

피에조콘 관입시험에 의한 과압밀비 산정에 관한 연구

이기세^{1*} · 신원태² · 구남실³ · 김학준⁴

¹대전대학교 토목공학과, ²한국지오컨설턴트

³토지공사 대전충청지사, ⁴대전대학교 지반설계정보공학과

Determination of the Overconsolidation Ratio using the Piezocone Penetration Test

Lee Kise^{1*}, Shin Wontae², Goo Nam Shil³, and Kim Hak Joon⁴

¹Daejeon University, Dept. of Civil Engineering, ²Korean Geo-Consultants Co., Ltd.

³KLC Daejeon and Choong Chung District, ⁴Daejeon University, Dept. of Geotechnical Design Engineering

본 연구에서는 피에조콘 관입시험(PCPT)결과를 사용한 연약지반의 과압밀비(OCR)결정의 타당성을 평가하고자 양산-물금지역의 연약지반에서 실시된 피에조 콘 관입시험 자료와 동일지역 44개소에서 심도별로 시추한 총 172개 자연시료를 사용하여 기본적인 실내토질시험 결과를 사용하였다. 실내압밀시험 결과로부터 구한 과압밀비(OCR_c)와 압밀시험에 사용된 시료와 상응하는 지역에서 실시된 피에조콘 관입시험 결과로 구한 과압밀비(OCR_p)를 비교·분석하여 피에조콘 관입시험 결과와 과압밀비의 상관 관계식을 제시하였다. 본 연구에 사용된 점토의 경우 Poewll 등(1994)이 균열이 없는 점토를 대상으로 하여 제안한 경험식으로 구한 과압밀비가 표준압밀시험으로 구한 과압밀비와 가장 잘 부합되는 것으로 나타났다.

주요어 : 피에조콘 관입시험, 과압밀비, 표준압밀시험, 피에조콘 변수, 압밀

Using the results of the Piezocone Penetration Test(PCPT) which were executed at the Yangsan-Mulgum site, the applicability of the interpretation methods for estimating the OCR(Overconsolidation Ratio) of soft clay was evaluated. At the same time, the results from the laboratory tests using the total of 172 undisturbed soft clay samples taken from the 44 bore holes of the Yangsan-Mulgum site were used to compare the OCR values obtained from the consolidation test with those from the PCPT. The relationship between the predicted overconsolidation ratio(OCR_p) using the PCPT and the measured overconsolidation ratio(OCR_c) from the laboratory consolidation tests are investigated and presented in this study. The OCR_p by using the Powell et al.'s method for non-fissured clay from the results of the PCPT shows the best relationship with the OCR_c obtained from the laboratory consolidation test.

Key words : piezocone penetration test(PCPT), overconsolidation ratio(OCR), oedometer test, piezocone parameter, consolidation

서론

현장 지반조사는 측정방법에 따라 그 종류가 매우 다양하다. 그 중 대표적으로 많이 사용되는 방법으로는 표준관입시험(Standard Penetration Test)과 콘 관입시험(Cone Penetration Test)이다. 표준관입시험의 경우 시험방법이 간편하고 호트러진 시료를 쉽게 채취 할 수 있

어 콘 관입시험보다 현장에서 많이 사용되고 있으나, 장비의 상태 및 시험자의 숙련도에 따라 시험자료의 신뢰성이 좌우되며 깊이에 따른 연속적인 지반의 특성자료를 구할 수 없다. 또한 거의 모든 작업이 인력으로 이루어지기 때문에 시험시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이런 단점을 줄이고 정확하고 신속한 지반조사를 위해 기계적 콘 관입시험(Mechanical Cone Penetration Test)

*Corresponding author: kiselec@dju.ac.kr

을 보완하여 시험 중에 하중과 수압을 연속적으로 측정하기 위해 전자식 정밀측정센서를 장치한 피에조 콘 관입시험(Piezocone Penetration Tests, PCPT)에 관한 연구와 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 이런 연구결과(박찬국 등, 2002; 이강운 등, 2002; 장인성 등, 2002)에 따라 시험의 신뢰성이 높아져서 여러 현장에서 실제 많이 사용되는 추세이다.

