

대구경 샘플러의 개발 및 채취시료의 성질 분석

Development of Large Diameter Sampler and Analysis of Sampling Soil Character

김영진¹⁾, Young-Chin Kim, 홍성완²⁾, Sung-Wan Hong, 김현민³⁾, Hyun-Min Kim

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Eng. Dept., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구위원, Senior Researcher Fellow, Civil Eng. Dept., KICT

³⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Eng. Dept., KICT

SYNOPSIS : We developed large diameter sampler (we called KICT type large diameter sampler) to obtain undisturbed clay and sand samples. In-situ test carried out in the In-Chon international airport and Kim-Hae. Also we obtained undisturbed sample with a hydraulic piston sampler in the nearby site and carried out unconfined compression test, consolidation test and triaxial test.

The result, unconfined compression strength, secant modules, preconsolidation pressure and undrained shear strength of samples to obtain KICT type large diameter sampler are larger than that of samples to obtain hydraulic piston sampler. But failure strains and volume changes at the consolidation of samples to obtain KICT type large diameter sampler are smaller than that of samples to obtain hydraulic piston sampler.

Keyword : Large diameter sampler, Hydraulic piston sampler, Undisturbed sample

1. 서론

지반에 축조되는 모든 구조물의 설계, 시공 및 유지 관리를 위해서 먼저 필요한 것이 지반조사이다. 넓은 의미의 지반조사에는 현장에서 바로 이루어지는 표준관입시험, 공내재하시험, 피에조콘 관입시험 등과 함께 현장에서 채취한 흙시료를 실내로 운반하여 흙의 역학적 특성 및 압밀 특성 등을 측정하는 삼축압축시험, 전단시험, 압밀시험 등이 포함된다.

그런데 실내에서 실시하는 시험은 시료의 교란 정도에 따라 그 값이 크게 달라질 수 있으므로 가능한 교란되지 않게 시료를 채취하고, 채취한 시료를 교란되지 않게 시험실로 운반하는 기술이 필요하다.

외국에서는 최근 대구경 샘플러를 비롯하여 시료의 교란을 최대한 줄일 수 있는 다양한 샘플링 방법에 관하여 많은 연구가 이루어지고 있으나, 국내에서는 오래 전부터 이용하던 피스톤 샘플러에 의한 샘플링이 아직까지 주종을 이루고 있다.

본 연구에서는 독특한 타입의 대구경 샘플러를 개발한 후, 그 샘플러로 채취한 흙시료와 기존의 피스톤 샘플러로 채취한 흙시료에 대하여 여러 가지 실내시험을 실시한 결과를 비교 분석하였다.

2. 대구경 샘플러의 연구 동향

2.1 대구경 샘플러의 개발 배경

La Rochelle와 Lefebvre(1970)는 두 가지 다른 방법 즉, 블록 샘플과 54mm NGI 피스톤 샘플러로 캐나다의 Saint Lawrence 점토를 채취하여 물리적 특성을 비교하였다.⁽¹⁾ 그 결과, 튜브 샘플링은 교란이 발생한다는 것을 알아냈다. 샘플러에 따른 겉보기 선행압밀응력의 차이는 그다지 크지 않은 반면, 일축 압축시험을 수행하여 측정된 비배수 전단강도와 탄성계수는 튜브샘플의 경우가 블록 샘플보다 모두 50%정도 작게 측정되었다. 또한, 튜브 샘플의 경우 압밀 배수 삼축압축시험과 간극 수압을 측정하는 압밀 비배수 삼축압축시험으로 얻어진 파괴포락선은 낮은 구속응력 범위에서 상당히 작게 측정되었다. 또한, Berre 등(1969)은 새로운 95mm NGI 샘플러와 일반적인 54mm NGI 샘플러를 이용하여 노르웨이의 해성 점토를 채취하였다.⁽²⁾ 압밀 시험을 수행한 결과 직경에 따른 선행압밀응력의 차이는 크지 않았으나, 시험결과의 분산은 54mm 샘플이 훨씬 크게 나타났다.

