

## 전남 광양지역 연약지반의 피에조콘계수 산정

### Estimation of Soft Ground Piezocone Factors at Gwangyang, Jeonnam

오 동 춘<sup>1)</sup> · 김 기 범<sup>2)</sup> · 백 승 철<sup>†</sup>

Dongchoon Oh · Kibeom Kim · Seungcheol Baek

Received: November 28<sup>th</sup>, 2018; Revised: November 28<sup>th</sup>, 2018; Accepted: December 24<sup>th</sup>, 2018

**ABSTRACT :** Using the results from laboratory soil test, field vane test and piezocone penetration test, the engineering characteristics of the soft ground at east side of Gwangyang Port, which is located at south coast of Jeollanam-do, were investigated and optimal piezocone penetration test depth was derived to calculate piezocone factor. In this paper, the results of 61 laboratory soil tests, 226 times of field vane tests and 26 piezocone penetration tests were used. The result of laboratory soil test suggested that some physical properties such as specific gravity, moisture content, liquid limit and plastic index and others are higher than other south coast regions, meanwhile uniaxial compression strength, undrained shear strength, defined as mechanical property, appeared to be relatively small, distributed widely. According to the plastic chart, the ground was classified as high compressibility clay and low compressibility clay, mostly represent to Type 3 clay by Robertson (1990)'s classification chart. Piezocone factor was calculated by empirical method, based on the undrained shear strength which was obtained by the field vane test. According to the analysis with 3 different depth range, to set the appropriate measured depth range of piezocone penetration for comparison, using average value of the range of 5 times the vane length showed the highest correlation.

**Keywords :** Piezocone penetration test, Field vane test, Piezocone factors, Undrained shear strength, Compression index

**요 지 :** 전남 남해안 지역인 광양항 동측배후단지 연약지반에서 수행한 실내시험, 현장베인시험 및 피에조콘 관입시험 결과를 이용하여 연약지반의 공학적 특성을 규명하고, 피에조콘계수 산정을 위해 최적의 피에조콘 관입시험 심도를 결정하였다. 본 논문에서 이용한 자료는 61개의 실내시험과 226회의 현장베인시험, 피에조콘 관입시험 26개소이다. 실내시험 분석 결과 남해안의 다른 지역에 비해 비중, 함수비, 액성한계 및 소성지수 등의 물리적 특성이 높게 나타나며, 일축압축강도와 비배수전단강도의 역학적 특성은 넓은 범위로 분포하고 비교적 작은 값을 나타냈다. 소성도에 의한 흙 분류 결과 소성이 큰 무기점토(CH)와 소성이 작은 무기점토(CL)로 분류되었으며, Robertson(1990) 분류도표에 의한 흙 분류 결과 대부분 Type 3인 점성토에 해당하였다. 현장베인시험으로 구한 비배수전단강도를 기준으로 경험적 방법에 의해 피에조콘계수를 산정했다. 이를 위해 현장베인시험 측정심도와 비교되는 피에조콘 관입시험의 적정 측정심도 범위를 설정하기 위해 3가지 심도범위로 상관성을 분석한 결과 베인 길이의 5배 범위 측정값의 평균을 사용하는 것이 높은 상관성을 보여준다.

**주요어 :** 피에조콘 관입시험, 현장베인시험, 피에조콘 계수, 비배수전단강도, 압축지수

## 1. 서 론

연약지반이란 상부 구조물을 지지할 수 없는 상태의 지반으로서 지지력이 부족하여 상부하중에 의해 변형 및 침하가 발생한다. 국내 서해안과 남해안은 연약지반이 넓게 분포하고 있으며, 이들 지역에 구조물을 축조하면서 연약지반의 특성을 분석하기 위해 다양한 시험결과를 이용하는 연구가 진행되었다.

우리나라 연약지반을 분포지역에 따라 구분하면 내륙은 충적점토(alluvial clay)로, 해안은 해성점토(marine clay)로 구성되어 있으며 금강, 영산강, 섬진강, 낙동강 등 내륙 하

천지역과 서해안과 남해안, 동남해안 지역에 주로 분포한다. 중부내륙지방, 강원도, 제주도는 점성토 지반이 넓은 지역이 없다(Jang & Park, 2009).

연약지반에서의 설계 및 건설공사를 위해서는 연약지반의 특성이 상세히 평가되어야 하며, 일정한 조사항목과 시험이 요구된다. 연약지반 시험 종목에 대해 심도별 응력이력과 전단강도 분포의 추이를 구하기 위해서는 동일 지반정수에 대해 최소한 분석이 가능한 시험 수량을 확보해야 경제적인 설계가 가능하다.

본 논문에서는 연구지역인 전남 광양항 배후단지 연약지반에서 시행된 실내시험을 분석하여 광양지역 연약지반의

1) Director, Taeyoung E&C

2) Executive Director, Development Division, KER Co., LTD.

† Professor, Department of Civil Engineering, Andong National University (Corresponding Author : [civilb@anu.ac.kr](mailto:civilb@anu.ac.kr))

공학적 특성을 분석하였고, 현장베인시험과 피에조콘관입 시험 자료를 분석하여 피에조콘계수를 산정하였다. 또한 현장베인시험과 피에조콘관입시험 상관관계 분석에 의한 피에조콘계수를 산정함에 있어서 현장베인시험 시험심도와 비교 대상이 되는 피에조콘관입시험의 콘 지지력 시험심도의 적정 범위 결정을 위한 연구가 수행되었다.

## 2. 분석자료

본 연구를 위해 광양항 동측 배후단지 조성현장의 연약지반을 대상으로 수행한 실내시험 및 현장시험자료를 이용하였다. 광양항 배후단지는 광양항 컨테이너 터미널 설계와 함께 배후단지를 조성하기 위해 2003년부터 조사를 시작하였다. 이후 본 지역 연약지반에 대한 조사가 다양하게 시행되었으므로 당시 조사 자료를 수집하고 이를 이용하여 광양 지역 연약지반의 공학적 특성 분석 및 본 연구지역에 적용한 피에조콘계수를 산정하였다.

