

## 연약 점성토의 시료채취방법에 따른 시료교란도의 영향에 관한 연구 A Study on the Disturbance Effects with Sampling Methods of Soft Clay

박춘식<sup>1)</sup>, Park, Choon-Sik, 장정욱<sup>2)</sup>, Jang, Jeong Wook, 김종환<sup>3)</sup>, Kim, Jong Hwan

<sup>1)</sup> 창원대학교 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon Univ.

<sup>2)</sup> 창원대학교 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon Univ.

<sup>3)</sup> 창원대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Changwon Univ.

**SYNOPSIS** : We have employed two methods to remove slime at the end of the sampler in clay layers. The first method is a sampling process that harnesses low pressure to clean up the ground around the sampler tip. The second method, in consideration of a disturbed layer, involves a technique of inserting the sampler 50 cm deep into the ground before cleaning up the verge of the sampler by using high pressure. Physical and mechanical properties of these two methods have been compared and analyzed to investigate how different sampling methods affect degree of disturbance. The first method shows little disturbance since the unconfined compression test results in quite greater  $E_{50}/q_u$  in the first method than in the second method. On the other hand, the consolidation test results in a slightly greater compression index in the second method than in the first method, when their indexes are compared in the same depth. This suggests that the second method demonstrates less disturbance than the first method does.

It is assumed that the second method may reduce disturbance slightly. However, we suspect that choosing any of the two methods would not obtain a considerable difference in sampling.

**Key Words** : compression index, disturbance, sampling methods, standard consolidation test  
unconfined compression test

### 1. 서 론

실내에서 토질시험을 실시하기 위하여 현재 여러 가지 방법에 의해 샘플링을 실시하여 불교란시료를 얻고 있으나, 시료의 샘플링 방법에 따라 교란도가 다르고 그에 상응하여 실내 시험에서 얻어지는 지반 특성이 실제와 다르게 나타날 수 있으므로, 시험값들에 대한 신뢰성의 문제가 제기되고 있다. 한편, 현장 보오링을 통해 채취되는 불교란 시료에 대한 시료의 교란도를 정량적으로 파악하기 힘들므로 교란도를 고려한 토질정수를 정확히 파악하기도 쉽지 않다. 따라서 실내시험에서 얻어지는 시험값들에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 샘플링 방법에 따른 교란도의 상호 관계를 파악하는 것이 필요하다.

현재 여러 가지 샘플러 중에서 신월 튜브샘플러(thin-walled tube sampler)가 가장 많이 사용되고 있다. 우리나라에서는 종전에는 고정 피스톤식 샘플러가 사용되었지만 최근에는 수압 피스톤식 샘플러의 사용이 늘고 있는 추세이며, 일본에서는 일본 지반공학학회의 기준에 고정 피스톤식 샘플러를 사용할

것을 엄격하게 규정하고 있다. 그리고 이 외에도 세계 여러 나라들이 자국에 맞는 샘플러를 개발하거나 사용 중에 있다. 샘플러의 종류가 다양한 만큼 채취된 시료의 토질시험 결과도 샘플러의 구조와 시료채취 기술에 따라 큰 차이를 나타내게 된다. 따라서, 여러 샘플러로부터 얻어진 시료의 품질평가에 관한 연구자료들을 충분히 비교, 검토해 둘 필요가 있다.

본 연구는 수압 피스톤식 샘플러를 사용하여 점토층의 시료를 채취할 때 선단의 슬라임을 제거하기 위하여 저압을 사용하여 선단지반을 정리하여 시료를 채취하는 방법(이하 A시료)과, 선단부분의 지반이 교란되었을 가능성이 크므로 미리 50cm정도를 지반에 관입시켜 고압을 사용하여 선단지반을 정리하여 시료를 채취하는 방법(이하 B시료) 두가지 시료를 비교하였다. 이를 위해 부산 신항만 복컨테이너 터미널 배후부지 조성사업지구의 연약지반에서 76mm(NX Size) 수압 피스톤식 샘플러를 사용하여 시료를 채취한 후, 각각의 물리적·역학적 특성을 비교·분석하였다. 실내시험으로는 기본적 물리시험 외에 압밀시험과 일축압축시험을 실시하였다.