Bozozuk(1970)는 54mm NGI 샘플러와 124mm Osterberg 샘플러를 이용하여 Ottawa 지역의 해성점토를 채취하여 몇 가지 특성을 비교하였다.⁽³⁾ 그 결과 124mm 샘플에서 구한 평균 선행압밀응력이 54mm 샘플에서 구한 평균 선행압밀응력보다 약 40%정도 크게 얻어졌다. 반면, 현장의 상태의 응력으로 이방압밀을 시킨 후 비배수 삼축압축시험을 수행한 결과 124mm 샘플의 경우 파괴 변형이 더 작게 나타나지만 비배수전단강도는 거의 같았다. 또한, Raymond 등(1971)은 블록 샘플, Shelby tube, Swedish 50mm와 124mm Osterberg 샘플러를 이용하여 채취한 Ottawa 점토를 비교하였다.⁽⁴⁾ 그 결과, 블록 샘플러로 채취한 시료의 일축압축강도가 가장 크게 나타났다.

이상의 연구 결과를 종합하면 직경이 큰 샘플러일수록 양질의 시료를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 블록 샘플로 채취하였을 때도 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 블록 샘플링은 굴착 깊이가 깊어짐에 따라 보호벽을 설치하기 위해서는 많은 비용이 들고 어렵기 때문에 깊이가 약 3~4m의 얇은 깊이로 제한된다.

2.2 대구경 샘플러의 개발

1975년 캐나다의 Sherbrooke 대학에서는 블록 샘플을 채취할 때 트렌치 굴착에 따른 위험요소와 응력제거를 최소화하기 위하여 지표면에서 직경이 약 25cm인 블록 샘플을 채취할 수 있는 Sherbrooke 샘플러를 개발하였다. Sherbrooke 샘플러로 채취한 시료와 블록 샘플링 방법으로 채취한 시료를 가지고 여러 가지 실내시험을 수행한 결과, 두 시료의 거동이 일반적으로 같게 나타남을 알 수가 있었다.⁽⁵⁾ 그러나, Sherbrooke 샘플러는 특정 토질에만 적용되는 단점이 있다. 또한, 1975년 캐나다의 Laval 대학에서는 직경이 20cm인 시료를 채취할 수 있는 Laval 샘플러를 개발하여 블록 샘플링으로 채취한 시료와 역학적 거동을 비교하였다. 그 결과, 두 시료의 거동이 비슷함을 보였다.⁽⁶⁾ 그러나, Laval 샘플러는 시료를 절단하고 인발하는 데 어려움이 있는 문제점이 있다.

그래서, 본 연구에서는 이러한 단점들을 보완하며 비교란 시료를 채취할 수 있는 대구경 샘플러, 이른바 KICT형 대구경 샘플러를 개발하였다. KICT형 대구경 샘플러는 트리플 튜브 코어 바렐의 채취 원리를 이용하는 한편 특수 폐합 장치를 장착하여 시료를 절단하고 채취 시료가 유출되지 않도록 하였다. 본 연구에서 개발한 KICT형 대구경 샘플러의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

3. 실험

3.1 실험 방법

본 연구에서 개발한 KICT형 대구경 샘플러의 현장 적용성을 알아보기 위하여 인천국제공항과 김해우회도로에서 비교란 시료를 채취하였다. 또한, 채취시료의 교란 정도를 분석하기 위하여 KICT형 대구경 샘플러로 비교란 시료를 채취한 인접지역에서 NX 크기의 수압식 피스톤 샘플러로 비교란 시료를 채취하여 일축압축시험, 압밀시험 및 삼축압축시험을 수행하였다.

일축압축시험은 KSF 2346 규정에 따라 수행하였으며, 이때 사용한 공시체는 직경 5cm, 높이 10cm이고 축변형률속도는 1mm/min로 하였다. 본 연구에서는 사용한 일축압축시험기는 축변형률을 1.0~4.5mm/min로 조절할 수 있는 전동식 압축장치와 축력을 최대 50kg까지 측정할 수 있는 로드 셀(load cell) 그리고, LVDT로 구성되어 있다.

