

시료의 채취 방식에 따른 교란도 평가

Evaluation of Disturbance of Clay Samples Due to Sampling Methods

윤여원[†] · 김영진¹⁾ · 최은호²⁾

Yoon, Yeowon · Kim, Youngjin · Choi, Eunho

ABSTRACT : In this study, evaluation of samples' reflection of in-situ condition was performed for those by 225 mm KICT large sampler and NX size piston sampler. Disturbance analysis was conducted for the clay sampled by two kinds of sampler throughout consolidation tests, uniaxial tests and triaxial test, under the same condition. From the analysis it can be seen that not only the initial void ratio and preconsolidation pressure from KICT large sampler but strength parameters from both uniaxial and triaxial compression tests are also about 10% higher than those of NX size piston sampler's.

Keywords : Large sampler, NX size piston sampler, Disturbance of Clay, Strength parameters

요 지 : 본 연구는 직경 225mm의 KICT 대구경 샘플러와 NX size 피스톤 샘플러를 사용하여 채취한 점토시료의 강도정수를 비교하여 대구경 샘플러가 NX size 피스톤 샘플러에 비해 원지반 상태를 얼마나 잘 반영하는가를 평가하는데 그 목적이 있다. 이 연구를 위하여 두 가지 샘플러로 채취한 점토 시료를 동일 조건에서 표준압밀시험, 일축압축시험, 삼축압축시험을 수행하여 채취 시료의 교란도 분석을 하였다. 분석결과 초기간극비와 선형압밀응력 뿐만 아니라 시료의 일축 및 삼축압축 시험에 의한 강도정수도 KICT 대구경 샘플러에 의한 시료가 약 10% 이상 높게 나타났다.

주요어 : 대구경 샘플러, NX size 피스톤 샘플러, 시료 교란, 강도정수

1. 서 론

대규모 건설공사에서 지반조사는 필수적이며 여러 구조물의 기초 및 지반공학적인 문제점을 해결하기 위해서 널리 이용된다. 이러한 지반조사방법에는 현장에서 이루어지는 현장시험법과 현장에서 시료를 채취하여 실험실에서 흙의 물리적 특성을 평가하는 실내시험법이 있다. 현장시험법은 현장특성을 잘 반영하여 지반의 강도 특성을 평가할 수 있지만 시험 비용이 실내시험법에 비해 다소 비싸고 시공 후 구조물에 영향을 미치는 다양한 조건을 다룰 수 없다는 점에서 실내시험과 병행되고 있다. 하지만 실내시험을 하기 위해 현장에서 시료채취 시 교란의 문제는 피할 수 없는 문제이다. 교란의 영향은 샘플링에 의한 시료주변의 구속압 개방과 샘플링 작업에 의한 기계적인 교란으로 구별된다(지반조사 및 토질시험 결과해석과 적용, 2000). 구속압 개방에 의한 교란은 모든 샘플링 방법에서 공통으로 수반되지만 기계적인 교란은 샘플링 방법과 기술에 따라 교란에 의한 지반조사의 불확실성을 감소시킬 수 있다. 특히 우리나라에서 일반적으로 쓰이는 NX size의 수압식

샘플러는 시료의 교란정도가 지반정수에 얼마나 영향을 미치는지 체계적으로 적립되지 않은 실정이다. 기계적 교란을 방지하기 위하여 유럽, 북미, 일본 등에서 여러 연구자들에 의해 다양한 시료채취장비가 개발되어지고 있으며 각기 개발된 샘플러의 우수성을 입증한 바 있다(김영진 등, 2003).

본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 개발된 KICT형 대구경 샘플러 개량 모델을 사용하여 영종도와 평택, 그리고 인천 청라지구에서 불교란 점토시료를 채취하여 기존의 NX size 수압식 샘플러로 채취한 시료를 사용하여 표준압밀시험, 일축압축시험, 삼축압축시험을 수행함으로써 샘플러에 따른 교란도의 영향을 지반정수를 바탕으로 평가하였다. 또한 청라지구는 재성형 시료를 제작하여 채취 시료와 강도특성을 비교하였다.

