



국내 해성점토의 비배수 전단강도 분석을 통한 설계 적용성 평가

Assessment on Design Applicability of Analysis of the Undrained Shear Strength in Korea Coastal Marine Clay

김명환^{*,†} · 송창섭^{*}

Kim, Myeong Hwan · Song, Chang Seob

Abstract

This study performed the physical and mechanical experiment on the samples of costal marine clays individually collected in western and southern regions to identify the characteristics of western and southern costal marine clay. Based on the experiment result, the characteristics of costal marine clay is identified undrained shear strength. Based on the experiment result on the physical and mechanical characteristics of costal marine clays, the regression is presented that can analyze the mechanical characteristics of undrained shear strength in costal marine clay of Korea, region of Korea and western-southern region. The correlation of uniaxial compressive strength and undrained shear strength was suitable for use of western-southern region correlation equation. The test result of Jeonnam Yeosu area compares with prediction results of previous researchers formula and western-southern region formula. Prediction results appear highest reliability on the 0.827 of coefficient of determination in the prediction results of the western-southern region formula.

Keywords: Marine clay; Undrained shear strength; Linear regression; Non-linear regression

1. 서 론

해안 매립으로 조성된 부지에 도로, 교량, 공장 등 토목 및 건축 구조물을 축조할 경우 구조물의 과도한 침하, 부등침하 및 기초지반의 지지력 부족으로 인한 구조물의 파괴, 측방 용기, 지진에 의한 지반의 액상화 및 지지력 감소 등과 같은 문제점이 발생하므로 지반조사와 실험을 통해 지반의 공학적 특성을 정확하게 파악하여야 안전한 설계를 할 수 있으며 구조물 축조 후 거동을 올바르게 예측할 수 있을 것이다 (Choi, 2013).

우리나라 서·남해안의 지반은 지형적인 특성으로 연약한 실트질 점토의 퇴적으로 이루어진 경우가 대부분이다. 이중 상당부분은 과압밀비가 2 이하로 정규압밀 또는 약간 과압밀된 상태이며, 자연함수비와 액성한계가 비슷한 것으로 파악되고 있다. 이들 점성토 지반은 큰 압축성과 작은 전단강도 등 공학적으로 취약한 특성을 가지고 있어 과거에는 각종 건설

공사 시 이러한 지반을 이용하는 것을 회피하였다 (Heo et al., 2010a).

연약 점성토의 특성을 파악하는 방법으로는 각종 원위치 시험법이 있지만 적용이 제한적이므로 실내시험과 병행하여 수행하게 된다. 실내시험에 사용되는 시료는 원위치 상태에서 채취와 동시에 지반 내 응력이 해방되어 함수비와 간극비의 변화를 유발하며 나아가 강도특성과 압밀 특성에 영향을 미치게 된다. 또한 실내시험에 대한 오차는 지반의 특성을 정확하게 반영하지 못하므로 실제 설계 적용 시 비경제적인 설계 등의 문제를 수반하게 된다. 그러나 설계 또는 시공에 사용되는 토질정수는 실내시험 결과를 바탕으로 도출하여 적용하므로 실내시험 결과의 정확한 분석을 통하여 토질정수를 산정할 필요가 있다.

Binu et al. (2003)은 비배수 전단강도는 함수비와 비선형 관계이며, 함수비의 범위가 넓게 분포하므로 액성한계와 소성한계의 관계로부터 비배수 전단강도를 예측해야 한다고 주장하였다. 또한, Trauner et al. (2005)은 비배수 전단강도는 흙의 구성성분과 함수비의 영향을 받고 있으며, 함수비와의 관계가 있음을 제시하였다.

Xin Kang et al. (2011)은 선행연구자들에 의한 경험식과 비배수 전단강도와 소성지수와의 관계를 비교 연구를 통하여 소성지수를 이용한 비배수 전단강도의 예측은 상관성이 매우 낮으며, 유효상재하중, 단위중량, 과압밀비를 이용한 추가 연

* Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

† Corresponding author

Tel.: +82-43-261-2572 Fax: +81-43-281-5922

E-mail: mhkim3306@cbnu.ac.kr

Received: December 14, 2015

Revised: January 22, 2016

Accepted: January 25, 2016

Table 1 Classification of soft ground area

Area	Representative area	Sam. Data	Remarks
Gyeonggi	Incheon, Gimpo, Siheung	131	Western
Chungnam	Taeon, Asan, Seosan	46	
Jeonbuk	Gunsan, Saemangeum	37	
Jeonnam West	Mouth of yeongsangang, Mokpo	80	Southern
Jeonnam south	Yeosu, Haenam, Gwangyang	31	
Gyeongnam	Masan, Gimhae, Busan	145	

구의 필요성을 제안하였다.

국내의 연구로서, Heo et al. (2010b)은 부산지역 연약지반 특성에 대한 상관관계 분석에서 일축 및 삼축압축시험 자료를 통계 분석하여 비배수전단강도의 상관관계식을 제안하였다. 또한, 상관관계 분석에서 통계분석 소프트웨어를 통한 선형회귀분석과 비선형회귀분석으로 최적의 값을 도출하여 토질정수간의 상관성을 규명하였다.

지금까지 비배수 전단강도를 예측하는 방법으로는 이론적으로 규명된 일축압축강도와와의 관계를 그대로 적용하여 설계에 반영하고 있지만, 국내 해안지반의 환경적인 특성과 퇴적 특성을 고려할 때, 서로 다른 특성을 보이고 있음을 여러 문헌에서 확인할 수 있었다. 이러한 특성을 고려한다면 비배수 전단강도의 예측을 위한 방법으로 문헌자료의 일반적인 이론을 적용하는 것이 지역적인 특성과 환경적인 측면에서 불합리하다. 따라서, 본 연구에서는 우리나라 연약지반에서 채취된 해성점토의 불교란 시료를 사용한 실내시험 결과를 바탕으로 물리적 및 역학적 특성을 분석하였으며, 국내 전체, 지역별 및 서·남해 지역으로 구분하여 일축압축강도와 비배수전단강도의 관계를 분석하여 연약지반 설계 시 가장 적합하게 적용할 수 있는 상관관계를 분석하였다.

