

## 시료교란이 양산 점토의 압밀특성에 미치는 영향

### The Effects of Sample Disturbance on Consolidation Properties of Yang-San Clay

박정규<sup>1)</sup>, Jung-Gue Park 임형덕<sup>2)</sup>, Hyung-Duk Lim, 이우진<sup>3)</sup>, Woo-Jin Lee

<sup>1)</sup> (주)도화종합기술공사 연구원, Researcher, Dohwa Associated Engineering Services Co., Ltd

<sup>2)</sup> 고려대학교 대학원 박사과정, Ph. D. Student, Dept. of Civil Engineering, Korea Univ.

<sup>3)</sup> 고려대학교 토목환경공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Univ.

**SYNOPSIS** : It is important to estimate the magnitude of settlement and the time of primary consolidation in geotechnical engineering projects. For these purposes, site explorations and laboratory tests are usually performed. However, the mechanical properties determined from laboratory tests on the samples obtained by different sampling techniques show different trends. In this study, three types of consolidation test were carried out on the soil samples obtained by three different sampling techniques (76mm tube, 76mm piston, and block samples), to verify the effect of sample disturbance on consolidation properties. It was found that sampling methods have influence on the  $\epsilon - \log \sigma'_v$  relationship. While insignificant difference of compression indices from the samples obtained by different sampling techniques was observed in compression region, these values showed a different trend in recompression region. The values of  $c_v$  and  $k$  of block samples had a tendency to be larger than those of piston and tube samples. At consolidation pressure larger than  $\sigma'_p$ , however, these properties became similar regardless of sampling methods. The block and piston samples gave slightly higher values of  $c_a/c_c$  than tube samples. In the results of  $IL_{EOP}$  and CRS test, it was observed that the values of  $\sigma'_{p \text{ measured}} / \sigma'_{p \text{ best estimated}}$  of Yang-San clay decreases when strain becomes larger than 1.0% and that recompression strain of block samples is in the range of 1.5~2.0% while those of piston and tube samples are 1.75~3.75%. It was also shown that the values of  $\sigma'_p$  of block samples exceed those of piston and tube samples by about 6~10%.

**Key words** : Sample disturbance, Block sampler,  $\sigma'_p$ , Compression index,  $c_v$ ,  $k$ ,  $c_a/c_c$ ,

$\sigma'_{p \text{ measured}} / \sigma'_{p \text{ best estimated}}$

## 1. 서론

대부분의 토목관련 과업에서 흙의 물리적 특성을 얻기 위해 사용되어진 실내실험은 대부분이 튜브샘플이나 피스톤샘플을 사용하여 왔다. 하지만 샘플러의 직접적인 관입에 의해 얻어진 샘플은 샘플링시에 받을 수 있는 교란에 크게 영향을 받고 실제 이 흙이 가지고 있는 흙의 특성과는 다른 결과를 가져올

수가 있다. 일반적으로 샘플링의 교란이란 시료채취시의 물리적 교란과 stress relief 등에 의해 받는 것으로 볼 수 있는데, Okumura 등(1971)은 샘플링의 교란을 물리적 교란, stress relief, 그리고 물이나 가스의 부분적인 이동에 의한 흠구조의 미세적 변화로 정의했다. 일반적으로 이러한 교란에 의해 흠의 압밀특성이 영향을 받는다고 알려지고 있다. 특히 침하량 계산에 필요한 물성치인 선형압밀하중이나 압축지수 등에 영향을 미치므로 설계시 교란시료로 얻어진 물성치를 사용할 경우 큰 문제가 될 수 있다. 따라서 이러한 샘플교란에 대한 연구가 필요하다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 세 가지 종류의 샘플(튜브 샘플, 피스톤 샘플, 블록 샘플)을 가지고 압밀시험을 통해 샘플방법이 시료의 압밀특성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험시료

