

양산점토의 비배수 전단강도 특성

Characteristics of Undrained Shear Strength of Yangsan Clay

김길수*¹ Kim, Gil-Soo 임형덕*² Lim, Hyung-Duk
김대규*³ Kim, Dae-Kyu 이우진*⁴ Lee, Woo-Jin

Abstract

The mechanical properties of clay obtained from the laboratory tests are different from in-situ properties due to the disturbance occurring during sampling, transportation, storage, and trimming. In this study, the degree of disturbance depending on the sampling methods was estimated using the results of CK₀U triaxial compression test on Yangsan clay. The soil samples were obtained by three types of sampling methods, i.e., 76mm-tube sampler, 76mm-piston sampler, and block sampler. The volumetric strain, undrained shear strength, secant Young's modulus, and pore pressure coefficient at failure for each sample were compared to evaluate the quality of samples. Additionally, the relationship between normalized strength(C_u/σ_{vc}') and OCR from the CK₀U triaxial test was established using SHANSEP method. Undrained shear strength was also analyzed with such in-situ test data as Piezocone penetration test, Dilatometer test, and field Vane test, and the in-situ data were compared with the CK₀U triaxial test results.

요지

실내시험으로 구한 점토의 공학적 성질은 샘플링, 운반, 저장, 그리고 성형과정 동안에 발생하는 시료의 교란으로 인해 원지반의 성질과 다르게 측정된다. 본 연구에서는 양산점토에 대한 삼축압축시험(CK₀UC) 결과를 이용하여 샘플링 방법에 따른 교란의 정도를 평가하였다. 시험에 사용된 시료는 76mm 튜브샘플러, 76mm 피스톤샘플러, 블록샘플러로 채취되었으며, 시료의 교란정도를 평가하기 위해 각 시료에서 측정된 체적변형률, 비배수 전단강도, Secant Young's modulus, 그리고 파괴 시 간극수압계수를 비교하였다. 시료의 교란정도를 평가하는 것 이외에도 SHANSEP 방법을 이용하여 수행한 CK₀U 삼축압축시험 결과를 이용하여 양산점토에 대한 정규화 전단강도(C_u/σ_{vc}')와 OCR 관계를 규명하였다. 또, 피에조콘 관입시험, 딜라토메타 시험, 그리고 현장 베인시험결과를 이용하여 구한 양산점토의 비배수 전단강도를 삼축압축시험 결과와 비교하였다.

Keywords : CK₀UC, Disturbance, SHANSEP, Undrained shear strength

1. 서론

흙의 공학적 성질을 얻기 위해 행하는 실내시험은 현장에서 샘플러를 통해 채취한 시료를 이용하여 수행

된다. 그러나, 원지반으로부터 채취된 시료는 샘플러의 종류, 샘플러의 근입방법, 추출방법 및 시료의 운반, 저장 그리고 성형방법에 따라 교란되어진다. 따라서, 실내시험으로 결정된 지반의 공학적 성질은 시료교란

*1 정회원, (주)삼부토건 연구원

*2 정회원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정 수료

*3 정회원, 고대 부설 방재과학기술연구소 선임연구원

*4 정회원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수

으로 인해 원지반의 성질과 다르게 나타난다.

Jamiolkowski 등(1985)은 시료교란을 *sampling process*, *stress relief*, 그리고 *handling process*로 인해 발생하는 흙의 성질변화로 정의하였으며 본 연구에서는 *sampling process*로 인한 시료교란의 효과를 연구하였다. 이를 위하여 삼축압축시험(CK₀U)을 행하였으며 삼축시험에서 구한 체적변형률, 비배수 전단강도, 파괴 시 축변형률, *Secant Young's modulus*, 그리고 파괴 시 간극수압계수를 샘플링 방법(튜브샘플, 피스톤샘플, 블록샘플)에 따른 각 시료를 이용하여 비교, 고찰하였다. 삼축시험에서 파괴상태는 응력-변형률 곡선에서 응력이 최고점에 도달했을 때를 파괴상태로 해석하였다.

이외에도 Ladd와 Foott(1974)가 제안한 SHANSEP 방법을 삼축압축시험(CK₀U)에 적용하여 양산점토에 대한 정규화 전단강도 (C_u/σ_{vc}')와 과압밀비(OCR)사이의 관계를 규명하였다. 또한 양산현장에서 샘플링이외에도 피에조콘 관입시험(CPTU), 베인 시험(FVT), 그리고 딜라토메타 시험(DMT) 등 현장시험을 수행하여 산정된 비배수 전단강도를 실내시험에서 구한 값과 비교하였다.

2. SHANSEP의 원리

점토시료의 교란효과는 원지반 응력보다 훨씬 더 큰 응력 하에서 소멸되며 또한 점토의 강도는 압밀응력에 대한 정규화거동을 나타낸다는 사실을 바탕으로, 교란 효과를 제거하여 비배수 전단강도를 구하는 방법을

SHANSEP 방법이라고 한다. 점토지반에 SHANSEP 방법을 적용하기 위해서는 지반이 정규화 거동을 보여야 하며 그림 1은 정규화거동을 판정하기 위한 과정을 보여주고 있다.

