

수평압밀계수의 영향인자에 관한 연구

A Study on Factors Influencing to Coefficient of Consolidation in Horizontal Direction

김 창 섭* 박 병 수** 유 남 재***
Kim, Chang-Seop Park, Byung-Soo Yoo, Nam-Jae

Abstract

This paper is results of investigating the dominant factors influencing to coefficient of consolidation in horizontal direction of Korean marine clays and their correlations through literature review. From the results of analyzing data obtained from field tests such as piezocone penetration and dilatometer tests as well as laboratory tests, coefficient of consolidation in the horizontal direction was found to increase with increase of stiffness index of soil while it decreases with the increase of dissipation time of pore pressure developed during field tests. In general, the coefficient of consolidation in the horizontal direction tends to increase with increase of undrained shear strength and preconsolidation pressure although correlation between them are relatively low. Friction ratio has a high correlation with coefficient of consolidation in the horizontal direction in case of friction ratio being greater than 1.0. For methods of estimating coefficient of consolidation in the horizontal direction with different testing device, values obtained from methods of P2-logt and DMT-A with dilatometer were quite similar to values from piezocone penetration test. Consistency of soil is quite proportional to coefficient of consolidation in the horizontal direction. Clear correlation between coefficients of consolidation in the horizontal and the vertical directions could not be found. coefficient of consolidation in the horizontal direction estimated from the results of field test tends to be 1.13~3.31 times greater than that obtained from laboratory tests.

키워드 : 수평압밀계수, 영향인자, 국내해성점토, 문헌고찰

Keywords : *coefficient of consolidation in horizontal direction, influencing factor Korean marine clays, literature review*

1. 서론

국토의 면적이 좁고 산지가 많은 우리나라는 연약지반이 널리 분포하고 있는 서남해안 지역의 개발을 꾸준히 진행하고 있으며 연약지반 위에 부

지를 조성하고 구조물을 축조하는 경우 지반 안정성을 확보하기 위하여 연약지반 개량이 불가피하다. 연약지반을 개량하기 위하여 다양한 방법이 제안되어 있으며 이중 연직배수(Vertical Drain)공법은 연약지층의 심도가 깊은 경우 연직배수채를 설치하여 과잉간극수압의 배수거리를 단축시킴으로써 압밀을 촉진시켜 공사기간을 상당히 단축시킬 수 있다.

연직배수공법 수행 시 간극수의 흐름은 대부분 수평방향으로 진행되고 그에 따라 압밀속도는 수

* (주)에드베트 설계팀 사원

** 강원도립대학 건설토목과 전임강사

*** 강원대학교 토목공학과 교수, 교신저자

평방향의 배수 특성을 나타내고 있는 수평압밀계수에 의하여 결정된다. 연직배수공법시 맨드릴 타입에 따른 교란영역인 스미어존의 형성은 원지반의 구조를 교란시키어 투수계수가 감소하여 압밀을 지연시키는 역할을 하고 있다. 따라서 연직배수재 설치시 수평배수와 관련된 수평압밀계수에 대한 연구 및 조사는 필수적이다.

연약지반 특성치중에서 가장 중요한 상수중의 하나는 압밀계수이며 그의 정확한 산정은 공사비와 시공방법에 미치는 영향은 크다. 그러나 이와 같이 중요한 지반정수의 설계적용이나 그의 특성을 파악함에 있어서 지반의 불균질성, 이방성, 응력이력, 시험방법, 시료채취시 교란 특성등과 관련한 불확실성은 신뢰성있는 자료를 얻는데 어려움이 있다. 표준압밀시험의 경우 결과해석 방법에 따라 3~4배까지 차이를 보여 잠재적으로 불확실성을 내포하고 있다. 이러한 불확실성을 내포하고 있기 때문에 원위치 시험을 하며 원위치 시험의 일종인 콘 관입시험(CPTu)시험을 통해 관입저항, 간극수압의 측정을 이용해 수평압밀계수를 산정하고 있다. 국내해성점토지반의 수평압밀계수에 영향을 미치는 인자에 관한 연구를 위하여 그와 관련된 문헌 조사를 실시하고 자료를 분석하여 정리하였다.

2. 수평압밀계수 측정방법

2.1 실내시험방법

시료의 수평압밀계수를 산정할 수 있는 대표적인 실험장비인 Rowe-Cell시험기는 자유변형 실험을 할 수 없는 표준압밀(Oedometer)시험기의 단점을 보완하기 위하여 개발된 압밀시험기로서 수압을 이용한 압밀하중 재하로 직경이 큰 공시체에 대해서도 압밀시험을 수행할 수 있다. 그리고 간극수압을 측정할 수 있으며 투수시험을 수행할 수 있다.