압밀시험은 고정형 압밀상자를 이용하여 KSF 2316 규정에 따라 수행하였으며, 삼축압축시험은 직경이 5cm, 높이가 10cm가 되도록 공시체를 성형하여 등방압밀 비배수 삼축압축시험을 하였다. 본 연구에서 사용한 삼축압축시험기는 미국의 C. K. Chan 교수가 개발한 자동화 삼축압축시험기로 정적재하와 반복재하가 모두 가능한 시험기이다. 이 시험기는 실험 중에 변화하는 축차응력, 구속응력, 축변형률, 체적변형률 및 간극수압을 각각의 트랜스듀서(transducer)를 통해 측정하여 자동적으로 컴퓨터에 저장하는 방식을 하고 있으며, 연직압과 구속압이 컴퓨터에 입력한 수치에 따라 자동적으로 제어가 된다.

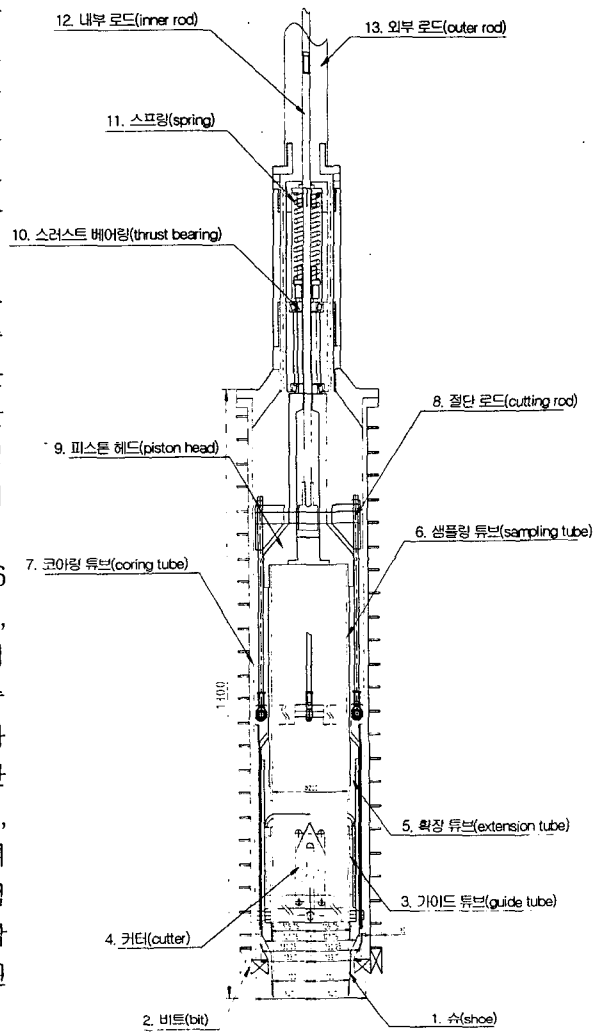


그림 1. KICT형 대구경 샘플러의 개략도

3.2 실험결과

3.2.1 일축압축시험 결과

KICT형 대구경 샘플러와 수압식 피스톤 샘플러로 인천국제공항과 김해우회도로현장에서 채취한 시료의 일축압축시험 결과를 그림 2에 나타내었다.

그림 2를 보면 일반적으로 KICT 대구경 샘플러로 채취된 시료의 일축압축강도가 수압식 피스톤 샘플러로 채취된 시료의 일축압축강도보다 크게 나타났으며, 파괴시 변형률은 KICT 대구경 샘플러로 채취한 시료의 것이 작게 나타났다. 그러나, 이러한 값들의 차이보다도 할선탄성계수(secant modulus) 값이 KICT 대구경 샘플러로 채취한 시료의 것이 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 것보다 훨씬 크게 나타났다. 이러한 경향은 G. Holm과 R. D. Holtz(1977)가 채취 시료에 대한 연구를 통하여 밝힌 시료의 교란은 비배수 전단강도보다 할선탄성계수에 더 많은 영향을 미친다⁽⁷⁾는 결과와 같은 맥락에서 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