II. 재료 및 시험

1. 재료

국내의 대표적인 연약지반으로는 서해, 남해, 동해에 위치한 해성점토 지역과 내륙지역의 충적점토 지반으로 구분할 수 있지만, 본 연구에서는 국내의 연약지반 분포지역을 경기, 충청, 전북, 전남 서해, 전남 남해, 경남 지역의 해성점토 지반을 대상으로 연구하였다. 분석에 사용된 자료는 국내 텀키 및 일반 설계 용역시 수행한 실내시험 결과로서 물리적 시험과 역학적 시험을 모두 실시한 자료만으로 분류한 총 470개 자료를 Kim (2015)의 연구 자료에서 취하여 분석하였다. 지역별 자료의 수가 많은 차이를 보이는 이유는 물리적 특성시험(합

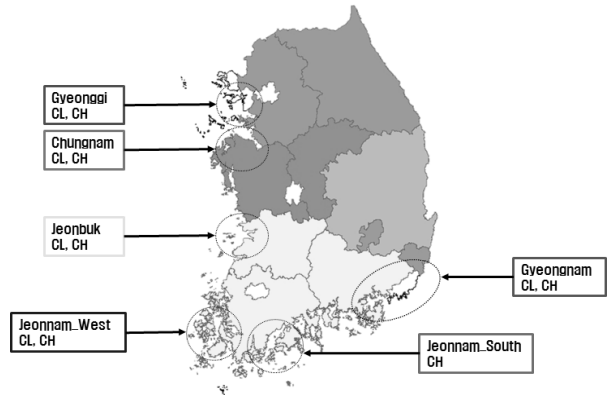


Fig. 1 Distribution status of soft clay in Korea

수비, 비중, 액·소성, 체분석)과 역학적 특성시험(일축압축, 삼축압축, 표준압밀)을 모두 실시한 자료만을 선별하는 과정에서 지역별로 큰 편차를 보이게 되었다.

본 연구에서 분석한 점성토는 흙의 분류상 SC, ML, MH, OL, OH, CL, CH로 다양하게 나타나고 있으며, 대표적으로 가장 널리 분포하고 있는 해성점토 CL 및 CH를 선정하였다. 동해지역의 경우 연약지반에 대한 자료의 부족으로 분석대상에서는 제외하였다. Table 1과 Fig. 1은 국내 연약지반 분포에 따른 지역별 분류 및 연약지반 분석 대상지역을 나타낸 것이다.

분석한 자료의 결과는 2014년도 전남 여수 신북항 텀키사업에서 조사된 자료와 비교하여 적용성을 검토하였다. 해당 지역은 Kim (2015)의 자료와 동일하게 통일분류상 CH만으로 구성된 것으로 나타났으며, 물리적·역학적 특성은 Table 2와 같다.

III. 결과 및 고찰

Kim (2015)의 연구 자료를 이용하여 물리·역학적 특성은 지역별로 구분하여 항목별 평균값으로 분석하였으며, 비배수 전단강도는 국내 전체와 지역별 및 서해안과 남해안으로

Table 2 Comparison data of Jeonnam Yeosu (Dasan eng, 2014)

Station	Depth (m)	W _n (%)	G _s	LL (%)	Q _u (kPa)	S _u (kPa)	USCS
NBH-1	2.0	77.8	2.72	75.3	25.0	18.5	CH
NBH-2	3.0	73.7	2.71	74.1	14.0	7.8	CH
NBH-2	7.0	74.4	2.72	72.5	25.4	14.9	CH
NBH-2	8.5	67.7	2.71	70.5	13.3	9.6	CH
NBH-3	5.0	76.5	2.71	77.0	17.8	15.1	CH
NBH-3	9.0	82.8	2.72	85.0	18.9	15.8	CH
NBH-3	13.0	83.5	2.71	84.2	24.6	19.0	CH
NBH-3	17.0	66.8	2.71	70.9	24.3	19.2	CH
NBH-3	21.0	56.4	2.72	62.8	43.0	29.6	CH
NBH-4	4.0	82.6	2.72	80.5	10.5	9.8	CH
NBH-4	8.0	85.3	2.72	84.4	26.3	21.7	CH
NBH-4	13.0	82.7	2.72	82.8	33.7	23.2	CH
NBH-4	18.0	71.6	2.72	71.6	54.0	33.9	CH
NBH-4	22.0	59.6	2.71	62.6	56.9	23.6	CH
NBH-4	27.0	56.1	2.71	60.7	61.2	27.6	CH
NBH-6	6.0	90.2	2.72	86.6	14.6	10.2	CH
NBH-6	15.0	62.3	2.72	62.8	40.8	26.2	CH
NBH-6	24.0	58.9	2.71	60.4	36.0	21.1	CH
NBH-5	6.8	90.0	2.71	88.7	17.6	12.9	CH
NBH-5	12.8	78.5	2.71	80.1	37.9	17.6	CH
NBH-5	18.8	65.3	2.72	70.3	41.8	28.0	CH
NBH-5	24.8	60.3	2.71	63.5	24.3	17.2	CH
NBH-7	6.7	88.0	2.72	86.6	17.6	11.4	CH
NBH-7	18.7	62.5	2.71	66.9	49.6	27.6	CH
NBH-7	24.7	59.0	2.71	65.2	59.6	35.1	CH
NBH-8	7.0	88.6	2.72	84.3	17.9	13.6	CH
NBH-8	16.0	78.4	2.71	78.0	36.6	18.7	CH

구분하여 특성을 검토하였다.

1. 지역별 물리적 특성

Fig. 2는 지역별 함수비, 액성한계, 압축지수의 평균값을 비교하여 나타낸 것이다.

함수비, 액성한계, 압축지수는 지역별로 큰 차이는 보이지 않고 있으나, 경기지역에서 경남지역으로 내려오면서 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 압축지수도 남해안에서 높은 것으로 나타나 압밀침하량이 더 크게 발생할 것임을 알 수 있었다. 지역별 함수비 분포는 토질에 관계없이 경기지역에서 가장 낮은 분포를 보이는 것으로 나타났으며, 경기지역보다 최대 총남 1.13배, 전북 1.07배, 전남서해 1.21배, 전남남해 1.34배, 경남 1.38배 큰 것으로 나타났다. 지역별 액성한

계 분포는 CL의 경우 지역별로 큰 차이를 보이지 않고 있지만, CH의 경우 경기지역보다 최대 총남 1.08배, 전북 0.99배, 전남서해 1.09배, 전남남해 1.16배, 경남 1.17배 큰 것으로 나타났다. 지역별 압축지수 분포는 토질에 관계없이 경기지역에서 가장 낮은 분포를 보이는 것으로 나타났으며, 경기지역보다 최대 총남 1.16배, 전북 1.16배, 전남서해 1.28배, 전남남해 1.65배, 경남 1.63배 큰 것으로 나타났다.