2.2 현장시험방법

2.2.1 피에조 콘 관입시험

피에조 콘 관입시험(Piezcone Penetration Test, CPTu)은 지반 내부에 원추형 관입체를 관입 후 특징깊이에서 콘의 관입을 멈춘 후 간극수압의 소산을 측정함으로써 수평압밀계수를 산정하는 방법이다. Torstensson[1], Balighand and Levadoux[2], Baligh and Levadoux[3], 그리고 Teh and Houlsby[4] 등은 공동확장이론, 변형률경로법, 대변형 유한요소해석 등을 이용하여 현장 수평압밀계수 등을 산정하는 방법을 제시하였다.

① Tortensson[1]

지반을 등방응력 분포로 가정, 탄-소성재료에 발생하는 1차원 비배수 공동(구형,원통형) 팽창을 고려 후 초기 간극수압 가정 후 Terzaghi-Rendulic 의

선형-비선형 압밀이론을 유한차분법으로 소산과정을 모사한 방법으로 식 (1)과 같이 압밀계수를 추정할 것을 제안하였다.

Torstensson의 방법에서는 수평방향의 압밀계수인지 수직방향의 압밀계수인지에 대한 명확한 언급이 없고 공동모델 형태에 따라 차이가 많이 나며 공동의 반경을 정하기에도 어려움이 있다.

$$c = \frac{T_{50}}{t_{50}} R^2 \quad (1)$$

여기서, c : 압밀계수,

T_{50} : 압밀도 50%일 때의 시간계수,

t_{50} : 압밀도 50% 까지의 소요시간,

R : 공동 등가반경

② Baligh and Levadoux[2],[3]

강성지수(I_R)가 500인 Boston Blue Clay를 대상으로 제안되었으며 변형률 경로법(Strain Path Method)을 이용해 초기 과잉간극수압분포 추정하여 이차원 압밀이론을 이용한 유한 요소해석을 통하여 압밀계수 산정법을 제안하였다. 강성지수(I_R)가 500이므로 상대적으로 큰 압밀계수를 보인다.

$$c_h = \frac{T_0^2}{t} \quad (2)$$

여기서, c_h : 수평압밀계수, T : 시간계수,

r_0 : 콘의 반경, t : 압밀 소요시간.

Baligh and Levadoux[2]는 수평방향 투수계수와 수평방향 압밀계수사이의 다음과 같은 관계를 제시하였다.

$$k_h = \frac{\gamma_w}{2.3 \cdot \sigma'_{vo}} RR \cdot c_h \quad (3)$$

여기서, RR : 압축비, σ'_{vo} : 연직유효응력.

③ Teh and Houlsby[4]

지반의 강성지수는 압밀특성을 지배하는 중요한 영향인자이며 강성지수가 클수록 초기 과잉간극수압은 상대적으로 크게 발생하여 시간계수가 달라지게 된다. 이와 같이 대변형 유한요소법을 사용하여 해석하여 유한차분법을 이용해 간극수압 소산과정을 해석한 후 2차원 압밀이론을 사용하여 강성지수와 시간계수를 구별할 수 있는 식 (4)와 같은 수평방향 압밀계수 결정방법을 제안했다. 시간계수의 경우 변형률 경로법에 의해 압밀도 50% 일 경우 0.245를 사용한다.

$$c_h = \frac{T^* \cdot R^2}{t} \sqrt{I_r} \quad (4)$$

여기서, c_h : 수평압밀계수, T^* : 수정된 시간계수,
 t : 압밀소요시간, R : 콘의 반경,
 I_r : 강성지수.

피에조 콘을 통한 수평압밀계수 산정시 요구되는 강성지수($I_r=G/S_v$)는 전단탄성계수(G)와 비배수 전단강도(S_v)의 비로 나타내며 비배수 전단강도를 산정하기 위해서는 해석적인 방법 및 경험적인 관계식을 이용하며 해석적인 방법에는 변형률 경로법, 극한 지지력 이론, 공동팽창이론 등이 있지만 피에조 콘의 관입 모사 및 정확한 흙의 특성 반영이 어려워 경험적인 방법을 이용하는 것이 일반적이다. 경험적인 방법을 사용하는 경우에는 전응력을 이용하는 경우, 유효응력 개념의 관입저항력을 이용하는 경우, 과잉간극수압을 이용하는 경우 등이 있다.