2. 시료교란의 평가

시료교란의 원인으로는 응력해방, 시료채취 과정, 운반 과정 등 크게 세 가지로 분류할 수 있으며 Jamiolkowski

† 정희원, 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수(E-mail : yoonyw@inha.ac.kr)

1) 정희원, 한국건설기술연구원 책임연구원

2) 정희원, 인하대학교 대학원

등(1985)은 이에 대한 문제점 및 대책을 상세히 설명한 바 있다. Mori(1979)는 시료의 교란이 배수 및 비배수 상태에서의 압축강도(q_u) 감소, 일축압축시험으로부터 얻어지는 탄성계수(E)의 감소, 극한 강도일 때의 변형률(ϵ) 증가를 야기한다고 하였다. 또한 Shogaki(1996)는 시료추출기에 추출기 직경보다 작은 다양한 장치를 고안하여 강제교란을 일으킨 후 일축압축시험을 하여 그림 1과 같은 응력-변형률 관계를 얻었고 그림 2와 같이 시료가 교란됨에 따라 선형압밀하중(P_c), 압축지수(C_c), 압축강도(q_u)가 감소하는 경향의 압밀곡선을 얻게 되었다.

3. 시료채취기 및 실내시험

3.1 KICT 대구경 Sampler

본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 개발된 KICT형 대구경 샘플러(김영진 등, 2003)와 수압식 NX size 샘플러를 사용하여 채취한 시료를 사용하여 교란도 분석을 수행하였다. KICT형 대구경 샘플러는 직경 225mm, 높이 400mm의 불교란 시료를 채취할 수 있으며 현재까지의 경험으로

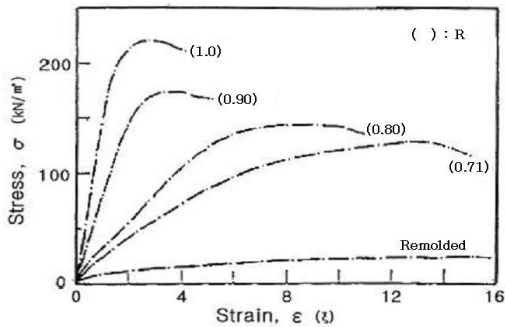


그림 1. 교란정도와 응력변형특성(Shogaki 등, 1996)

는 샘플러의 직경보다 큰 구경의 케이싱 타입에 의해 깊은 심도의 경우에도 시료를 채취할 수 있다. 그림 3에는 대구경 샘플러의 내, 외부 모양과 NX size 샘플러의 모양을 보이고 있다. 한국건설기술연구원에서 개발된 대구경 샘플러는 Triple tube core barrel의 채취 원리를 이용하여 관입중에도 샘플링 튜브가 회전하지 않도록 Thrust bearing을 선단부에 장착하였다. 또한 부분적으로 MC Nylon을 사용하여 기존 90kg에서 65kg으로 장비의 경량화를 달성하였으며, 특수 절단기를 고안하여 시료유출 방지를 위한 커터를 장착하였으며 부식방지를 위해 스테인레스강을 사용하고 대상시료 하부에서 측면 폐합함으로써 시료 하부가 받는 응력을 최소화 하였다. KICT형 대구경 샘플러와 수압식 NX size 샘플러의 제원은 표 1에 나타내었다.

3.2 실내시험

각 채취지점마다 채취한 불교란 시료의 시험 내용은 표 2와 같으며, KS F 2316규정에 따라 표준압밀시험을 수행하였고 재하 하중은 최대 640kPa까지 가하였다. 삼축압축시험은 영국 ELE社에서 개발한 자동화 삼축시험기를 이용하여 일축 및 압밀비배수 삼축압축시험을 수행하였다. 본 연

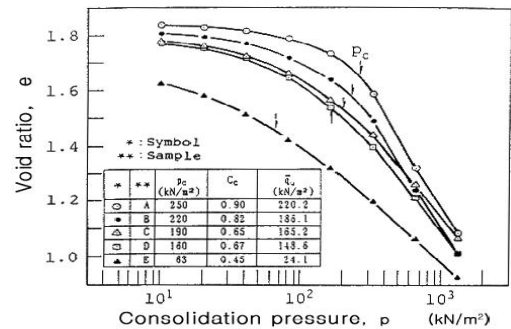
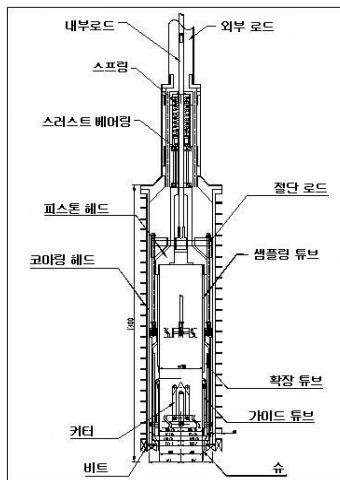


그림 2. 시료교란에 따른 압밀곡선(Shogaki 등, 1996)



(a) KICT형 대구경 샘플러



(b) KICT형 대구경 샘플러의 개략도



(c) NX size 샘플러

그림 3. 각 샘플러의 모습

구에서 실험한 채취지역은 심도 5m 이상 깊이에 점토층이 존재하지 않아 대심도 점토의 교란도 평가를 수행하지 않았다.