2. 지역별 역학적 특성

지역별 일축압축강도와 비배수 전단강도는 깊이에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 서해안의 경기지역과 총남 지역의 분산의 정도가 다소 큰 것으로 나타났다. 일축압축강도와 비배수 전단강도가 전체 경향에 비해 크게 분포하고 있

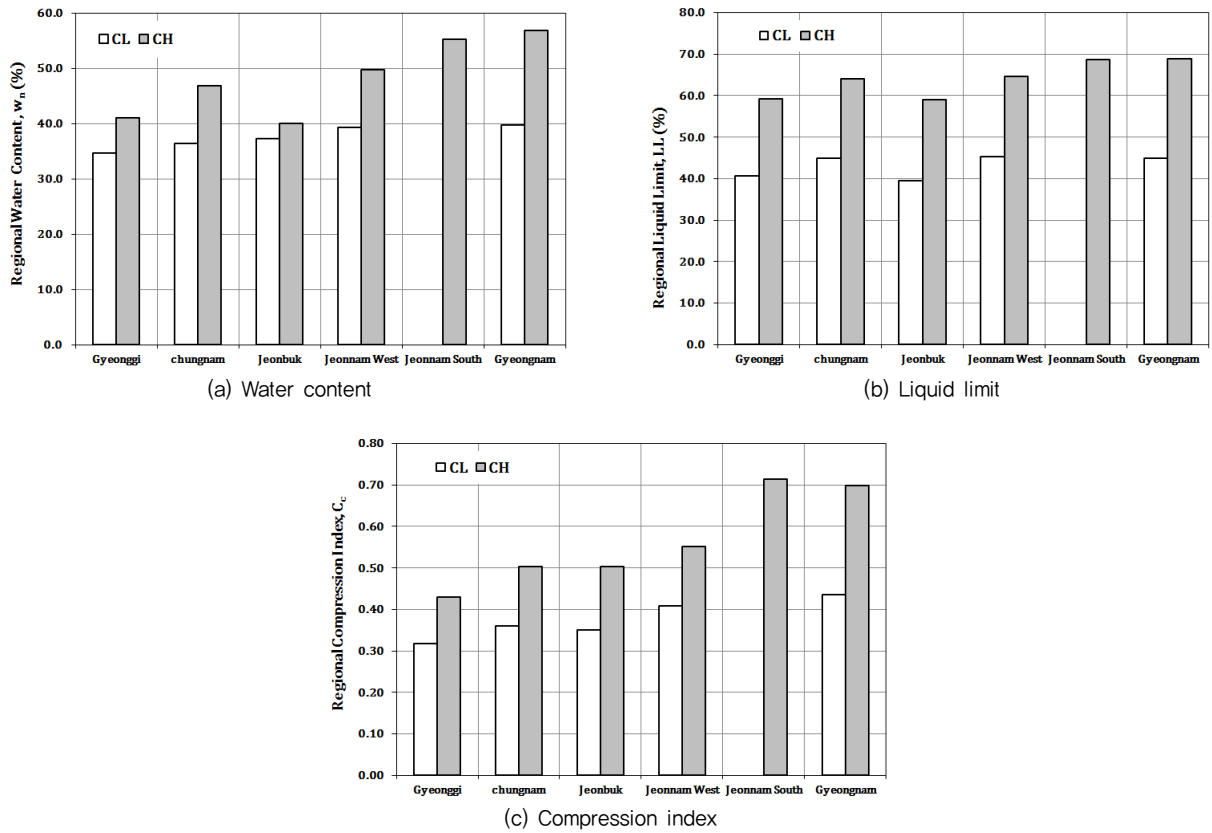


Fig. 2 Physical properties on the region

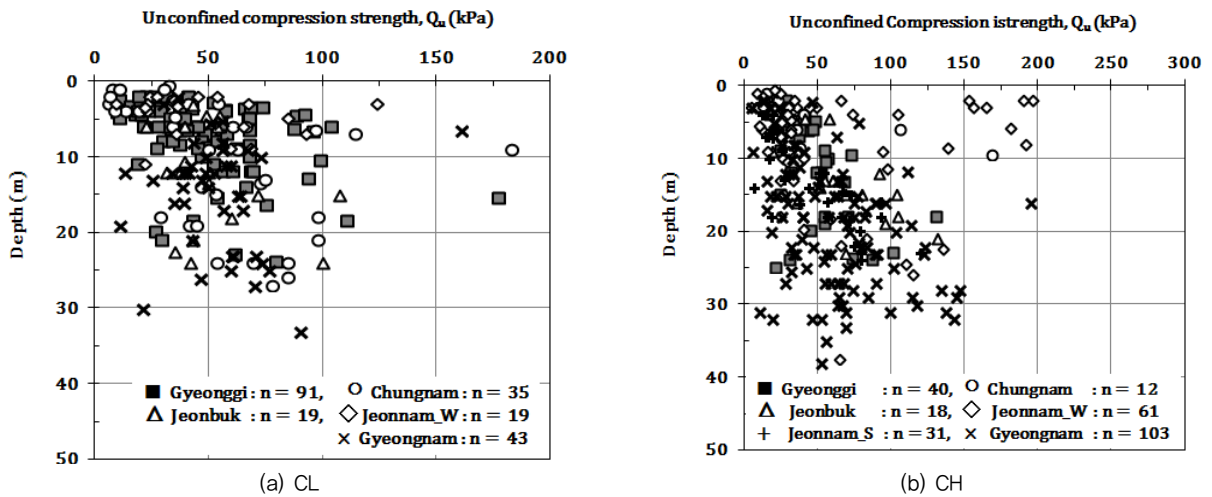


Fig. 3 Properties of unconfined compression strength on the region

는 시료의 물리적 특성을 분석한 결과 함수비와 압축지수가 주변 지반에 비해 작은 것으로 파악되었으며, 시료의 상태로는 약간 단단한 상태의 점토인 것을 확인할 수 있었다. 이러한 특징들은 일축압축강도와 비배수 전단강도의 결과에서 유사한 것으로 나타났다.

Fig. 3과 Fig. 4는 일축압축강도와 비배수 전단강도의 지역별 특성을 나타낸 것이다.

Fig. 5는 지역별 일축압축강도와 비배수 전단강도의 평균값을 정리한 것이다.

