayne(1996)의 방법이 실내시험값과 유사한 것으로 나타나므로 그 적용성이 높은 것으로 나타났다. 이 중 과잉간극수압을 이용한 방법이 실내 표준압밀 시험결과와 가장 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 심도별 응력이력은 지반특성에 따라 적절히 제안방법을 선별하여 적용하는 것이 타당한 것으로 판단되었다.

5.2 기타 방법

OCR을 표현하는 또다른 방법으로 Mayne(1986)의 Q 계수를 이용하여 회귀분석한 결과는 그림 11이다. 그림

11에 따르면 신뢰성은 비록 낮은 것으로 나타났으나 상관성은 있는 것으로 나타났다. 이를 정량적인 값으로 기존 연구 결과 $0.45 \sim 5.0(Q/OCR)$ 와 비교하면 본 연구결과로 나타난 기울기 4.6과 비교할 경우 다소 크게 나타나므로 선별하여 적용해야 할 것으로 판단된다. 그리고 본 추정결과는 Powell등 (1988), Larsson과 Mulabdic (1991) 등의 결과와 다른 경향을 보이므로 현장 적용시 지반조건에 부합되게 적절히 사용해야한다.

6. 결론

해성 점토지반의 응력이력에 대해 표준압밀 시험과 피조콘 시험 추정방법을 비교 평가하므로서 원위치상에서의 응력이력을 국내실정에 적합한 경험식으로 나타내기 위해 남해안 신항만 건설공사 현장에서 실시한 시험 결과를 비교 분석하였다. 기존 연구자들이 제안한 다양한 경험식에 대해 국내 적용성을 검토하였으며, 조사 지역에 대한 최적식을 제안하였다. 연구 수행한 결과는 다음과 같다.

- (1) 선행압밀하중에 대하여 표준압밀시험 결과와 비교한 결과, Chen과 Mayne(1996)의 경험방법중 간극수압을 이용한 방법 $\sigma_p = 0.39(u_2 - u_o)$ 과 Konrad와 Law(1987)의 이론적 방법 $\sigma_{yc} = (q_t - u_1)/2.6$ 이 기존 연구결과와 유사한 것으로 나타나 적용성이 높은 것으로 나타났다. 하지만 기타 방법은 신뢰성이 높지 않을 뿐만아니라 기존 연구결과와 비교해도 편차

가 있으므로 적절한 보정을 한 후 현장에 적용 가능한 것으로 판단되었다.

