한국지반공학회논문집 제22권 12호 2006년 12월 pp. 57 ~ 65

낙동강 하구지역 부산점토의 퇴적환경에 따른 압축특성

Compressibility Characteristics Associated with Depositional Environment of Pusan Clay in the Nakdong River Estuary

정 성 교[1] Chung, Sung-Gyo　　장 우 영[2] Jang, Woo-Young

E. Ninjgarav[3]　　류 춘 길[4] Ryu, Chun-Kil

Abstract

In the Nakdong River estuary soft and thick clay, which called Pusan clay, are deposited. Despite a number of great reclaimed projects that have been performed in the area, the consolidation settlement and time have been significantly underestimated due dominantly to sample disturbance, since the last decade. In order to resolve the underestmation, it was necessary to examine the compressibility characteristics through a systematic geotechnical investigation on the clay. In this study an advanced sampling technique was adopted on two sites chosen along the coastline, and then oedometer testing and geological investigation were performed for the undisturbed and reconstituted samples. As the results, the compressibility parameters of the clay were representatively determined, as well as their correlation. Particularly the effects of depositional environment on the physical indexes, level of structure, sample disturbance and compressibility parameters were analyzed for the clay.

요 지

낙동강 하구지역에는 부산점토라고 불리는 연약점토가 두텁게 분포하고 있다. 과거 10년 동안에 대단위 지반개량 사업이 수행되어 왔지만, 주로 시료교란 때문에 압밀침하량과 시간을 아주 과소평가하여 왔었다. 이를 극복하기 위하여 부산점토에 대한 체계적인 지반조사에 의하여 압축특성을 규명할 필요가 요구되었다. 따라서 본 연구에서는 해안지역의 두 현장에서 개선된 시료채취기술을 적용하여 얻어진 시료에 대하여 지질조사, 불교란 및 교란 시료에 대한 압밀실험이 수행되었다. 이 결과를 이용하여 각종 압축정수의 산정과 그들의 상관성을 규명하였으며, 특히 퇴적환경에 따라 물리적 특성, 구조수준, 교란도 및 압축정수의 변화를 분석하였다.

Keywords : Correlation, Depositional environment, Level of structure, Pusan clay, Compressibility

1. 서 론

낙동강 하구일대에 폭넓게 분포하고 있는 연약지반에서는 신항만, 산업 및 주거단지 개발이 1990년대부터 본격화 되었다. 또한 2000년대에 들면서 이 지역은 개발제한구역의 조정에 따라 김해평야를 중심으로 한

1 정회원, 동아대학교 토목공학부 교수 (Member, Prof., Dong-A Univ., School of Civil Engrg.)

2 정회원, 동아대학교 건설기술연구소 특별연구원 (Member, Researcher, Institute of Construction Technology and Urban Planning, Dong-A Univ., jwy1357@hanmail.net, 교신저자)

3 전 동아대학교 토목공학부 박사과정생, 몽골 울람바트 공과대학 토목공학과 조교수 (Associate Prof., Mongolian Univ. of Science and Technology)

4 동아대학교 건설기술연구소 전임연구원 (Researcher, Institute of Construction Technology and Urban Planning, Dong-A Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2007년 6월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

국제물류 및 산업단지로 거점 육성할 계획과 아울러 부산신항을 중심으로 한 경제특구로 지정됨에 따라 개발이 더욱 가속화되고 있다. 낙동강하구 일원에 분포하는 부산점토(평야부 및 해안지역의 점토를 통칭)는 20m ~ 70m의 두꺼운 퇴적층을 형성하고 있는 연약지반으로서, 이 지역에 도로, 단지조성, 항만 등의 사업을 위해 각종 구조물을 설치할 경우 예상보다 과대한 침하와 장기침하로 구조물의 안정성과 사용성에 큰 영향을 미치고 있다.

부산점토에 대한 지반공학적 연구는 1990년대 초부터 주로 동아대 지반공학연구실을 중심으로 수행되어 왔다 (Chung et al, 2001; 2002a; 2002b; 2002c; 2003a; 2003b; 2004a; 2004b). 이 연구에는 지질공학적 특성, 시료채취법 및 시료교란의 영향, 각종 현장 및 실내실험법, 결과의 보정 등을 포함하고 있다. 그럼에도 불구하고 삼각주 퇴적토가 갖는 공간적 불균질성과 시료교란 때문에, 부산점토의 지반공학적 특성을 명확히 밝히는 데에는 여전히 한계를 나타내고 있었다. 괄목할만한 연구결과로서, 이 지역에서 특히 문제가 되어왔던 압밀침하량과 소요시간의 과소평가(Chung, 1999)가 주로 시료교란에 의하여 비롯되었다고 분석되었다(Chung et al, 2003b). 그리고 국내 시료채취기술을 크게 개선하여 시료교란의 영향을 최소화할 수 있는 기술을 개발하기에 이르렀다(Chung, 2005). 따라서 개선된 시료채취기술에 의하여 채취된 점성토를 대상으로 문제가 되어왔던 압밀특성을 재 규명하는 것이 필요하며, 이는 지역적인 문제를 해결하기 위하여 역시 중요한 의미를 둘 수 있을 것이다. 더불어 압밀특성을 지질학적 특성과 연계하여 분석함으로써 위치 및 깊이에 따른 그들의 변화에 대한 이해를 높일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 부산점토의 압밀특성을 규명하기 위하여 낙동강 하구의 해안지역을 연구대상 현장으로 선정하였다. 개선된 시료채취기술에 의하여 연속적으로 불교란 시료를 채취하여 지질학적 분석, 물리적 및 압밀실험이 수행되었다. 이 결과를 바탕으로 점성토의 퇴적환경, 고결성, 각종 압밀정수가 분석되었으며, 또한 그들의 상관성을 규명하였다.