㉠ 전응력 개념의 관입저항력을 이용하는 방법 Lunne등[5] 부등단면적 효과를 고려한 수정관입저항력(q_u)을 이용하여 비배수 전단강도 s_u 를 다음과 같이 산정할 것을 제안했다.

$$s_u = \left(\frac{q_u - \sigma_{v0}}{N_{kt}} \right) \quad (5)$$

여기서, σ_{v0} : 연직응력,
 N_{kt} : 콘 계수(부등단면비 고려).

㉡ 유효응력 개념의 관입저항력을 이용하는 방법

$$s_u = \left(\frac{q_u - u_{br}}{N_{qu}} \right) \quad (6)$$

여기서, u_{br} : 측정된 과잉간극수압,
 N_{qu} : 콘 계수(유효전단 저항치 이용).

㉢ 과잉간극수압을 이용하는 방법

비배수 전단강도를 피에조 콘 관입시험에서 측정된 과잉간극수압의 형태를 공동팽창이론으로 이용하여 나타내었다.

$$s_u = \left(\frac{u_{br} - u_0}{N_{\Delta u}} \right) \quad (7)$$

여기서, u_0 : 정수압,
 $N_{\Delta u}$: 콘 계수(과잉간극수압 이용).

시간계수 T^* 는 Teh and Houslyby[4]에 의해 제시되었으며 필터의 위치에 따라 달라지며 일반적으로 사용되는 u_2 타입의 콘을 이용해 50% 소산 시간과 수정 시간계수 0.245를 적용하였다.

㉣ The[6]

Teh[6]은 소산시간이 짧은 경우와 초기 간극수

압이 분명치 않을 경우 데이터를 정규화 하여 \sqrt{t} 시간으로 나타낸 후 초기의 소산곡선은 직선임을 이용하여 식 (8)과 같이 수평압밀계수를 산정하였다.

$$c_h = \left(\frac{m}{M} \right)^2 \cdot \sqrt{I_r} \cdot r^2 \quad (8)$$

여기서, M : 이론 소산곡선의 기울기,
 m : 소산곡선 초기 직선부의 기울기.

콘 팁 뒷부분(u_2)의 \sqrt{t} 에 따른 소산곡선의 경사(M)은 1.15이다.

2.2.2 딜라토미터(DMT) 시험

DMT는 이탈리아의 Marchetti 교수에 의해 1970년대 초에 고안된 장비로 넓직한 판 모양의 블레이드를 시험깊이까지 지중에 삽입 후 블레이드 중앙부의 지름 60mm의 원형 멤브레인에 공기압을 가하여 0.05mm 팽창시 압력(A값)과 1.1mm 팽창시 압력(B값) 측정 후 공기압을 감소시켜 멤브레인이 수축되며 팽창두께가 다시 0.05mm에 도달하는 압력(C값)을 측정하는 시험으로 DMT-C법 (p_2 -log t 법, $C-\sqrt{t}$ 법)과 DMT-A법을 이용하여 수평압밀계수를 추정할 수 있다.

㉠ DMT-C법

딜라토미터의 관입 중 관입을 멈추고 시간에 따라 A-B-C값의 변화를 관측하고 마지막에 관측되는 C값의 변화로부터 수평압밀계수를 산정하며 Robertson 등[7]의 p_2 -logt법과 $C-\sqrt{t}$ 법이 있다.

50%의 소산이 이루어진 t_{50} 을 얻은 후 식 (9)로부터 수평압밀계수(c_h)를 추정할 수 있다.

$$c_h = \frac{R^2 \cdot T_{50}}{t_{50}} \quad (9)$$

여기서, R : 딜라토미터 blade의 직사각형 단면을 피에조콘 원통형 콘 단면으로 환산한 등가반경,

T_{50} : 압밀도 50%일때의 시간계수,

t_{50} : 압밀도 50% 도달시의 시간.