## 2. 시료교란의 원인

점성토 시료는 시료채취 과정에서는 교란이 필연적으로 발생하게 되며 Jamiolkowski et al(1985)는 표 1과 같이 시료 교란에 대한 원인을 분류하였다.

표 1 시료 교란의 원인 (Jamiolkowski et al, 1985)

조건	항목	비고
응력해방	천공에 의한 응력변화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이수를 사용하지 않음으로서 연직응력의 과도한 감소와 큰 인장변형 유발</li> <li>· 큰 천공압력이 과잉 압축변형 유발</li> </ul>
	현장초기 선단응력의 제거	결과로 발생하는 선단변형률은 일반적으로 작음
	구속응력의 제거	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조립토의 존재로 인한 부의 간극수압의 손실</li> <li>· 기포나 용해된 가스의 팽창</li> </ul>
시료 채취과정	샘플러의 기하형태	이 변수들은 다음에 영향을 미침 : <ul style="list-style-type: none"> <li>· 회수율</li> <li>· 시료벽면을 따른 부착</li> <li>· 내부벽면을 따라 교란된 영역의 두께</li> </ul>
	샘플러 추진방법	타격법보다 연속적인 압입방법이 좋음
	시료 회수방법	시료의 바닥에서 suction효과를 제거하기 위해 진공 제거필요
핸들링 과정	운반	충격, 기온변화등을 피할 것
	저장	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 박테리아 성장을 최소화하기 위해 현장 온도로 저장</li> <li>· 샘플링 튜브와의 화학적 반응을 피할 것</li> <li>· 저장 시간이 장기화하면 간극수의 이동증가</li> </ul>
	시료추출과 성형등	· 추가적인 변형이 없도록 주의

또한 튜브 샘플링시 작업단계별로 교란에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다.

- ① 시추작업중에 시추가 진행되는 전반에서의 흙구조의 변화
- ② 채취관의 관입 및 지상으로의 배출
- ③ 튜브내에서의 함수비의 재분배
- ④ 튜브로부터 시료추출
- ⑤ 시료추출 후에 발생하는 간극수압의 변화 및 건조
- ⑥ 실내시험을 위해 시편을 준비하는 과정에서 요구되는 행위 및 시료성형

이 외에도 특수한 경우로써 깊은 해성점토에서 용해된 가스의 배출, 해머채취기에 의한 충격, 이동, 그리고 화학적 및 생물 화학적으로 활동이 왕성한 지반에서의 온도변화 등이다.

이들 요인은 시료채취과정에서 불가피하게 일어나는 교란과 기술자 의존적인 교란으로 분류할 수 있다. 전자는 앞의 ②, ③, ④에 해당하며 교란정도를 감소시킬 수가 없는 반면에, 후자는 ①, ⑤ 및 ⑥에 해당되며 숙련된 기술자의 세심한 취급에 의하여 감소시킬 수 있다.

교란이 일어나는 원인은 또 다음과 같이 시료채취전, 채취중 및 채취후로 나눌 수 있다.

- ① 채취전 : 응력 해방, 팽창, 다짐, 치환, 바닥히빙, 파이핑, 공백붕괴
- ② 채취중 : 응력 해방, 재성형, 치환, 파쇄, 슈 부분에 있는 돌, 혼합 또는 분리, 회수실패
- ③ 채취후 : 응력해방, 시료중의 간극수의 이동, 수분증발, 동결, 과열, 진동, 화학변화, 추출시 교란

이와 같은 교란들은 크게 응력변화로 인한 교란과 기계적인 교란으로 나눌 수 있다.

응력변화로 인한 교란은 시료채취를 위하여 케이싱이나 채취기를 압입할 때 하부지반의 교란(Hvorslev, 1949), 시료 채취 시에서부터 시험직전의 응력변화로 인한 교란(Ladd and Lambe, 1963)이 있다.