콘 저항값(q_c), 마찰 저항값(f_s), 간극수압(u)을 측정할 수 있는 피에조 콘 관입시험의 신속성과 반복성 및 경제성 등의 장점 때문에 최근 이 시험기계의 사용이 증가하고 이에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 특히, 연약지반을 개량하는데 적용된 각각의 공법에 의한 원지반의 개량효과를 판단하는데 주로 피에조 콘 관입시험을 적용하여 원지반의 강도 증가 여부를 측정하거나 압밀도를 평가하여 개량효과를 판단하는데 비교적 정확하고 신뢰할 수 있는 시험방법으로 평가되고 있다.

이에 본 연구에서는 양산-물금지역의 피에조 콘 관입 시험자료(토지공사, 1997, 1998, 1999)를 이용하여 연약 지반의 압밀특성 중 관입시험에서 측정된 콘 선단 저항값(q_c), 마찰저항값(f_s), 간극수압(u)과 상관관계를 보이는 과압밀비(OCR)를 회귀분석으로 상관관계식을 구하였다. 또한 상관관계식으로 구한 과압밀비를 Terzaghi(1943)의 압밀이론에 따른 압밀시험 결과로 그런 압밀곡선을 사용하여 Casagrande(1936) 방법으로 구한 과압밀비와 비교하여 피에조 콘 관입시험결과의 압밀특성 중 하나인 과압밀비 산정에 대한 적용성에 대해 논거 하였다.

PCPT를 이용한 기존의 과압밀비 산정방법

개요

흙의 응력-변형률 특성을 나타내는 과압밀비는 강도 특성이나 응력-변형률 특성, 그리고 압축성 등에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이다. 과압밀비는 현재 흙이 받고 있는 연직유효응력과 그 흙이 지금까지 받은 연직유효응력(σ_v') 중 최대 응력인 선행압밀압력(σ_p')의 비로 정의된다. 만약, 과압밀비가 1이면 그 흙은 정규압밀 상태를 나타내고, 과압밀비가 1보다 크면 그 흙은 과압밀 상태에 있음을 의미한다.

과압밀비를 구하는 방법에는 표준압밀시험, 피에조콘 관입시험, 델레토미터 시험, 프레스미터 시험 등이 있는데 이 중 피에조콘 관입시험을 이용하여 과압밀비를 구하는 방법이 여러 연구자들에 의하여 제시되었다(장인성 등, 2002; 이강운 등, 2002; 박찬국 등, 2002).

본 연구에 사용된 피에조콘 관입시험 장비는 일반적인 전기식 콘 장치로서 그 구성은 Fig.1에서 보듯이 콘 저항을 측정하는 콘의 선단부(cone tip)와 간극수압을 측정하기 위해 사용되는 다공질 필터와 마찰저항을 측정하는 마찰관(friction sleeve)부로 구성된다. 간극수압은 일반적으로 원추면(u_1), 원추 바로 뒤(u_2), 그리고 마찰 슬리브 뒤(u_3)에서 측정된다. 그러나 원추면에 위치한 경우 관입시 필터 손상이나 필터자체의 압축현상으로 간극수압의 측정시 오차 발생 가능성이 크기 때문에 원추 바로 뒤에 위치한 곳에서 측정되는 간극수압(u_2) 측정방법이 표준형으로 많이 채택되고 있다. 본 연구에서 사용된 간극수압 자료도 표준형 콘에서의 간극수압(u_2)이다. 시험에 사용된 피에조콘(네덜란드 Fugro사 제품)의 치수는 선단각이 60° , 콘의 선단면적이 10 cm^2 , 마찰관(friction sleeve)의 표면적은 150 cm^2 이며 로드셀 용량은 50 KN이다.

피에조콘 관입시험 결과로부터 과압밀비를 구하는 여러 방법들이 제안되었으며 이 방법들은 일반적으로 과압밀비를 종속변수로 하고 콘 선단 저항값(q_c)과 간극수압(u_2), 그리고 연직유효응력(σ_v')을 독립변수로 하는 경험식들로 나타내며 그 식들은 다음과 같다.