본 논문에 사용된 시료는 경상남도 양산지역의 현장에서 튜브샘플러, 피스톤샘플러, 그리고 블록샘플러를 사용하여 채취하였다. 튜브와 피스톤 샘플은 2개공에서 18개의 샘플을, 블록샘플은 4개의 샘플을 채취하였으며 블록샘플의 채취심도는 3.0~7.0m 이고 튜브와 피스톤 샘플은 4.0~20m 이다. 실험에 사용된 시료의 채취심도는 4.0~6.0m 그리고 9.0~10m이다. 시료채취에 사용된 76mm 튜브, 76mm 피스톤, 그리고 현대건설기술연구소에서 제작된 직경 250mm, 높이 500mm 짜리 블록샘플러를 사용하였다. 블록샘플러는 보링기에 접속해서 사용하며 원통형 시료를 채취할 수 있도록 제작되었다. 블록샘플러는 3개의 원형 파이프 골조, 원형해머, 공벽유지를 위한 안정액공급장치, 저면정리기, 측벽정리기, 시료채취날개, 시료절단장치로 구성되어 있다. 실내실험을 통해 판별된 각 시료의 지반물성치와 이 현장에서 실시한 여러 가지 현장실험중 피에조 콘 관입시험의 결과는 각각 표 1, 그림 1과 같다.

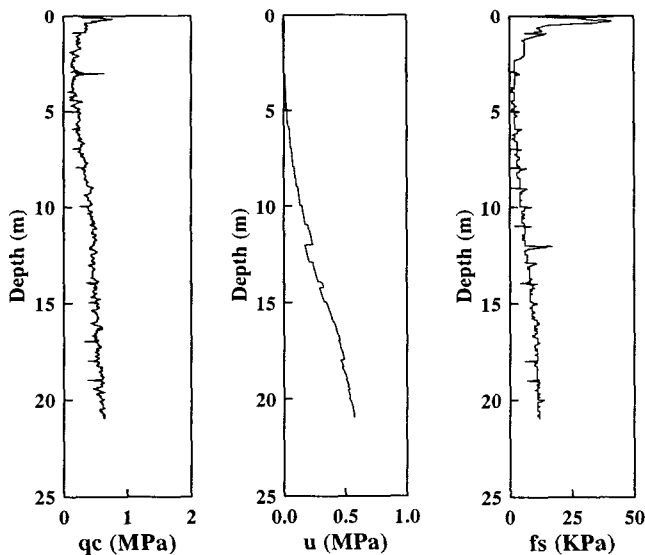


그림 1. 피에조 콘 관입시험 결과

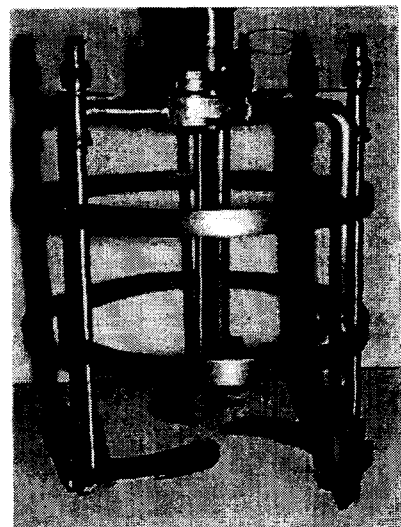


그림 2. 블록 샘플러

표 1. 각 시료의 지반 물성치

지반 물성치	실험 결과		
	튜브 샘플	피스톤 샘플	블록 샘플
$w_n$ (%)	62.00 ~ 71.44	62.50 ~ 70.74	60.13 ~ 65.50
LL (%)	41 ~ 45		
PI (%)	20.12 ~ 22.12		
$G_s$	2.70 ~ 2.72		
$e_0$	1.704 ~ 1.941	1.755 ~ 1.933	1.706 ~ 1.900
흙의 종류	CL		

## 2.2 실험기기와 방법

본 논문에서 실시한 압밀실험으로는 과잉간극수압을 측정하지 않는 표준압밀실험, 과잉간극수압을 측정하는 단계재하실험, 그리고 일정변형률 압밀실험의 3가지 종류이다. 과잉간극수압을 측정하는 단계재하 실험시 일차압밀의 종료 시점을 과잉간극수압이 거의 1KPa 까지 소산되었을 때로 정의하고, 정확한 과잉간극수압측정을 위해서 밀폐 압밀셀에 약 100KPa의 배압을 하루이상 가하여 B값이 98%이상 되도록 포화시켰다. 일정변형률 압밀실험에서도 포화를 위해 약 100KPa의 배압을 가하였다. 위의 과잉간극수압을 측정하는 단계재하 실험과 일정변형률 압밀실험을 위해서 사용되어진 압밀실험기는 크게 재하장치, 압밀셀, 압력조절장치로 구성된다. 재하장치는 Geocomp사에서 제작된 것으로 단계재하, 일정변형률, 일정동수경사, 일정하중률, 일정압력비 압밀실험 등을 수행할 수 있는 자동화 다기능 압밀시험기이다. 압력조절장치로는 Trautwein사의 패널을 사용하였다. 포화도를 높이기 위해서 실험에 사용된 물은 Nold사의 Deaerator를 이용해서 녹아있는 공기의 대부분을 제거한 후에 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