일축압축강도와 비배수 전단강도의 지역별 평균값은 큰

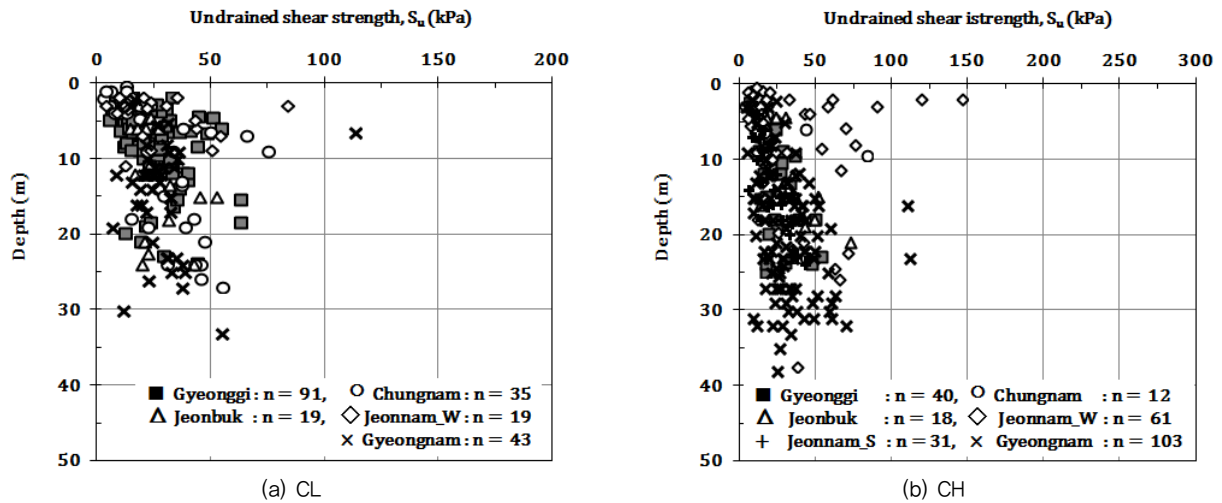


Fig. 4 Properties of undrained shear strength on the region

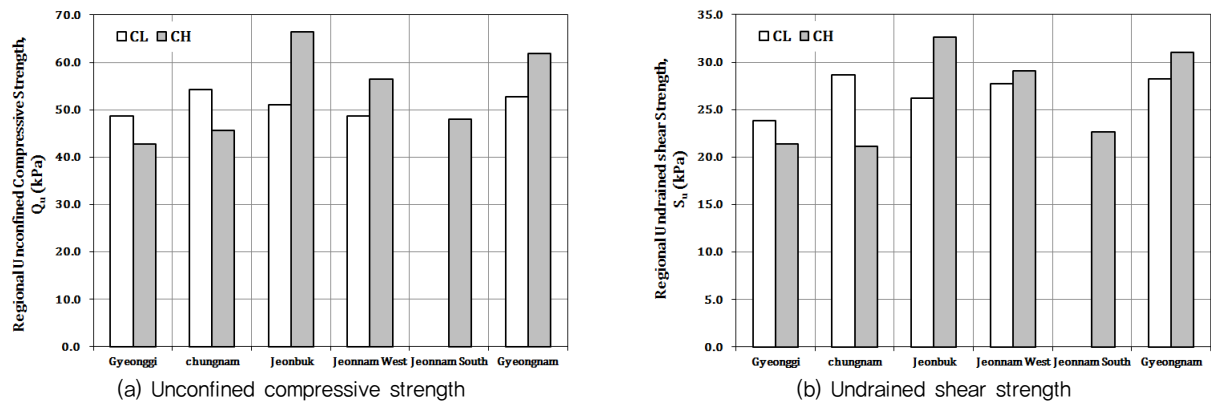


Fig. 5 Mechanical properties on the region

차이는 보이지 않고 있지만, 경기지역에서 경남지역으로 갈수록 다소 증가하는 경향을 보였다. 전북지역 CH의 경우 일축압축강도와 비배수 전단강도가 다소 크게 나타나고 있는 것은 실트질이 우세한 지역적 특성과 함수비와 액성한계가 낮은 값의 분포를 보였기 때문인 것으로 사료된다. 지역별 일축압축강도 분포는 토질에 관계없이 경기지역에서 가장 낮은 분포를 보이는 것으로 나타났으며, 경기지역보다 최대 충남 1.12배, 전북 1.55배, 전남서해 1.32배, 전남남해 1.12배, 경남 1.45배 큰 것으로 나타났다. 비배수 전단강도 분포는 경기지역보다 최대 충남 1.20배, 전북 1.53배, 전남서해 1.36배, 전남남해 1.06배, 경남 1.45배 큰 것으로 나타났다.

3. 비배수 전단강도 특성

가. 국내 비배수 전단강도 특성

본 연구에서 수집한 전국의 자료들을 분석하여 흙의 종류

에 따른 상관관계를 분석하여 Fig. 6과 같이 나타났으며, Table 3은 흙의 종류에 따른 상관관계식과 결정계수를 나타낸 것이다.

흙의 종류에 따른 일축압축강도와 비배수 전단강도 관계는 지수형태의 비선형 관계에서 결정계수가 더 높은 것으로 나타났다. CL의 경우 0.86, CH의 경우 0.89의 높은 결정계수를 보여 매우 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다.

나. 지역별 비배수 전단강도 특성

Fig. 7에서 Fig. 12는 지역별 흙의 종류에 따른 일축압축강도와 비배수 전단강도와의 상관관계를 나타낸 것이다.

지역별 흙의 종류에 따른 일축압축강도와 비배수 전단강도의 관계는 선형과 비선형으로 구분되었다. CL과 CH 모두 서해안 지역의 경기, 충남, 전북지역에서는 선형의 관계에서 결정계수가 더 높은 것으로 나타났으며, 전남 서해, 전남 남해, 경남지역에서는 비선형의 관계에서 결정계수가 더 높은

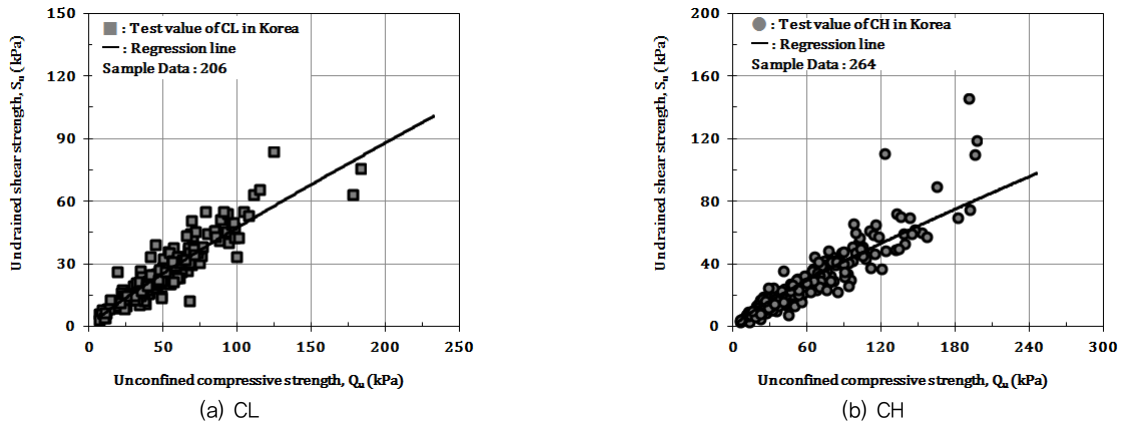


Fig. 6 Relationship of unconfined compressive strength and undrained shear strength in Korea

Table 3 Prediction equation of undrained shear strength with soil classification in Korea