기계적인 교란에 대해서 Baligh(1985), Siddique(1990), Hopper(1992)등은 튜브내로 시료가 관입될 때 발생하는 변형을 연구하였다. 시료가 시료채취기에 접근함에 따라 압축변형이 발생하였다가 시료채취기 내로 들어가면 다시 인장변형이 발생하고, 최대변형이 발생하였다가 다시 감소한다고 하였다. 변형의 크기는 샘플러의 두께비(직경/관의 두께)에 따라 결정된다. 또한 La Rochelle 등(1987)은 잘 설계된 샘플러 슈의 선단형상은 시료교란을 크게 감소시킨다고 하였다. Height et al(1986, 1988, 1992)은 시료의 교란은 주로 관벽에 가까운 부분에서 생기고, 샘플러의 직경이 크면 교란이 적게 발생한다고 하였다. Bundhu(1991), 이영생(1996)은 시료채취과정을 FEM해석으로 시뮬레이션하여 주로 관벽 주변에서 교란으로 인한 변형이 발생한다고 하였다.

그리고 Clayton et al(1995)는 채취후의 교란을 다음과 같은 다섯 가지로 분류하였다.

- ① 수분 손실에 의한 영향
- ② 시료 내에서 수분의 이동으로 인한 영향
- ③ 동결의 영향
- ④ 진동과 충격의 영향
- ⑤ 화학 변화로 인한 영향

### 3. 시료의 물리적 특성

본 연구에 사용된 시료는 부산 신항만 북컨테이너 터미널 배후부지 조성사업지구의 연약지반에서 76mm(NX Size) 수압 피스톤식 샘플러를 사용하여 시료를 채취하였다. 각각의 물리적 특성을 표 2에 나타내었다.

표 2. 시료의 물리적 특성

토질특성 \ 시료	A 시료	B 시료
자연함수비(%)	58.8~66.9	58.6~72.5
비중	2.692~2.711	2.704~2.712
액성한계(%)	43.5~60.0	47.6~62.5
소성지수(%)	17.0~28.6	19.9~25.5
초기간극비	1.647~1.773	1.649~1.984
#200체 통과량(%)	95.8~99.5	89.4~99.5
흙의 분류	ML, MH	CL, MH

표 2에서 알 수 있듯이 본 연구에 사용된 점토시료의 함수비는 A시료의 경우 58.8~66.9%의 범위를 가지며 B시료의 경우는 58.6~72.5%의 범위를 가져 자연함수비는 두 시료가 그다지 차이가 나지 않는다. 또한, 두 시료 모두 심도의 증가에 따라 함수비가 증가하는 경향을 나타내었다. 액성한계는 A시료의 경우 43.5~60.0%의 범위를 가지며 심도의 증가에 따라 일정한 경향을 보이지 않았으나 심도가 가장 깊은 22.4m에서 액성한계값이 가장 크게 나타났다. B시료의 경우는 액성한계값이 47.6~62.5%의 범위를 가지며 심도의 증가에 따라 액성한계값도 증가하였다. 소성지수는 A시료의 경우 17.0~28.6%의 범위를 가지며 B시료의 경우는 19.9~25.5%의 범위를 나타내었다. 한편, 두 시료 모두 #200체 통과량이 한 시료를 제외하고는 95%이상으로 대부분의 입자들이 점토로 구성되었고 통일분류법에 의하면 A시료는 ML, MH로, B시료는 CL, MH로 분류된다.

## 4. 역학적 특성

### 4.1 일축압축시험 성과 비교

A시료와 B시료의 심도에 따른 일축압축강도의 비교를 위해 일축압축시험을 실시하여 그림1에 그 결과를 심도별로 정리하였다. 심도의 증가에 따라 A,B시료 모두 일축압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이 그림에서 같은 심도에서 샘플링 종류에 따른 시료의  $E_{50}$ 과  $q_u$ 값의 크기 차는 이렇다할 경향이 보이지 않는다. 또한 A시료와 B시료의  $E_{50}$ 과  $q_u$ 값의 크기 차도 뚜렷한 차이가 없다. 그러나 전반적으로 A시료의 경우가 B시료의 경우보다 피크 시의 축변형률  $\epsilon_f$  값이 작고, 압축강도의 피크점도 비교적 뚜렷하다고 말할 수 있다. 한편, 교란의 정도를 비교할 수 있는 탄성계수와 일축압축강도와의 비( $E_{50}/q_u$ )는 그림2(오른쪽 그림은 B시료를 1로 했을 때의 비)에서 알 수 있듯이 한군데 심도(심도 22.4m)를 제외하고는 A시료의 경우가 B시료의 경우보다 뚜렷이 큰 것으로 나타나 시료의 교란성이 적음을 알 수 있다. Horiuchi 등(1987)은 탄성계수와 일축압축강도와의 비  $E_{50}/q_u$ 가 50보다 적으면 교란시료이고, 50보다 크면 불교란 시료라고 시료교란여부를 평가하였는데 그림2에서 나타났듯이 B시료의 경우는 모든 심도에 걸쳐 50보다 작아 교란된 시료라고 판단되고, A시료의 경우는 심도 4.4m, 10.4m, 22.4m 세 시료가 50보