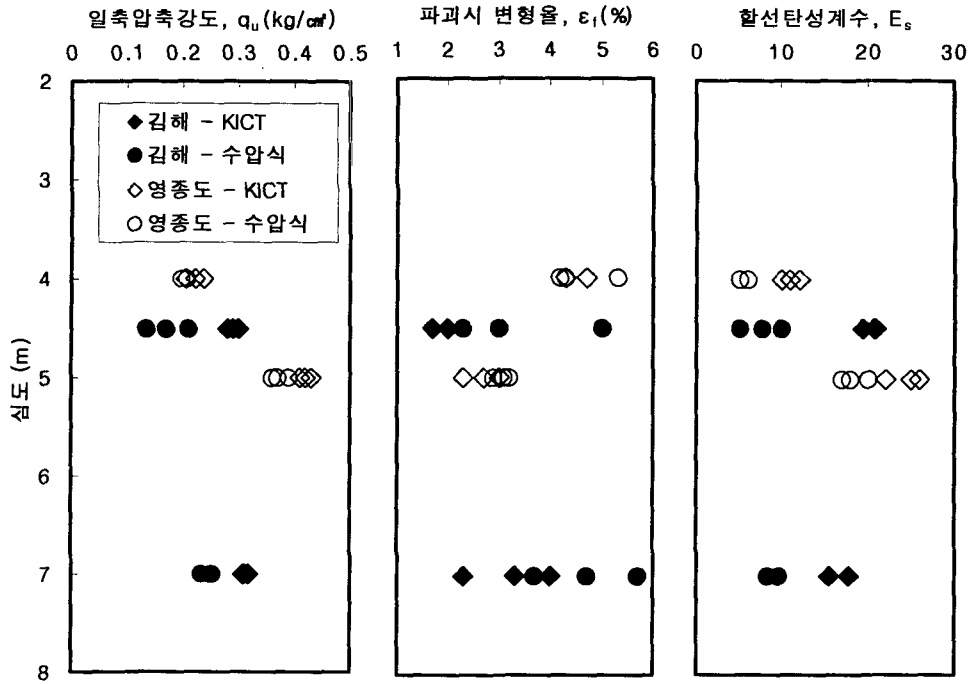


그림 2. 샘플러 및 채취심도에 따른 일축압축강도시험 결과

또한, 그림 3과 같이 Horiuchi 등(1987)이 제안한 경험적인 방법(E_{50}/q_u 값이 50미만인지, 이상인지를 기준으로 교란 시료와 비교란 시료를 구분)⁽⁸⁾을 이용하여 KICT형 대구경 샘플러와 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 질을 판정하였다.

그 결과, 인천국제공항과 김해우회도로에서 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료는 모두 비교란 영역에 속하는 것으로 나타나는 반면, 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료는 모두 교란 발생영역에 속하는 것으로 나타났다.