Mayne & Holts의 방법

Mayne & Holts(1988)는 연직전응력(σ_v')과 연직유효응력(σ_v')을 고려한 콘 선단 저항값(q_c)과 과압밀비

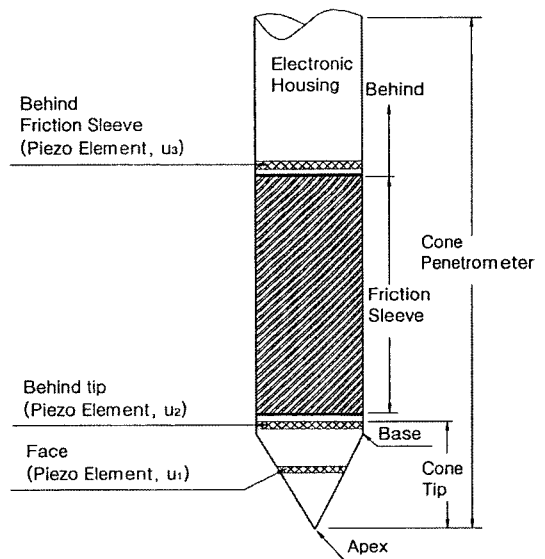


Fig. 1. The piezocone penetration test.

(OCR_p¹)와의 상관관계를 통하여 식 (1)과 같이 제시하였다.

$$OCR_p^1 = 0.4 \cdot \left(\frac{q_c - \sigma_v}{\sigma_v'} \right) \quad (1)$$

Kulhawy & Mayne과 Powell et al.의 방법

Kulhawy & Mayne(1990)과 Powell et al.(1988)은 피에조콘 관입시험 결과로부터 과압밀비를 계산하기 위해 수정콘 선단 저항값(q_n)과 순 콘 선단 저항값(q_n)을 포함하는 과압밀비(OCR_p²)와의 관계식을 식 (2)와 같이 제안하였다.

$$OCR_p^2 = k_2 \cdot \frac{q_n}{\sigma_v'} = k_1 \cdot \left(\frac{q_c - \sigma_v}{\sigma_v'} \right) \quad (2)$$

여기서, k₁: 흙의 종류와 지역에 따라 변하는 값

Kulhawy&Mayne(1990)은 식 (2)에서 k₁=0.33일 때 통계적으로 가장 좋은 상관관계를 보인다고 하였으며, Powell et al.(1988)은 영국의 점토를 사용한 실험결과 균열이 없는 점토(non-fissured clay)인 경우는 k₁=0.2~0.24 에서, 과압밀이 큰 균열 점토(heavily overconsolidated fissured clay)에서는 k₁=0.91~2.22일 때 통계적으로 가장 높은 상관성을 보인다고 하였다. 장인성 등(2002)의 연구에 의하면 우리나라 점토의 경우 전국 9 개 지역의 시료를 사용한 시험결과로부터 는 0.08~0.5 사이 값을 보인다고 하였다.

Chen & Mayne의 방법

Chen & Mayne(1994)은 피에조콘 관입시험으로 측정 한 간극수압(u₂)을 이용하여 과압밀비(OCR_p³)를 계산하는 경험식을 식 (3)과 같이 제안하였다.

$$OCR_p^3 = 0.46 \cdot \left(\frac{q_c - u_2}{\sigma_v'} \right) \quad (3)$$

사례지역의 과압밀비 산정

압밀시험에 의한 과압밀비 산정

과압밀비를 산정하기 위해서 본 연구에서는 양산-물금지역의 현장에서 실시된 피에조콘 관입시험 결과와 병행하여 한국토지공사(1997, 1998, 1999)에서 44개의 시추공의 총 172개 시료로부터 수행한 실내토질시험(압밀 시험, Atterberg 한계시험, 입도분포시험 등)결과를 활용하였다. 44개 시추공에서의 실내토질시험 결과 중 지면 관계상 1번과 30번 시추공에서의 시험 결과만을 Table 1과 같이 요약하였다. 통일분류법에 의하면 본 연구대상 지역 지반의 흙은 약 80%가 압축성이 낮은 점토(CL)이며, 나머지 20%가 압축성이 높은 점토(CH)로 분류되며, 대부분의 점토는 정규압밀상태인 것으로 나타났다. 과압밀비(OCR_c)는 압밀시험결과로부터 압밀곡선을 그린 후 Casagrande(1936) 방법으로 구한 선행압밀압력을 적용하여 산정하였다.

선형 회귀분석에 의한 과압밀비 산정

피에조콘 관입시험결과를 사용하여 결정하는 과압밀비의 일반적인 형태의 경험식은 통상적으로 과압밀비를 종속변수로 하고 콘 선단 저항값(q_c)과 연직 전응력(s_v)과의 차(q_c-σ_v), 수정 콘 선단저항값(q)과 연직 전응력(σ_v)과의 차(q_t-σ_v), 수정 콘 선단 저항값(q)과 간극수압(u₂)의 차(q_t-u₂)에 대한 연직 유효응력(σ_v')의 비를 독립 변수로 하는 식으로 구성된다.