연약지반을 대상으로 수행한 실내시험은 광양항 배후단지 개발 기본 및 실시설계 시 44개소 시추공에서 수행한 66개의 시험결과 중 연약점토에 해당하는 61개의 시험결과 자료를 분석하였다. 그리고 현장시험인 현장베인시험과 피에조콘 관입시험 자료는 광양항 배후단지개발 기본 및 실시설계 시에 수행한 자료와 추가로 수행된 자료도 포함하여 분석하였다. 현장베인시험은 41개소 226회, 피에조콘 관입시험은 26개소의 시험 결과를 이용하여 분석하였다.

## 3. 실내시험

### 3.1 물리적 특성

연약지반의 공학적 특성을 파악하기 위한 실내시험은 비교적 간단하고, 결과의 효율성도 높다. 또한 연약지반의 물리적 특성은 흙을 분류하는데 직접적으로 사용되고 있으며, 유효상재압 파악에 필요한 흙의 단위중량을 계산하는데 이용될 뿐만 아니라 역학적 특성을 파악하는 데도 중요한 의미를 가진다(Park et al., 2012).

연구지역에서 시행된 61회 실내시험 자료를 이용하여 광양지역 연약지반의 물리적 특성을 분석하였다. 그리고 이를 Park(2011)이 제시한 우리나라 각 해안별 연약지반의 물리적 특성과 비교하였다. Park(2011)은 한국건설연구원에서 수년간 수행된 우리나라 해안 연약지반 관련 지반조사 자료를 토대로 Korea Land & Housing Corporation(1999)에서 서해안 18개 지역, 남해안 13개 지역, 동해안 5개 지역 등

Table 1. Physical characteristics of soft clay (mean value)

Physical properties	Gwangyang	West coast	South coast	East coast
Specific gravity	2.64~2.73	2.68	2.68	-
Natural moisture content (%)	18.0~92.2	41.0	62.5	109.9
Liquid limit (%)	22.3~87.8	39.3	59.1	86.6
Plastic index (%)	8.3~63.6	18.1	30.9	55.8
Void ratio	0.583~3.015	1.05	1.82	3.80

총 36개 해안 연약지반의 물리·역학적 특성값을 분석한 결과를 제시하였으며 Table 1과 같다.

Fig. 1은 깊이에 따른 No. 200체 통과량인 점토함유량을 나타낸 것이다. 0.075mm 이하의 입자 함유율은 50.8~99.8%의 분포를 보이며 평균 90.8%로 분석되었다. 0.075mm 이하 입자 함유율이 80% 이하 분포로 많이 나타나는 깊이는 4m 및 8m 내외이며, 이 구간에는 모래 또는 실트의 함유량이 많이 포함된 압축성이 낮은 점토가 포함되어 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 2는 깊이에 따른 비중의 변화를 보여주고 있다. 점토의 비중 분포범위는 2.69~2.77이며 평균 2.73으로 분석되었

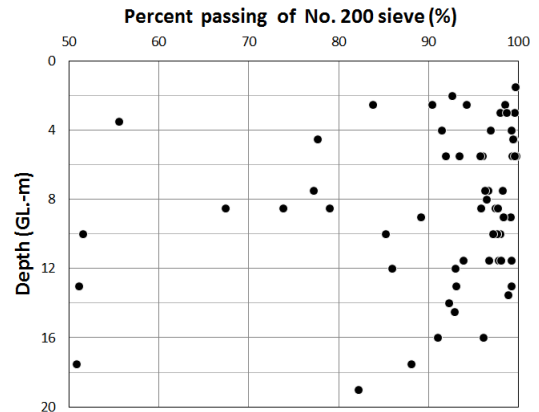


Fig. 1. Percent passing of No. 200 sieve

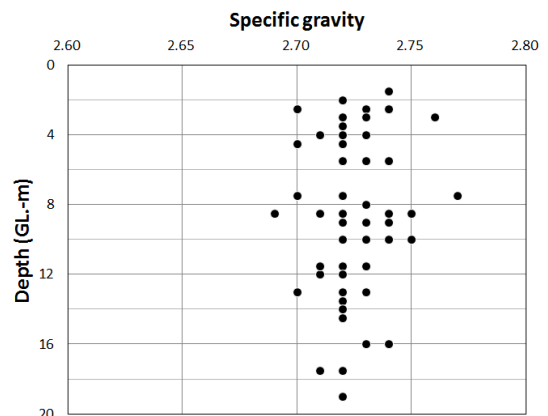


Fig. 2. Specific gravity

다. 비중의 분포범위는 Table 1에 제시된 광양지역의 비중 2.63~2.73, 서해안과 남해안 평균 비중인 2.68에 비해 큰 값으로 분포하는 것으로 나타났다.

자연함수비는 25.6~128.0%의 범위로 분포하며 평균 68.48%로 분석되었다. Table 1의 광양지역 자연함수비 18.0~92.2%, 남해안 평균 62.5%에 비해 큰 값을 보이고 있다. Fig. 3은 깊이에 따른 자연함수비 분포를 보면 깊이가 깊어질수록 함수비가 감소하는 경향을 보이고 있다.

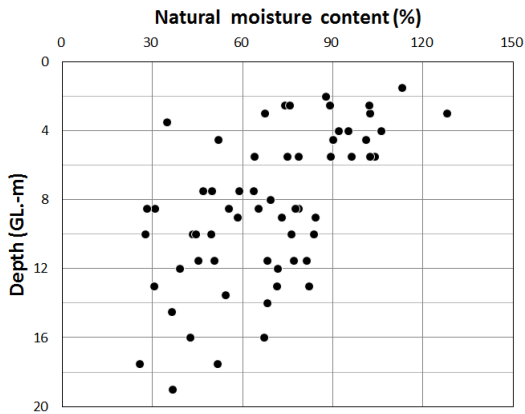


Fig. 3. Natural moisture content

Fig. 4와 같이 액성한계는 32.3~105.0% 범위로 분포하며 평균 73.83%로 분석되었다. 이는 Table 1에서 제시된 광양지역 22.3~87.8%와 비교해서 크게 분포하며, 남해안 평균 59.1%에 비해서도 약 14% 이상 큰 값으로 분포하는 것으로 나타났다. 액성한계가 크면 수축 및 팽창이 커지므로 연약지반 조사 시 주의해야 할 것으로 판단된다.