그러나 모든 점토지반이 정규화거동을 보이는 것은 아니며 *quick clay*나 *cemented clay*는 정규화거동을 보이지 않는다. 이들 점토는 지층 형성과정동안에 형성된 흙 구조가 높은 압밀응력으로 인해 파괴되기 때문이다. 정규화거동을 보이는 점토지반에 대해서는 *normalized soil parameter (NSP)*를 유도할 수 있으며 SHANSEP 방법을 이용함으로써 과압밀비에 따른 c_u/σ_{vo}' 의 NSP값이 얻어진다. 그러나 과압밀비축이 대수축이므로 과압밀비의 변화에 따라 c_u/σ_{vo}' 의 변화가 크기 때문에 압밀시험으로 정확한 과압밀비를 평가하는 것이 중요하다.

점토지반에 SHANSEP 방법을 적용하기 위해서는 먼저 그 지반의 깊이에 따른 유효응력과 과압밀비의 분포를 알아야 한다. 압밀단계 동안 시료는 교란효과를 제거하기 위해 선행압밀하중의 1.5~4배의 응력으로 재하되며 재하 후 시료는 원하는 OCR값을 얻기 위해 OCR에 해당하는 연직유효응력만큼 재하된다. 식 1은 재하하중을 구하기 위한 관계식을 나타낸다.

$$\sigma_{vc}' = \frac{n \times \sigma_p'}{OCR} \quad (1)$$

여기서, $n = 1.5, 2.5, 4$ 이고 σ_{vc}' 는 유효연직응력, σ_p' 는 선행압밀하중이다.

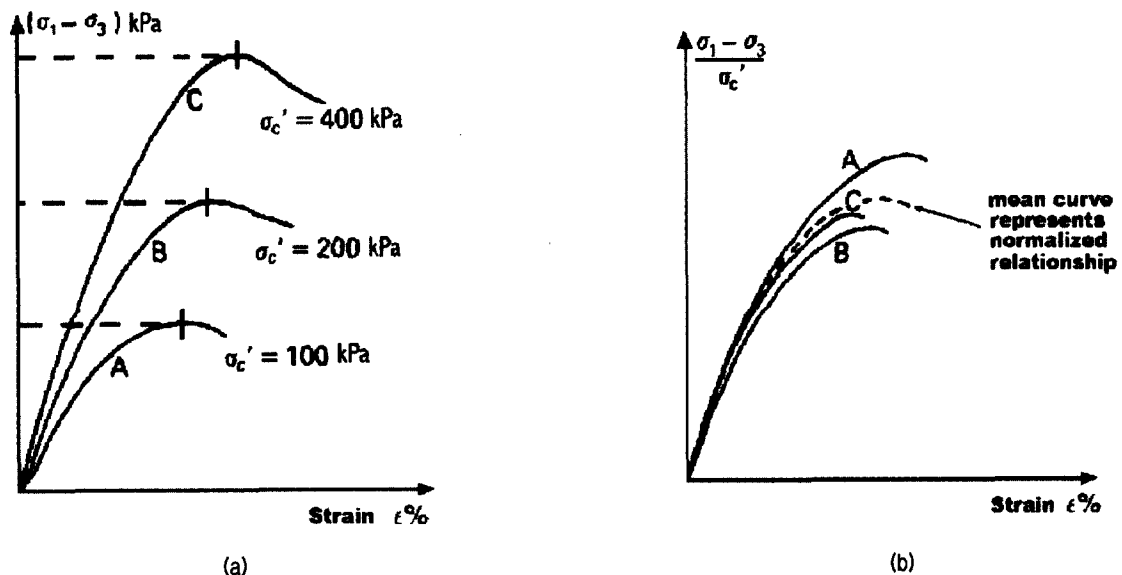


그림 1. 정규화거동

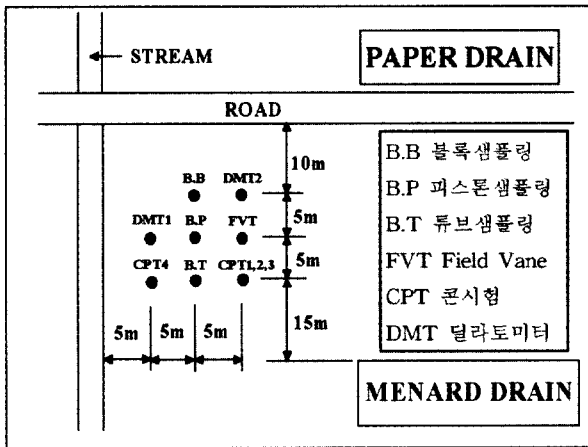


그림 2. 샘플링과 현장시험의 위치

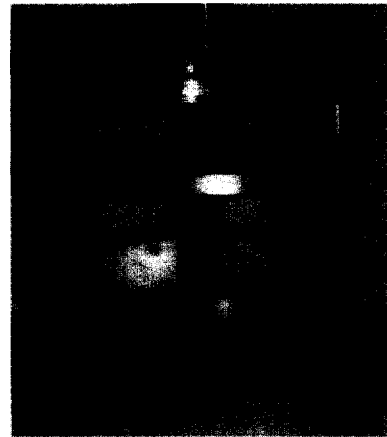


그림 3. 블록샘플러의 모양

3. 실내 및 현장 시험

3.1 시험 현장 및 시료

본 연구에서 사용한 시료는 경상남도 양산지역에서 76mm 튜브샘플러, 76mm 피스톤샘플러, 그리고 블록샘플러를 사용하여 채취하였다. 그림 2는 양산현장에서의 샘플링과 현장시험의 위치를 나타내고 있다.