Table 1. Results of soil laboratory tests and PCPT for boreholes 1 and 30.

Boring No.	Depth (m)	USCS	WL (%)	WP (%)	Gs	Wn (%)	e	γ _t (g/cm ³)	σ _v ' (kg/cm ²)	σ _p ' (kg/cm ²)	OCR	q _c (kg/cm ²)	q _s (kg/cm ²)	u ₂ (kg/cm ²)
1	5.4	CL	41.2	16.3	2.72	61.5	1.73	1.61	0.48	0.52	1.1	3.35	-0.02	0.25
	10.9	CL	43.5	16.6	2.73	74.5	2.02	1.58	0.80	0.6	0.7	4.64	0.02	3.08
	23.0	CL	44.3	18.9	2.70	54.8	1.49	1.68	1.62	1.55	1	7.06	0.02	6.16
	28.4	CL	38.6	13.8	2.70	54.2	1.49	1.67	1.98	1.75	0.9	9.64	0.07	6.95
30	2.35	CL	84.79	33.4	2.67	38.1	1.00	1.85	1.64	1.84	1.1	5.71	0.1	2.54
	5.9	CL	92.28	46.9	2.68	53.9	1.44	1.69	1.88	1.62	0.9	6.19	0.12	4.12
	13.17	CL	99.44	47.9	2.67	48.3	1.28	1.74	2.42	1.75	0.7	7.24	0.12	5.88
	19.7	CL	91.07	33.9	2.62	42.7	1.14	1.75	2.91	2.45	0.8	10.47	0.16	7.49
	23.35	CL	99.24	35.2	2.64	45.3	1.22	1.73	3.18	2.48	0.8	11.67	0.19	6.93

USCS: Unified Soil Classification System, WL: Liquid Limits, WP: Plastic Limits, Wn: Natural Water Content, e: Void Ratio, γ_t: Total Unit Weight, σ_p': Preconsolidation Pressure, σ_v': Vertical Effective Stress, q_c: Cone Tip Resistance, q_s: Cone Sleeve Friction, U₂: Water Pressure

피에조콘 관입시험에 의한 과압밀비 결정시 사용된 경험식은 위에서 언급된 3가지 형태의 식이며 그 식의 구성은 각각 $(q_c - \sigma_v) / s_v'$, $(q_t - \sigma_v) / s_v'$, $(q_t - u_2) / \sigma_v'$ 를 독립변수로 과압밀비를 종속변수인 형식으로 이루어진다. 위 식에 콘 관입시험 결과와 실내 토질시험결과를 적용하여 각각의 과압밀비를 구하였다. 즉, 토질시험으로 구한 물성치를 이용하여 심도별 연직 전응력(σ_v), 연직 유효 응력(σ_v')을 구한 후 콘관입시험과 같은 심도에서 추출한 불교란시료를 사용하여 실시한 압밀시험결과를 이용하여 Casagrande(1936) 방법으로 구한 선형압밀압력(σ_p)을 적용하여 과압밀비(OCR_c)를 계산하였다. 피에조콘 시험결과를 식 (1), (2), (3)에 각각 적용하여 구한 과압밀비(OCR_p^1 , OCR_p^2 , OCR_p^3)와 표준압밀시험으로 구한 과압밀비(OCR_c) 사이의 관계는 Fig. 2-Fig. 4와 같으며 두 변수가 높은 상관성을 보이고 있다. 피에조콘 시험 결과로 구한 과압밀비와 표준압밀시험 결과로부터 측정된 과압밀비 사이의 선형회귀 분석결과, 식(4), 식(5), 식(6)을 구하였으며 결정계수(R^2)가 각각 0.913, 0.927, 0.879로 높은 상관관계를 보이고 있다. 식 (4)와 식 (6)의 결과가 유사한 값을 보이며 식 (5)의 결과는 식(4) 및 식 (6)과 비교하여 약간 큰 값을 보인다.