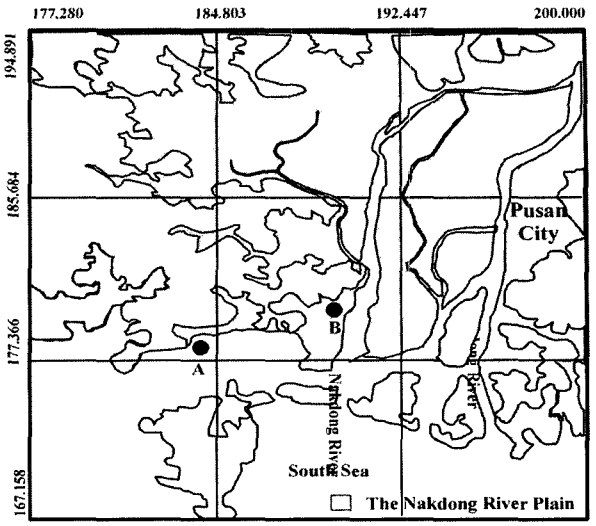


그림 1. 연구대상지반의 위치. A: 부산신항만(BNP), B: 화전(HJ)

2. 연구대상 현장 및 지질특성

2.1 조사위치 및 방법

시추조사 위치는 그림 1에서와 같이 부산신항(BNP)의 N-1과 화전산업단지 (HJ)의 BH-9이다.

불교란 시료채취를 위하여 다음과 같은 개선된 방법에 의하여 수행되었다. 115mm 직경의 케이싱과 200-400kPa의 수압에 의하여 굴진 하였으며, 동아 코어튜브에 의하여 200kPa보다 낮은 수압을 적용하여 슬라임을 제거하였다. 그리고 NX규격의 수압식 피스톤 샘플러로부터 불교란 시료를 채취하였다. 역학적 실험을 위한 시료는 튜브의 두 단면부에서 교란된 부분을 제거한 후에 사용하였다. 상세한 사항은 Chung(2005)의 연구에서 볼 수 있다.

3. 지질분석을 통한 퇴적환경

두 지역은 멀리 떨어져 있지 않지만 다음과 같이 다른 퇴적환경을 지니고 있다(Chung, 2005).

BNP지역의 시추공 N-1에서는 그림 2에 나타낸 것처럼 총 6개의 퇴적환경 단위로 구분된다. (a) 하구하도(Estuarine channel; 46.5~53.3m): 모래질로 구성되어 있으며, 육성환경과 가깝다. (b) 조간대(Intertidal flat; 31.6~46.5m): 하층부에 엽층리 니질과 상층부에 교호층리 모래질 니 퇴적상으로 구성되어 있다. 담수의 영향으로 10‰ 미만의 매우 낮은 염도를 보이고 패각편이 전혀 매장되지 않고 있다. (c) 대기노출(Subaerial exposure; 29.9~

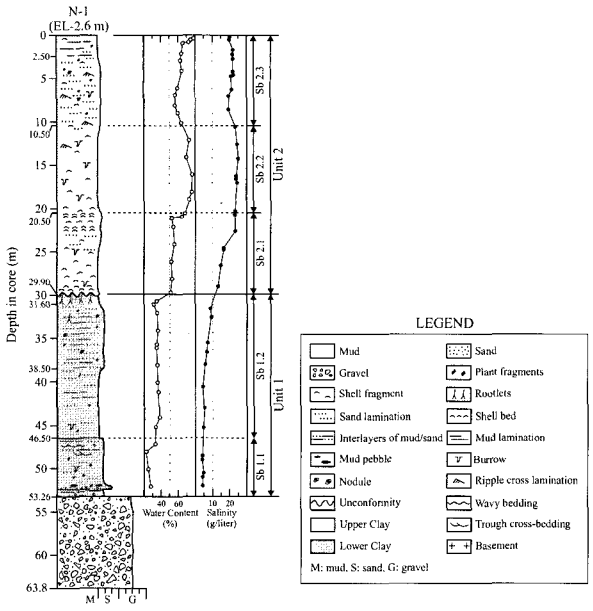


그림 2. BNP(N-1)지역의 퇴적환경 (Chung, 2005)

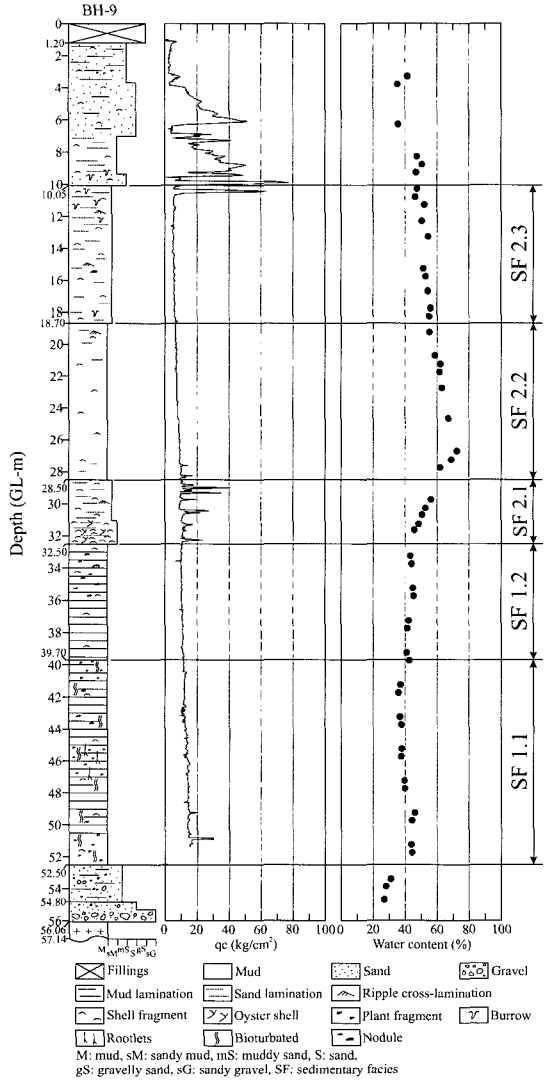


그림 3. HJ(BH-9)지역의 퇴적환경 (Chung, 2005)

31.6m): 퇴적 후에 해퇴 때문에 대기에 노출되어 육상환경을 나타내고 있으며, 녹회색 니 퇴적상으로 식물뿌리, 부분적 산화, 균열 및 니질 엽층리의 교란 등을 특징으로 가진다. (d) 연안환경(Nearshore; 20.5~29.9m): 해수면의 재상승으로 형성된 지층으로 패각편과 유공충이 풍부한 모래질 니 퇴적상이다. (e) 내대륙붕(Inner shelf; 10.5~20.5m): 모래 함량이 매우 적은 세립질의 균질한 입도 조성을 갖는 퇴적층이다. 가장 높은 함수비를 보이며 염도에 있어서도 가장 높은 범위를 갖는다. (f) 연안(Nearshore; 0~10.5m): 엽층리 모래질 니 퇴적상(facies Slsm)으로 구성되며, 다량의 모래 엽층리 및 모래질 연흔 사엽층리를 협재하는 구간이다. 또한, 비교적 높은 함수비와 염도 범위를 갖는다. 즉, 고해수면의 안정기에 해당한다.