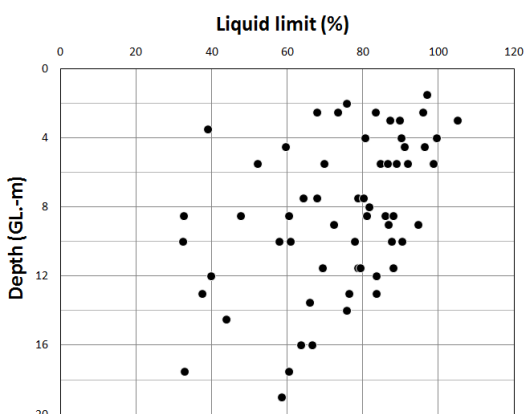


Fig. 4. Liquid limit

Fig. 5는 깊이에 따른 소성지수 분포를 나타낸 것으로 14.2~69.8%의 범위로 분포하며 평균 45.8%를 보이고 있다.

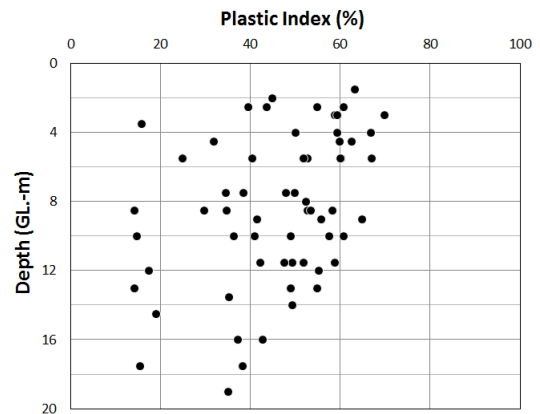


Fig. 5. Plastic index

Table 1에 제시된 광양지역 소성지수는 8.3~63.6%, 남해안 평균은 30.9%에 비해 큰 값으로 분포하고 있다. 소성지수의 분포는 각 깊이별로 다양하게 분포하고 있으나 깊이가 깊어짐에 따라 일부는 증가하는 경향을 보이며 이는 액성한계와 유사하게 나타나고 있다.

### 3.2 역학적 특성

44개소 시추공에서 수행한 연약점토 61개 중 역학시험을 시행한 58개 시험결과 자료를 이용하여 역학적 특성을 분석하였다. 현장에서 채취된 불교란 시료를 대상으로 일축압축강도시험, 비압밀비배수 삼축압축시험, 표준압밀시험에 의해 조사된 강도 및 압축특성을 분석하였다.

Fig. 6은 광양항 동측 배후단지의 깊이에 따른 일축압축강도( $q_u$ )의 분포를 나타낸다. 깊이가 깊어질수록 일축압축강도는 증가하는 경향을 보이고 있고, 2.94~117.68kPa 분포이며 평균 26.19kPa로 확인되었다. 넓은 분포 범위에 비해 평균값이 낮은 특징을 보이고 있다. 깊이가 증가함에 따른 선형 상관관계식으로 분석한 일축압축강도는 Eq. (1)과 같다.

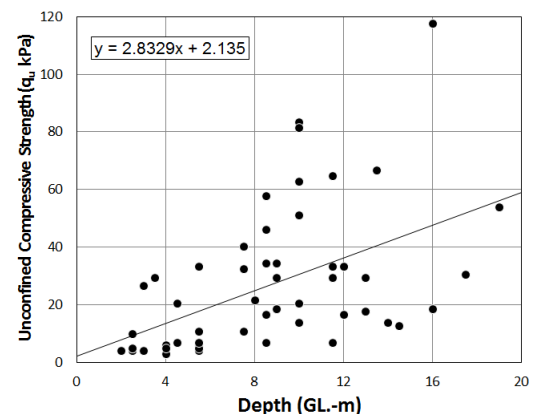


Fig. 6. Results of uniaxial compression test

$$q_u = 2.8329d + 2.1358 \quad (1)$$

여기서  $q_u$  : 일축압축강도(kPa),  $d$  : 깊이(m)

따라서 일축압축강도시험 결과에 의한 지반의 비배수전단강도( $S_u$ )는  $S_u = \frac{1}{2} q_u$ 로 계산되므로 Eq. (2)와 같다.

$$S_u = 1.4165d + 1.0679 \quad (2)$$

Fig. 7은 깊이에 따른 비배수비압밀 삼축압축시험 결과를 제시한 것이다. 일축압축시험 결과와 마찬가지로 깊이가 증가할수록 비배수전단강도는 대체로 증가하는 경향을 보여 주고 있다.

비배수전단강도는 1.96~44.13kPa 범위로 분포하며 평균 11.44kPa로 분석되었다. 깊이가 증가함에 따른 선형 상관관계식으로 분석한 비배수전단강도는 Eq. (3)과 같다.

$$S_u = 1.1167d + 3.1775 \quad (3)$$

여기서  $S_u$  : 비배수전단강도(kPa),  $d$  : 깊이(m)

Fig. 6과 Fig. 7에서 깊이 8~12m 구간의 값이 큰 편차를 보이는 것으로 나타나며 Park(2011)의 서해안 연약지반 연구결과에서 제시한 바와 같이 유사한 깊이의 연약지반이라 하더라도 위치에 따라 서로 다른 역학적 특성을 보이고 있는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 깊이에 따른 선형압밀하중의 분포를 나타낸 것으로 7.85~156.91kPa 범위로 분포하며 평균 48.07kPa로 분석되었다. 깊이가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며 상관관계식은 Eq. (4)와 같다.

$$P_c = 5.4182d + 1.9241 \quad (4)$$

여기서  $P_c$  : 선형압밀하중(kPa),  $d$  : 깊이(m)

Fig. 9는 깊이에 따른 압축지수 분포를 나타낸 것으로 0.299~1.305 범위로 분포하며 평균 0.73이다. 압축지수는 같은 깊이에서도 넓은 범위로 분포하며 큰 편차를 보이고 있고 깊이가 깊어질수록 작아지는 경향을 보이긴 하나 뚜렷한 상관관계를 보이지는 않는다.