$$OCR_p^1 = 0.282 \cdot (q_c - \sigma_v) / \sigma_v' \quad R^2 = 0.913 \quad (4)$$

$$OCR_p^2 = 0.209 \cdot (q_t - \sigma_v) / \sigma_v' \quad R^2 = 0.927 \quad (5)$$

$$OCR_p^3 = 0.295 \cdot (q_t - u_2) / \sigma_v' \quad R^2 = 0.879 \quad (6)$$

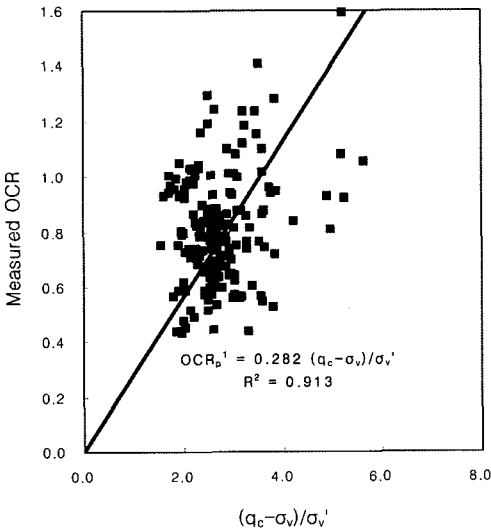


Fig. 2. Relationship between OCR_c and OCR_p1 .

기존 경험식과의 비교 및 분석

표준압밀시험으로 구한 과압밀비(OCR_c)를 피에조콘 관입시험 결과를 이용하여 Mayne&Holts(1988), Kulhawy & Mayne(1990), Poewll et al.(1988), Chen & Mayne (1994)의 경험식에 적용하여 구한 각각의 과압밀비와 비교·분석하였다.

각각의 경험식에서 제시한 값의 범위 내에서 표준압밀시험으로 구한 과압밀비에 가장 근접한 과압밀비를 보이는 값을 적용한 식을 사용하여 과압밀비(OCR_p)를 구하였다. 경험식에 사용된 값은 Table 2와 같으며 표

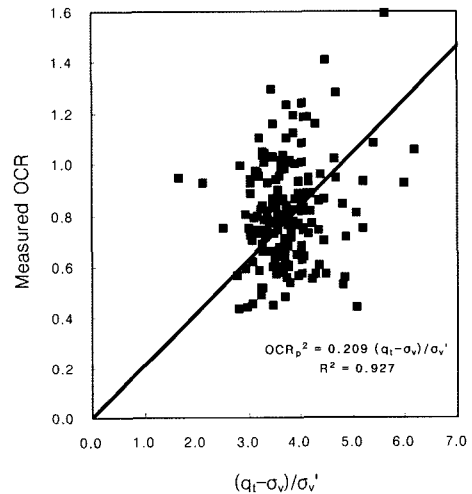


Fig. 3. Relationship between OCR_c and OCR_p2 .

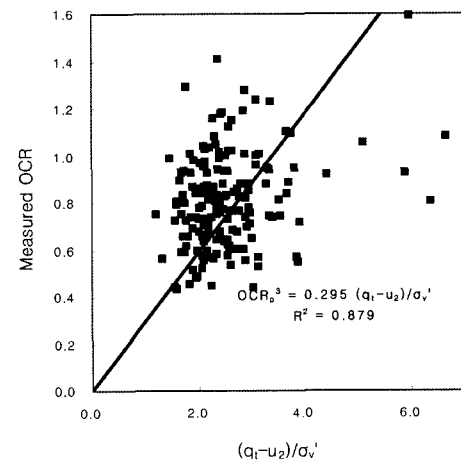


Fig. 4. Relationship between OCR_c and OCR_p3 .

Table 2. K_t values used for the estimation of OCR_p .

Method of Analyses	Soil condition	
Mayne & Holts	-	0.4
Kulhawy & Mayne	-	0.33
Poewll et al.	Non-fissured clay	0.2
	Heavily overconsolidated fissured clay	0.91
Chen & Mayne	-	0.46

에 정리된 각 식의 값을 적용한 각 식으로부터 과압밀비를 구하였다.

Fig. 5는 Mayne&Holts(1988)가 제안한 식($k_t=0.4$)으로 구한 과압밀비(OCR_p^1)와 표준압밀시험으로 구한 과압밀비(OCR_c) 사이의 관계를 나타내며 그림 중 점선은 두 값이 일치할 때를 의미하며 그림에서와 같이 두 값 사이의 상관성은 결정계수(R^2)가 0.912로 높은 상관성을 보인다. 두 변수 사이의 관계를 회기분석을 통한 통계식으로 나타내면 그림에서 실선으로 나타나는 직선식인 식 (7)과 같다.