화전지역(BH-9) 퇴적층의 퇴적환경과 그 변화상은 그림 3에서 볼 수 있으며, 지층 별의 특징을 기술하면 다음과 같다. (a) 조간대(Tidal flat; SF1.1, SF1.2): 조립질 퇴적물과 세립질 퇴적물이 반복되는 교호엽층리 및 교호층리를 발달시키며 가장 낮은 염도(그림 3)와 함수비를 갖는다. (b) 연안(Nearshore; SF2.1): 조립질 퇴적물과 패각편의 함량이 높아 비교적 낮은 수심을 갖는 해안선 근처의 연안 환경에서 형성된 것으로 해석되며, 특징적으로 이 구간에서는 모든 지질학적 특성의 변화가 급격히 일어났음이 관찰된다. (c) 내대륙붕(Inner shelf; SF2.2): 가장 높은 염도, 함수비 등을 비롯해 가장 세립의 균질한 퇴적물 조성을 보이는 퇴적층이다. (d) 전삼각주(Pro-delta; SF2.3): 해양환경이 다시 후퇴하면서 형

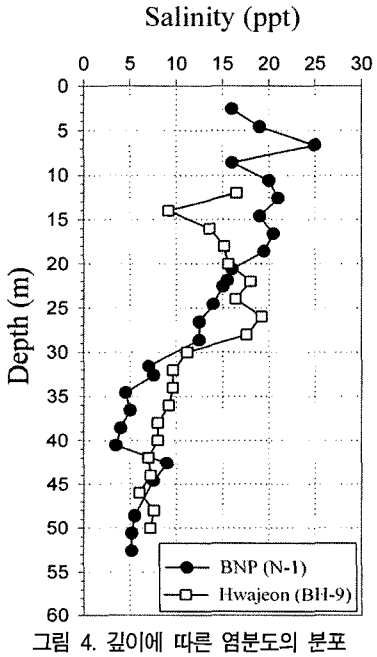


그림 4. 깊이에 따른 염분도의 분포

성된 퇴적층으로 담수 영향의 증가로 염도가 감소하고 조립질 퇴적물의 유입이 다시 활발해지는 특징을 보여준다. 니질 퇴적층의 상위를 형성하고 있는 현 낙동강 삼각주 퇴적층이 발달하기 시작하는 시기로서 성장 초기 단계의 삼각주 전면부에 발달하는 전삼각주 퇴적환경에서 형성된 퇴적층으로 해석된다.

연구대상지반의 퇴적환경 및 염분도(그림 4)의 분포를 종합하면 BNP지역과 HJ지역은 서로 다른 환경에서 퇴적되었으나, 심도 30m를 기준으로 상·하부 점토층으로 각각 명확하게 구분된다. 즉, 30m이전의 상부점토층은 해수에서 비교적 느린 속도로 퇴적되어 염분도가 높으며 점토입자들 사이의 구조가 잘 발달될 수 있었으며, 하부점토층은 담수의 영향을 많이 받는 환경에서 퇴적되었으므로 상대적으로 염분도가 낮으며 상부점토층보다 점토입자들 사이의 구조가 덜 발달 되어 있음을 유추할 수 있다.

4. 점토의 물리적 특성 및 구조수준

4.1 물리적 특성

Chung et al(2003b)의 연구결과에 의하면 낙동강 하구지역의 연약점토의 토질특성은 퇴적환경에 따라 변한다고 보고되었다. 그림 5와 6은 BNP지역(N-1)과 HJ지역(BH-9)의 물리적 특성과 피에조 콘(CPTU) 관입시험 결과를 나타낸 것이다. 두 지역 모두 물리적 특성이 30m를 기준으로 증가하거나 감소하는 등으로 뚜렷한 변화를 보이고 있다. 특히, 간극비 및 액 · 소성한계의 분포는 그림 4에서 나타난 염분도의 분포와 거의 유사한 경향을 보이고 있다. CPTU시험에 의한 콘 저항치 및 간극수압의 분포도 심도 30m에서 경향이 변화하고 있다. 두 지역에서의 물리적 특성은 30m를 기준으로 상·하부 점토층의 특징이 뚜렷이 구별되고 있으며, 이는 점토층의 퇴적환경 특성과 좋은 일치를 보여준다.

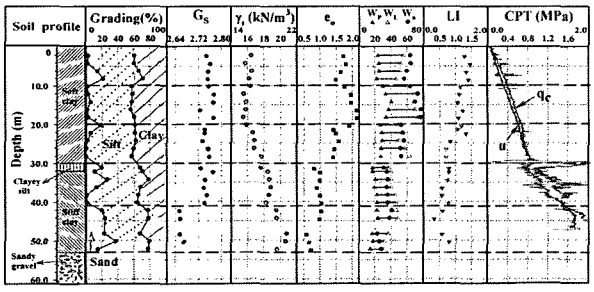


그림 5. BNP(N-1)지역의 전형적인 토질특성 (Chung, 2005)

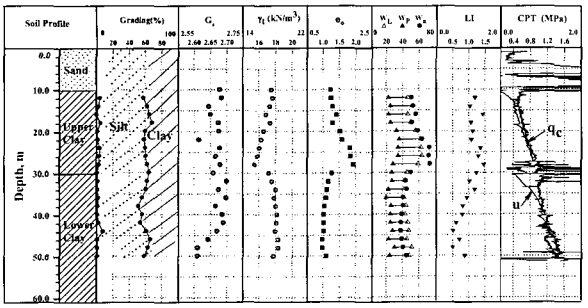


그림 6. HJ(BH-9)지역의 전형적인 토질특성 (Chung, 2005)

4.2 구조수준

흙의 구조화(cemetation or bonding)는 Burland(1990)가 제안한 고유상태거동 (intrinsic behavior)과 Leroueil et al.(1990)에 의한 압축지수와 예민비로서 설명할 수