샘플방법이 압밀특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 시료에 대해  $\epsilon - \log \sigma'_v$  (또는  $e - \log \sigma'_v$ ) curve, 선형압밀하중 ( $\sigma'_p$ ), 압밀계수 ( $c_v$ ), 투수계수 ( $k$ ), 체적압밀계수 ( $m_v$ )의 차이를 알아보았으며,  $c_\alpha / c_c$  개념을 통하여 이차압밀에 미치는 영향을 검토하였다. Andersen과 Kolstad(1979)가 샘플교란의 척도로 제안한 재압밀동안 현장유�효응력에서의 변형률( $\epsilon$ )도 각 샘플별로 알아보았다. 압밀계수는 표준압밀 실험에서 Casagrande와 Taylor의 방법을 사용하여 구했고, 일정변형률실험에서는 과잉간극수압을 측정함으로써 구해졌다.

### 3.1 $\epsilon - \log \sigma'_v$ (또는 $e - \log \sigma'_v$ ) 곡선

그림 3은 세 가지 샘플별  $\epsilon - \log \sigma'_v$  곡선을 나타내고 있다. 그림에서도 볼 수 있듯이 블록샘플은 동일한 압밀하중에서 변형률이 피스톤이나 튜브샘플의 값보다 약간 적은 값을 보임을 알 수 있다. Casagrande방법에 의해 구해진 선형압밀하중을 보아도 블록샘플의 값이 다른 샘플의 값보다 약 6~

10% 정도 크게 나오고 있다. 하지만 그 값들의 차이가 그리 크지 않은 것으로 보아 저심도 시료의 선행 압밀하중은 샘플방법에 크게 영향을 받고 있지 않은 것으로 나타났다. 그리고 세 가지 샘플 모두 선행 압밀하중부근에서 완만한 경사를 보이는 현상은 발견되지 않고 있다. 압축지수의 경우 재압밀구간에서는 블록의 경우가 작게 나오고, 선행압밀하중 근처에서는 다시 크게 나온다. 하지만 큰 하중에서는 그 값의 차이가 크게 보이지 않는다.