$$OCR_p^1 = 1.299 \cdot OCR_c \quad R^2 = 0.912 \quad (7)$$

Fig. 6은 Kulhawy&Mayne이 제안한 식($k_t=0.33$)으로 구한 과압밀비(OCR_p^2)와 표준압밀시험으로 구한 과압밀비 사이의 관계를 나타내며 두 변수 사이의 통계식은 식 (8)와 같으며 결정계수(R^2)는 0.926이다.

$$OCR_p^2 = 1.467 \cdot OCR_c \quad R^2 = 0.926 \quad (8)$$

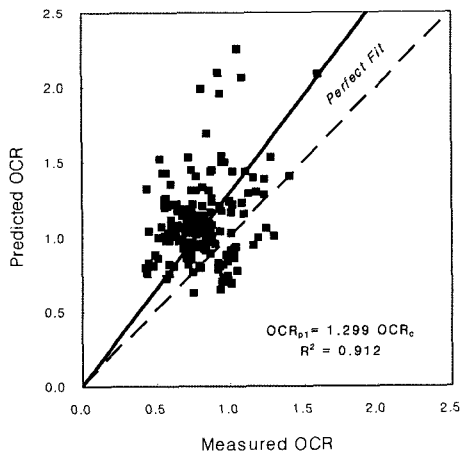


Fig. 5. Relationship between OCR_c and OCR_{p1} obtained using Mayne and Holts' suggestion.

Fig. 7과 Fig. 8은 Powell et al(1988)이 균열이 없는 점토인 경우($k_t=0.2$)와 과압밀이 큰 균열 점토인 경우($k_t=0.91$)에 대하여 제안한 식으로 구한 과압밀비(OCR_p^3 , OCR_{p4})와 압밀시험으로 구한 과압밀비(OCR_c)

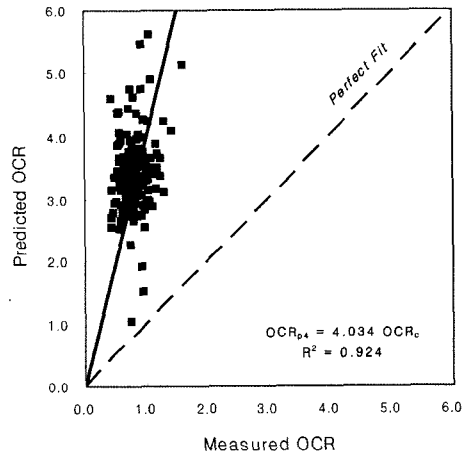


Fig. 6. Relationship between OCR_c and OCR_{p2} obtained using Kulhawy and Mayne's suggestion.

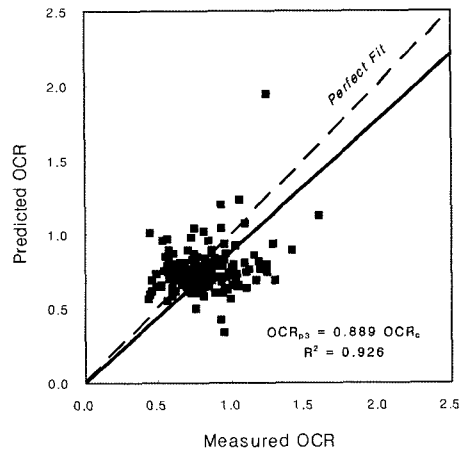


Fig. 7. Relationship between OCR_c and OCR_{p3} obtained using Powell et al's suggestion for non fissured clay.

이의 상관성은 결정계수(R^2)가 각각 0.926과 0.924로 높은 상관성을 보이며 두 변수 사이들의 상관관계식은 각각 식 (9) 및 식 (10)과 같다. 결과에서 보듯 본 연구에 사용된 점토는 Powell et al.이 제안한 식 중 균열이 없는 점토인 경우의 식과 잘 부합하는 것으로 나타난다.

$$OCR_p^3 = 0.889 \cdot OCR_c \quad R^2 = 0.926 \quad (9)$$

$$OCR_p^4 = 4.034 \cdot OCR_c \quad R^2 = 0.924 \quad (10)$$

Fig. 9는 Chen&Mayne(1994)이 제안한 식으로 구한 과압밀비(OCR_{p5})와 표준압밀시험으로 구한 과압밀비(OCR_c) 사이의 관계를 나타내며 두 변수 사이의 상관관계는 비교한 5종류의 식 중 결정계수(R^2)가 가장 낮은 0.877이며 그 결과 식은 식 (11)과 같다.