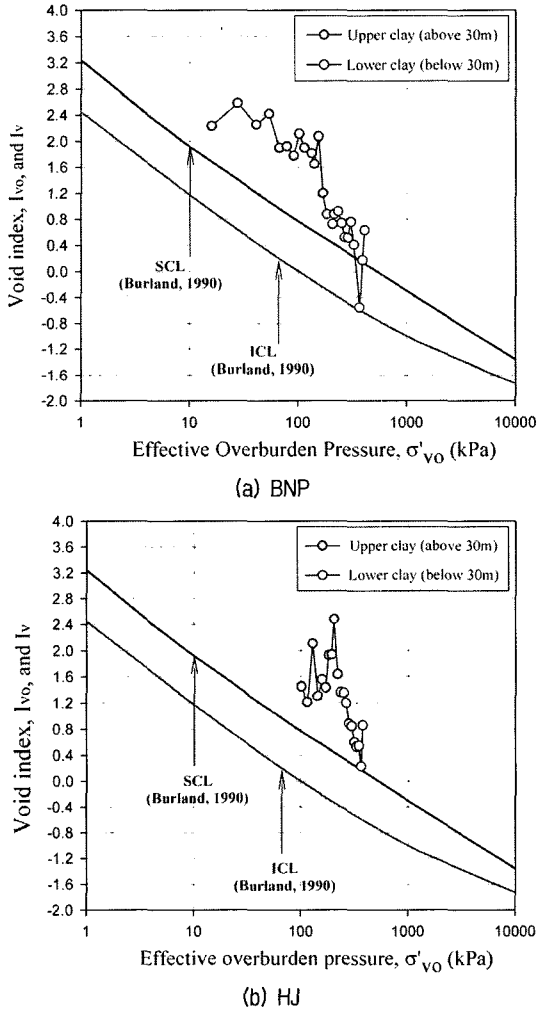
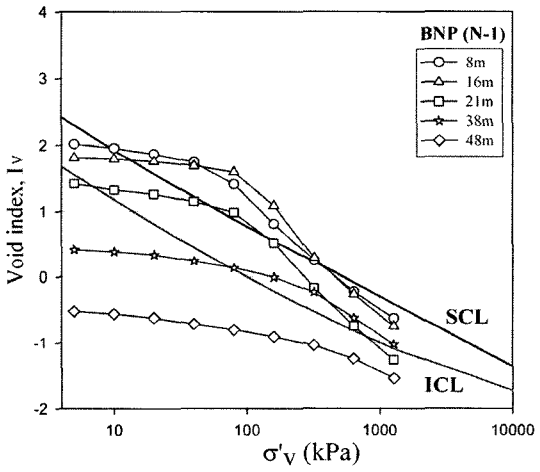


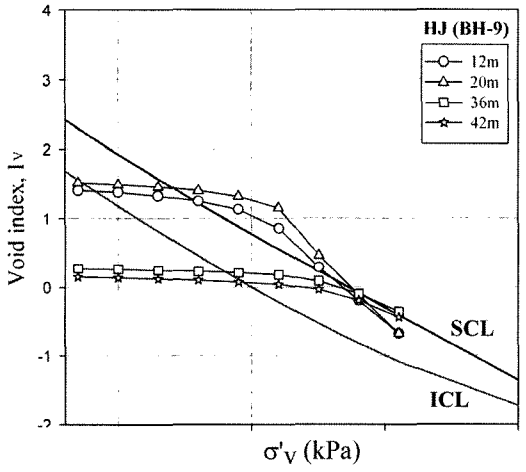
그림 7. Burland(1990) 개념에 의하여 자연점토에 대한 퇴적상태의 비교

있다. 여기서는 전자를 따르도록 한다.

그림 7은 연구대상 지반의 자연퇴적상태를 Burland (1990)가 제안한 퇴적압축곡선(SCL) 및 고유압축곡선(ICL)과 비교한 것이다. 자연퇴적상태를 나타내는 곡선이 ICL보다 위쪽에 위치하고 있는 것으로 보아 두 지역의 점토가 모두 상당히 고결되어 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 심도 30m이전의 상부점토는 상대적으로 SCL보다 상당히 위쪽에 위치하고 있으며, 30m 부근에서 급격히 감소하여 하부점토는 SCL에 거의 근접하고 있다. 즉, 상부점토는 세계의 다른 점토에 비하여 상대적으로 더 고결되어 있으며, 하부점토는 그들과 거의 비슷한 고결 정도를 나타내고 있다. 이러한 경향은 그림 4에서 보여주었던 염분도 에 아주 밀접히 관련이 있다. 즉 염분도가 증가할수록 고결정도가 커지고 있으며, 염분도의 변화에 따라 물리적 특성도 유사하게 변화하고 있다(그림 5 및 6 참조).



(a) BNP



(b) HJ

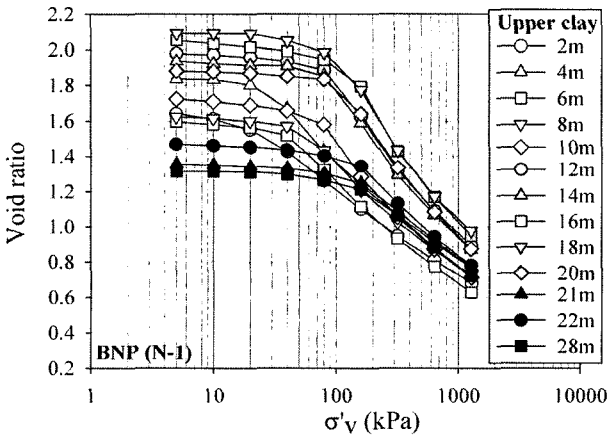
그림 8. Burland(1990) 개념에 의하여 자연점토에 대한 압축성의 비교

그림 8은 표준압밀시험으로부터 얻은 압축곡선을 간극비지수(I_v)로 나타내어 SCL 및 ICL과 비교한 것이다. 현장상태(I_{vo})가 SCL보다 위쪽에 위치하는 상부점토(8m, 16m 및 21m)의 압축곡선은 압밀항복 이후에 SCL보다 위쪽에서 급한 기울기로 압축된 후 점차 완만해져서 ICL에 수렴하고 있다. 반면, I_{vo}가 SCL의 약간 위 또는 선상에 위치하고 있는 하부점토의 압축곡선은 ICL 아래쪽에서 SCL의 기울기와 거의 유사한 기울기로 거동하고 있다. 이러한 특성은 Burland(1990)의 연구결과에 근거하면, 상부점토가 정규압밀점토이며, 하부점토는 약간 과압밀된 점토인 것을 의미한다. 이와 같이 상부점토와 하부점토에서 나타나는 압축곡선 거동의 차이는 퇴적환경에서 비롯된 고결력과 응력이력에 따른다고 생각할 수 있다.