피스톤과 튜브샘플러를 가지고 각각 2개 공에서 10개와 8개의 샘플을 채취하였으며 블록샘플러로는 4개의 샘플을 채취하였다. 피스톤과 튜브 샘플링 후에는 파라핀과 플라스틱 캡을 이용하여 샘플러의 양끝을 밀봉하였으며, 블록 샘플은 랩과 파라핀을 입혀 함수비의 감소를 억제하였다.

피스톤샘플의 채취심도는 3.0~20m이며 튜브샘플은 3.0~16m, 블록샘플은 3.0~7.0m이다. 그리고 블록샘플러는 현대건설기술연구소에서 제작한 것으로 제원은 직경 250mm, 높이 500mm이며, 3개의 원형 파이프 골조, 원형해머, 공벽유지를 위한 안정액 공급장치, 저면정리기, 측벽정리기, 시료채취날개, 시료절단장치로 구성되어 있다(그림 3).

실내시험으로 구한 양산점토의 자연함수비는 55.9~70.53%, 액성한계는 42.77~58.6%, 그리고 소성지수는 18.11~27.99%의 분포를 보였으며, 비중은 2.70이고 통일분류법상 CL에 해당한다. 그림 4는 시료의 함수비 분포이다.

함수비의 상태는 피스톤샘플과 튜브샘플이 거의 비슷하였으며 블록샘플의 함수비가 가장 낮았다(그림 5).

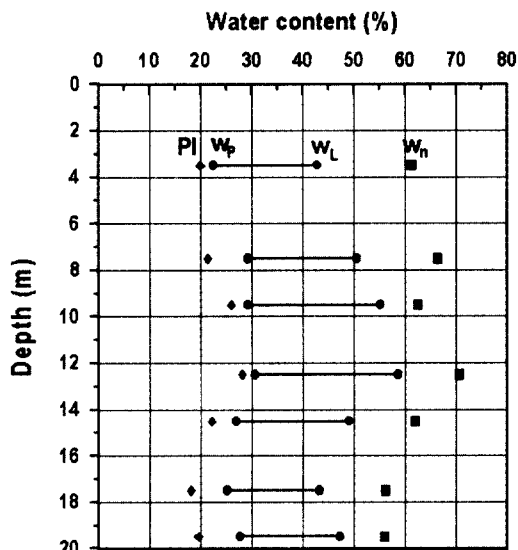


그림 4. 함수비 분포

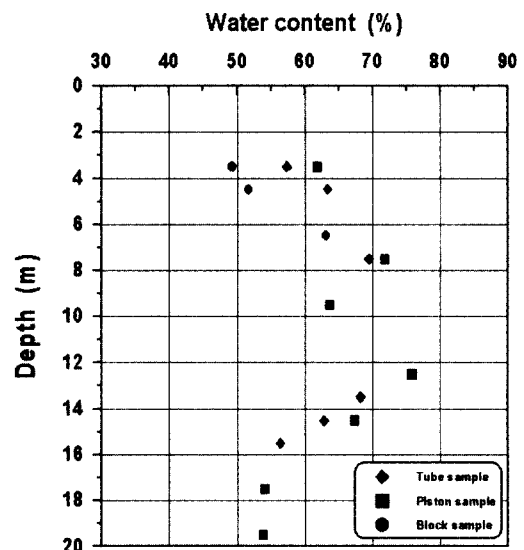


그림 5. 샘플에 따른 함수비의 변화

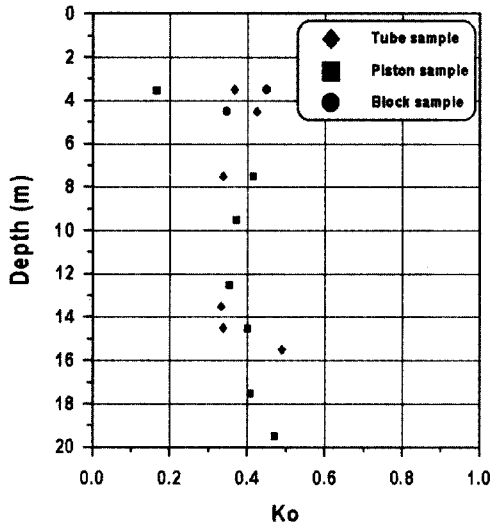


그림 6. K_0 값의 분포

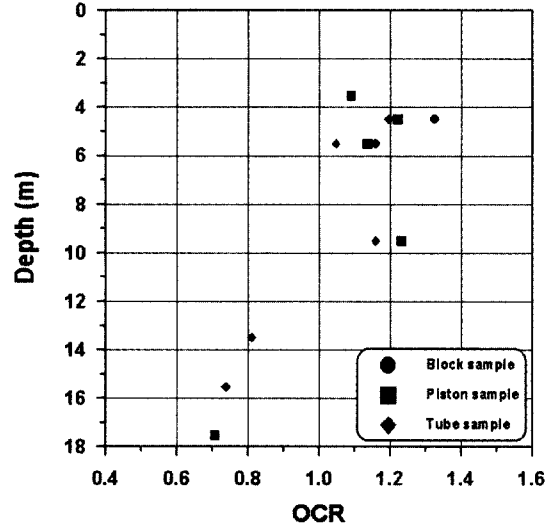


그림 7. 과압밀비의 분포

이는 파라핀과 플라스틱 캡으로 밀봉된 샘플러에서 보관된 피스톤과 튜브 샘플에 비하여 파라핀으로 밀봉한 블록 샘플은 장기간의 보관시 함수비의 감소를 막기 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

삼축압축시험(CK_0U)시 K_0 압밀은 축변형률과 체적 변형률이 일치하도록 하는 방식을 사용하였으며, 이와 같은 방식으로 구한 각 샘플의 K_0 값은 그림 6에 나타난 바와 같이 0.35~0.48의 분포를 보이고 있다.