4. 시험 결과 및 고찰

4.1 채취시료의 기본 물성치

채취된 시료의 기본 물성시험은 세 지역 모두 동일 조건하에서 수행하였으며 표 3과 같다.

4.2 표준압밀시험결과

본 연구의 표준압밀시험 결과는 표 4에 요약하였다. 여기서 선행압밀하중(p_c)은 Casagrande에 의한 방법을 사용하여 도출하였다.

그림 4는 각 지역에서의 표준압밀시험의 결과로 작성한 압밀곡선을 나타낸다.

교란도의 평가를 위해 선행압밀응력을 비교하여 보면 심도가 다른 청라지구를 제외하고 두 지역에서 대구경 샘플러가 NX size 샘플러에 비해 약 12~22%, 초기간극비는 세 지역 모두 10% 이상 크게 평가되었다. 이를 통하여 대구경 샘플러가 NX size 샘플러보다 교란이 적게 된다는 사실을 알 수 있고 대구경 샘플러 시료와 NX size 샘플러 시료, 재생형 시료를 비교한 그림 4의 압밀곡선의 개략적인 형태에서도 교란이 미치는 영향을 확인할 수 있다.

4.3 일축압축시험결과

대구경 샘플러와 NX size 샘플러로 채취한 영중도와 평

표 1. 각 샘플러의 제원 비교

샘플러 종류	내경(mm)	높이(mm)	샘플러 두께(mm)
KICT형 대구경 샘플러	225	400	10
NX size 샘플러	73.8	850	1.0

표 2. 불교란 채취시료 시험내용

채취지역	영중도	평택항		인천청라지구				
		대구경	NX size	대구경	NX size	대구경	NX size	재생형
심도(m)		3	3	3	3	4	5	-
시험 유형	표준압밀시험	○	○	○	○	○	○	○
	일축압축시험	○	○	○	○	○	○	○
	삼축압축시험(D=50, H=100mm)	○	○	○	○	○	○	○
	대형삼축압축시험(D=100, H=200mm)	○	○	○	○	○	○	○

표 3. 각 시료의 기본 물성치

채취지역	영중도		평택항		인천청라지구		
	대구경	NX size	대구경	NX size	대구경	NX size	재생형
심도(m)	3	3	3	3	4	5	-
비중, G_s	2.72	2.72	2.72	2.72	2.69	2.69	2.69
자연함수비(%)	45	39	58.2	55.3	40.9	36.7	34.5
액성한계, w_l (%)	30.7	30	44.2	44.2	32.4	39.5	32.4
소성한계, w_p (%)	24.3	23.8	26.6	26.6	23.2	21.2	23.2
소성지수, PI (%)	6.4	6.2	17.6	17.6	9.3	18.4	9.3
통일분류법	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL

표 4. 각 지역에서 채취한 시료의 압밀정수

채취지역	영중도		평택항		인천청라지구		
	대구경	NX size	대구경	NX size	대구경	NX size	재생형
심도(m)	3	3	3	3	4	5	-
선행압밀응력, p_c (kPa)	58	51	58	45	66	90	75
초기간극비	1.3	1.245	1.66	1.49	1.12	0.96	1.09
압축지수(C_c)	0.284	0.332	0.485	0.478	0.218	0.262	0.183

택항의 일축압축결과는 표 5와 같이 도출되었다. 여기서 인천청라지구의 부족한 채취시료의 양으로 인하여 일축압축시험을 생략하게 되었다. 영종도 채취시료의 경우 대구경시료의 일축압축강도는 NX 시료에 비하여 30% 이상 큰 값을 나타내고 있으며 청라지구의 경우에는 NX 시료의 채취심도가 깊은데도 불구하고 대구경시료보다 훨씬 작은 강도를 나타내고 있다.