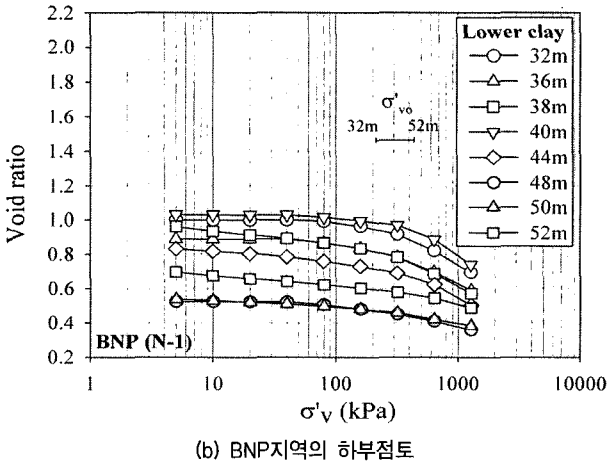
5. 압밀특성

5.1 압축곡선

BNP지역과 HJ지역에 대한 상·하부점토의 압축곡선



(a) BNP지역의 상부점토

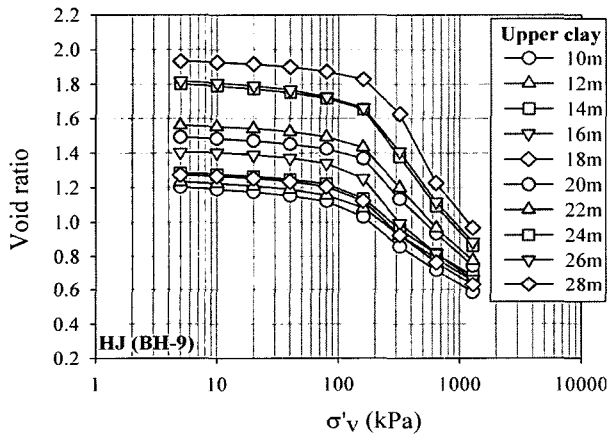


(b) BNP지역의 하부점토

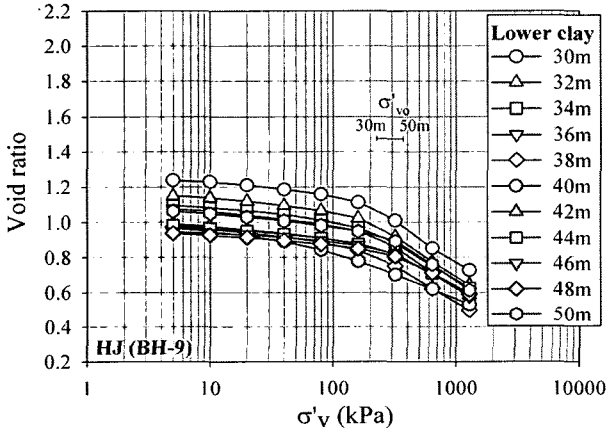
그림 9. BNP(N-1)지역의 e-logσ'_v 관계

을 비교하여 그림 9와 10에 나타내었다. BNP지역의 상부점토에 대한 결과(그림 9(a))는 압밀항복 이후에 급격한 기울기로 압축하는 경향을 명확히 볼 수 있다. 특히, 염분도가 가장 크게 측정된 12~20m 사이의 시료에 대한 압축곡선이 상대적으로 큰 초기간극비로 인해 위쪽에 위치하고 있으며 큰 압축량을 보이고 있다. 반면에 담수의 영향을 크게 받아 퇴적된 하부점토는 압밀하중이 유효상재응력을 초과하여도 주목할만한 압축이 나타나지 않고 있으며, 40m 이후의 깊은 심도에 대한 결과는 상대적으로 작은 압축량으로 인해 압축상수를 결정하기가 상당히 어렵다. BNP지역의 40m 이후의 하부점토에서는 매립하중 또는 성토하중에 대한 1차 압밀침하량은 거의 발생하지 않을 것으로 판단된다.

그림 10에 나타낸 HJ지역의 상부점토에 대한 결과는 BNP지역과 유사한 경향을 보이고 있다. 하부점토의 결과는 BNP지역의과 비교할 때 더 균질하며 염분도가 크기 때문에 약간 큰 압축성을 가지고 있으며, 비교적 BNP의 경우보다는 비교적 압밀항복응력을 결정하기가



(a) HJ지역의 상부점토



(b) HJ지역의 하부점토

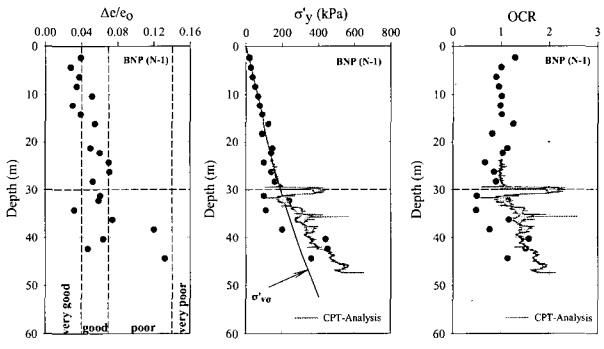
그림 10. HJ(BH-9)지역의 e-logσ'_v 관계

용이하다.

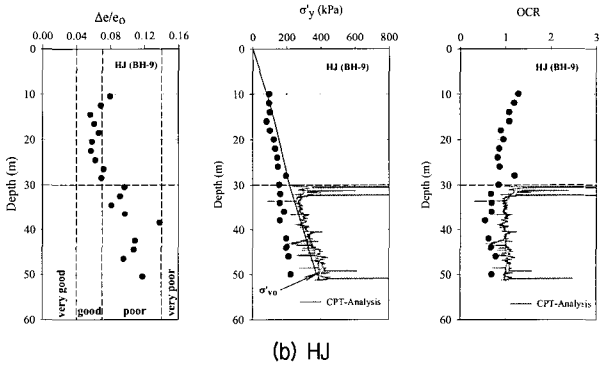
5.2 교란도 평가 및 항복응력

연약점토에서의 시료교란은 시료채취기법이 상당히 발전하였음에도 불구하고 피할 수 없는 문제이다. 실내시험은 부분적으로 교란된 시료에 대해 수행되는 경우가 대부분이기 때문에, 실내시험 결과에 대하여 시료 교란도를 평가하는 것이 대단히 중요하다. 압밀시험의 결과에서 일반적으로 시료가 교란될수록 압축곡선의 기울기가 완만해지며, 선행압밀응력(σ_p')와 압축지수(C_c)가 작아진다. 압밀시험결과에 대한 시료교란 정도의 평가에 대해서는 수많은 연구결과들이 발표되어 있으며, 그 중에서 시료교란의 정량적 평가에서 자주 이용되고 있는 방법으로는 Lunne et al.(1997)이 제안한 방법으로 초기간극비(e_o)와 초기간극비에서 항복응력(또는 현장유효연직응력) 시까지의 간극비의 변화량 Δe의 비로서 정의되는 시료교란 평가방법이 있다.