단계재하 압밀시험으로 구한 각 샘플의 깊이별 과압밀비의 분포는 그림 7과 같으며 13m 이하에서는 OCR 값이 1이하의 분포를 나타내고 있다.

3.2 실내시험 장비 및 방법

본 연구에서 사용한 시험장비는 Chan에 의해서 제작된 자동삼축시험 장비이다(그림 8).

시험에 사용한 시료들은 높이 110~120mm, 직경 50mm로 하여 K_0 압밀시켰다. 시료의 포화를 위해 40kPa의 배압(back pressure)을 가했으며 B값이 0.95이상인 상태를 포화상태로 간주하였다. 전단 시 변형률 속도는 0.01%/min로 일정하게 하였으며 CK_0U 삼축압축시험으로 얻은 시험결과는 cross-area, membrane, side drain, 그리고 piston friction에 대하여 수정하였다.

SHANSEP 방법을 적용하기 위해 동일 심도에서 동일한 조건의 여러 시료를 얻을 수 있는 블록샘플을 사용하였으며 압밀단계 동안 시료는 연직유효응력의 2배로 K_0 압밀되었다. K_0 압밀 후 시료를 원하는 OCR에 해당

하는 연직유효응력만큼 제하하여 팽창시켰다. 그림 9는 SHANSEP 방법을 적용하기 위한 응력경로를 보여준다. p' 는 평균주응력, q 는 주응력차를 의미한다.



그림 8. 자동삼축시험 장비

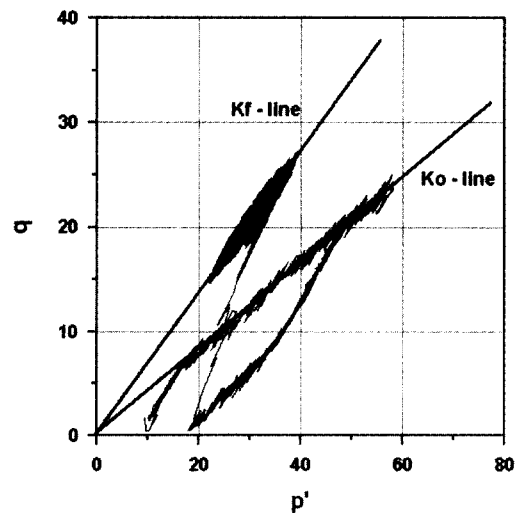


그림 9. SHANSEP 시험에서의 응력경로

3.3 현장시험

현장 시험으로서 그림 2에서와 같이 피에조콘 관입시험, 딜라토미터 시험, 베인 시험 등이 수행되었다.

피에조콘 관입시험을 위해 사용된 콘은 직경 35.7mm, 선단각 60° 인 표준콘이며 유압식 관입기를 이용하여 속도 2 cm/sec로 관입하였다. 비배수 전단강도를 평가하기 위해 식 (2)와 같은 경험식을 사용하였으며 N_{kt} 값은 10을 사용하였다(이선재, 1997).

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{kt}} \quad (2)$$

여기서, q_t : 보정된 콘 관입저항치. ($q_c + u(1-a)$)

a : 콘 단면적비

N_{kt} : 콘 계수

딜라토미터 시험 결과로부터 비배수 전단강도를 구하기 위해 Roque 등(1988)이 제안한 식 (3)을 사용하였으며 식 (3)에서 N_c 값은 흙의 종류에 따라 달라지는 계수로 양산점토에 대해서는 7을 사용하였다.

$$c_u = \frac{P_1 - \sigma_{ho}}{N_c} \quad (3)$$

여기서, P_1 : initial DMT expansion pressure, N_c : 지지력 계수

$$\sigma_{ho} = K_o \cdot \sigma_{vo} + u_o$$

$$K_o = \left(\frac{K_D}{1.5} \right)^{0.47} - 0.6$$

$$K_D = \frac{P_o - u_o}{\sigma_v - u_o}$$

현장 베인 시험은 직경 50mm, 높이 100mm인 직사각형 모양의 베인을 6°/min의 속도로 회전시켜 수행하였으며, 결과를 이용하여 비배수 전단강도를 산정하였다. 최대 토크로 산정된 비배수 전단강도는 Bjerrum(1974)이 제안한 식 (4)을 이용하여 소성지수에 대해 수정되었으며 표 1은 베인 시험 데이터로 구한 수정 비배수 전단강도를 보여주고 있다.

$$c_u = \lambda \cdot c_u' \quad (4)$$

여기서, $\lambda = 1.7 - 0.54 \log(PI)$, c_u 는 수정 비배수 전단강도를 의미한다.