Area	USCS	Prediction equation	r^2
Korea	CL	$S_u = 0.7672 \cdot Q_u^{0.8946}$	0,858
	CH	$S_u = 0.9007 \cdot Q_u^{0.8511}$	0,889

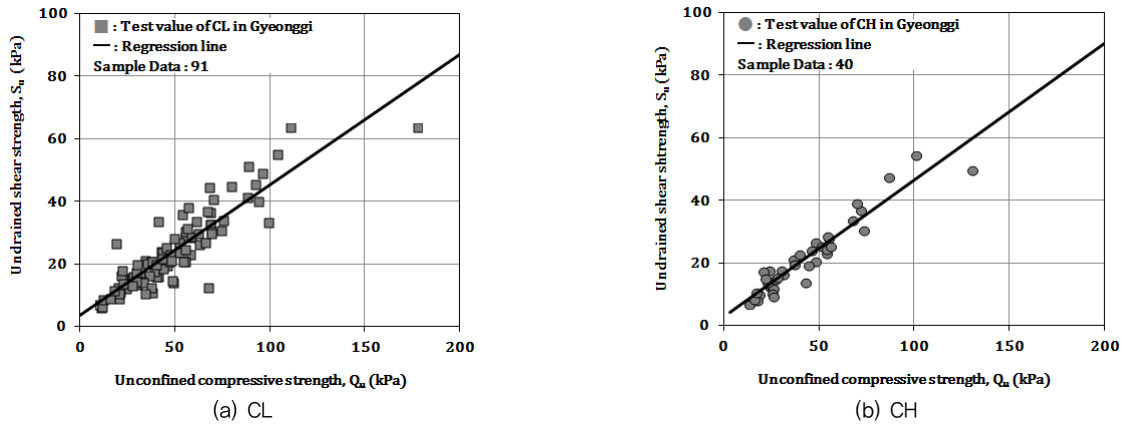


Fig. 7 Relationship of Gyeonggi area

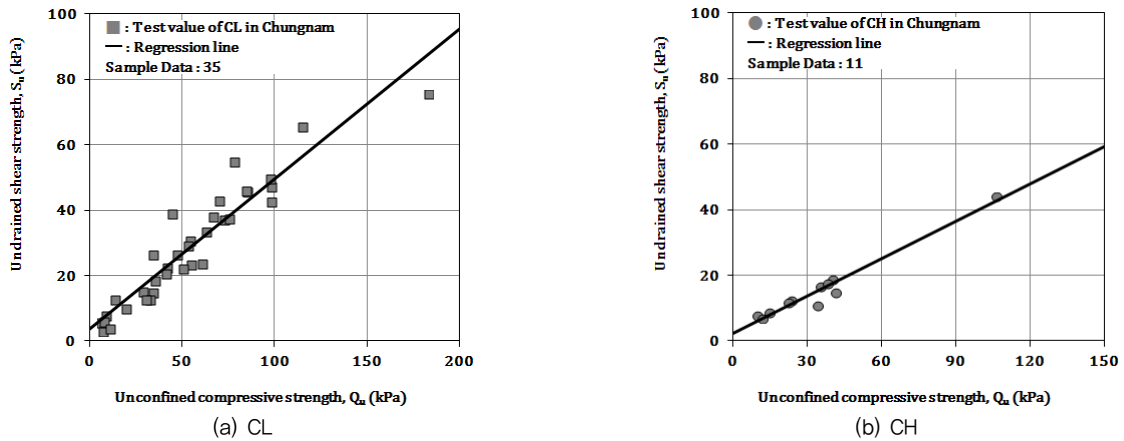


Fig. 8 Relationship of Chungnam area

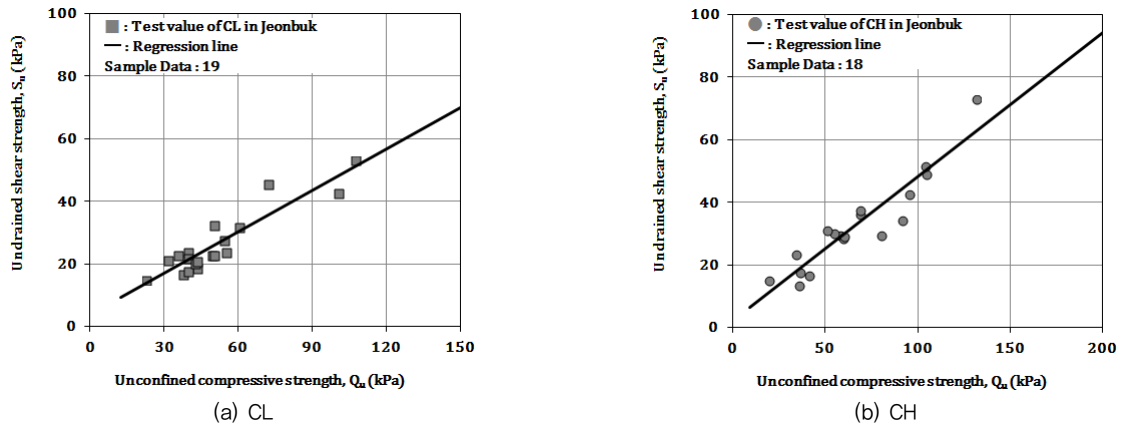


Fig. 9 Relationship of Jeonbuk area

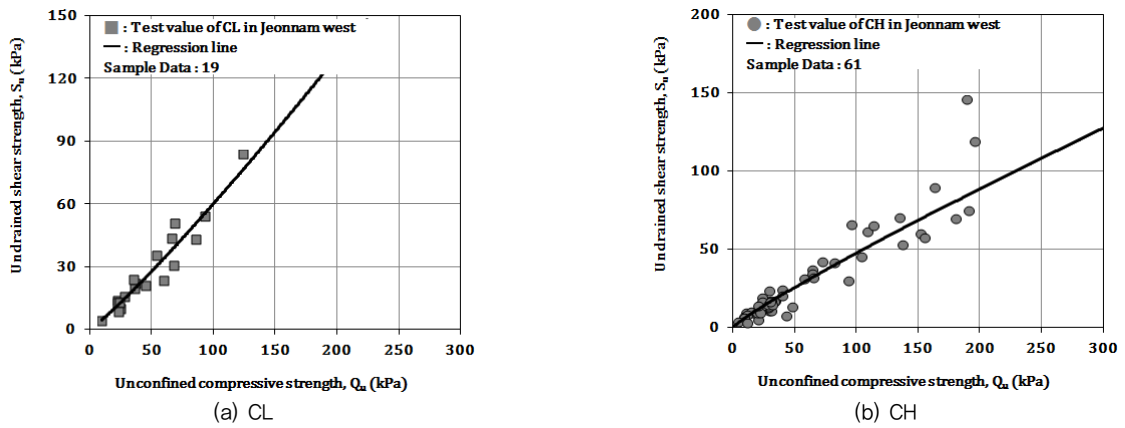


Fig. 10 Relationship of Jeonnam West area

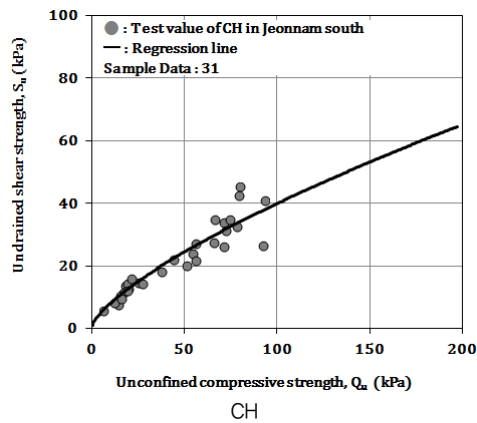


Fig. 11 Relationship of Jeonnam South area

것으로 나타났다.