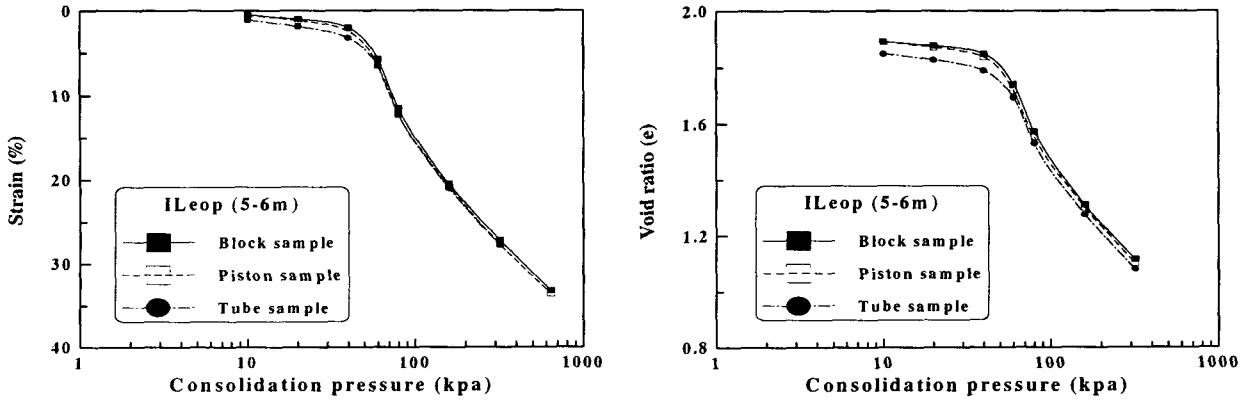


그림 3. 세 가지 샘플의  $\epsilon - \log \sigma'_v$  곡선

### 3.2 압밀계수와 투수계수

그림 4(a)와 4(b)는 블록샘플의 압밀계수와 투수계수가 다른 샘플의 값보다 더 크다는 사실을 보여주고 있다. 하지만 하중이 커지면 그 값의 차이가 거의 없어지고 있는 것을 볼 수가 있다. 이처럼 차이가 나는 이유는 흙의 교란에 의해 피스톤이나 튜브샘플의 배수거리가 길어져 압밀에 걸리는 시간이 더 오래 걸리기 때문인 것으로 추정되며, 압밀계수나 투수계수는 큰 하중에서는 교란에 의한 영향을 받지 않는 사실을 알 수 있다.

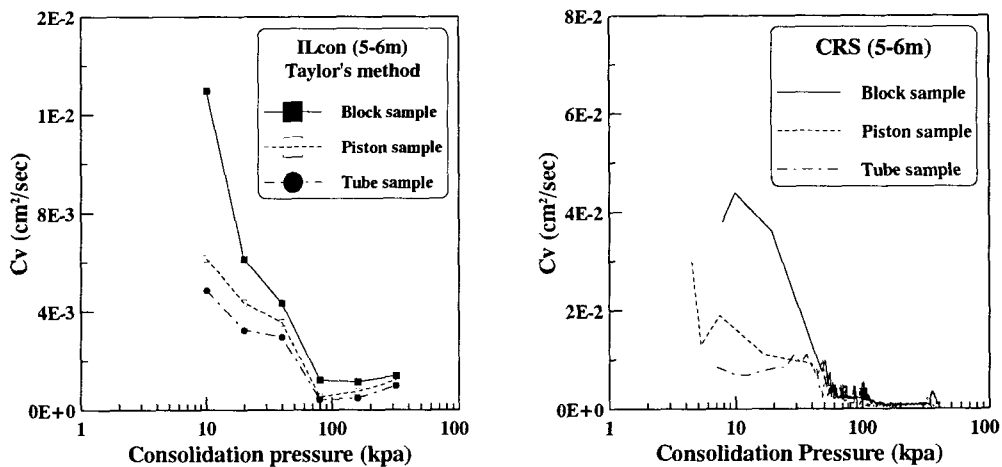


그림 4. (a) 세 가지 샘플의 압밀계수

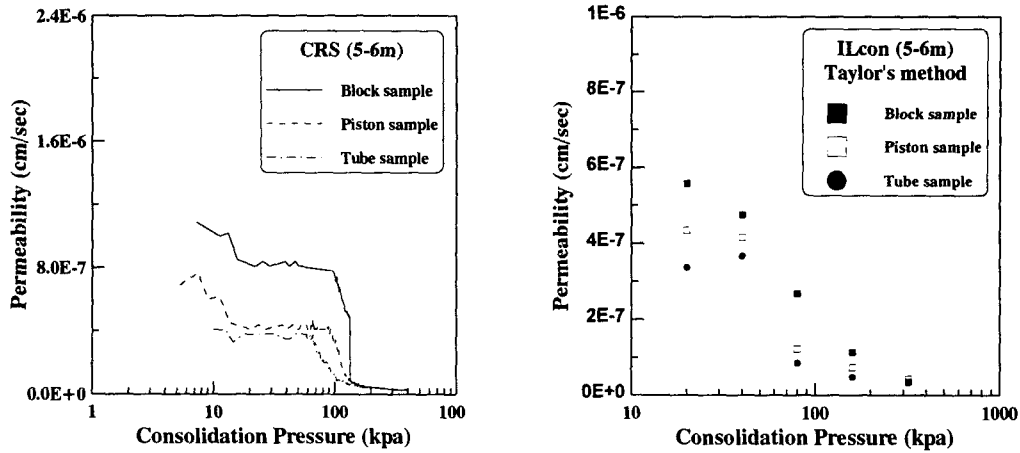


그림 4. (b) 세 가지 샘플의 투수계수

### 3.3 체적압축계수

블록샘플의 체적압축계수는 재압밀구간에서는 다른 샘플의 값보다 작은 값을 보이고 있는 반면 선형 압밀하중 부근에서는 다른 샘플보다 큰 값을 보이고 있다. 하지만 큰 하중에서는 다른 물성치들과 같이 큰 차이를 보이고 있지 않음을 알 수 있다. 그림 5는 이러한 차이를 보여주고 있다.