그림 5는 Horiuchi 등(1987)에 의한 방법에 따라 일축압

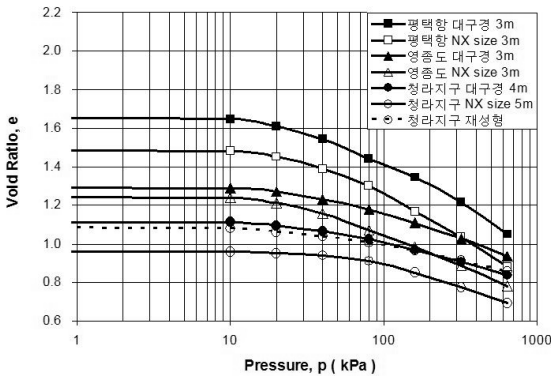


그림 4. 각 지역 시료의 $e - \log p$ 곡선

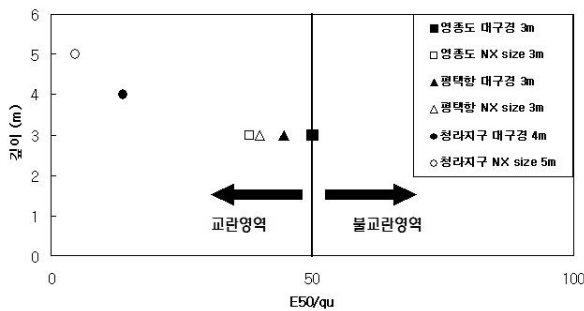


그림 5. Horiuchi(1987)의 방법에 의한 교란도 평가

표 5. 각 지역별 일축압축시험 결과

채취지역	영종도		평택항		청라지구		
	대구경	NX size	대구경	NX size	대구경	NX size	재성형
심도(m)	3	3	3	3	4	5	-
일축압축강도, q_u (kPa)	24.3	18	36.06	35.14	30.06	13.76	12.23
파괴시변형, ϵ (%)	5	8	4	7	7	8	9
E_{50}/q_u	50	38	44.6	40	16.67	4.67	-

표 6. 삼축압축시험을 통한 각 지역별 채취시료의 강도정수 비교

채취지역	영종도		평택항		인천청라지구		
	대구경	NX size	대구경	NX size	대구경	NX size	재성형
심도(m)	3	3	3	3	4	5	-
c' (kPa)	15.19	12.52	0.85	6.6	3.48	35.16	1.52
ϕ' (°)	24.92	23.48	28.9	25.6	37.56	21.39	38.18

축시험 결과를 이용하여 교란도를 분석한 것이다. 영종도, 평택항, 청라지구 지역에서 채취한 시료 모두 교란이 되었다고 평가할 수 있으나 대구경 샘플러 시료가 NX size 샘플러 시료보다 불교란 영역에 가깝다는 것을 확인할 수 있다.

4.4 삼축압축시험결과

본 연구에서는 간극수압을 고려한 압밀-비배수시험(CU - Test)을 실시하여 각 지역별 채취시료의 강도정수를 표 6에 정리하였으며 Mohr-Coulomb 파괴 포락선을 이용하여 그림 6과 같이 강도정수를 비교하였다.

삼축압축시험을 통한 교란도 평가를 위하여 강도정수 값을 이용하였고 그 중에서 ϕ' 에 중점을 두고 교란도를 분석하였다. 표 6에서 나타난 바와 같이 지역마다 편차는 있지만 모든 지역에서 대구경 샘플러로 채취한 시료의 마찰각 값이 NX size 샘플러로 채취한 시료보다 영종도에서는 6%, 평택항에서는 13% 더 크게 평가되었다. 인천청라지구의 경우 5m 심도에서 채취한 NX size 샘플러에 실트질 모래가 혼합되어 점토 공시체의 길이 부족으로 2회의 실험을 수행하였다. 2회의 실험결과로 회귀분석을 함으로 인하여 점착력이 크게 나타나고 마찰각이 작은 값을 나타내어 대구경 시료와 마찰각의 차이가 크게 나타났으나 추가시험이 수행되어 3개의 모어원을 분석하였다면 마찰각의 차이는 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 그럼에도 불구하고 마찰각의 차이는 타지역과 유사한 결과, 즉 NX size 시료는 대구경시료보다 작은 마찰각을 나타낼 것으로 예상할 수 있다.