표 1. 현장베인시험 결과에서 구한 비배수 전단강도

깊이 (m)	최대 토크 (kg · cm)	c_u (kPa)	소성지수 (PI, %)	c_u' (kPa)
5	65	14.43	24.41	13.72
7	89	19.76	21.28	19.42
9	98	21.76	25.89	20.39
11	110	24.42	27.0	22.64
13	121	26.86	21.9	26.22

4. 시험결과 및 분석

샘플링 방법에 따른 시료교란 효과가 양산점토의 비배수 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해, 압밀완료 단계에서 측정되는 체적변형률, 응력-변형률 곡선에서 얻어지는 비배수 전단강도, 파괴 시 축변형률, 파괴 시 간극수압계수를 각각의 샘플러로부터 채취된 시료들에 대하여 산정한 후 비교하였다. 그리고 SHANSEP 방법을 적용하여 수행한 삼축압축시험(CK₀U) 결과를 양산점토에 대한 정규화 전단강도와 OCR사이의 관계를 유도하였다. 또, 현장시험(CPTU, FVT, DMT)의 데이터로부터 평가된 비배수 전단강도와 실내시험(삼축압축시험)으로부터 측정된 비배수 전단강도를 깊이별로 비교하였다.

4.1 체적변형률

Andresen(1969), Lacasse 등(1985), Lefebvre 등(1979)은 현장 연직유효응력(σ_{vo})으로 재압밀하는 동안 발생하는 시료의 체적변화를 이용하여 시료의 상태를 비교할 수 있다고 제안하였으며 시료가 교란되어질수록 체적변형률은 더 증가한다고 보고하였다. 양산현장에서 채취된 시료들의 현장조건을 재현하기 위해 시료들은 연직유효응력으로 24시간동안 K_o 압밀되었으며 각 시료로부터 압밀의 완료단계에서 측정된 체적변형률은 그림 10와 같다.

그림 10에서 보이듯이, 튜브샘플의 경우, 체적변형률은 1.511~7.596%이며 피스톤샘플은 1.024~4.515%, 블록샘플은 0.963~1.77%이었다. 또한 체적변형률은 깊이가 깊어질수록 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 깊이가 깊을수록 상재하중의 제거효과가 크기 때문이다.

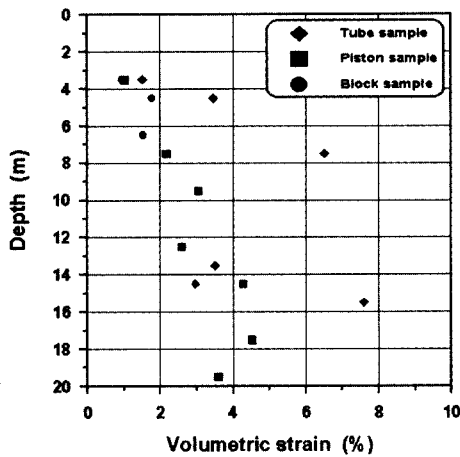


그림 10. 연직유효응력으로 K₀ 압밀시 발생하는 체적변형률

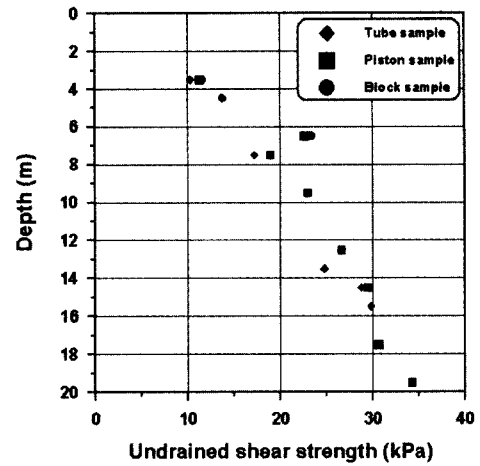


그림 11. 각 시료의 비배수 전단강도

4.2 비배수 전단강도

삼축압축시험(CK₀U)으로 측정된 각 시료의 비배수 전단강도를 깊이별로 비교해 보면 그림 11과 같다. 각 시료의 비배수 전단강도는 축차응력-변형률 곡선의 최고점으로부터 평가되었으며 그림 11에서 보이듯이, 피스톤 샘플과 블록샘플의 비배수 전단강도는 거의 비슷하며 튜브샘플의 비배수 전단강도보다는 2.4~10%정도 큰 값을 나타내고 있다. 또한 깊이 6~7m에서의 비배수 전단강도가 크게 측정되었는데 이는 시료 내부에 단단한 실트 성분과 조개껍질이 함유되어 있었기 때문이다.

4.3 Secant Young's modulus 및 간극수압계수

각 시료의 Secant Young's modulus는 축차응력-변형

률 곡선에서 최대 축차응력의 50%에서 구한 기울기로서 그림 12는 깊이 3~4m에서 구한 축차응력-변형률 곡선이다. 블록 샘플의 Secant Young's modulus가 가장 큰 값을 나타냈으며, 피스톤 샘플은 블록 샘플보다는 약간 작은 것으로 나타났다. 튜브샘플은 블록 샘플과 피스톤 샘플 보다 0.5배 정도 작은 값을 나타내었으며, 다른 깊이에서도 대체로 피스톤샘플이나 블록샘플이 튜브샘플 보다 1~2.4배 정도 크게 관측되었다. 이는 피스톤샘플이나 블록샘플이 높은 축차응력과 낮은 축변형률 상태에서 파괴되었기 때문이다.

파괴 시 축변형률은 튜브샘플이 1.75~3.45%, 피스톤 샘플이 0.789~2.35%, 그리고 블록샘플이 0.8~3.2%로 측정되었으며, 동일 깊이에서는 튜브샘플의 파괴 시 축변형률이 피스톤샘플이나 블록샘플보다 크게 측정되었다.