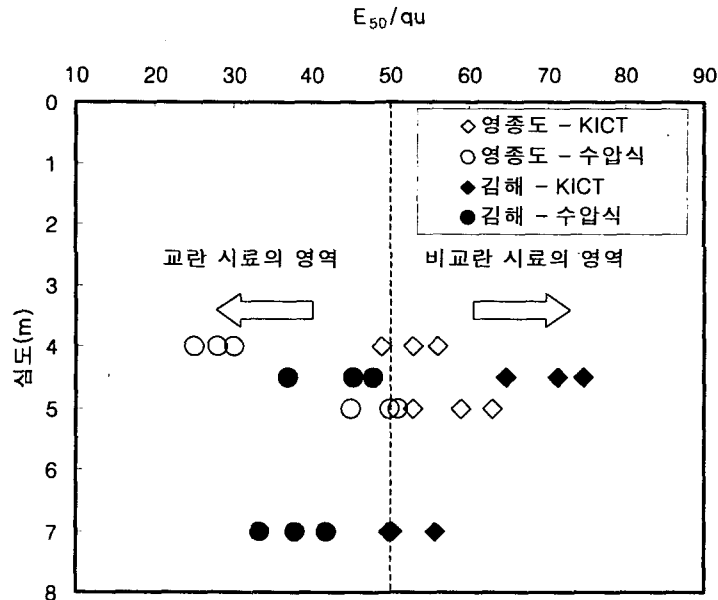
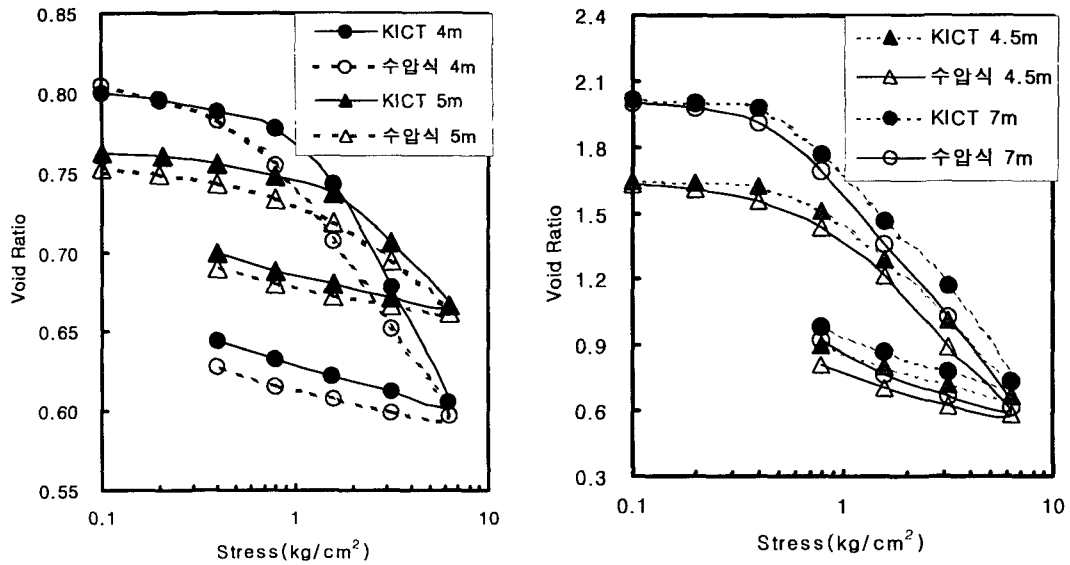


그림 3. Horiuchi 등(1987)이 제안한 방법에 따른 시료의 질 평가

3.2.2 압밀시험결과

인천국제공항과 김해우회도로에서 채취한 시료의 압밀시험 결과를 그림 4와 표 1에 나타내었다.



(a) 인천국제공항 (b) 김해우회도로

그림 4. 채취심도 및 샘플러 종류별 압밀곡선

그림 4를 보면 알 수 있듯이 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 압밀곡선은 최소곡률반경점을 찾기가 어려워 선행압밀응력을 구하기가 힘든 반면, KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 압밀곡선은 최소곡률반경점이 뚜렷하게 나타나 선행압밀응력을 구하기가 쉬웠다. 또한, 선행압밀응력 값도 KICT형 대구경 샘플러로 얻어진 시료의 것이 수압식 피스톤 샘플러로 얻어진 시료의 것보다 약 10~25% 정도 크게 나타나고 있다. 이에 따라 과압밀비(overconsolidation ratio, OCR)도 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 것이 더 크게 나타나고 있다(표 1참조). 따라서, 본 연구에서 개발한 샘플러가 수압식 피스톤 샘플러보다 시료를 덜 교란시킨다는 것을 알 수 있었다.