## 4. 현장시험

### 4.1 현장배인시험

현장배인전단시험(FVT)은 점성토의 비배수전단강도를 원위지에서 측정하는 방법이다. 점성토 지반의 비배수전단강도는 매우 중요하며 비배수전단강도는 실내시험과 원위치 시험으로 구할 수 있다. 실내시험은 상재하중 제거에 의한 응력이완, 시료 채취 및 제작 중에 나타나는 교란, 불완전한

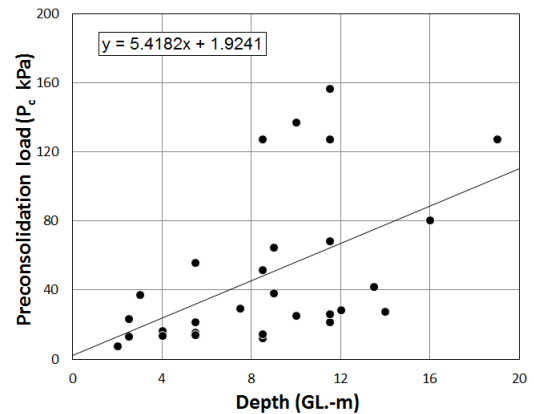


Fig. 8. Preconsolidation pressure

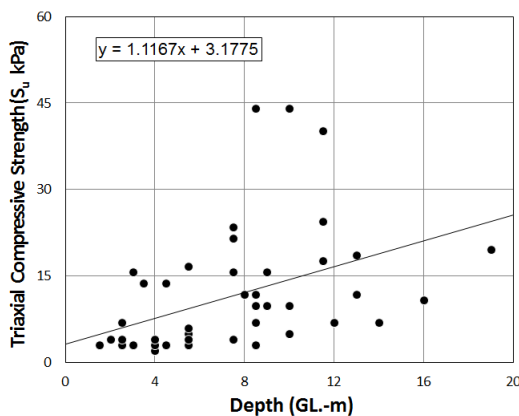


Fig. 7. Results of triaxial compression test

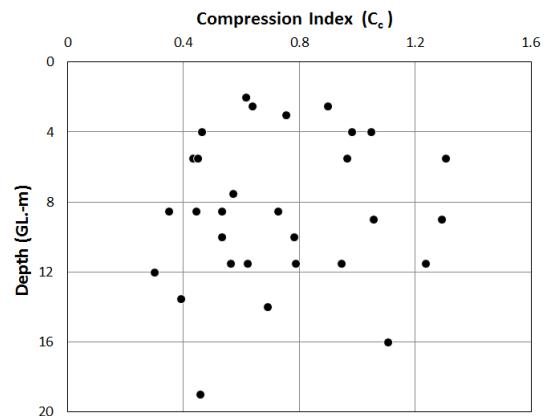


Fig. 9. Compression index

배수조건 등에 의한 오차가 발생하므로 현장에서 직접 측정할 수 있는 원위치시험을 선호하고 있다.

본 연구에서 이용한 현장베인시험은 41개소 시추공에서 수행한 226회의 현장 측정자료이며 불교란상태 및 교란상태 2가지로 측정되었고 예민비를 산정하였다.

Fig. 10은 현장베인시험에 의해 측정된 불교란 시료와 교란 시료의 깊이에 따른 비배수전단강도 분포이다. 불교란 시료의 비배수전단강도 분포 범위는 0.69~85.19kPa 이고 평균 21.10kPa 이다. 전반적으로 깊이가 깊어질수록 증가하는 경향을 보이고 있으나 깊은 깊이에서도 20kPa 이하의 값이 분포하기도 한다. 그리고 불교란 시료와 교란 시료의 예민비는 0.29~12.83 범위로 분포하며 평균 약 2.72 로 분석되어 대부분 4.0 이하에 분포하므로 예민성은 보통이다.

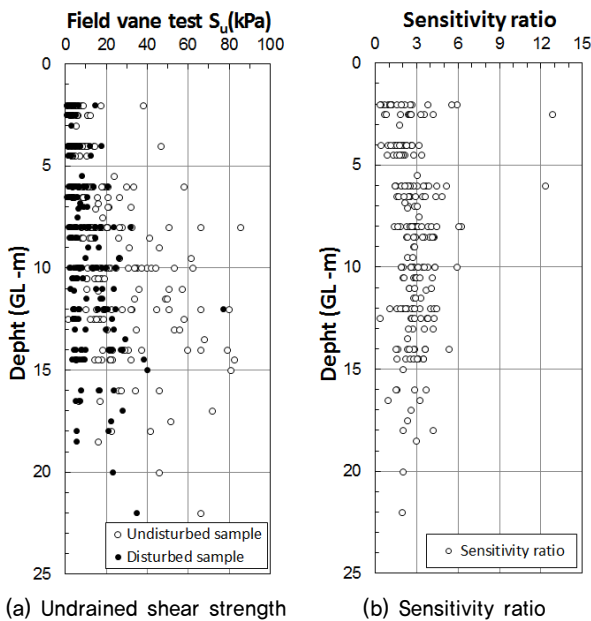


Fig. 10. Undrained shear strength by field vane test

## 4.2 피에조콘 관입시험

피에조콘 관입시험(Piezcone penetration test, CPTu)은 콘 관입 시 간극수압까지 측정할 수 있으며 모든 시험 결과는 전자식으로 자동 계측된다. Anagnostopoulos et al.(2003)은 여러 종류의 흙을 대상으로 많은 실험을 수행하여 관련 정보를 제공하였다.