㉡ DMT-A법

Marchetti와 Totani[8]에 의해 제안된 이 방법은 시간에 따른 A값만의 변화를 관측하여 대수시간 축(Log t)에서의 A값의 변곡점(Contraflexure Point) 시간 t_{flex} 를 결정하고 식 (10)로부터 수평압밀계수를 결정할 수 있다.

$$c_{h,oc} \approx \frac{5 \sim 10 cm^2}{t_{flex}} \quad (10)$$

여기서, t_{flex} : A-log t 곡선에서의 변곡점

$5 \sim 10 cm^2$ 의 범위 : 이탈리아의 정규압밀 및 약간 과압밀된 점토지반에 대하여 얻어진 실험결과를 바탕으로 결정된 값

3. 문헌고찰 및 분석

3.1 현장실험

3.1.1 수평압밀계수와 강성지수

강성지수들에 대한 대표적 이론해는 그림 1과 같으며 박용원등[9]국내 해안 점성토 지반의 다수의 불교란 시료로부터 일축 및 삼축시험을 실시하여 강성지수 산정에 대한 연구를 하였으며 각 해안별, 지역별 점성토 지반의 대표적 강성지수를 제안하였고 국내의 강성지수 값은 국외 지반과 달리 크지 않다고 언급하고 있으며 서·남해안의 대표적 강성지수는 30이라고 말하고 있다.

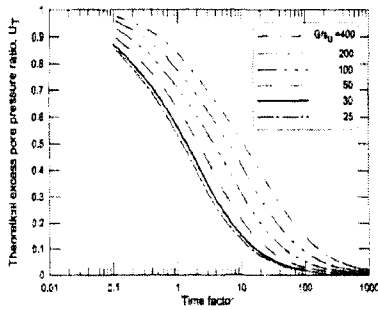


그림 1. 강성지수 G_0 의 변화에 의한 이론적 과잉간극수압 소산곡선

박용원등[10] 성지수를 50, 100을 사용하여 얻어진 수평압밀계수 값과 해안별 평균값과의 관계를 그림 4~6과 같이 나타냈으며 강성지수가 증가함에 따라 수평압밀계수가 증가하는 경향을 나타내고 있다고 하였으며 서해안이 남해안 지역보다 강성지수의 증가에 따른 수평압밀계수(c_h)의 증가율이 크게 나타난 것을 확인할 수 있다.

3.1.2 수평압밀계수와 간극수압 소산시간

박찬국등[11] 극수압 소산시험 결과로부터 산정한 PPD- t_{50} 과 동일한 위치에서 채취한 비교란 시료로 Rowe-Cell 압밀시험을 통해 산정된 수평압밀계수(c_r)의 관계를 분석한 결과 그림 11과 같이 나타났으며 간극수압 소산시간이 증가됨에 따라 수평압밀계수가 선형적으로 감소하는 것으로 나타내고 있다. 회귀분석 결과 상관계수(R^2)이 0.24로 신뢰도가 높게 산정되었으며 현장시험에 의한 수평압밀계수와 시간 t_{50} 과의 관계와 마찬가지로 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

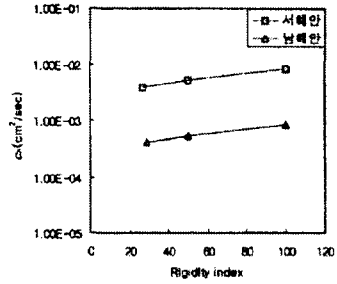


그림 2. c_h 와 강성지수(Torstensson(구형))

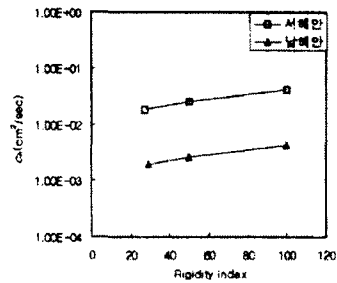


그림 3. c_h 와 강성지수(Torstensson(원통형))

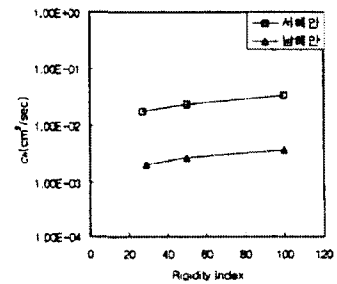


그림 4. c_h 와 강성지수 (Teh and Houlsby)

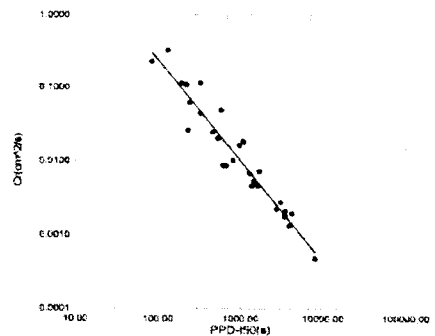


그림 5. 시험치의 회귀분석을 통한 c_r 과 PPD- t_{50} 의 관계(박찬국[11])