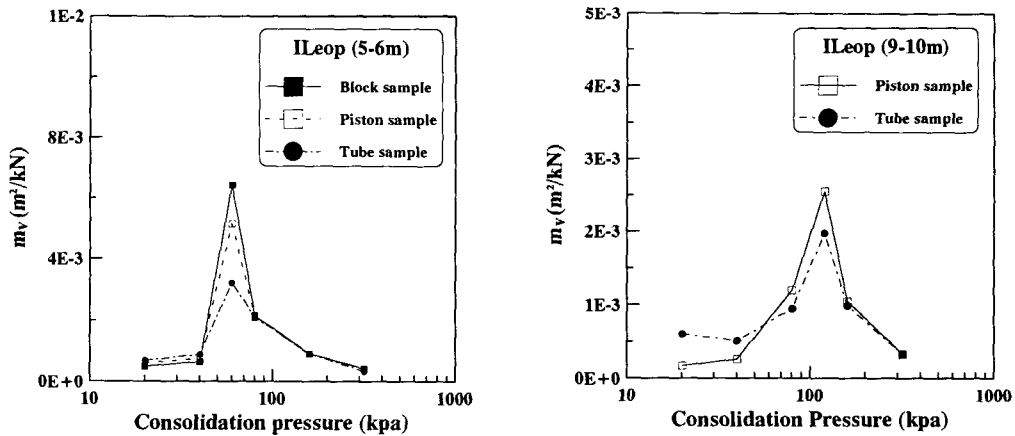


그림 5. 세 가지 샘플의 체적압축계수

### 3.4 $C_a/C_c$ concept

일반적으로 블록샘플의  $C_a/C_c$  가 다른 샘플의 값보다 큰 값을 보이고 있고, 실제 양산점토의 블록샘플에 의한  $C_a/C_c$ 의 값은 0.04502, 피스톤 샘플에 의한 값은 0.04128, 그리고 튜브샘플에 의한 값은 0.04053으로 나왔다. 이러한 값은 1987년에 Mesri와 Castro가 제안한 비유기질 점토에 대한  $C_a/C_c$  값이  $0.04 \pm 0.01$ 이라는 사실과 유사한 결과를 보이고 있다. 그림 6은 각 샘플별  $C_a/C_c$  값을 나타내고 있다.