Table 4는 지역별 흙의 종류에 따른 상관관계식과 결정계수를 나타낸 것이다.

지역별 흙의 종류에 따라 서해안의 경우 경기, 충남, 전북

지역은 결정계수는 0.797~0.961의 범위로 나타났으며, 전남 서해, 전남 남해, 경남지역에서는 결정계수가 0.889~0.945의 범위로 매우 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 또한, 지역별로 자료의 분포유형과 상관관계 특성이 국내 전체와 다

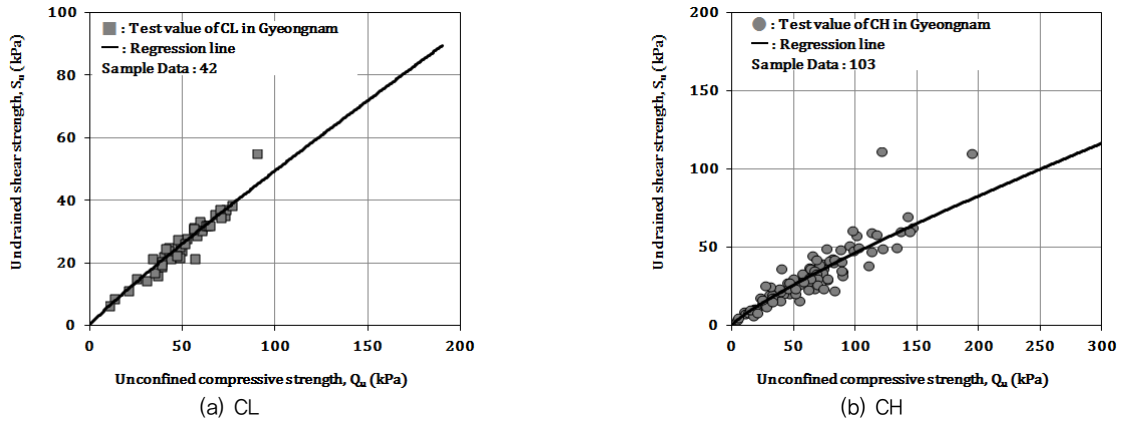


Fig. 12 Relationship of Gyeongnam area

Table 4 Prediction equation of undrained shear strength with soil classification on the region

Area	USCS	Prediction equation	r^2
Gyeonggi	CL	$S_u = 3.5756 + 0.4174 \cdot Q_u$	0.797
	CH	$S_u = 2.7125 + 0.4366 \cdot Q_u$	0.905
Chungnam	CL	$S_u = 3.6980 + 0.4595 \cdot Q_u$	0.896
	CH	$S_u = 2.4442 + 0.3787 \cdot Q_u$	0.961
Jeonbuk	CL	$S_u = 3.6457 + 0.4417 \cdot Q_u$	0.848
	CH	$S_u = 2.0327 + 0.4610 \cdot Q_u$	0.872
Jeonnam West	CL	$S_u = 0.3456 \cdot Q_u^{1.1194}$	0.933
	CH	$S_u = 0.7636 \cdot Q_u^{0.8968}$	0.880
Jeonnam South	CH	$S_u = 1.5249 \cdot Q_u^{0.7084}$	0.934
Gyeongnam	CL	$S_u = 0.7055 \cdot Q_u^{0.9225}$	0.945
	CH	$S_u = 0.9507 \cdot Q_u^{0.8429}$	0.889

르게 나타나고 있어 국내 전체 경험식의 결과와는 다소 차이를 보일 것으로 사료된다.

다. 서·남해안 비배수 전단강도 특성

Fig. 13은 서해안 지역, Fig. 14는 남해안지역 해성점토를 흙의 종류에 따른 일축압축강도와 비배수 전단강도의 상관관계를 나타낸 것이다.

서·남해안 지역의 흙의 종류별 비배수 전단강도는 지수형태의 비선형관계의 결정계수가 더 높게 나타났다. 서해안의 경우 CL과 CH의 회귀선의 기울기와 자료의 산포형태가 유사하게 나타나고 있으며, 남해안의 경우 CL이 CH 보다 회귀선의 기울기와 자료의 산포형태가 더 크고 일관성을 보이는 것으로 나타났다.

Table 5는 서해안과 남해안의 일축압축강도와 비배수 전

단강도의 상관관계식을 정리한 것이다.

국내 전체를 대상으로 분석한 상관관계와 서·남해안으로 구분한 일축압축강도와 비배수 전단강도의 관계는 유사한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 상관관계식과 결정계수도 유사하게 나타나고 있는데, 이는 전체 분석 자료 중에서 서해안 경기 지역의 자료와 남해안 경남 지역의 자료가 많이 사용되어 상관관계 분석에 우세하게 작용하였기 때문인 것으로 판단된다. KRC (1999)에서는 우리나라 연약지반의 공학적 특성으로 서해안 중부는 점토함량 10~20%, 남부는 20~35%, 남해안은 25~50%로 서해안으로부터 남해안부로 갈수록 점토함량이 증가하는 분포는 보이며, 서해안의 조위는 5~7m, 남해안의 조위는 3~5m로 조유속의 차이에 의해 서해안은 실트질 흙이 우세하고 남해안은 점토함량이 서해안보다 많은 특성을 갖는다고 하였다. 또한, Choi (2008)은 국내의 해