심도에 따른 압밀항복응력(σ_y')과 과압밀비(OCR)의 분포를 Lunne et al.(1997)이 제안한 시료교란도와 비교하여 그림 11에 나타내었다. 여기서 하부점토의 대한 항복응력은 e-logσ'_v 곡선으로부터 직접 구하기가 어려워



(a) BNP



(b) HJ

그림 11. 시료교란도의 평가, 압밀항복응력 및 과압밀비의 분포

서 $\ln(1+e)$:$\log\sigma'_v$ 곡선의 적용에 의하여 결정되었다. 그림 11(a)에서 BNP지역의 결과를 보면, 상부점토는 Lunne et al.(1997)의 방법에 따라 very good ~ good으로 분류 된다. 그리고 σ_y'가 σ_{v0}'와 거의 동일하게 OCR이 거의 1.0으로 평가되었다. 심도 30m 이후의 하부점토의 경우는 시료교란도가 good ~ poor로 평가되었으며, 일부 심도를 제외한 대부분의 깊이에서 σ_y'가 σ_{v0}'보다 작게 평가되어 전반적으로 OCR이 1.0보다 작게 평가되었다. 여기서 하부점토의 결과는 상부점토와 달리 시료의 질과 σ_y'의 관계가 거의 없음을 알 수 있다. 즉, 시료교란도가 good임에도 불구하고 σ_y'가 σ_{v0}'보다 작게 평가되고 있다. 이러한 결과로부터, Lunne et al.(1997)이 제안한 시료교란도의 평가방법은 압밀실험에 의한 압축곡선에서 σ_y'를 평가하기 어려운 경우에는 신뢰성이 떨어지는 것으로 판단된다. 피에조콘관입시험(CPTU)의 분석 결과로부터 구한 하부점토에 대한 σ_y'의 분포는 그림에서 볼 수 있듯이 심도가 깊어질수록 σ_{v0}'보다 큰 값을 가지는 다소 과압밀된 경향을 보이고 있다.

HJ지역의 경우, 시료의 등급이 거의 good으로 평가된 상부점토는 σ_y'가 σ_{v0}'와 거의 유사하게 나타났다. 반면, 시료의 등급이 poor로 평가된 하부점토는 σ_y'가 σ_{v0}'보다 작게 평가되고 있는 것으로 미루어 시료교란의 영향을 역시 다소 받은 것으로 판단된다. HJ지역의 하부점토에 대한 CPTU 분석에 의해 산정된 OCR은 거의 1.0으로 나타났다.

결과적으로, 하부 점토에 대해서는 현재의 국내 시료채취 기술에 의하여 양질의 시료를 채취하기가 어려우므로 깊은 심도에 대한 σ_y'의 평가는 실내실험과 CPTU 실험을 병행하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

5.3 압축 및 팽창지수

압축지수(C_c) 및 재압축지수(C_s)는 침하해석에 있어서 중요한 지반정수이다. 그림 12는 두 지역의 점토에 대한 C_c및 C_s를 심도에 따라 나타낸 것이다. BNP지역의 상부점토에서는 염분도 및 함수비가 크게 산출되었던 12~20m 깊이에서 $C_c \cong 1.0$, $C_s \cong 0.15$로서, 다른 깊이에서의 C_c=0.6~0.7 및 C_s=0.07-0.09에 비하여 크게 나타나고 있으며, 하부점토에서는 상부점토에 비하여 작은 값인 $C_c \geq 0.3$와 C_s=0.05으로 얻어졌다. HJ지역의 상부점토에서는 염분도 및 함수비가 크게 산출되었던 20~28m 깊이에서 C_c=0.8~0.9, C_s=0.10~0.13로서, 다른 깊이에서의 C_c=0.5 및 $C_s \cong 0.08$에 비하여 크게 나타나고 있으며, 하부점토에서는 상부점토에 비하여 작은 값인 C_c=0.4와 C_s=0.06으로 얻어졌다.

이 그림에서 처럼 C_s및 C_c의 심도별 분포는 대체적으로 30m를 기준으로 명확하게 구분되고 있다. 즉, 두 지역 모두 심도 30m 이전의 상부점토의 C_s 및 C_c가 30m 이후의 하부점토의 것보다 상대적으로 큰 값을 보이고 있다. 상부점토에서는 C_s및 C_c가 심도에 따라 그 값이 변화하고 있는 반면, 하부점토에서는 C_s및 C_c가 심도와 무관하게 거의 일정한 분포를 보이고 있다. 결과적으로 C_c 및 C_s는 퇴적환경에 따라 민감하게 변하는 지반정수임을 시사하고 있다.

그러나 C_s/C_c는 상부 및 하부 점토에서 크게 차이를 나타내지 않는다. BNP지역에서는 상부 및 하부점토에서 대략 0.12와 0.13이며, HJ지역에서는 각각 0.1과 0.15로 나타나고 있다.

5.4 하중증가에 따른 압축지수 및 이차압축지수의 변화

그림 13은 BNP지역 점토의 불교란 및 재성형시료에 대하여 하중변화에 따른 C_c와 이차압축지수(C_α)의 변화를 각각 나타낸 것이다. 먼저 불교란 시료의 경우, 하중증가에 따라 C_c와 C_α가 모두 서서히 증가하여 압밀항복응력 부근에서 급격히 증가하여 뚜렷한 peak를 보이고 있다. 이후 하중이 증가할수록 C_c와 C_α가 서서히 감소하고 있다. 그러나 재성형시료에 대한 결과를 보면, C_c 및 C_α는 압밀하중의 크기와 무관하게 거의 일정한 값을 보이고 있다. 이러한 거동은 이미 점토입자들 사이에 발달되어 있는 구조가 파괴되었기 때문이다. 흙의 구조발달의 정도에 관계없이 하중증가에 따른 C_c 및 C_α의