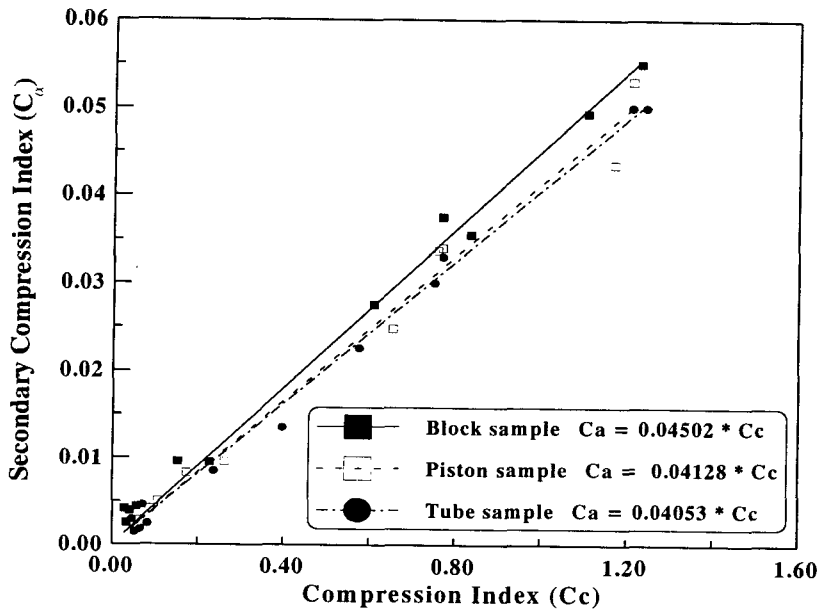


그림 6. 세 가지 샘플의  $C_a/C_c$ 값의 비교

### 3.5 재압밀구간에서의 현장유�효응력에서의 변형률

샘플교란을 나타낼 수 있는 척도로써 재압밀구간에서 현장유�효응력에서의 변형률이 1979년에 Andersen 과 Kolstad에 의해서 제안되었다. 본 논문에서는  $\sigma'_p$  measured는 Casagrande방법에 의해 구했고  $\sigma'_p$  best estimated는 실험을 통해 얻어진 값 중 각 깊이에 대해 가장 큰 값을 사용하였다. 그러나 그림 7에서 볼 수 있듯이 표준압밀실험의 경우 전반적으로 변형률 값이 다른 실험의 값보다 작게 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 시료의 포화시 swelling을 허용하기 때문이고 이로 인해 표준압밀실험에 의해 나온 결과는 샘플교란을 나타내는 지수로써 사용할 수가 없다. 여기서는 swelling을 허용하지 않는 단계재하실험과 일정변형률압밀실험을 가지고 결과를 분석하였다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 변형률이 증가할수록  $\sigma'_p$  measured /  $\sigma'_p$  best estimated의 값이 감소하는 경향을 보이고 있고 이는 Holtz 등(1986)이 제안한 결과와 비슷하다. 양산점토의  $\sigma'_p$  measured /  $\sigma'_p$  best estimated이 변형률이 1% 이상 일 때부터 감소하기 시작하는 반면, Holtz 등에 의한 Castro 점토의 경우는 변형률이 0.3%이상일 때부터 감소한다. 샘플별 변형률의 값을 비교해 보면 블록의 경우 약 1.5~2.0%, 피스톤의 경우 약 1.75~2.5%, 튜브의 경우 약 2.25~3.75%로 전반적으로 블록의 경우가 변형률의 값이 작게 나오고 있음을 알 수 있다. 결론적으로 블록의 경우가 다른 샘플의 경우보다 덜 교란 받았다고 볼 수 있다.

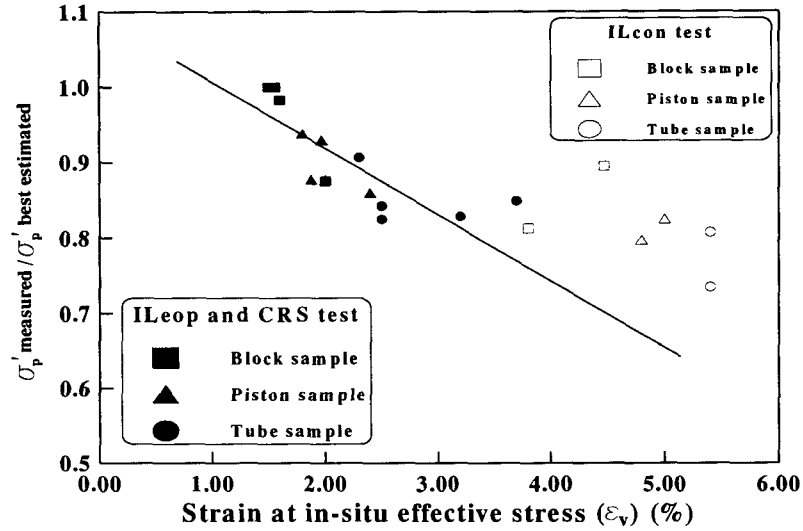


그림 7.  $\sigma'_p \text{ measured} / \sigma'_p \text{ best estimated}$  - Strain 곡선

#### 4. 결론

세 가지 종류의 샘플러로 채취한 양산점토를 가지고 압밀실험을 한 결과 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