박찬국등[11]은 Robertson[12]가 제안한 식 (11)를 통해 산정한 실험식 결과와 기존의 문헌

(Torstensson[13]; Levadou and Baligh[3]; Houlby and Teh[14])에서 제안한 식을 그림 6과 같이 비교하였으며 Torstensson[13]의 이론해와 강성지수를 고려한 변형률 경로법에 의해 산정된 Houlby and Teh[14]의 이론해와 비교적 유사한 결과를 나타내는 것으로 확인할 수 있으며 Levadou and Baligh[3]에 의한 변형률 경로법에 의한 이론해와 Torstensson[13]의 구형 공동확장 이론에 근거한 이론해와는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

$$C_r = \frac{137.58}{(PPD-t_{50})^{1.35}} \quad (11)$$

Levadoux and Baligh[3]가 제안한 이론해의 경우 강성지수(I_R)를 500으로 산정하여 국내의 해성 정도가 100내외인 것을 감안하면 적용성에 문제가 있을 수 있다고 판단된다.

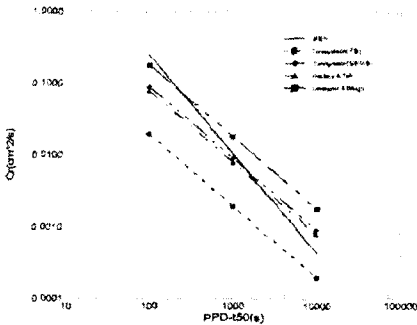


그림 6. 제안한 실험식과 기존 이론식의 비교결과(박찬국 등[11])

3.1.3 그 외 수평압밀계수와 지반특성

① 비배수전단강도(S_u)와 수평압밀계수

그림 7은 비배수전단강도와 수평압밀계수와의 관계를 나타낸 그래프로 단계별 강도로 압밀이 이루어져 강도가 증가하여 수평압밀계수가 감소하는 경향을 나타내고 있으며 상관계수(R^2)는 0.13으로 매우 낮게 산정되었다.

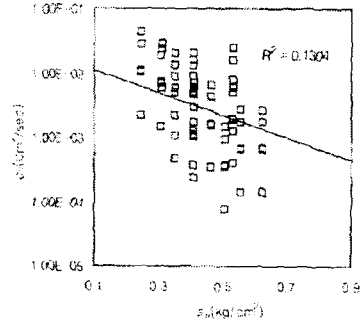


그림 7. 비배수 전단강도(S_u)와 수평압밀계수(박용원 등[9])

② 선행압밀압력(p_c')과 수평압밀계수

박용원등[9]은 선행압밀압력(p_c')과 수평압밀계수를 비교하여 그림 8과 같이 결과를 얻었고 선행압밀 증가 시 수평압밀계수는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 단계별 강도로 인한 선행압밀증가로 인하여 지반강도의 증가를 파악할 수 있는 요소라 할 수 있으나 상관계수(R^2)는 비배수 전단강도와 유사하게 나와 비배수 전단강도와 선행압밀압력이 유사한 상관성을 보이고 있다고 하고 있다.

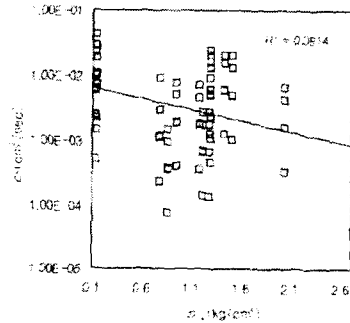


그림 8. 선행압밀압력(p_c')와 수평압밀계수(박용원 등[10])

③ 마찰비(R_f)와 수평압밀계수

피에조 콘 주변 마찰비는 콘 주변 마찰력과 선단저항력의 비로 나타내며 그림 9와 같이 마찰비(R_f)가 약 1.0 이상 일 때부터 연관이 높게 나타나고 있으며 Escoubes[15]의 연구결과와 비슷한 경향이 나타나고 있다고 말하고 있다.

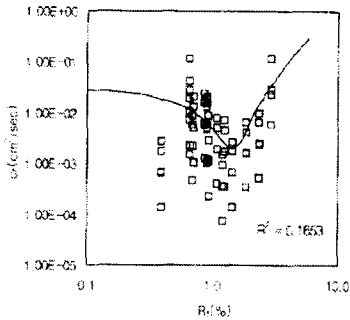


그림 9. 마찰비(Rr)와 수평압밀계수 (박용원 등[10])

④ 다양한 방법으로 인한 수평압밀계수의 변화 이승래 등(2001)은 양산지역과 영종도 지역(성주현, 2000)의 지반조사를 통하여 각 소산곡선을 분석한 후 수평압밀계수를 구하였으며 딜라토미터 p_2 -log t 법에서 얻어진 수평압밀계수를 가로축으로 나타내었으며 피에조 콘 소산시험을 통한 수평압밀계수와 일차원 실내압밀시험 결과를 그림 10, 그림 11과 같이 비교하였다.