다 작아 교란된 시료라고 판단되나 심도 16.4m는  $E_{50}/q_u$ 가 50보다 커 불교란 시료라고 판단된다. 따라서 A방법에 의한 시료가 B방법에 의한 시료보다 약간 교란이 덜 발생한다고 사료된다.

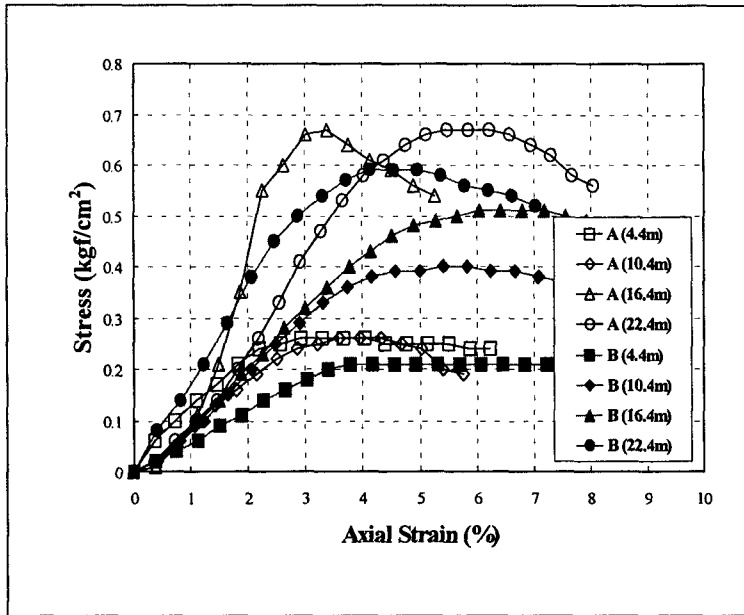


그림 1. 일축압축시험에 의한 응력-변형률의 심도별 형태

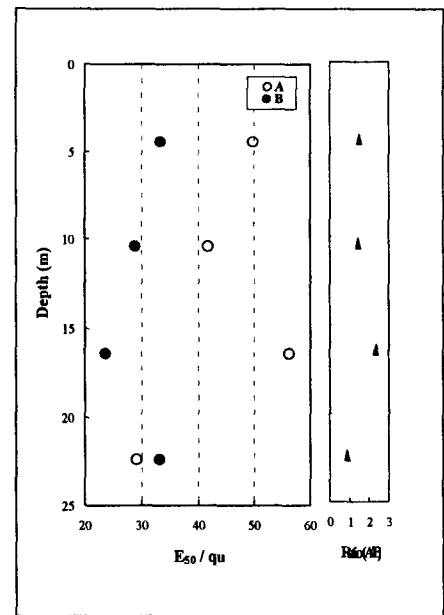


그림 2.  $E_{50}/q_u$  값의 심도 분포

#### 4.2 표준압밀시험 성과 비교

A시료와 B시료에 대하여 표준압밀시험(Standard Consolidation Test)을 실시하여 그 결과를 표3에 나타내었다.