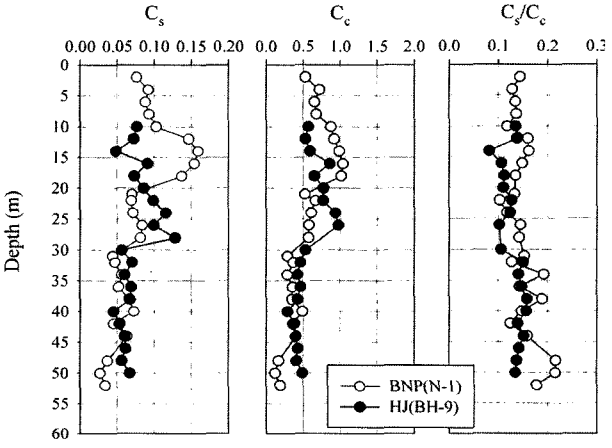
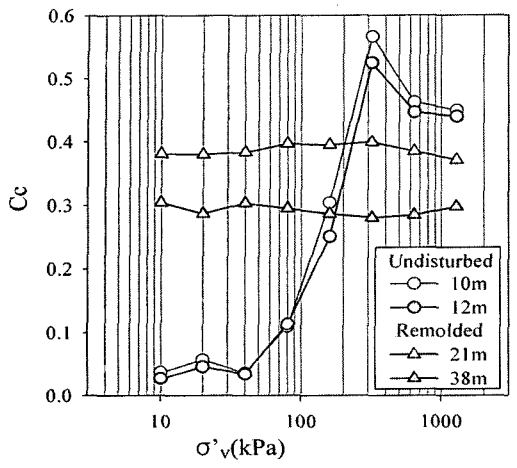
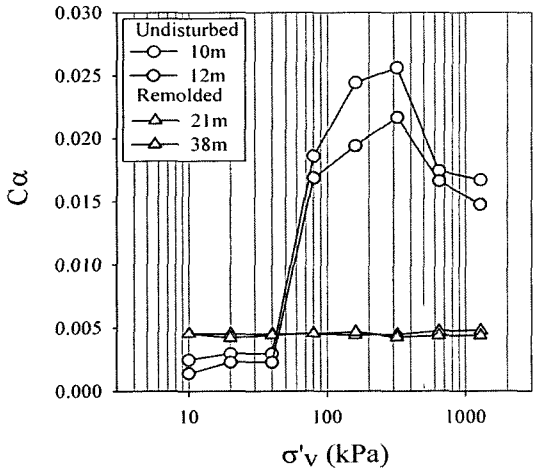


그림 12. C_s, C_c 및 C_s/C_c의 심도분포



(a) 압축지수



(b) 이차압축지수

그림 13. 하중증가에 따른 C_c 및 C_α의 변화 (BNP(N-1))

변화는 서로 유사한 경향을 가지는 것을 확인하였다.

그림 14는 두 현장의 모든 시료에서 얻어진 C_α/C_c의 관계를 나타낸 것이다. 연구대상지반의 C_α/C_c는 대략 0.043으로 흙의 구조적 발달 정도와는 무관하게 거의 일정한 값을 보였다. 이 결과는 세계의 다른 점토에서 얻어진 0.04±0.01와 거의 동일한 값이다(Mesri & Castro, 1987).

그림 15는 BNP지역과 HJ지역에 대한 C_α의 심도분포를 나타낸 것이다. 여기서, C_α는 그림 13에서 볼 수 있었던 바와 같이 각 하중단계에서 얻어진 값들 중에서 가장 큰 값을 적용하였다. 그림에서 나타난 것처럼, 심도 30m 전후로 C_α 값의 분포경향이 명확하게 구분되고 있다. 상부 점토에 대한 C_α는 BNP와 HJ지역에서 각각 0.027~0.06 및 0.014~0.058의 범위를 보이고 있으며, 하부 점토에 대해서는 두 지역 모두 C_α가 0.02 전후로 심도와 무관하게 거의 일정하게 나타났다. 또한 C_α의 깊이에 따른

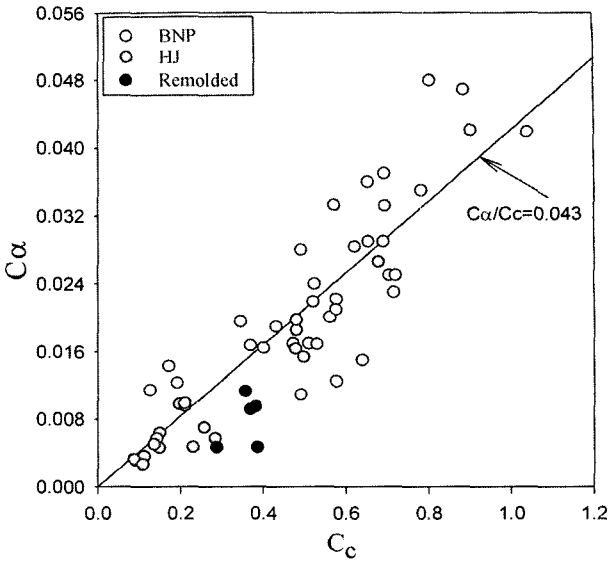


그림 14. C_α/C_c의 관계

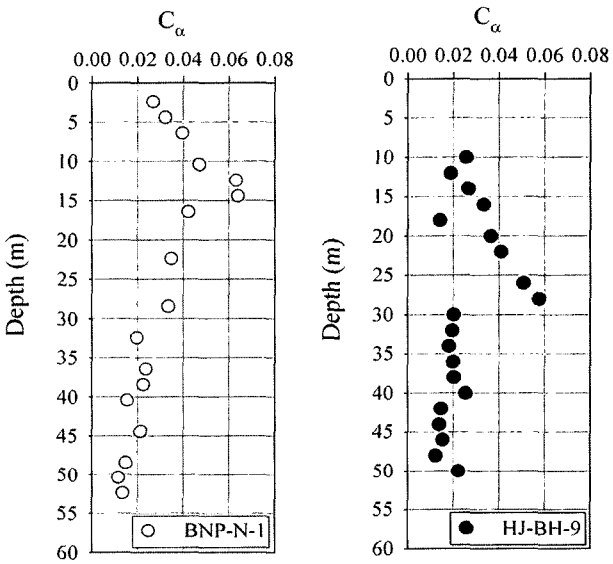


그림 15. 깊이에 따른 C_α의 분포

분포 경향은 C_α/C_c가 일정하므로 C_c의 분포경향과 유사하게 나타나며, C_α 역시 C_c와 마찬가지로 퇴적환경에 직접적인 영향을 받을 수 밖에 없을 것이다.