그림 12의 양산지역의 경우 P_2 -log t법과 DMT-A법의 경우 상관관계가 1:1선상에 있어 매우 잘 일치하고 있으며 피에조 콘 수평압밀계수 값과는 일치 또는 약간 작은 경향이 있어 딜라토미터 관입으로 인한 시험방법이 피에조 콘 시험방법에 비해 지반의 변형이 작으며 과잉간극수압의 크기가 작게 산장됨으로써 수평압밀계수가 작게 산정되는 것과 일치한다 (Robertson 등[7]).

그리고 연직압밀계수(c_v)를 $c_h/c_v=3$ 의 관계(이승래 등[16])를 적용 후 산정된 수평압밀계수와도 비교적 잘 나타나고 있으며 신뢰성 있게 사용될 수 있다고 판단되며 $C-\sqrt{t}$ 법의 결과 중 점선원으로 표시된 일부는 딜라토미터 시험과 비교하여 3배 정도 큰 값을 나타내고 있다. 이승래 등(2001)은 이러한 원인을 초기값 및 수렴값의 선정시 최적맞춤(Best Fit)곡선을 이용하므로 해석자에 따라 변동이 있을 수 있다고 보고 있으며 이는 압밀도 50%에 해당하는 t_{50} 에 영향을 주고 있다고 할 수 있다. 또한 실제 관입기의 면적(95mm×14mm)보다 크게 산정되어 있는 등가반경($R^2=600\text{mm}^2$)에 대한 정확한 배경이 없다는 이유도 들고 있다. 또한 강성지수가 증가할수록 두 방법의 차이가 줄어들어준다고 언급하고 있으나 국내지반과 같이 강성지수가 크지 않은 지반에서는 2배 이상의 수평압밀계수 차이를 추정할 수 있다고 보고 있다.

그림 10의 영종도 지역의 경우 실내실험결과와 로우셀실험 결과가 장소에 따라 크게 차이를 나타내지 않고 있으며 딜라토미터 시험의 p_2 -log t법과

피에조 콘 실험결과도 불교란시료 채취시의 발생 가능한 최소한의 교란효과를 감안하면 비교적 좋은 경향성을 나타내고 있다. 또한 양산지역과 마찬가지로 딜라토미터 시험의 p_2 -log t법과 DMT-A 및 유사한 경향으로 피에조 콘 시험결과와 1:1 선 위에 있어 매우 일치하는 경향을 나타내고 있으며 영종도 지역도 점선원 안의 $C-\sqrt{t}$ 법으로 얻어진 결과값이 약 3배정도 크게 산정되었다.

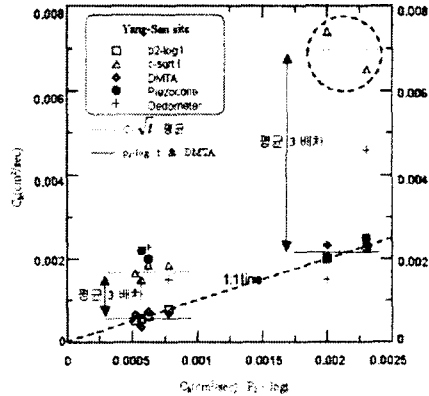


그림 10. 양산지역의 다양한 방법으로 얻어진 수평압밀계수 비교

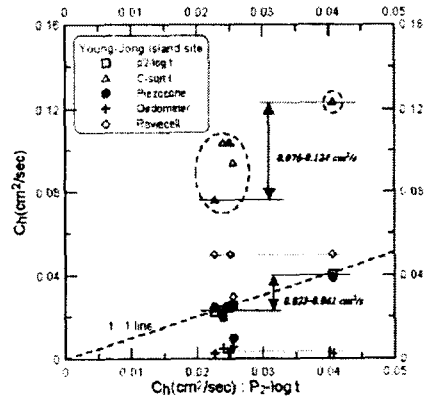


그림 11. 영종도지역의 다양한 방법으로 얻어진 수평압밀계수 비교

3.2 실내 실험

3.2.1 수평압밀계수와 소성지수

박찬국등[11]은 그림 12와 같이 소성지수에 따른 수평압밀계수의 특성을 고찰하였는데 소성지수(PI)가 클수록 수평압밀계수가 작아지는 경향을 확인할 수 있는데 회귀분석을 통해 식 (12)와 같이 제안하였다.