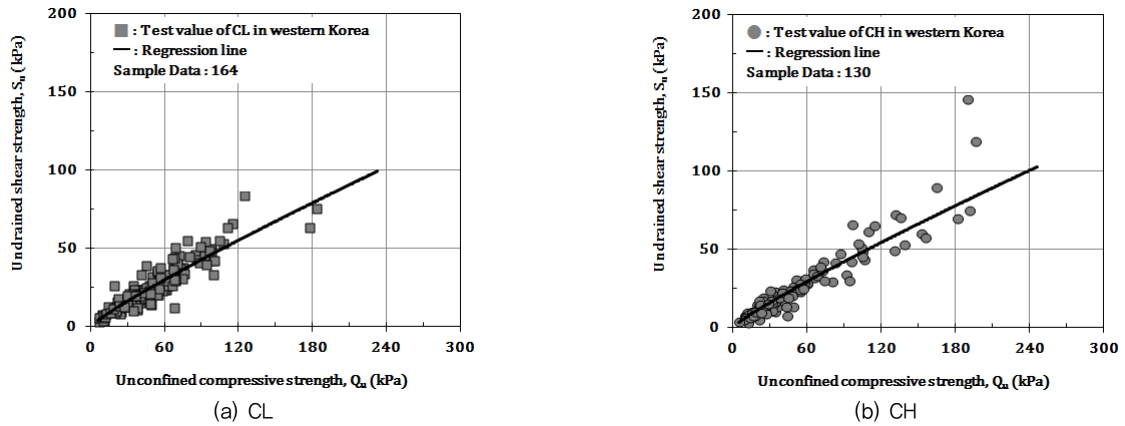


Fig. 13 Relationship of unconfined compressive strength and undrained shear strength in the western Korea

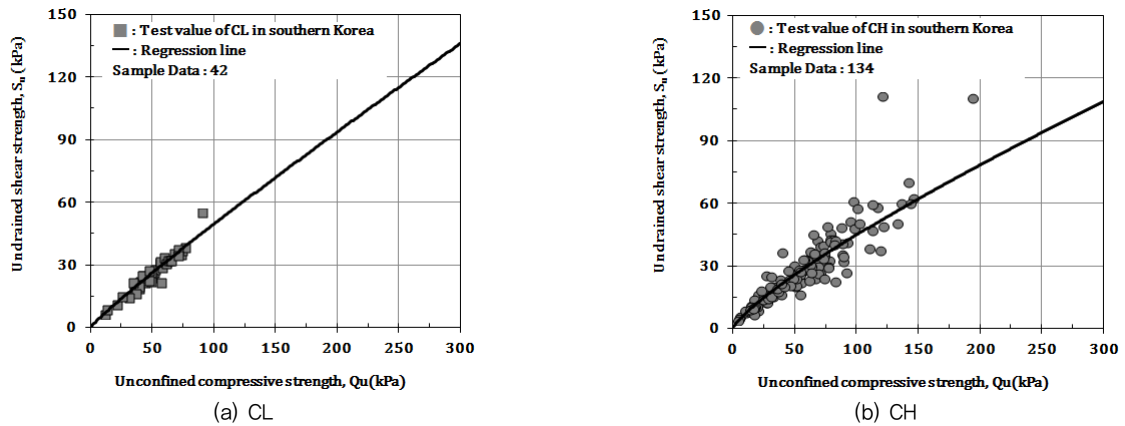


Fig. 14 Relationship of unconfined compressive strength and undrained shear strength in the southern Korea

Table 5 Prediction equation of undrained shear strength with soil classification in the western and southern Korea

Area	USCS	Prediction equation	r^2
Western	CL	$S_u = 0.7767 \cdot Q_u^{0.8897}$	0.848
	CH	$S_u = 0.7769 \cdot Q_u^{0.8866}$	0.885
Southern	CL	$S_u = 0.7055 \cdot Q_u^{0.9225}$	0.945
	CH	$S_u = 1.0819 \cdot Q_u^{0.8081}$	0.894

안지역에 분포하는 연약지반 구간의 생성기원 및 점토광물의 지역적 분포특성을 조사·분석한 결과, 서해안에 유입되는 해양성 퇴적물은 조수간만의 차가 커서 주로 조류 퇴적작용에 의해 쇄설성 세립질이 많이 포함되어 있으며, 남해안의 경우 강한 태풍과 폭풍 등의 해파운동에 의한 파랑작용이 상대적으로 우세하여 해식대가 용기한 해성퇴적토층이 형성되었다고 하였다. 따라서, 분석 방법에 따라 국내 전체, 지역별, 서·남해안으로 구분하여 분석한 상관관계식의 적용은 국내 전체와 지역별로 구분하여 분석한 경우 지역별 경계지점과 지형적 특성의 차이로 적용이 애매한 경우가 발생하므로 서해안

및 남해안으로 구분하여 분석한 자료의 상관관계식 적용이 가장 합리적일 것으로 사료된다.

4. 비배수 전단강도 비교·분석

일축압축강도를 이용한 비배수 전단강도 상관식을 이용하여 최근 수행된 전남 여수에서 진행된 과업에서의 삼축압축시험 결과와 비교하였으며, 기존에 제안된 비배수 전단강도 산정식 중 대표적인 Skempton (1957), Hansbo (1994) 식을 이용한 추정 결과와 비교·분석하였다. Skempton (1957)은 흙

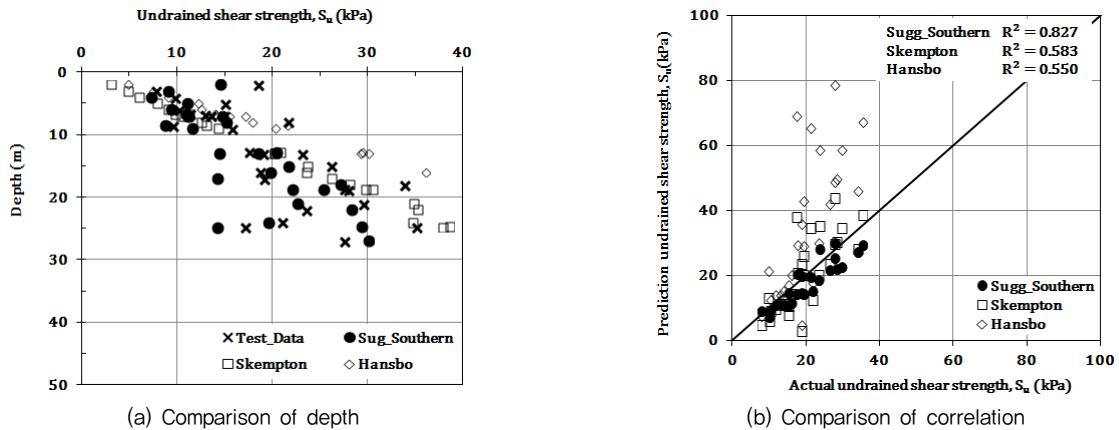


Fig. 15 Relationship of unconfined compressive strength and undrained shear strength in the southern Korea

의 비배수 전단강도와 유효상재응력과 정규압밀 퇴적점토의 소성지수 사이의 관계식을 제안하였으며, Hansbo (1994)는 액성한계를 이용한 비배수 전단강도 산정식을 제안하였다.