피에조콘 관입시험은 하중과 수압을 연속적으로 측정하여 콘선단저항치( $q_c$ ), 주면마찰저항치( $f_s$ ), 관입간극수압( $u$ )을 비교적 쉽게 측정할 수 있으며 표준관입시험에 비해 정확하고 구체적인 자료를 제공해 준다. 또한 주면마찰력, 간극수압, 내부마찰각, 지층구조 등의 해석이 가능하며 신속하고 효율적인 조사가 가능하다는 장점이 있다.

본 연구지역 연약지반에서 조사된 피에조콘 관입시험은 26개소이다. 이 중 대표로 BE-4 시험공 1개소의 피에조콘 관입시험 결과인 측정된 깊이에 따른 콘선단저항치, 주면마찰저항치, 관입간극수압 분포를 Fig. 11에 제시하였다. BE-4 시험공의 시험심도는 GL.-0.4~13.88m이다. 콘선단저항치 측정범위는 0.0~1.23MPa, 평균 0.326MPa, 주면마찰저항치 측정범위는 0.004~0.029MPa, 평균 0.009MPa, 관입간극수압 측정범위는 -0.003~0.368MPa, 평균 0.173MPa로 분석되었다.

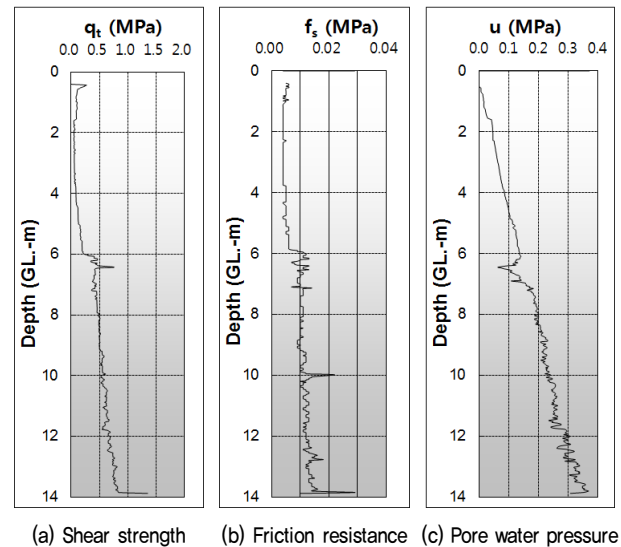


Fig. 11. Results of piezocone test at BE-4

## 5. 분석 및 고찰

### 5.1 압축지수와 물리적 특성 상관성 분석

압축지수의 분포가 물리적 특성의 액성한계, 함수비, 초기간극비와 비슷한 경향을 나타내고 있는 것은 여러 학자들의 연구결과에 의하면 압축지수에 직접적인 영향을 줄 수 있는 지반정수로서 액성한계, 자연함수비, 초기간극비와 같은 거동을 나타내기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 물리적 특성의 지반정수와 압축지수의 관계는 대부분 선형식으로 제안하고 있다(Park, 2011).

Fig. 12는 압축지수와 액성한계 관계를 나타내고 있다. 압축지수와 액성한계의 선형회귀 분석에 의해 Eq. (5)를 산정하였다.

$$C_c = 0.0099(LL - 2.374) \quad (r^2=0.3072) \quad (5)$$

여기서  $LL$  : 액성한계(%)

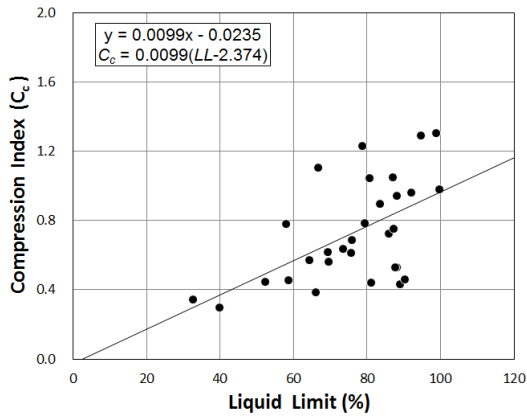


Fig. 12. Correlation between liquid limit and compression index

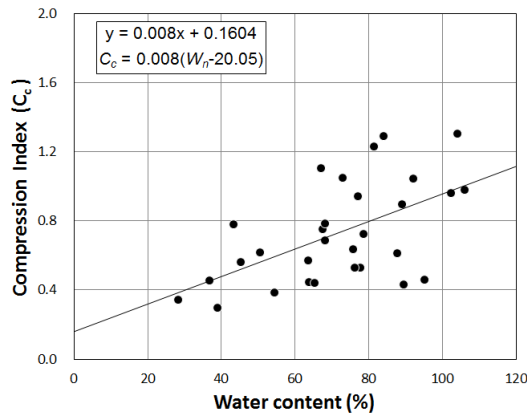


Fig. 13. Correlation between liquid limit and moisture content

Fig. 13은 압축지수와 함수비 관계를 나타내고 있다. 압축지수와 함수비의 선형회귀 분석에 의해 Eq. (6)을 산정하였다.

$$C_c = 0.008(W_n - 20.05) \quad (r^2=0.3117) \quad (6)$$

여기서  $W_n$  : 함수비(%)

## 5.2 흙의 분류

본 연구지역 점성토 분류는 실내시험 결과에 의해 액성한계와 소성지수를 이용한 Casagrande의 소성도에 의한 분류방법과 피에조콘 관입시험에 의한 흙 분류방법 중 콘관입저항력, 관입간극수압 계수, 마찰비를 동시에 고려하여 제안한 Robertson(1990) 분류도표를 이용한 방법으로 분류하였다.

소성도에 의한 분류는 Fig. 14에서 분석된 바와 같이 모든 시료들이 U-Line과 A-Line 사이에 분포하고 있다. 동일 분류법으로 소성이 큰 무기점토(CH)와 소성이 중간인 무기점성토(CL)로 분류되었으며, 소성이 큰 무기점토(CH)의 분포 비율이 우세하게 나타난다.