$$c_r = \frac{2.05}{(PI)^{1.78}} \quad (12)$$

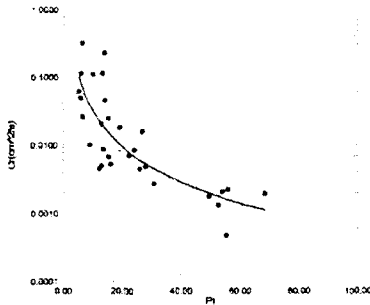


그림 12. 소성지수와 수평압밀계수와와의 관계(박찬국 등[11])

3.2.2 수평압밀계수와 연직압밀계수

박용원등[10]은 동일한 위치 및 심도에서의 피에조 콘에 의한 수평압밀계수와 연직압밀계수와의 뚜렷한 연관성은 보이지 않는다고 그림 13 과 같이 나타내고 있다

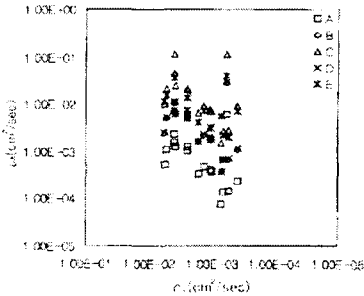


그림 13. 표준압밀시험을 통한 c_v VS c_h (박용원등[10])

- A : Torstensson(구형공동 팽창이론)
- B : Torstensson(원통형 팽창이론)
- C : Levadoux and Baligh
- D : Teh and Houlsby, E : Rowe cell

3.2.3 현장에서의 수평압밀계수와 실내시험에 의한 수평압밀계수

장인성 등[17]은 각 해석방법에 따라 수평압밀 계수를 산정 후 Rowe-Cell 시험에서 산정된 수평 압밀계수와 비교하여 그림 14~그림 17와 같이 나타냈다. Torstensson[13]의 구형해석법의 경우 실내시험보다 평균 0.25배 작게 산정하였고 원통형해석법의 경우 1.24배 크게 산정하여 해석법에 따라 차이가 남을 확인 할 수 있었고 Levadoux and Baligh([2], [3])의 경우 실내시험보다 3.31배로 크게 산정하였으며 Teh and Houlsby의 경우 1.13배로 산정되어 Torstensson의 원통형해석법과 Teh and Houlsby 경우가 실내시험 결과와 거의 유사

하게 압밀계수를 산정하는 것으로 나타났다.

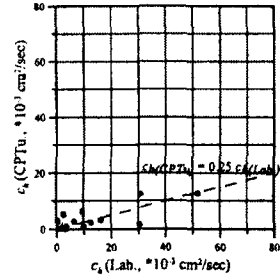


그림 14. Torstensson[12]의 구형 해석법

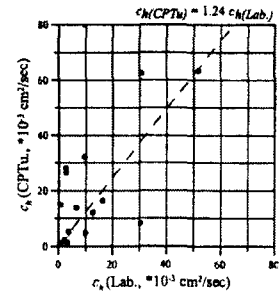


그림 15. Torstensson[12]의 원통형 해석법

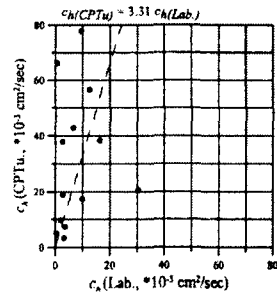


그림 16. Baligh and Levadoux[2] 해석법

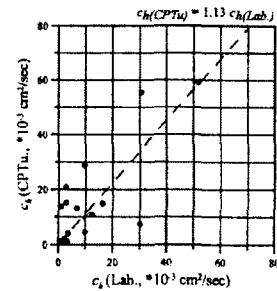


그림 17. Teh and Houlsby [4]해석법

4. 결론

수평압밀계수에 영향을 미치는 인자들에 대한 문헌고찰 및 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻

을 수 있었다.

1) 강성지수(I_r)의 증가에 따라 수평압밀계수도 크게 증가하는 반면 간극수압 소산시간이 증가할수록 수평압밀계수는 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다.

2) 수평압밀계수와 지반의 특성에서 비배수 진단 강도(S_u)와 선형압밀압력(p_c)이 증가할수록 수평압밀계수는 증가하는 경향으로 나타났으며 상관성은 매우 낮게 산정되었으며, 마찰비(R_f)의 경우 마찰비가 1.0이상일 때부터 연관성이 높게 나타나고 있다.