$$OCR_p^5 = 1.373 \cdot OCR_c \quad R^2 = 0.877 \quad (11)$$

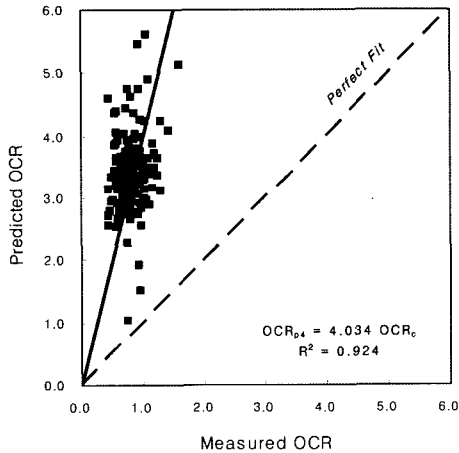


Fig. 8. Relationship between OCR_c and OCR_{p4} obtained using Powell et al's suggestion for heavily overconsolidated fissured clay.

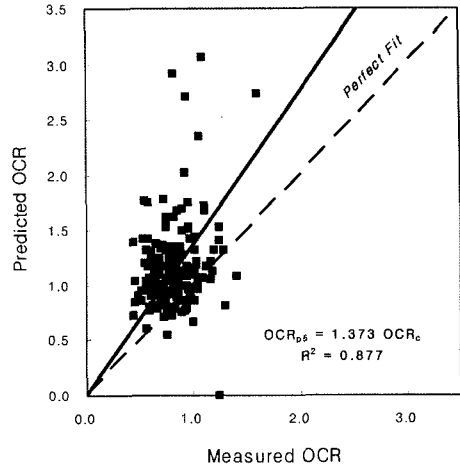


Fig. 9. Relationship between OCR_c and OCR_{p5} obtained using Chen and Mayne's suggestion.

이상으로 피에조콘 관입시험 결과를 적용한 경험식들에 의한 과압밀비의 해석결과를 요약하면 Table 3과 같다. Table 3에서 최적의 계산결과는 Fig. 5~Fig. 9로부터 얻어진 식(7)~식(11)로부터 계산된 과압밀비(OCR_p)와 압밀시험으로 구한 과압밀비(OCR_c) 사이의 최적 직선을 이용한 비를 의미한다. 모든 시험결과를 이용한 계산결과는 제안된 5종류의 경험식으로 계산된 과압밀비를 압밀시험으로 구한 과압밀비(OCR_c)로 나눈 값의 평균과 표준편차를 나타낸다.

Table 3에 의하면 Poewll et al.(1994)이 균열이 없는 점토를 대상으로 하여 제안한 경험식으로 계산된 과압밀비가 본 연구에 실시된 표준압밀시험으로 구한 과압밀비와 가장 잘 부합되는 것으로 나타났다.

결론

본 연구에서는 국내 연약지반의 과압밀비를 결정하는

Table 3. Summary of the ratio of OCR_p/OCR_c using several methods.

Method of Analyses	For best fit lines		For total results (OCR_p/OCR_c)	
	OCR_p/OCR_c	R^2	Averages	Standard deviation
Mayne & Holts	1.299	0.912	1.419	0.426
Kulhawy & Mayne	1.467	0.926	1.616	0.448
Poewll et al.	0.883	0.926	0.980	0.272
Non-fissured clay				
Heavily overconsolidated fissured clay	4.034	0.924	4.441	1.245
Chen & Mayne	1.373	0.877	1.490	0.512

데 있어 피에조 콘 관입시험결과의 적용성을 평가하고 자 양산-물금지역의 연약지반에서 실시된 피에조 콘 관입시험 자료와 44개소 시추공에서 심도별로 채취된 자연시료의 실내압밀시험 결과를 사용하였다. 압밀 시험에 의한 과압밀비와 이에 상응하는 피에조 콘 관입시험 결과를 적용하여 구한 과압밀비를 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 피에조 콘 시험에 의한 과압밀비 결정시 각각 3가지 형태의 독립변수 $\{(q_c - \sigma_v) / \sigma'_v, (q_r - \sigma_v) / \sigma'_v, (q_r - u_2) / \sigma'_v\}$ 를 사용하는 식을 사용하여 구한 각각의 과압밀비는 압밀시험으로 구한 과압밀비와 직선적 관계를 보이며 각각에 대한 관계식(각 식의 값은 0.282, 0.209, 0.295)을 제시하였다.