6. 결 론

낙동강 하구지역의 부산신항만 및 화전지역에서 부산점토의 압축특성을 규명하기 위하여 개선된 시료채취기술에 의하여 채취된 불교란 시료를 이용하여 지질분석과 각종 현장 및 실내실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 두 지역은 서로 다른 위치에 있지만 심도 30m를 기준으로 상부 및 하부점토층으로 구분된다. 30m 이전의 상부점토는 주로 해성환경 하에서 퇴적되었으며, 30m 이후의 하부점토는 대체로 담수의 영향을 많이 받은 것으로 나타났다. 이러한 퇴적환경의 차이는 지반의 물리적 특성 및 CPTU실험 결과에서도 잘 반영되었다.

(2) Burland(1990)의 개념에 의하면, 두 지역의 상부점토는 세계의 다른 점토에 비하여 더 고결되어 있으며, 하부점토는 그들과 유사한 특성을 보여준다. 그럼에도 불구하고 상부점토는 정규압밀, 하부점토는 약간 과압밀의 특성을 나타낸다.

(3) 동일한 시료채취기술을 적용하였지만 상부점토에서보다는 하부점토에서 시료교란이 더 크게 발생하였다. 이러한 이유는 퇴적환경에 밀접히 관련된 것으로 판단되었다. 따라서 하부점토의 시료교란을 최소화하기 위해서는 시료채취기술의 향상은 물론 CPTU시험과 같은 현장실험을 병행하는 것이 바람직하다고 사료된다.

(4) 압축지수, 재압축지수 그리고 이차압축지수 등과 같은 압축상수는 퇴적환경에 따라 민감하게 변화하는 것을 확인하였다. 즉, C_c= 0.6~1.0, C_s/C_c= 0.1~0.15 범위에서 변화한다. 그리고 심도와는 무관하게 C_α/C_c=0.043를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원(건설핵심기술연구개발사업)과 한국과학재단연구비(No. R01-2003-000-10375-0)의 지원 하에 수행되었음을 밝히며, 이에 감사를 표한다.

참 고 문 헌

1. Burland, J.B. (1990), "On the Compressibility and Shear Strength of Natural Clays", *Geotechnique*, 40, No.3, pp.329-378.
2. Chung, S.G. (1999), "Engineering Properties and Consolidation Characteristics of Kimhae Estuarine Clayey Soil", *Thick Deltaic Deposits, ATC-7 Workshop, Special Publication at the 11th ARC on SMGE*, Seoul, pp.93-108.
3. Chung, S.G. and Giao, P.H. (2001), "Invited paper: Challenges in Geotechnical Investigation of Pusan Clays", *Indian Geotechnical Conference*-2001, Vol.2, 14-16 Dec., Indore, pp.23-28.
4. Chung S.G., P.H. Giao, J.M. Kwag and Tanaka, H. (2002a), "Comparative Study on Korean and Japanese Samplers in Investigation of Pusan Soft Clays", *Intl. Workshop on Foundation Design Codes and Soil Investigation in view of International Harmonization and Performance Based Design, IWS Kamakura 2002*, pp.183-189.
5. Chung, S.G., P. H. Giao, G. J. Kim and Leroueil, S. (2002b), "Geotechnical Properties of Pusan Clays", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.39, No.5, pp.1050-1060.
6. Chung, S.G., Giao, P. H., Nagaraj, T.S. and Kwag, J.M. (2002c), "Characterization of Estuarine Marine Clays for Coastal Reclamation in Pusan, Korea", *Marine Georesources and Geotechnology*, Vol.20, No.4, pp.237-254.
7. Chung, S.G., Giao, P.H. and Tanaka, H. (2003a), "Geotechnical Characteristics and Engineering Problems of Pusan Clays", *Characteristics and Engineering Properties of Natural Soils*, Edited by Tan et al, Vol. 1, Balkema, pp.29-254.
8. Chung, S.G., Baek, S.H. Ryu, C.K. and Kim, S.W. (2003b), "Theme Lecture: Geotechnical Characterization of Pusan Clays", *Proceeding of Korea-Japan Joint Workshop, Characterization of Thick Clay Deposits, Reclamation and Port Construction,* Busan, Korea, 8~10 April, pp.3-44.
9. Chung, S.G., Ryu, C.K., Beak, S.H., Huh, D.Y., Cho, K.Y., Lee, N.K. and Ninjgarav E. (2004a), "Geotechnical Characteristics of Marine Clay in Busan New Port", *Intl Conf. on Engineering Practice and Performance of Soft Deposits, IS-Osaka 2004, June 2-4*, Osaka, Japan, pp.141-146.
10. Chung, S.G., Kwag, J.M., Giao, P.H., Back, S.H. and Prasad, K.N. (2004b), "A study of Soil Disturbance of Pusan Clays with Reference to Drilling, Sampling and Extruding", *Geotechnique*, 54, No.1, pp.61-65.
11. Chung, S.G., Ryu, C.K., Cho, K.Y., and Huh, D.Y. (2005), "Geological and Geotechnical Characteristics of Marine Clays at the Busan New Port", *Marine Georesources and Geotechnology*, Vol. 23, No. 3, pp.235-251.
12. Chung, S.G. (2005), "Sampling Techniques and Their Effects in Characterizing of Pusan Clay", Keynote Lecture: *Current Geotechnical Issues of Thick Clay Deposits ATC-7 and KGS,* Busan Korea, Sept., pp.3-36.
13. Leroueil, S., Magnan, J. P. and Tavenas, F. (1990), "Embankment of Soft Clays", Ellis Horwood.
14. Lunne, T., Berre, T., and Strandvik, S. (1997), "Sample Disturbance Effects in Soft Low Plastic Norwegian Clay", *Symposium on recent developments in soil and pavement mechanics, Rio de Janeiro*, pp.81-102.
15. Mesri, G., and Castro, A. (1987), "The C_α/C_c concept K_0 and during secondary compression. *J. Geotech. Engrg., ASCE*, Vol.113, No.3, pp.230-247.
16. Skempton, A. W. (1970), "The consolidation of clays by gravitational compaction." *Q. J. Geol. Soc.* Vol.125, pp.373-411.

(접수일자 2006. 7. 10, 심사완료일 2006. 12. 8)