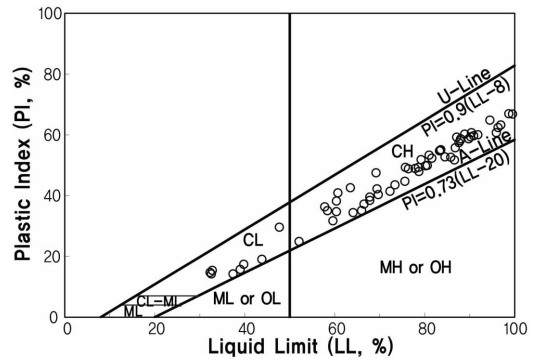
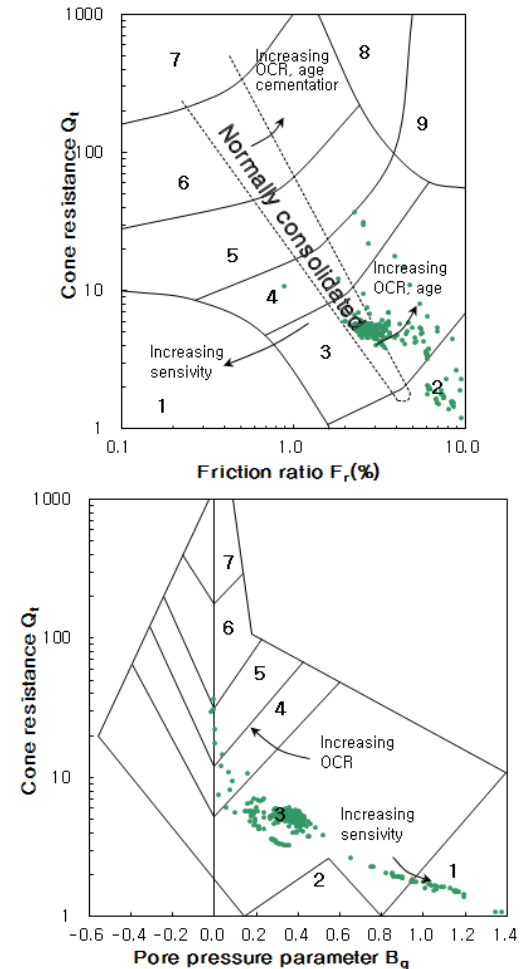


Fig. 14. Classification of soil by plastic chart

Fig. 15는 26개소 피에조콘 관입시험 중에서 BE-4 시험공 1개소의 Robertson(1990) 분류도표이다. 준설패립토층,



- Zone : Soil Behaviour Type
- 1 Sensitive fine grained
  - 2 Organic soils - peats
  - 3 Clays - clay to silty clay
  - 4 Silt mixtures clayey to silty clay
  - 5 Sand mixtures: silty sand to sandy silty
  - 6 Sands: clean sands to silt sands
  - 7 Gravelly sand to sand
  - 8 Very stiff sand to clayey sand
  - 9 Very stiff fine grained

Fig. 15. Robertson's classification at BE-4

퇴적토층, 풍화토층으로 분포하고 있으며, 피에조콘 관입시험은 준설매립토층과 퇴적토층에서 실시하였다. 분석결과 대부분 Type 3의 지층분포이며 점성토에 해당한다.

### 5.3 피에조콘계수 산정

피에조콘 관입시험에서 점성토 지반의 비배수전단강도를 추정하기 위해서는 피에조콘계수가 필요하며, 피에조콘계수의 산정은 매우 중요하다. 비배수 전단강도는 지반조건, 응력이력, 소성지수 등에 따라 그 값이 달라질 수 있기 때문에 자료의 검증과 더불어 국내 지반에 적합한 피에조콘계수를 결정하는 것이 필요하다(Park, 2011).

연약점성토의 피에조콘계수를 분석하기 위해서 피에조콘 관입시험 결과인 부등단면적을 고려한 원추관입저항력( $q_t - \sigma_o$ ), 유효전단저항치( $q_c(q_t - u_2)$ ), 과잉간극수압( $\Delta u(u - u_0)$ ) 등과 현장베인시험의 비배수전단강도를 비교하여 경험적 방법에 의한 피에조콘계수  $N_{kt}$ ,  $N_{kc}$ ,  $N_{\Delta u}$ 를 분석하였다.

#### 5.3.1 상관관계 분석을 위한 현장시험 비교심도 결정

현장베인시험 비배수전단강도를 이용하여 피에조콘계수를 산정함에 있어서 현장베인시험 시험심도의 비교 대상인 피에조콘 관입시험의 시험 깊이를 어느 범위까지로 설정할 것인지에 대해서는 주관적인 판단에 의해 결정되고 있다.

두 가지 현장시험을 단순 비교하면 동일 심도에서 측정된 값을 비교할 수 있다. 그러나 현장베인시험의 경우에는 측정심도가 고정적이지만 피에조콘 관입시험은 연속적이므로 두 현장시험을 비교할 때 현장베인시험을 기준으로 피에조콘 관입시험의 비교 시험 깊이를 어떤 범위로 설정할 것인가를 결정해야 한다. 따라서 이번 연구에서 현장베인시험 비배수전단강도 시험심도를 기준으로 피에조콘 관입시험의 여러 가지 시험심도 범위로 상관관계를 분석함으로써 피에조콘관입시험의 적절한 비교 심도범위에 대해 분석하였다.