- 1) 블록샘플의 변형률감소비가 다른 샘플의 감소비보다 작게 나오고 있고 선행압밀하중도 블록의 경우가 다른 경우보다 약 6~10%정도 크게 나오고 있다. 이를 통해 교란에 의해 어느 정도 시료가 영향을 받았다고 볼 수 있으나, 그 차이는 크지 않았다. 압축지수의 값도 샘플별로 크게 차이가 나지 않을 것을 볼 수 있다.
- 2) 압밀계수와 투수계수에서도 블록의 경우가 전반적으로 크게 나오고 있으나 큰 하중에서는 값의 차이가 없어지고 있다. 체적압축계수는 블록에서의 값이 재압밀구간에서는 작고 선행압밀하중근처에서는 다시 커지며, 큰 하중에서는 값의 차이가 없어지고 있다.
- 3) 양산점토의 블록샘플에서는  $C_a/C_c$ 이 0.04502, 피스톤에서는 0.04128, 튜브에서는 0.04053으로 나오고 블록의  $C_a/C_c$ 가 다른 값보다 크게 나오고 있음을 알 수 있다.
- 4) 재압밀동안 현장유효응력에서의 변형률은 결과에서처럼 어느 정도 샘플교란을 나타내는 하나의 척도로 사용할 수 있는 것으로 확인되었으며, 블록의 값이 다른 샘플의 값보다 적게 나오고 있는 것으로 보아서 블록샘플의 경우가 덜 교란되었다고 볼 수 있다.
- 5) 본 실험에 사용된 블록샘플은 채취심도가 4~6m인 것으로 보다 명확한 시료교란의 영향을 파악하기 위해서는 깊은 심도의 시료에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 1) Baligh, M. M., Azzouz, A. S. and Chin, C. T. (1987), "Disturbance due to Ideal Tube Sampling .", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 7, pp. 739-757.
- 2) Bjerrum, L. (1967), "Engineering Geology of Norwegian Normally Consolidated Marine Clays as Related to Settlements of Buildings." , Seventh Rankine Lecture, *Geotechnique*, Vol. 17, pp. 81-118.
- 3) Hanzawa, H. (1983), "Undrained Strength Characteristics of Normally Consolidated Aged Clay." , *Soils and Foundations*, Vol. 23, No. 3, pp. 39-49.
- 4) Holtz, R. D., Jamiolkowski, M. B. and Lancellotta, R. (1986), "Lessons from Oedometer Tests on High Quality Samples." , *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 8, pp. 768-776.
- 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) Kim, K. S. (1998), Evaluation of  $C_u/C_c$  for Gaduk-do Soft Clay by Laboratory Consolidation Tests, Thesis for M. S, Korea University
- 7) Lacasse, S., Berre, T. and Lefebvre, G. (1985), "Block Sampling of Sensitive Clays." , *Proceedings of 11th ICSMFE*, San-Francisco, Vol. 2, pp. 887-892.
- 8) La Rochelle, P., Sarrailh, J., Tavenas, F., Roy, M. and Leroueil, S. (1981), "Causes of Sampling Disturbance and Design of a New Sampler for Sensitive Clays" , *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 18, pp. 52-66.
- 9) Lefebvre, G. and Poulin, C. (1979), "A New Method of Sampling in Sensitive Clay" , *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 16, pp. 226-233.
- 10) Leroueil, S., Tavenas, F., Brucy, F., La Rochelle, P. and Roy, M. (1979), "Behavior of Destructured Natural Clays" , *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 105, No. 6, pp. 759-778.
- 11) Lim, H. D. (1997), Comparison of Consolidation Characteristics of Gaduk-do Clay by CRS and Conventional Tests, Thesis for M. S, Korea University
- 12) Okumura, T. (1971), "The Variation of Mechanical Properties of Clay Samples Depending on Its Degree of Disturbance." , *Proceeding of the Special Session on Quality in Soil Sampling*, 4th ARC, Bangkok, pp. 73-81.
- 13) Olsen, H. W., Rice, T. L., Mayne, P. W. and Singh, R. D. (1986), "Piston Core Properties and Disturbance Effects." , *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 6, pp. 608-625.
- 14) Park, J. G. (1999), "The Effects of Sample Disturbance on Consolidation Properties of Yang-San Clay, Thesis for M. S, Korea University
- 15) Raymond, G. P., Townsend, D. L. and Lojkasek, M. J. (1971), "The Effect of Sampling on the Undrained Soil Properties of a Leda Soil" , *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 8, pp. 546-557.
- 16) Shogaki, T. and Kaneko, M. (1994), "Effects of Sample Disturbance on Strength and Consolidation Parameters of Soft Clay." , *Soils and Foundations*, Vol. 34, No. 3, pp. 1-10.
- 17) Skempton, A. W. and Sowa, V. A. (1963), "The Behavior of Saturated Clays during Sampling and Testing" , *Geotechnique*, Vol. 13, pp. 269-290.