3) 산정방법별로 수평압밀계수를 비교한 결과 dilatometer의 p_z -log t , DMT-A법이 피에조콘과 유사한 경향으로 나타나고 있는 반면에 $C-\sqrt{t}$ 방법으로 얻어진 결과값은 위의 3가지 방법보다 3배정도 크게 산정되었다

4) 소성지수가 클수록 수평압밀계수는 작아지는 뚜렷한 경향을 보여준다.

5) 수평압밀계수와 연직압밀계수 사이에는 뚜렷한 연관성은 보이지 않고 있다.

6) 현장에서의 수평압밀계수가 실내시험에 의한 수평압밀계수보다 1.13~3.31배 정도 크게 산정되는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] Torstensson, B. A., "The pore pressure sounding equipment", *Specialty Conference on In-situ Measurement of Soil Properties Raleigh*, North Carolina, American Society of Engineers(ASCE), pp. 48-55, 1975.
- [2] Baligh, M. M., and Levadoux, J. N., "Pore pressure dissipation after cone penetration", *MIT Dept. of Civil Engineering*, Report, No. R80-115, Cambridge, MA, pp. 02-139, 1980.
- [3] Baligh, M. M., and Levadoux, J. M., "Consolidation after undrained piezocone penetration II: interpretation", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 112, No.7, pp. 727-745, 1986.
- [4] Teh, C. I and Houslyby, G. T., "An analytical study of the cone penetration test in clays", *Geotechnical*, Vol.41, No.1, pp. 17-34, 1991.
- [5] Lunne, T., Robertson, P. K., Powell, J. J. *Cone penetration testing in Geotechnical Practice*, M., Blackie Academy and Professional and champman and hall, London, 1997.
- [6] Teh, C. I., "An analytical study of the cone penetration test", D. Phil. thesis, *department of civil engineering*, Oxford university, Oxford. U. K. 1987.
- [7] Robertson, P.K., Davies, M.P. & Campanella, R.G. (1987) "Design of Laterally Loaded Driven Piles Using the Flat Plate Dilatometer". *Geotechnical Testing Jnl*, Vol. 12, No. 1: 30-38. March , 1998.
- [8] Marchetti, S. and Totani, G., "c_h evaluations from DMTA dissipation curves", *Proceeding, 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 1, Rio de Janeiro, pp. 281-286, 1989.
- [9] 박용원, 구남실, 이상익, "피에조 콘 시험을 이용한 점성토의 압밀계수 추정", *한국지반공학회논문집*, 제19권, 4호, pp. 311-320, 2003.
- [10] 박용원, 구남실, 김영상, "피에조콘 시험을 위한 연약지반의 대표적 강성지수 도출과 수평압밀계수 산정에의 적용", *대한토목학회논문집*, 제23권, 제6C호, pp. 389-398, 2003.
- [11] 박찬국, 송정락, 김수일, "피에조콘 소선시험을 통한 해성연약 지반의 압밀특성에 대한 실험적 연구", *한국지반공학회논문집*, 제18권, 2호, pp.137-146, 2002.
- [12] Robertson, P. K., Sully, J. P., Woeller, D. J., Lunne, T., Powell, J. J. M. and D. G. Gillespie, "Estimating coefficient of consolidation from piezocone test", *Canadian Geotechnical Journal*, 29, pp. 539-550, 1992.
- [13] Torstensson, B. A., "The pore pressure probe". *pressure probe*. *Proceedings, Geoteknikkdogen*, Tapir Foreleg, Oslo, No. 34, pp. 1-15, 1977.
- [14] Houslyby, G. T. and Teh, C. I., "Analysis of the piezocone in clay", *ISOPT I*, Orlando, Florida, Vol. 2, pp. 777-783, 1988.
- [15] Escoubes, R. G. , "Settlement evolution forecasting for a future coal stock piling on guadarranque industrial area, cadiz", *International Symposium on Cone Penetration Testing*, Volume 3, pp.169-179, 1995.

- [16] 이승래, 김영상, 성주현, “딜라토미터를 이용한 수평압밀계수 추정법의 국내 지반 적용성 평가”, 한국지반공학회논문집, 제17권, 4호, pp. 153-160, 2001.
- [17] 장인성, 이선재, 정충기, 김명모, “CPTu를 이용한 국내 점성토 지반의 압밀계수 산정”, 대한토목학회논문집, 제22권, 제1-C호, pp. 67-79, 2002.