그림 13은 깊이 3~4m에서 구한 간극수압계수를 나타내고 있다. 그림 12에서 알 수 있듯이 블록샘플과 피스

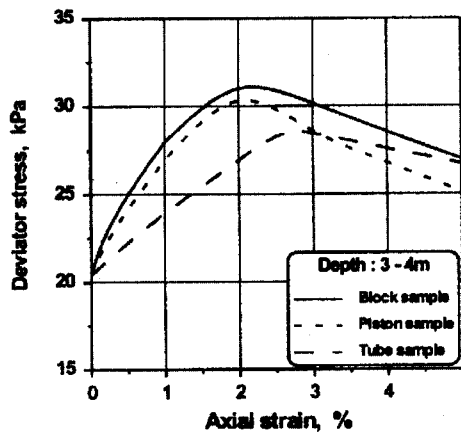


그림 12. Secant Young's modulus의 비교

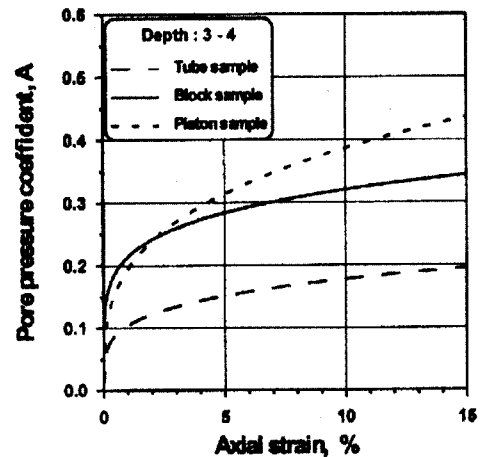


그림 13. 간극수압계수의 비교

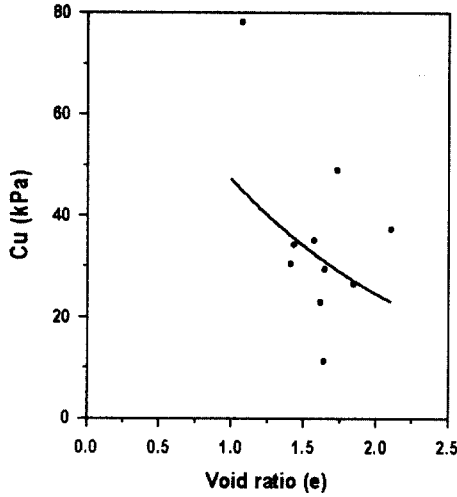


그림 14. CK₀U 시험으로 구한 c_u-e 관계

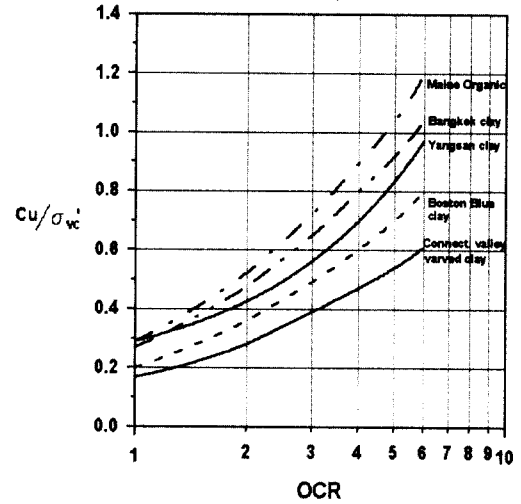


그림 15. 정규화 전단강도와 OCR 관계

튼샘플은 약 2.1%의 축변형률에서, 튜브샘플은 2.5%의 축변형률에서 파괴되었으므로 파괴시의 간극수압계수를 비교해 보면, 블록샘플과 피스톤 샘플은 비슷한 값을 나타내며 튜브샘플보다 2배 정도 큰 것으로 나타났다.

깊이별 파괴 시 간극수압계수는 샘플에 따라 일정한 경향을 보이지 않았으나 1%의 축변형률을 기준으로 하여 비교해 보면, 블록샘플이나 피스톤샘플의 간극수압계수가 튜브샘플보다 크게 관측되는 것으로 나타났다.

4.4 정규화 전단강도와 OCR 관계

깊이 4~5m, 5~6m 그리고 6~7m에서 채취된 블록 샘플에 SHANSEP 방법을 적용하여 수행한 CK₀U 시험 결과를 이용하여 양산점토의 정규화 전단강도와 OCR 관계를 평가하였다. 이를 위해 먼저 간극비와 비배수 전단 강도사이의 관계를 유도하였으며(그림 14), 관계식은 식 (5)와 같다. 표 2는 압밀이 되기 전의 간극비를 구한 후 그림 14를 이용하여 비배수 전단강도를 구한 결과이다.

$$\ln(c_u) = -0.786537e + 4.45109 \quad (5)$$

표 2. 양산점토에 대한 정규화 전단강도

OCR	σ'_{vc} (kPa)	CK ₀ U 시험의 c _u (kPa)	압밀후 관계		압밀전 관계		c _u (corrected)/ σ'_{vc}
			e	c _u '(kPa)	e	c _{u0} '(kPa)	
1	89.76	27.683	1.4258	27.929	1.6905	22.680	0.2499
2	38.5	19.099	1.4459	27.491	1.6927	22.641	0.3701
3	29.92	26.29	1.4346	27.735	1.6905	22.680	0.7079
4	19.25	18.935	1.4332	27.766	1.6927	22.641	0.7293
5	20.5	21.03	1.4086	28.316	1.6886	22.714	0.7526
6	17.08	22.035	1.4142	28.184	1.6886	22.714	0.9698