표 1. 샘플러 종류별 선행압밀응력, 압축지수 및 과압밀비 비교

| 채취위치 | 채취심도 | 샘플러 종류 | 선행압밀응력 (kg/cm ²) | 압축지수 (C _c) | 과압밀비 (OCR) |
|--------|------|--------|------------------------------|------------------------|------------|
| 인천국제공항 | 4m | KICT형 | 1.35 | 0.216 | 3.4 |
| | | 수압식 | 0.96 | 0.183 | 2.4 |
| | 5m | KICT형 | 1.75 | 0.133 | 3.5 |
| | | 수압식 | 1.35 | 0.110 | 2.7 |
| 김해우회도로 | 4.5m | KICT형 | 0.65 | 0.99 | 1.6 |
| | | 수압식 | 0.55 | 1.12 | 1.3 |
| | 7m | KICT형 | 0.80 | 0.92 | 1.2 |
| | | 수압식 | 0.72 | 1.08 | 1.1 |

또한, Shogaki 등(1996)이 제안한 식 (1)을 이용하여 채취한 시료의 상대적인 교란 정도를 평가하면 표 2와 같다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

$$\epsilon_v = \frac{e_0 - e_1}{e_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, ϵ_v 는 체적변형율, e_0 는 초기간극비, e_1 은 현장에서 받고있는 유효상재하중일 때의 간극비이다.

표 2. Shogaki 등이 제안한 방법에 따른 시료의 질 평가

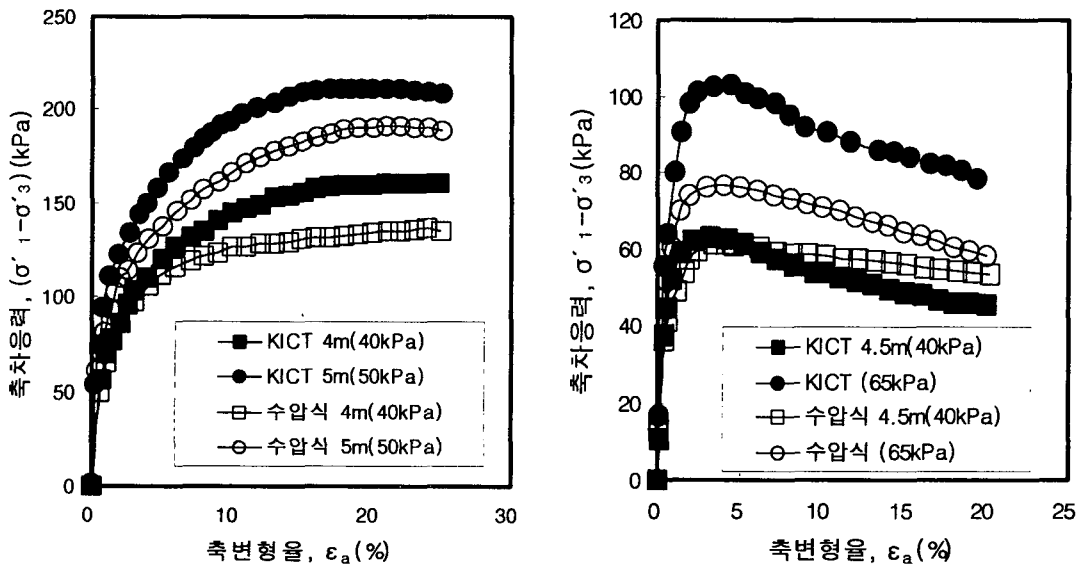
| 채취위치 | 채취심도 | 샘플러 종류 | e_0 | e_1 | $\epsilon_v(\%)$ |
|--------|------|--------|-------|-------|------------------|
| 인천국제공항 | 4m | KICT형 | 0.81 | 0.788 | 1.22 |
| | | 수압식 | | 0.782 | 1.55 |
| | 5m | KICT형 | 0.78 | 0.755 | 1.40 |
| | | 수압식 | | 0.740 | 2.25 |
| 김해우회도로 | 4.5m | KICT형 | 1.63 | 1.624 | 0.37 |
| | | 수압식 | | 1.559 | 2.45 |
| | 7m | KICT형 | 2.00 | 1.821 | 8.95 |
| | | 수압식 | | 1.778 | 11.1 |

그 결과, KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 체적변형율이 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 체적변형율보다 작게 산정되어 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료가 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료보다 덜 교란되었음을 알 수 있었다.