표 3. 표준압밀시험에 의한 각종 토질특성

토질특성 \ 시료	A 시료	B 시료
초기간극비	1.647~1.773	1.649~1.984
압축지수	0.577~0.802	0.585~0.978
압밀계수( $cm^2/sec$ )	$2.65 \times 10^{-3} \sim 1.62 \times 10^{-4}$	$3.68 \times 10^{-3} \sim 1.75 \times 10^{-4}$
투수계수( $cm/sec$ )	$3.70 \times 10^{-7} \sim 2.06 \times 10^{-9}$	$3.74 \times 10^{-7} \sim 2.59 \times 10^{-9}$
선행압밀압력( $kgf/cm^2$ )	0.316~1.720	0.399~1.414
체적변화계수( $cm^2/kgf$ )	$1.41 \times 10^{-1} \sim 1.27 \times 10^{-2}$	$9.98 \times 10^{-2} \sim 1.15 \times 10^{-2}$

그림 3은 표준압밀시험에 의한 압밀곡선을 심도별로 나타낸 것이다. 이 그림에서 같은 심도별로 비교를 해보면 모든 심도에서 A시료의 경우가 B시료의 경우보다 초기간극비가 작은 값을 나타내었으며, 임의 하중에 대해서도 A시료의 경우가 B시료의 경우보다 간극비가 작은 값을 나타내었다. 이러한 사실은 시료교란에 의한 영향이 압밀곡선에 영향을 미쳐 나타난 결과라고 판단된다. 또한 심도별 압축지수값은 심도의 증가에 따라 A,B시료 모두 증가하는 경향을 나타내었고, 압축지수는 A시료는 0.577~0.802이었고, B시료는 0.585~0.978이었다. 같은 심도에서 압축지수 값을 비교해 보면 B시료가 A시료보다 약간 컸다. 이는 B시료가 A시료보다 교란의 정도가 심하지 않다는 것을 나타낸다. 이 결과는 앞의 일축압축강도값의 비교 결과와 상반되는 결과이다.

선행압밀압력은 A시료의 경우는 0.316~1.720 kgf/cm<sup>2</sup>, B시료의 경우는 0.399~1.414 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 조사되었다(그림 4참조). 이 그림으로부터 동일한 심도에서의 선행압밀압력은 최소 10%에서 최대 25%의 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 선행압밀압력에서의 A/B의 비는 얇은 심도에서는 1.0보다 작았지만 깊은 심도에서는 1.0보다 컸다. 하지만 표준압밀시험에서 얻어진 선행압밀압력은 그 값을 구하는 사람에 따라서 달라질 수 있으므로 이 결과를 이용해서 교란에 관한 어떠한 경향을 말하기는 힘들 것으로 생각된다.

그림 5의 압밀계수 및 투수계수의 경우는 대체적으로 A시료의 경우가 B시료의 경우보다 압밀계수 및 투수계수가 작다. 압밀계수 및 투수계수가 작은 경우는 시료교란에 의해 유로가 길어져서 압밀속도가 느려졌기 때문이라고 판단된다.

그리고 그림 6의 하중 증분에 대한 간극비의 감소를 나타내는 체적변화계수는 재하응력이 선행압밀응력보다 작은 경우에는 A시료의 경우가 크게 나타났으며, 선행압밀응력 이상에서는 비슷한 값을 보인다. 이는 초기 선행압밀응력 이하에서는 시료가 교란의 영향을 많이 받았지만 선행압밀하중을 초과하는 하중하에서는 시료교란에 의한 영향이 상당히 줄어드는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

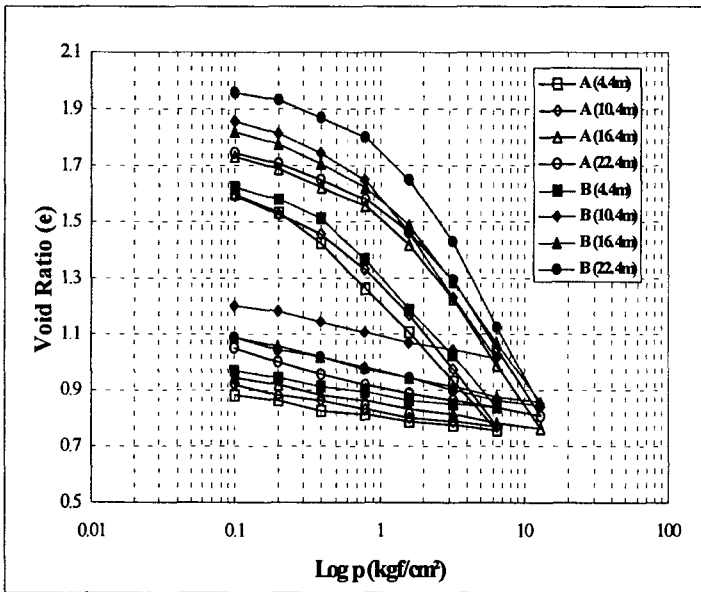
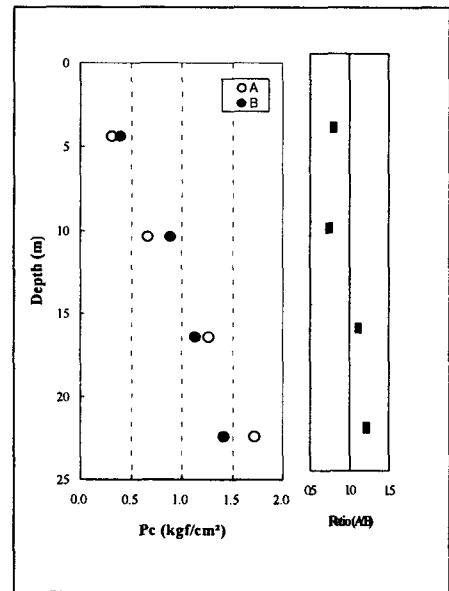