2. Mayne&Holts(1988), Kulhawy&Mayne(1990), Poewll et al.(1988), Chen&Mayne(1994)의 경험식에 피에조 콘 관입시험결과를 적용하여 구한 각각의 과압밀비와 표준 압밀시험으로 구한 과압밀비를 비교분석한 결과 Poewll et al.(1988)이 균열이 없는 점토를 대상으로 하여 제안한 경험식(k_2)으로 계산된 과압밀비가 표준압밀시험으로 구한 과압밀비와 가장 잘 부합되는 것으로 나타났다.

일부 제한된 지역에서 얻은 시험결과를 사용한 해석이지만 연구결과를 보면 현재 연약지반의 특성을 파악하기 위해 많이 사용되는 현장시험방법의 하나인 피에조 콘 관입시험 결과는 과압밀비를 결정하기 위해 일반적으로 사용되는 표준압밀시험 결과와 통계적으로 높은 상관성을 보임을 알 수 있다. 이는 과압밀비를 결정하는데 있어 피에조 콘 관입시험 결과적용의 높은 가능성을 보이는 것으로 판단된다.

본 연구 이후 국내의 다양한 지역의 연약지반에 대한 피에조 콘 관입시험을 실시하고 이 결과를 실내시험을 통하여 검증하는 연약지반에 대한 압밀특성에 관한 연구가 지속적으로 이루어진다면 여기서 제안된 여러 식들의 신뢰성과 적용성을 높일 수 있을 것으로 생각 된다

참 고 문 헌

장인성, 권오순, 정충기, 김명모, 2002, 피에조콘 관입시험 결과와 점성토의 과압밀비의 관계, 대한토목학회 논문집, 제22권 제6-C호, pp. 651-659.
 이강운, 윤길립, 채영수, 2002, 해성점토지반에서 CPT를 이용한 응력이력의 산정, 한국지반공학학회 논문집, 제18권 제 6호, pp. 73-81.
 박찬국, 송정락, 김수일, 2002, 피에조콘 소산시험을 통한 해성연약지반의 압밀특성에 대한 실험적 연구, 한국지반공학학회 논문집, 제18권 제2호, pp.137-146.
 한국토지공사, 1997, 양산물금지구 시험시공연구공사 확

인단계 Piezocone 관입시험 보고서.
 한국토지공사, 1998, 양산물금지구 시험시공연구공사 확
 인지반조사 보고서.
 한국토지공사, 1999, 양산물금지구 시험시공연구공사 완
 료단계 Piezocone 관입시험 보고서.
 Casagrande, A., 1936, Determination of the preconsolidation load and its practical significance, Proceeding, 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Mass., Vol. 3, pp. 60-64.
 Chen, B. S., and Mayne, P. W., 1994, Profiling the overconsolidation ratio of clay by piezocone tests, Report GIT-CEECEO-94-1. Georgia Tech Research Corporation and Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Eng., GA.
 Kulhawy, F. H. and Mayne, P. H., 1990, Manual on estimating soil properties for foundation design, Electric Power Research Institute, EPRI.
 Mayne P. W., and Holts, R. D., 1988, Profiling stress history from piezocone soundings, *Soils and Foundation*, Vol. 28, No. 1, pp. 16-28.
 Powell, J. I. Quarterman, R. T., and Lunne, T., 1988, Interpretation and use of the piezocone test in UK clays, Proceedings of the Geotechnolgy Conference on Penetration Testing in UK, pp. 151-156.
 Terzaghi, K., 1943, Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York, 510pp.

2007년 8월 30일 원고접수, 2007년 9월 14일 게재승인

이기세

대전대학교 공과대학 토목공학과
300-716 대전시 동구 용운동 96-3
Tel: 042-280-2523
Fax: 042-280-2509
E-mail: kiselee@dju.ac.kr

신원태

(주)한국지오컨설턴트
서울시 서초구 양재동 317-1
Tel: 010-7111-6742
Fax: 02-3463-3900
E-mail: panic7ka@hotmail.com

구남실

한국토지공사 대전충남지역본부
대전시 서구 괴정동 423-5
Tel: 019-417-8756
Fax: 041-854-9837
E-mail: gooo@iklc.co.kr

김학준

대전대학교 공과대학 지반설계정보공학과
300-716 대전시 동구 용운동 96-3
Tel: 042-280-2574
Fax: 042-280-2570
E-mail: hakkim@dju.ac.kr