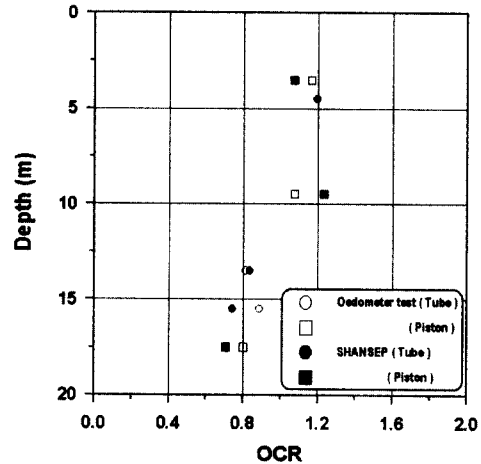
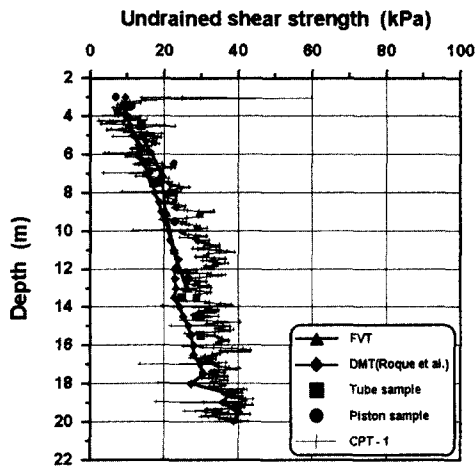
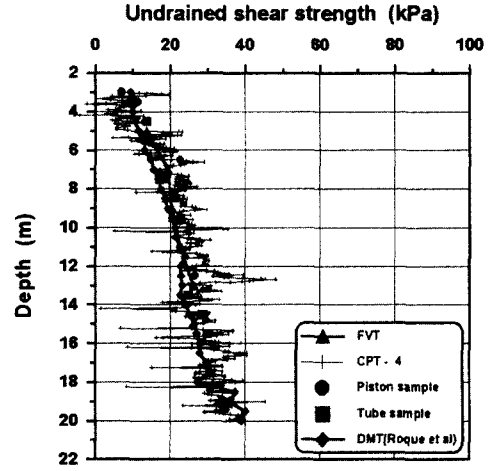


그림 16. SHANSEP 방법과 압밀시험으로 구한 OCR 값의 비교

양산 점토의 SHANSEP 방법의 적용성을 검토하기 위하여 동일한 심도에서 동일한 조건의 여러 시료를 얻을 수 있는 블록 샘플을 이용하여 삼축압축시험을 수행한 결과 정규화 거동을 보이는 것으로 나타났다. 그림 15는 양산점토의 정규화 전단강도와 OCR 관계를 Ladd와 Edgers(1972)가 CK₀U 직접전단시험으로 구한 결과와 비교하여 나타낸 그림이다. 양산점토는 방콕 점토와



(a) CPT-1



(b) CPT-4

그림 17. 실내시험과 현장시험의 결과 비교

보스톤 점토의 중간 정도인 것으로 나타났다.

SHANSEP 방법으로 구한 양산점토의 정규화 전단강도와 OCR 관계를 이용함으로써, 각각의 시료에 있어서 비배수 전단강도를 이용하여 OCR 값을 알 수 있다. 그림 16은 SHANSEP 방법과 단계재하 압밀시험으로 구한 OCR 값을 깊이에 따라 비교하고 있다. 그림에서 보듯이 정규화 전단강도와 과압밀비의 관계를 이용하여 피스톤샘플과 튜브샘플의 과압밀비를 평가한 결과는 단계재하 압밀시험으로 구한 각 샘플의 과압밀비와 거의 비슷한 값을 나타내고 있다.

4.5 실내 및 현장시험 결과 비교

양산현장에서 행해진 현장시험(콘관입시험 CPT, 현장배인시험 FVT, 델라토미터 시험 DMT) 데이터로 해석한 비배수 전단강도를 실내시험(CK₀U 삼축압축시험)으로 구한 비배수 전단강도와 비교하면 그림 17과 같다. 현장배인시험으로 구한 비배수 전단강도는 소성지수 효과에 대해서 수정되었다. 삼축압축시험과 콘관입시험은 비슷한 결과를 나타냈으나 델라토미터 시험은 다소 작은 값을 나타내는 것으로 나타났다. 이는 델라토미터 시험결과 해석 시 사용한 계수의 오차 때문인 것으로 판단된다.