그림 3. 샘플링방법에 따른 압밀곡선의 비교



4. 샘플링방법에 따른 선행압밀압력의 비교

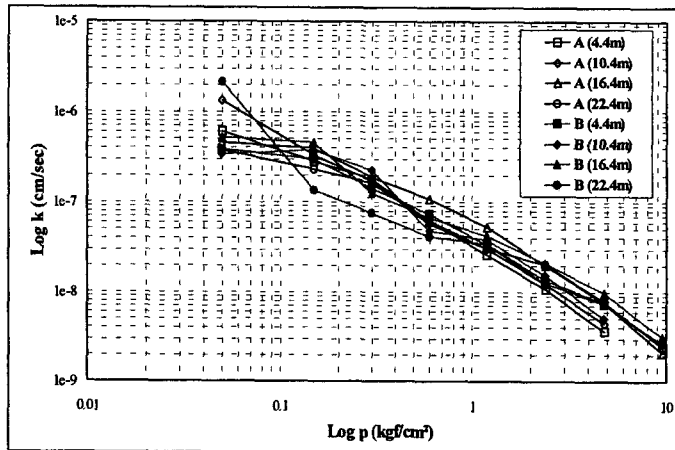
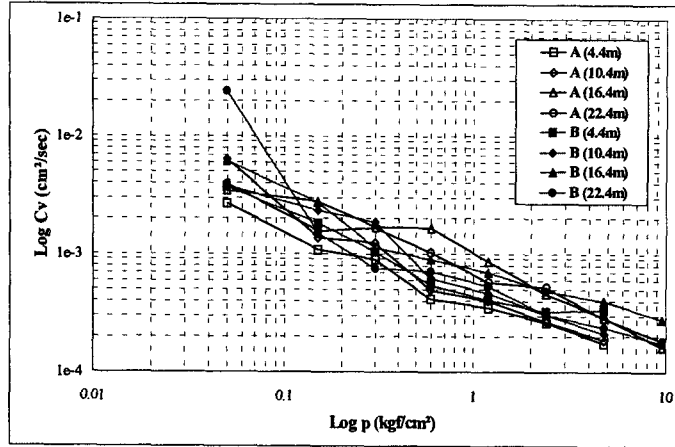