3.2.3 삼축압축시험결과

인천국제공항과 김해우회도로에서 채취한 시료의 삼축압축시험 결과를 그림 5 및 6과 표 3에 나타내었다.

그림 5와 표 3은 구속응력을 현장상태의 유효상재하중으로 하였을 때의 비배수삼축압축시험의 결과를 나타낸 것으로 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 비배수전단강도가 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 비배수전단강도보다 약 15%정도 크게 나타나고 있다. 또한, 압밀동안에 발생하는 체적변형율도 작게 측정되었다. 따라서, KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 질이 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 질보다 더 우수함을 알 수 있었다.



(a) 인천국제공항

(b) 김해우회도로

그림 5. 구속응력이 현장상태의 유효상재하중일 때 축변형율과 축차응력의 관계

표 3. 구속응력이 현장상태의 유효상재하중일 때 샘플러 종류별 비배수전단강도와 체적변형을 비교

| 채취장소 | 채취심도 | 샘플러 종류 | 비배수전단강도(kPa) | 체적변형율(%) |
|--------|------|--------|--------------|----------|
| 인천국제공항 | 4m | KICT형 | 80.5 | 0.96 |
| | | 수압식 | 68.0 | 1.14 |
| | 5m | KICT형 | 106.0 | 1.42 |
| | | 수압식 | 95.5 | 1.64 |
| 김해우회도로 | 4.5m | KICT형 | 31.4 | 0.82 |
| | | 수압식 | 30.6 | 1.25 |
| | 7m | KICT형 | 51.4 | 2.44 |
| | | 수압식 | 38.2 | 1.83 |

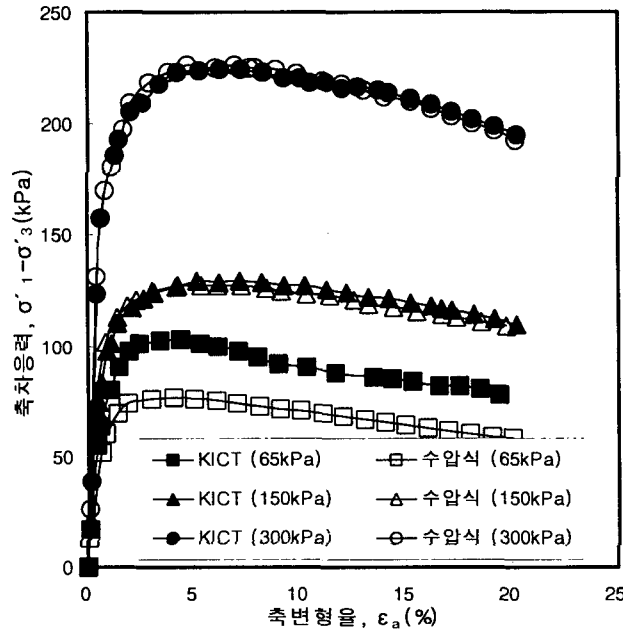


그림 6. 구속응력변화에 따른 축변형율과 축차응력의 관계(김해우회도로)

그림 6은 구속응력의 변화에 따른 축변형율과 축차응력의 관계를 나타낸 것으로 구속응력이 현장상태의 유효상재하중보다 더 큰 상태에서는 비배수전단강도의 차이가 거의 발생하지 않았다. 이는 압밀동안에 시료의 조직이 재성형되어 원래 시료가 가지고 있던 응력 이력(stress history)을 잃게 되기 때문으로 판단된다.

표 3의 결과를 NGI에서 제안하는 시료의 질 평가 기준⁽¹¹⁾에 적용하면 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료는 good~very good to excellent에 해당하지만 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료는 good~fair에 해당되었다. 또한, Lacssse와 Berre(1988)가 제안한 시료의 질 평가 기준⁽¹²⁾에 적용하면 KICT형 대구경 샘플러와 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료 모두 양질(high quality)의 시료로 판정되었다. 이러한 비교를 통하여 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 질이 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 질보다 더 우수함을 알 수가 있었다.