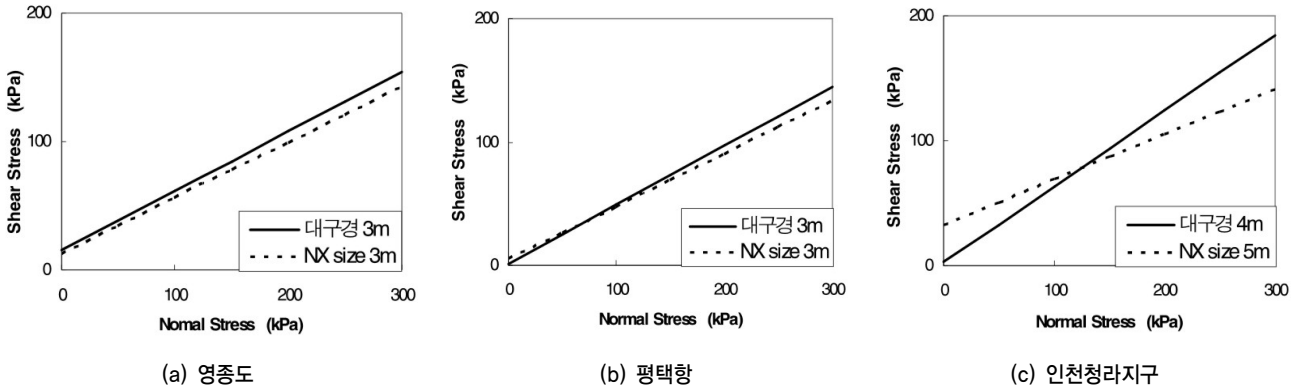


그림 6. 각 지역별 Mohr-Coulomb 파괴포락선

5. 결 론

본 연구에서는 한국기술연구원에서 개발된 KICT형 대구경 샘플러 개량 모델과 기존의 NX size 샘플러를 사용하여 영종도, 평택항, 인천청라지구의 불교란 시료를 채취하여 채취 방식에 따른 교란도를 평가하기 위해 기본 물성 시험 및 표준압밀시험, 일축압축시험, 삼축압축시험 등의 실내시험을 수행하여 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

- (1) 표준압밀시험 결과 동일한 심도에서 채취된 불교란 시료는 대구경 샘플러로 채취한 시료가 NX size 샘플러보다 선형압밀응력은 12~22% 더 크게, 초기간극비는 지역적 편차가 있지만 모두 10% 이상 크게 평가되었다. 또한 동일한 조건에서 청라지구의 불교란 시료와 재성형 시료의 비교 결과 압밀특성의 차이점이 뚜렷하게 나타났다.
- (2) 일축압축강도를 Horiuchi 등(1987)이 제안한 교란도 평가 방법을 사용하여 분석한 결과 대구경 샘플러와 NX size 샘플러 모두 다 교란을 수반하는 양상을 보였지만 대구경 샘플러가 불교란 영역 방향에 더 가까이 있음을 확인할 수 있다.
- (3) 삼축압축시험에서 각 지역의 강도정수를 파악하여 ϕ' 값을 비교하여 교란도 분석을 수행한 결과 대구경 샘플러로 채취한 시료의 ϕ' 값이 6~43% 더 크게 평가되었다.
- (4) 본 연구에서 수행하였던 모든 시험결과 대구경 샘플러의 시료 교란방지에 대한 우수성을 입증하였다. 하지만 보다 더 정확한 시험결과를 위해 많은 수의 현장시

험과 실내시험을 병행하고 다양한 심도에서 채취한 시료에 대한 평가가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설교통기술연구개발사업의 일환으로 한국건설기술연구원의 건설핵심기술연구개발사업(05 건설핵심C06)으로 이루어진 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 김영진, 김현민(2003), 피스톤 샘플러와 대구경 샘플러로 채취한 시료의 특성에 관한 연구, *대한토목학회 논문집*, 제23권 제2C호, pp. 71~77.
2. 손호용, 정교철(2000), 지반조사 및 토질시험 결과해석과 적용, *엔지니어즈*, 제 14-128호, pp. 102~110.
3. Horiuchi, T. et al.(1987), Evaluation of sample quality by thin-wall sampling tube, *Proceeding of the 8th Asian Regional conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 1. pp. 41~44.
4. Jamiolkowski, M.B., Ladd, C. C., Germaine, J. T., and Lancellotta, R.(1985), Recent Developments in Laboratory and Field Testing, Theme Lecture No. 2, *Proceeding of the XI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, Calif., Vol. 1, pp. 57~153.
5. Mori, H.(1979), State of the art on current practice of soil sampling, *Proceedings of the International Symposium of Soil Sampling*, Singapore.
6. Shogaki, T.(1996), A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain, *Soil and Foundation*, Vol. 36 No. 3, pp. 123~131.

(접수일: 2007. 11. 22 심사일: 2007. 11. 22 심사완료일: 2007. 12. 17)