현장베인시험 비배수전단강도 측정 심도와 상관관계 분석 대상인 피에조콘 관입시험의 비교대상 심도는 Fig. 16과 같이 베인 길이, H를 기준으로 3가지 심도구간으로 구분하여 분석하였다. Table 2에 제시된 바와 같이 피에조콘 관입시험 분석심도는 1H, 5H, 10H로 하고, 이들 심도에서 측정된 값의 평균값을 계산하여 각각 현장베인시험 측정심도의

Table 2. Test section of field vane test and piezocone test

Section	Section of field vane test		Section of piezocone test	
	H		1H	5H
Depth	H	(10cm)	1H	5H
		(10cm)	(10cm)	(50cm)
				10H
				(100cm)

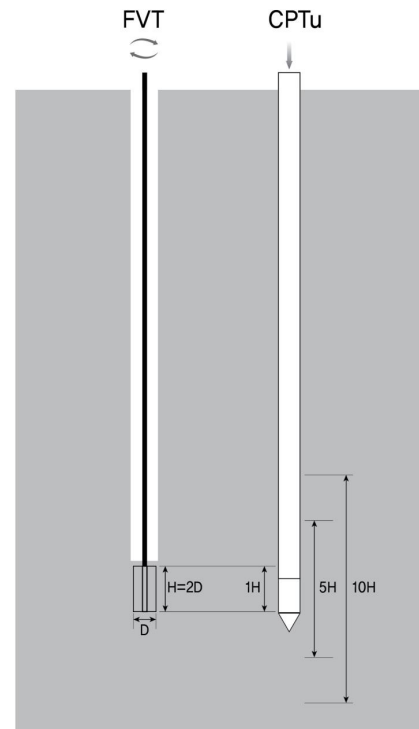


Fig. 16. Comparison section of FVT and CPTu

비배수전단강도와 상관관계 분석을 시행하였다. 이들 중 상관관계가 가장 높은 구간을 선정하고 피에조콘 계수  $N_{kt}$ ,  $N_{kc}$ ,  $N_{\Delta u}$ 로 산정하였다.

#### 5.3.2 피에조콘계수 산정결과

광양항 동측배후단지에서 현장베인시험과 피에조콘관입시험이 동시에 실시된 26개공 107개 심도의 측정자료의 결과를 비교하고 상관관계식을 도출하여 피에조콘계수  $N_{kt}$ ,  $N_{kc}$ ,  $N_{\Delta u}$ 를 산정하였다.

현장베인시험 비배수전단강도에 따른 피에조콘관입시험의 3가지 심도구간에 대한 상관분석 결과 전반적으로 피에조콘계수 결정계수가 유사한 값을 보이고 있어 큰 차이를 나타내지는 않지만, Table 3에 제시한 바와 같이 피에조콘 관입시험 분석범위 중 5H 구간의 평균값을 사용한 상관분

Table 3. Piezocone factor and coefficient of determination at test section

Section of FVT	Empirical method of undrained shear strength of CPTu		
	$N_{kt}(r^2)$	$N_{kc}(r^2)$	$N_{\Delta u}(r^2)$
1H(±5cm)	8.9 (0.8810)	6.7 (0.8486)	4.5 (0.8248)
5H(±25cm)	8.9 (0.8826)	6.7 (0.8517)	4.5 (0.8259)
10H(±50cm)	9.0 (0.8780)	6.7 (0.8487)	4.5 (0.8250)

석 결정계수가 가장 큰 값으로 조사되었다. 따라서 광양항 배후단지 일부 구간에서 수행한 한정된 자료에 의한 결과이지만 피에조콘계수 산정 시 피에조콘관입시험 분석심도의 범위는 현장베인시험 베인길이(H)의 5배가 가장 적정한 것으로 판단된다. 상관관계 분석은 Fig. 17에서 Fig. 19에 제시하였다.

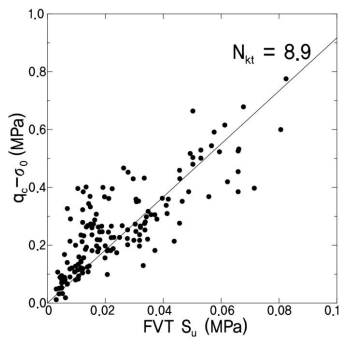
피에조콘계수는 일반적으로 여러 지역을 분석하여 넓은 피에조콘계수 범위를 제안하였으나, Park et al.(2012)에 의하면 소규모 지역으로 구분하고 각 지역마다 한 개의 피에조콘계수를 제안함으로써 피에조콘관입시험에 의해 비배수 전단강도 산정에 있어 지역에 따라 일관성 있게 적용할 수 있을 것으로 제시하였다. 따라서 광양지역의 피에조콘계수는 현장베인시험에 의한 비배수전단강도를 이용하여 전응력 콘지향력 추정법에 의한 피에조콘계수  $N_{kt}=8.9$ ,  $N_{ke}=6.7$ ,

$N_{\Delta u}=4.5$ 로 분석되었다.

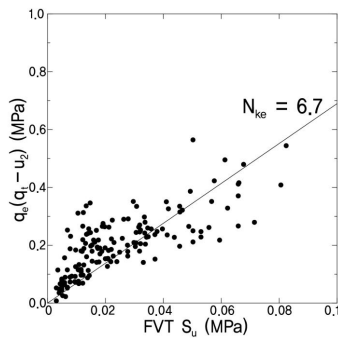
본 연구에서 제시한 광양지역의 피에조콘계수  $N_{kt}=9.0$ 은 Jang et al.(2001)이 제시한 광양지역 피에조콘계수  $N_{kt}=10.2$ 와 유사한 값을 보이고 있다. 그러나 Lee & Kim(1996)이 제시한 영암지역  $N_{kt}=13.9\sim 14.3$ , Park et al.(2007)이 제시한 부산신항의  $14.5\sim 20.1$ , Kwon(1999)이 제시한 남해안 지역  $N_{kt}=14\sim 20$  등 남해안의 다른 지역 연약지반에 비해서 작은 값을 나타내고 있다.