- (2) 과압밀비도 선행압밀하중과 같이 다양한 방법으로 비교 분석하였다. 그 결과 대체적으로 신뢰성이 낮은 것으로 나타났으나 단지 Chen과 Mayne(1996)의 경험식중 간극수압을 이용한 방법은 양호한 것으로 나타나 적용성이 가장 높은 것으로 나타났으며, Mayne과 Holtz(1988) 방법과 Mayne과 Bachus(1988) 방법은 과압밀비가 1.0 이하의 지반에서, Chang(1991) 방법과 Schmertmann(1978)의 방법은 1.0 이상의 지반에서 각각 적정한 것으로 판단되었다.
- (3) 국내 해성 점토지반에 적합한 응력이력을 예측한 결과 식 (13)을 활용한 응력이력이 가장 신뢰성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 본 연구결과는 남해안 해상지역을 대상으로 국한하여 실시한 연구결과이므로 다른지역에서 사용할 경우는 재검토하여 사용해야 할 것으로 판단된다.
- (4) 본 연구결과와 응력이력 예측값이 기존 연구결과와 비교하여 대체로 적용성이 떨어지며, 특징적으로 과잉간극수압을 활용한 예측만 유사한 경향을 보이는 것은 연구대상 지반특성차로 인해 발생된 것으로 예측된다. 즉 본 현장은 초연약지반으로 콘 관입 측정값이 과잉간극수압에 의해 크게 지배받기 때문인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Baligh, M. M., Vivatrat, V., and Ladd, C. C.(1980), "Cone penetration in soil profiling", *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 106(4).
2. Brown, D. N., and Mayne, P. W.(1993), "Stress history profiling of marine clays by piezocone. Piezocone", *Proceedings of the 4th Canadian Conference on Marine Geotechnical Engineering*, Memorial University, St. John's, Newfoundland, Vol.1, pp.176-191.
3. Chang, M. F.(1991). "Interpretation of overconsolidation ratio from in situ tests in recent clay deposits in Singapore and Malaysia", *Canadian Geotechnical Journal*, 28(2).
4. Chen, B. S., and Mayne, P. W.(1995). "Type 1 and 2 piezocone evaluation of overconsolidation ratio in clays", CPT'95, International Symposium on Cone Penetration Testing, Linkoping, 4-5 October 1995. *Swedish Geotechnical Society*, Report 3:95.
5. Chen, B. S. Y., and Mayne, P. W.(1996). "Statistical relationships between piezocone measurements and stress history of clays", *Canadian Geotechnical Journal*, 33.
6. Houlsby, G. T.(1988). "Piezocone penetration test", *Proceedings of the Geotechnolgy Conference on Penetration Testing in the U.K., Birmingham*, 6-8 July.
7. Kabir, M. G., and Lutenegeger, A. J.(1988). "Discussion of Preconsolidation pressure from piezocone tests in marine clays", *Geotechnique*, 38(3).
8. Konrad, J. M., and Law, K.(1987). "preconsolidation pressure from piezocone tests in marine clays", *Geotechnique*, 37(2).
9. Kulhawy, F. H., and Mayne, P. W.(1990), "Manual on estimating soil properties for foundation design", *Report EL-68000, Electric Power Research Institute, EPRI*, August 1990, Palo Alto, 360p.
10. Ladd, C. C., Foott, R., Ishihara, K., Schlosser, F., and Poulos, H. G.(1977), "Stress deformation and strength characteristics", *Proceedings, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, Vol.2, pp.421-494.
11. Larsson, R., and Mulabdic, M.(1991). "Piezocone tests in clay", *Swedish Geotechnical Institute Report No.42, Linkoping*. 240p.
12. Leroueil, S., Demers, D., LaRochelle, P., Martel G., and Virely, D.(1995), "Practical use of the piezocone in Eastern Canada clays. CPT'95", International Symposium cone Penetration Testing, Linkoping, 4-5 October 1995. *Swedish Geotechnical Society*, Report.
13. Mayne, P. W.(1986), "CPT indexing of in situ OCR in clays", *Proceedings of the ASCE Specialty Conference In Situ '86: Use of In-Situ Tests in Geotechnical Engineering*, Blacksburg, 23-25 June 1986. Edited by S. P. Clemence. *Geotechnical Special Publication No.6*. pp.780-793.
14. Mayne, P. W.(1991). "Determination of OCR in clays by piezocone tests using cavity expansion and critical state concepts", *Soils and Foundations* 31(1).
15. Mayne, P. W., and Bachus, R. C.(1988). "Profiling OCR in clays by piezocone", *Proceedings of the 1st International Symposium on Penetration Testing(I.S.O.P.T.)*, Orlando, 20-24 March 1988. *Edited by J. DeRuiter*. Vol.2.
16. Mayne, P. W., and Chen, B. S. Y.(1994), "Preliminary calibration of PCPT-OCR model for clays", *Proceedings of the 13th International Conference On Soil Mechanics and Foundation Engineering*, New Delhi, Vol.1, pp.283-286.
17. Mayne, P. W., and Holtz, R. D.(1988). "Profiling stress history from piezocone soundings", *Soils and Foundations*, 28(1).
18. Powell, J. J. M., Quarterman, R. S. T., and Lunne T.(1988). "Interpretation and use of the piezocone test in UK clays", *Proceedings of the Geotechnolgy Conference on Penetration Testing in the U.K., Birmingham*, 6-8 July, pp.151-156.
19. Senneset, K., Janbu, N., and Svan ϕ , G.(1982). "Strength and deformation parameters from cone penetration tests", *Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing*, ESOPT-II, Amsterdam, 24-27 May 1982. Edited by A. Verruijt, F. L. Beringen, and E. H. DeLeeuw. A. A. Balkema, Rotterdam, Vol.2, pp.863-870.
20. Tavenas, F., and Leroueil, S.(1979). "Clay behaviour and the selection of design parameters", *Proceedings of the 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Brighton, Vol.1, pp.281-291.
21. Tavenas, F., and Leroueil, S.(1987). "State-of-the-art on laboratory and in-site stress-strain-time behavior of soft clay", *Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils*, Mexico City, 13-14 August 1987, pp.1-46
22. Wroth, C. P.(1984). "The interpretation of in-situ soil tests", *Geotechnique*, 34(4): pp.449-489.