Fig. 15는 현장 실측결과와 기존 제안식 및 서·남해안 상관관계식을 이용한 결과를 깊이별 및 실측 결과와 비교하여 나타낸 것이다.

깊이에 따른 실측결과는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 경험식과 상관관계식 추정 결과도 동일한 경향을 보이는 것으로 나타났다. Skempton (1957)과 Hansbo (1994) 식의 추정결과는 10 m 이하의 비배수 전단강도의 8~15 kPa 범위에서는 실측결과와 유사하지만, 깊이와 비배수 전단강도가 증가할수록 과대평가하는 경향이 큰 것으로 나타났다. 본 연구의 남해안 지역 상관관계식을 이용한 추정결과는 깊이와 비배수 전단강도가 증가할수록 기존 제안식 보다는 실측 결과에 더 근접하는 결과를 보였다. 실측 결과와 1:1로 상호 비교한 결과 결정계수의 신뢰성은 Hansbo (1994) 식은 0.550, Skempton (1957) 식은 0.583, 남해안 상관관계식은 0.827의 순으로 나타났다. 이와 같은 결과는 국내 연약지반에 존재하는 해성점토의 비배수 전단강도는 지반의 깊이에 따라 선형적으로 증가하지 않으며, 지역별 퇴적환경과 조수간만의 차로 인한 상재압력 등의 특성이 반영된 실측자료를 활용한 추정이 필요하다고 사료된다.

또한, 국내 해성점토의 물리적 특성을 분석한 결과 함수비와 점토 함유량 등의 특성에 따라 역학적 특성이 달라지고 있음을 확인하였다. 따라서 비배수 전단강도를 추정하는 방법에 있어 시료 채취 위치에 따른 물리적 특성을 포함하고 있는 일축압축강도 시험 결과를 이용하면 지반의 현장 상태에 대한 비배수 전단강도의 추정결과가 더 신뢰성 있을 것으로 사료된다.

IV. 결론

서·남해안 일축압축강도와 비배수 전단강도의 특성을 규명하기 위하여 지역별 물리적 및 역학적 시험 결과를 분석하였다. 일축압축강도와 비배수 전단강도의 관계는 국내 전체, 지역별, 서·남해안으로 구분하여 상관관계를 분석하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지역별 함수비, 액성한계, 압축지수는 경기지역에서 가장 낮은 것으로 나타났으며, 경기지역보다는 전북, 충남, 전남 서해, 전남남해, 경남지역의 순으로 다소 크게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이는 서해안지역에서는 실트질이 우세한 특징을 보이는 것이며, 남해안지역에서는 점토함유량이 많기 때문인 것으로 사료된다.
2. 지역별 일축압축강도와 비배수 전단강도는 깊이에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 서해안의 경기와 충남지역의 분산의 정도가 다소 큰 것으로 나타났다. 일축압축강도와 비배수 전단강도가 전체 경향에 비해 크게 분포하고 있는 시료의 물리적 특성을 분석한 결과 함수비가 낮고 압축지수가 주변 지반에 비해 작은 것으로 파악되었으며, 시료의 상태로는 약간 단단한 상태의 점토인 것을 확인할 수 있었다. 이러한 특징들은 일축압축강도와 비배수 전단강도의 결과에서 유사한 것으로 나타났다.
3. 일축압축강도와 비배수 전단강도의 관계는 국내 전체를 분석한 경우는 비선형 관계, 지역별로 분석한 경우는 서해안 경기, 충남, 전북은 선형 관계, 남해안 전남, 경남 지역은 비선형 관계, 서·남해안으로 분석한 경우는 비선형의 관계로 분석방법의 구분에 따라 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 분석에 사용된 자료의 수가 경기와 경남 지역에 집중되어 상관관계 분석에 우세하게 작용하였기 때문으로

사료된다.

4. 일축압축강도를 이용한 비배수 전단강도의 상관관계식의 적용은 분석 방법에 따라 국내 전체, 지역별, 서·남해안으로 구분하여 분석한 상관관계식의 적용은 국내 전체와 지역별로 구분하여 분석한 경우 지역별 경계지점과 지형적 특성의 차이로 적용이 애매한 경우가 발생하므로 서해안 및 남해안으로 구분하여 분석한 자료의 상관관계식 적용이 가장 합리적일 것으로 사료된다.
5. 남해안 상관관계식의 적용성은 전남 여수지역의 실측 자료와 비교한 결과 기존 제안식보다 결정계수가 0.827로 매우 높은 신뢰성을 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 유효응력을 이용한 방법보다는 실제 현장의 물리적 특성을 포함하고 있는 일축압축강도 시험 결과를 이용한 비배수 전단강도의 추정방법의 신뢰성이 더 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Choi, W. J. 2008., Consolidation Characteristics of Cohesive Soil. Ph.D. diss., Jeonbuk Iksan, Ind.: Wonkwang University (in Korean).
2. Choi, B. H., 2013. An experimental study on the engineering characteristics of low plastic clays in Tae-An region. Ph.D. diss., Seoul, Ind.: University of Seoul (in Korean).
3. Hansbo, S., 1994. Foundation Engineering, Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. 89-91.
4. Heo, Y., S. W. Kwon, C. K. Lee and W. S. Bae, 2010a. Analysis on the Relationship of Geotechnical Strength Parameters in the Marine Clay. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, 11(7):33-43 (in Korean).
5. Heo, Y., S. W. Kwan, S. B. Gang and S. H. Park, 2010b. Analysis on the Physical Properties of Gwangyang Marine Clay. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, 11(12): 63-74 (in Korean).
6. Kim, H. T., 1999. A study on the use of soft soils as a fill material, 35-38. Ansan-si Gyeonggi: Korean Rural Community Corporation (in Korean).
7. Kim, M. H., 2015. Engineering Characteristics of Western and Southern Coastal Marine Clay in Korea. Ph.D. diss., Chungbuk Cheongju, Ind.: Chungbuk National University (in Korean).
8. Sharma, B. and Bora P.K., 2003., Plastic Limi, Liquid Limit and Undrained Shear Strength of Soil-Reappraisal. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 197: 774-777.
9. Skempton, A. W., 1957. Discussion: further data on the c/p ratio in normally consolidated clays. *Proc. Inst. Civil Eng.* 7(2): 305-307.
10. Trauner, L., B. Dolinar, and M. Mišič, 2005. Relationship between the Undrained Shear Strength, Water Content, and Mineralogical Properties of Fine-Grained Soils. *Int. J. Geomech.*, 5(4): 350-355.
11. Xin Kang, Site Onyejekwe, Louis Ge and Richard Stephenson, 2011. Spatial Variation and Correlation between Undrained Shear Strength and Plasticity Index. *Geo-Frontiers, ASCE.*, 2631-2639.