## 6. 결 론

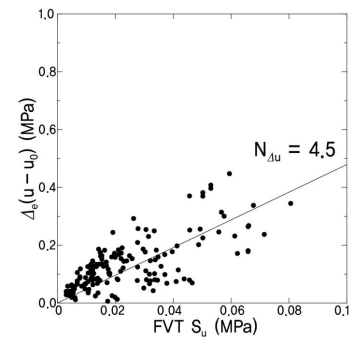
전남 남해안 지역인 광양항 동측배후단지 연약지반의 공학적 특성을 규명하고, 현장베인시험에 의한 비배수전단강



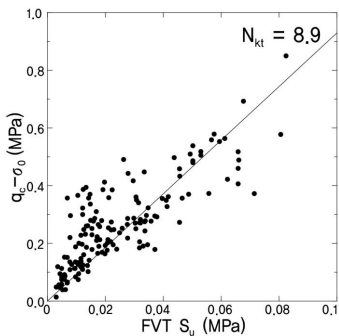
(a) Depth 1H



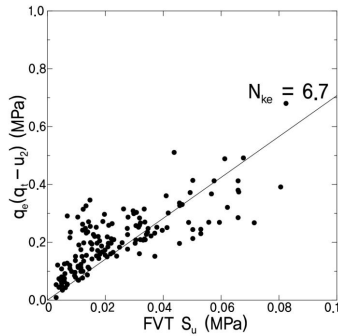
(a) Depth 1H



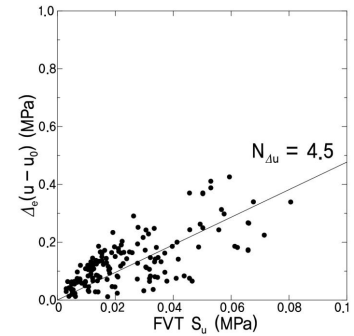
(a) Depth 1H



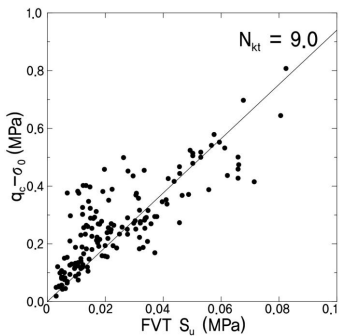
(b) Depth 5H



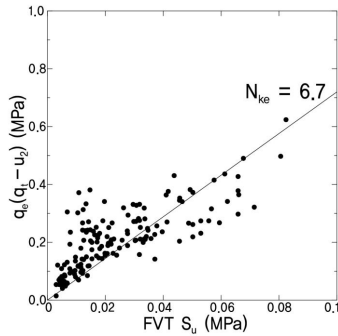
(b) Depth 5H



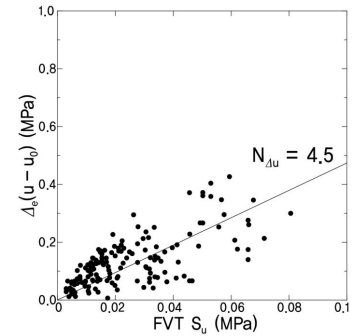
(b) Depth 5H



(c) Depth 10H



(c) Depth 10H



(c) Depth 10H

Fig. 17.  $N_{kt}$  according to depth

Fig. 18.  $N_{ke}$  according to depth

Fig. 19.  $N_{\Delta u}$  according to depth



도를 이용한 피에조콘계수를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 광양지역 연약지반의 물리적 특성은 평균 비중 2.73, 평균 자연함수비 68.48%, 평균 액성한계 73.83%, 평균 소성지수 45.8% 등으로 남해안 평균값보다 약 10~20% 높으며, 역학적 특성은 평균 일축압축강도 26.19kPa, 평균 비배수전단강도 11.44kPa 등으로 나타났다.
- (2) 소성도에 의한 흙 분류 결과 소성이 큰 무기점토(CH)와 소성이 중간인 무기점성토(CL)로 분류되었으며, 소성이 큰 무기점토(CH)의 분포 비율이 우세하게 나타났다. Robertson(1990) 분류도표에 의한 흙 분류 결과 준설패립토 및 퇴적토층은 대부분 Type 3인 점성토에 해당하며 실트 및 모래의 함유량이 적은 것으로 나타났다.
- (3) 현장베인시험에 의한 비배수전단강도를 기준강도로 하여 경험적 방법에 의해 피에조콘 계수를 산정함에 있어서 베인 길이의 5배 범위 측정값의 평균을 사용하는 것이 상관성이 가장 높았으며, 광양지역의 피에조콘계수는  $N_{kt}=8.9$ 로 산정하였다.

## 감사의 글

이 논문은 안동대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구되었습니다.

## References

1. Anagnostopoulos, A., Koukis, G., Sabatakakis, N. and Tsiambaos, G. (2003), Empirical correlation of soil parameters based on cone penetration test (CPT) for Greek soils, *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 21, No. 4, pp. 377~387.
2. Jang, I. S., Lee, S. J., Jung, C. K. and Kim, M. M. (2001), Piezocone factors of Korean clayey soils, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol. 17, No. 6, pp. 15~24 (In Korean).
3. Jang, Y. S. and Park, J. M. (2009), A study on the application of simple reliability analysis for soil improvement, *Korean Geotechnical Society Conference*, Korean Geotechnical Society, pp. 759~767 (In Korean).
4. Korea Land & Housing Corporation (1999), Study on the characteristic of soft ground I, Korea Land & Housing Corporation, pp. 214~235 (In Korean).
5. Kwon, K. H. (1999), Estimate of undrained shear strength of soft clay using piezocone penetration test, Master's thesis, Myungji University, 50p. (In Korean).
6. Lee, S. J. and Kim, M. M. (1996), Piezocone factors of Korean clayey soils, *Korean Geotechnical Society Conference*, Korean Geotechnical Society, pp. 237~248 (In Korean).
7. Park, S. Y. (2011), A comparative study on geotechnical properties of soft grounds in the west coast – focusing on the areas of Gyeonggi and Incheon, Ph D's thesis, Andong National University, 150p. (In Korean).
8. Park, S. Y., Kim, K. B., Lee, Y. G. and Baek, S. C. (2012), Evaluation of piezocone coefficient of soft grounds in the areas of Gyeonggi and Incheon, *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 13, No. 5, pp. 41~49 (In Korean).
9. Park, Y. H., Kim, M. K., Kim, C. D. and Lee, J. H. (2007), Analysis and evaluation of CPT cone factor for undrained shear strength estimation of Pusan clay, *Journal of Korea Geotechnical Society*, Vol. 23, No. 8, pp. 77~85 (In Korean).
10. Robertson, P. K. (1990), Soil classification using the cone penetration test, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 27, No. 1, pp. 151~158.