4. 결론

본 연구에서 개발한 KICT형 대구경 샘플러와 국내에서 주로 사용하고 있는 NX 크기의 수압식 피스톤 샘플러의 현장 적용성과 각각의 샘플러로 채취된 시료의 교란 정도를 상호 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수압식 피스톤 샘플러와 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료를 가지고 일축압축시험을 수행한 결과, KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 일축압축강도 및 할선탄성계수가 수압식 피스톤 샘

플러로 채취한 시료의 일축압축강도 및 할선탄성계수보다 더 크게 나타났으며, 파괴시 변형율은 작게 나타났다.

- 2) Horiuchi 등(1987)이 제안한 방법으로 시료의 질을 판정한 결과 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료는 교란이 발생하지 않은 것으로 나타나지만, 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료는 교란이 발생한 것으로 나타났다.
- 3) 수압식 피스톤 샘플러와 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료를 가지고 압밀시험을 수행한 결과, KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 선행압밀응력이 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 선행압밀응력보다 크게 나타났다.
- 4) Shogaki(1996)가 제안한 방법으로 채취한 시료의 교란 정도를 분석한 결과, KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료가 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료보다 적게 교란 되었음을 알 수 있었다.
- 5) 수압식 피스톤 샘플러와 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료를 가지고 비배수삼축압축시험을 수행한 결과, 구속응력이 현장상태에서의 유효상재하중일 때 KICT형 대구경 샘플러로 채취한 시료의 비배수 전단강도가 수압식 피스톤 샘플러로 채취한 시료의 비배수 전단강도보다 크게 나타났으며, 압밀시 발생하는 체적변형율은 작게 나타났다.

참고문헌

1. La Rochelle, P., and Lefebvre, G., "Sampling disturbance in Champlain clays", ASTM, Special Technical Publication 483, pp. 143~163. 1970.
2. Berre, T., Schjetne, K., and Sollie, S., "Sampling disturbance of soft marine clays", Specialty Session I, 7th ICSMFE, Mexico, pp.11~14, 1969.
3. Bozozuk, M., "Effect of sampling, size and storage on test result for marine clay", ASTM, Special Technical Publication 483, pp. 121~131. 1970.
4. Raymond, G. P., Townsend, D. L., and Lojkasek, M. J., "The effect of sampling on the undrained soil properties of a Leda soil", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 8, pp.546~557, 1971.
5. Lefebvre, G., and Poulin, C., "A new method of sampling sensitive clay", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 16, pp.226~233, 1979.
6. La Rochelle, P., Sarrile, J., Tavenas, F., Roy, M., and Leroueil, S., "Causes of sampling disturbance and design of a new sampler for sensitive soils", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 18, No. 1, pp.52~66, 1981.
7. Holm, G., and Holtz, R.D., "A study of large diameter piston sampler", Volume on Soil Sampling, Specialty Session 2, 9th ICSMFE, Tokyo, pp. 73~78, 1977.
8. Horiuchi, T., Eiki, A., and Funahashi, M., "Evaluation of sample quality by thin-wall sampling tube", Proceeding of the 8th Asian Regional conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. I, 1987.
9. Shogaki, T., "A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain", Soil and Foundation, Vol. 36, No. 3, pp.123~131, 1996.
10. Shogaki, T., Shirakawa S., and Maruyama Y., "Estimation of in-situ consolidation parameters using volumetric strain measured in standard oedometer tests", Proceeding of the International Symposium on Lowland Technology, Saga university, pp. 137~144, 1998.
11. Mori, H., State of the art on current practice of soil sampling, Proceedings of the International Symposium of Soil sampling, Singapore, 1979.
12. Lacasse, S., and Berre, T., "Triaxial testing methods for soils, Advanced triaxial testing of soil and rock", ASTM STP 977, pp. 264~289, 1988.