5. 결론

양산 점토에 대하여 여러 현장시험 및 세 가지 종류의 샘플러로 채취한 시료를 이용하여 삼축압축시험

(CK₀UC)을 수행한 후 그 결과를 비교/분석한 결과 양산 점토의 비배수 강도특성 등에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유효연직하중으로 K₀ 압밀하여 각 시료로부터 구한 체적변형률을 비교해 보면, 동일 깊이에서 튜브샘플의 체적변형률이 피스톤샘플이나 블록샘플보다 32.23~66.67% 정도 크게 나타났다. 측정된 체적변형률은 깊이와 함께 증가하는 경향을 보이고 있으며 이는 깊이가 증가할수록 샘플링으로 인한 상재하중의 제거효과가 크기 때문이다. 그리고 각 샘플의 자연함수비를 비교해 보면, 동일 깊이에서 튜브샘플과 피스톤샘플의 자연함수비는 거의 같았으며 블록샘플은 튜브샘플이나 피스톤샘플보다 14.29~15.8% 낮게 관측되었다. 이는 블록샘플로 저장되는 동안 함수비의 손실이 발생하였기 때문이며, 파라핀과 플라스틱 캡으로 밀봉된 샘플러에서 보관된 피스톤과 튜브 샘플에 비하여 파라핀으로 밀봉한 블록 샘플은 장기간의 보관시 함수비의 감소를 막기 어려운 것으로 판단된다.
- (2) 비배수 전단강도의 경우, 블록샘플과 피스톤샘플은 거의 같으며 튜브샘플은 블록샘플이나 피스톤샘플보다 2.4~10% 정도 낮게 산정되었다. 깊이 6~7m에서의 비배수 전단강도가 크게 관측되었는데 이는 시료 내부에 단단한 실트 성분과 조개껍질이 함유되어 있었기 때문이다.
- (3) 파괴시 축변형률은 튜브샘플이 1.75~3.45%, 피스

톤샘플이 0.789~2.35%, 그리고 블록샘플이 0.8~3.2%로 측정되었으며, 동일 깊이에서 튜브샘플의 파괴시 축변형률이 피스톤샘플이나 블록샘플보다 크게 측정되었다. 파괴시 간극수압계수는 샘플에 따라 일정한 경향을 보이지 않았으나 1%의 축변형률을 기준으로 하여 비교해 보면, 블록샘플이나 피스톤샘플의 간극수압계수가 튜브샘플보다 크게 관측된다. Secant Young's modulus의 경우, 피스톤샘플이나 블록샘플이 튜브샘플보다 1~2.4배 정도 크게 관측되었으며 이는 피스톤샘플이나 블록샘플이 높은 축차응력과 낮은 축변형률 상태에서 파괴되었기 때문이다.

- (4) 양산 점토의 SHANSEP 방법의 적용성을 검토하기 위하여 동일한 심도에서 동일한 조건의 여러 시료를 얻을 수 있는 블록 샘플을 이용하여 삼축압축시험을 수행한 결과 정규화 거동을 보이는 것으로 나타났다. 또한 정규화 전단강도와 과압밀비의 관계를 규명하고 이를 외국의 시험결과와 비교한 결과 이들 관계는 방콕 점토와 보스톤 점토의 중간 정도인 것으로 나타났다.
- (5) 블록샘플을 사용하여 SHANSEP 방법으로 규명한 양산점토에 대한 정규화 전단강도와 과압밀비의 관계를 이용하여 피스톤샘플과 튜브샘플의 과압밀비를 평가한 결과는 단계재하 압밀시험으로 구한 각 샘플의 과압밀비와 거의 비슷한 값을 나타내고 있다.
- (6) 피스톤샘플을 이용한 삼축압축시험과 CPTU, FVT, DMT와 같은 현장시험을 수행하여 양산점토에 대한 깊이별 비배수 전단강도를 산정한 결과 삼축압축시험과 CPT는 비슷한 결과를 나타냈으나 DMT는 다소 작은 값을 나타내는 것으로 나타났다. 이는 DMT 해석시 사용한 계수의 오차 때문인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이선재 (1997), "피에조콘을 이용한 국내 지반의 공학적 특성 연구", 서울대학교 대학원 공학박사 학위논문.
2. Atkinson, J. H. and Boese, R. J. (1992), "Influence of laboratory sample preparation procedures on the strength and stiffness of intact Bothkennar soil recovered using the Laval sampler", *Geotechnique*, Vol.42, pp.349-354.
3. Bjerrum, L. (1973), "Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays", *Proceeding of the 8th international Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol.3, pp.111-159.
4. Hanzawa, H. and Tanaka, H. (1992), "Normalized undrained strength of clay in the normally consolidated state and in the field", *Soils and Foundations*, Vol.32, pp.132-148.
5. Jamiolkowski, M., Ladd, C. C., Germaine, J. T., and Lancellotta, R. (1985), "New developments in field and laboratory testing of soils", *Proceedings of 11th ICSMFE, San-Francisco*, Vol.1, pp. 57-153.
6. Lacasse, S., Berre, T., and Lefebvre, G. (1985), "Block sampling of sensitive clays", *Proceedings of the 11th ICSMFE, San-Francisco*, Vol.1, pp.887-892.
7. Ladd, C. C. and Edgers L (1972), "Consolidated Undrained Direct-Simple Shear Tests on Saturated Clays", *Res. Report R72-82, No.284, Depth of Civil Eng., Mass. Inst. of Technology, Cambridge*.
8. Ladd, C. C., and Foott, R. (1974), "New design procedure for stability of soft clays", *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol.100, pp.763-786.
9. Lefebvre, G. and Poulin, C. (1979), "A new method of sampling in sensitive clay", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.16, pp. 226-223.
10. Raymond, G. P., Townsend, D. L., and Lojkasek, M. J. (1971), "The effect of sampling on undrained soil properties of a Leda Soil", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.8, pp.546-557.
11. Rochelle, P. L., Sarrailh, J., Tavenas, F., Roy, M., and Leroueil, S. (1981), "Causes of sampling disturbance and design of a new sampler for sensitive soils", *Canadian Geotechnical Journal*, pp. 52-66.
12. Roque, R. Janbu, N. and Senneset, K. (1988), "Basic Interpretation Procedures of Flat Dilatometer Tests", *Proceedings of the 1st International Symposium on Penetration Testing*, Vol.1, pp.577-587.

(접수일자 2001. 4. 21)