그림 5. 샘플링방법에 따른 압밀계수 및 투수계수의 비교

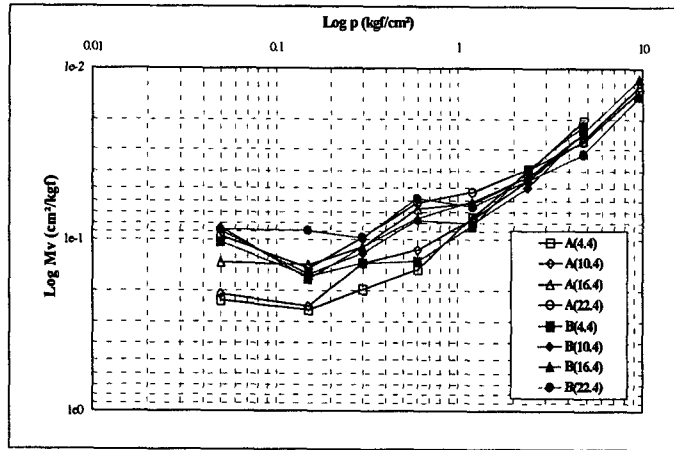


그림 6. 샘플링방법에 따른 체적변화계수의 비교

## 5. 결 론

부산 신항만 북컨테이너 터미널 배후부지 조성사업지구 현장의 점성토 시료에 대한 채취방법에 따른 시료의 교란도에 관한 연구결과로부터 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 점토층의 시료를 채취할 때 선단의 슬라임을 제거하기 위하여 저압을 사용하여 선단지반을 정리하여

시료를 채취하는 방법(이하 A시료)과, 선단부분의 지반이 교란되었을 가능성이 크므로 미리 50cm정도를 지반에 관입시켜 고압을 사용하여 선단지반을 정리하여 시료를 채취하는 방법(이하 B시료) 두가지 시료의 일축압축시험 결과로부터 교란의 정도를 비교할 수 있는 탄성계수와 일축압축강도와의 비( $E_{50}/q_u$ )는 A시료의 경우가 B시료의 경우보다 뚜렷이 큰 것으로 나타나 시료의 교란성이 적었다.

2) 심도의 증가에 따라 A,B시료 모두 일축압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다.

3) 압밀곡선에서 A시료의 경우가 B시료의 경우보다 초기간극비가 작은 값을 나타내었으며, 임의 하중에 대해서도 A시료의 경우가 B시료의 경우보다 간극비가 작은 값을 나타내었다. 이러한 사실은 시료교란에 의한 영향이 압밀곡선에 영향을 미쳐 나타난 결과라고 판단된다.

4) 심도별 압축지수값은 심도의 증가에 따라 A,B시료 모두 증가하는 경향을 나타내었다

5) 같은 심도에서 압축지수 값을 비교해 보면 B시료가 A시료보다 약간 컸다. 이는 B시료가 A시료보다 교란의 정도가 심하지 않다는 것을 나타낸다. 이 결과는 앞의 일축압축강도값의 비교 결과와 상반되는 결과이다.

6) 결론적으로 B방법으로 시료를 채취하는 것이 교란의 정도를 약간 줄일 수 있다고 판단되나, 그 차이가 미미하여 시간적, 경제적 여건을 감안하여 두가지 방법 중 어느 한가지 방법을 선택하여도 그다지 큰 차이는 나지 않으리라고 판단된다.

7) 두가지 방법 모두 채취과정 중 시료의 교란을 피할 수는 없다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 박성재, 오원택, 정경환(2002) “종류가 다른 샘플러로 채취된 점성토의 토질특성에 관한 연구” **지반5월호 기술기사**, pp.12~21.
2. 배종건, 이만기, 백승훈, 정성교(2000) “시료채취기의 직경에 따른 해성점토의 압축특성에 대한 비교 연구” **대한토목학회 2000년 학술발표회논문집**, pp.177-180.
3. 이용길, 이영남(1998) “채취방법에 따른 시료의 교란도와 특성변화에 대한 연구” **대한토목학회논문집**, Vol.18, No.3-5, pp.699-709.
4. 장민철, 팽정민, 정성교, P.H.Giao(2000) “양산점토의 불균질성에 따른 시료교란의 영향” **대한토목학회 2000년 학술발표회논문집**, pp.251-254.
5. 장찬수, 윤원섭, 홍진희(2002) “연약점토 시료채취 및 시료교란의 개선” **ISSMGE ATC-7 SYMPOSIUM**, pp.73-78.
6. Jamiolkowski, M.B., Ladd, C.C., Germaine, J.T., and Lancellotta, R.(1985) “Recent Developments in Laboratory and Field Testing” *Theme Lecture No.2, Proceedings of the XI International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering San Francisco, Calif., Vol.1*, pp.57-153.
7. Okumura, T.(1971) “The variation of Mechanical properties of clay samples depending on its degree of disturbance” *Proceedings of the Special Session on Quality in Soil Sampling, 4th Asian Conference, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangkok*, pp.73-81