

부산 명지주거단지 연약 점토의 지반 공학적 특성 Geotechnical Characteristics of Soft Clay in Myungji Housing Complex

이석진¹⁾, Suk-Jin Lee, 양희정²⁾, Hee-Jeong Yang, 이준호³⁾, Jun-Ho Lee, 김정관⁴⁾, Jung-Kwan Kim, 성상규⁵⁾, Sang-Gyu Sung, 이주호⁶⁾, Joo-Ho Lee

- 1) 롯데건설(주)기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, Lotte E&C Research and Development Institute. stjiny@lottenc.com
- 2) 롯데건설(주)기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, Lotte E&C Research and Development Institute. hjyang@lottenc.com
- 3) 롯데건설(주)기술연구소 연구원, Researcher, Lotte E&C Research and Development Institute.
- 4) 롯데건설(주)기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, Lotte E&C Research and Development Institute.
- 5) 롯데건설(주)토목영업팀 부장, Manager, Lotte E&C Research and Development Institute.
- 6) 롯데건설(주)기술연구소 소장, Managing Researcher, Lotte E&C Research and Development Institute.

SYNOPSIS : Myungji Housing Complex is located in the Nakdong River plain in which the Busan soft clays are developed. It has thick soft soil layer of about GL(-)50m including loose sandy layers, upper and lower clayey layers. The clayey layers have been being consolidated since the land reclamation was completed to build the place for Housing Complex(Apartment) in 1997. Therefore, as one of a series of advance preparations of this project, study was carried on the geotechnical characteristics under the foundation. The first part of this paper represents a brief geological history. Then, geotechnical characteristics of clay was analyzed in the classical developments in soft clay. They were based on the geotechnical data obtained by site investigations performed from 1992 to 2005. Finally, we evaluated the average degree of consolidation at this point in time and the residual settlements of upper clayey layer using dissipation and oedometer tests for this project.

Key words : Myungji housing complex, Soft clay, Geotechnical characteristics, Average degree of consolidation, Residual settlements

1. 서 론

부산 명지주거단지는 낙동강 하구언에 위치하며, 상부와 하부의 연약 점토층을 포함하여 약 GL(-)50.0m 까지 연약지반이 분포되어 있다. 1992년부터 1997년까지 해안 매립공사를 통하여 형성된 명지주거단지는 도로부의 경우 연약지반 처리공을 적용하였으나 주택단지블럭은 계획 성토고까지 매립완료 후 연약지반 처리가 적용되지 않고 방치된 상태이다. 현재 본 지역에서 공동주택을 건설하기 위한 계획이 진행되고 있으며 기초 하부 지반의 공학적 특성에 대한 분석이 현장내에서 수행되고 있다.

본 연구에서는 명지주거단지내 주택단지블럭 현장내에서 수행된 시험결과 및 실내시험결과를 토대로 20m 내외로 두껍게 분포하고 있는 상부점토층과 5m 이하의 두께로 분포하는 하부점토층에 대하여 공학적 특성을 분석하여 추후 시공될 구조물 기초의 적절한 설계방안 확정을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 지반 조건 및 지질공학적 특성

2.1 지반 조건

2.1.1 지층개요

연구대상 부지에서는 매립시공전(1992년), 매립시공 완료(1997년), 방치중(2002년, 2005년)에 걸쳐 지반조사가 수행되었으며, 지반조사로 파악된 결과를 토대로 지층분포 현황을 정리하면 표 2.1 및 그림 2.1과 같다. 대상지역의 점토층중 상부 점토층(N=0~8)은 약 20m의 층후로 분포하며 N치 변화가 적은 반면, 하부 점토층은 GL(-)40m 부근에서 2~5m 층후로 분포하며 N치의 변화가 큰 상태(대부분 0~20 사이에 분포)이고 분포심도도 큰 변화를 보이고 있다. (그림 2.2 참조)

표 2.1 지반조사 결과에 의한 지반분포 현황

지층기원 (추정)	지층명	분포심도 (GL-,m)	구성성분
매립	매립층	0.0~8.1	점토, 자갈, 호박돌
하성퇴적	상부 모래층	4.2~16.5	실트질모래, 점토 약간함유
해성퇴적	상부 점토층	13.0~34.0	실트질점토
하성퇴적	중간 모래층	32.0~44.5	세립~중립질모래
해성 및 하성퇴적 (혼재된 형태)	하부 점토층	39.4~44.6	실트질점토, sand seam 반복
	모래질 점토	40.5~43.5	실트질점토에 세립~중립질 모래함유
	점토질 모래	41.0~51.0	세립~중립질모래에 실트질점토함유 패각함유
	실트질 모래	41.0~45.7	세립질모래
하성퇴적	하부 모래층	42.6~52.0	세립~중립질모래
	모래질 자갈층	56.0~61.8	중립~조립질 모래에 점토 및 자갈혼합, 불량한 분급, 원마도 보임

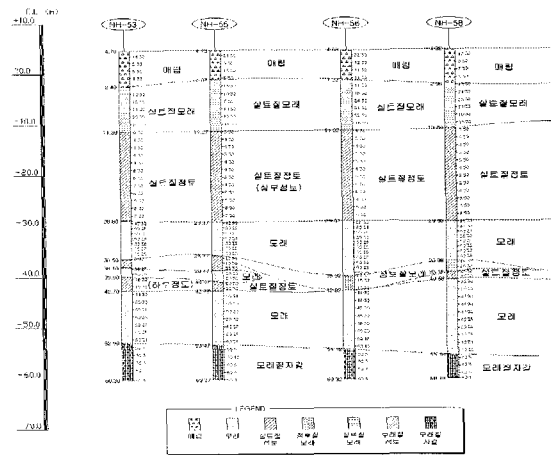


그림 2.1 지층단면도

2.1.2 SPT 분포

대상 지층의 상, 하부 점토층과 중간모래층의 시추과정에서 획득된 SPT 결과를 각 층별로 분포시키면 다음과 같다.

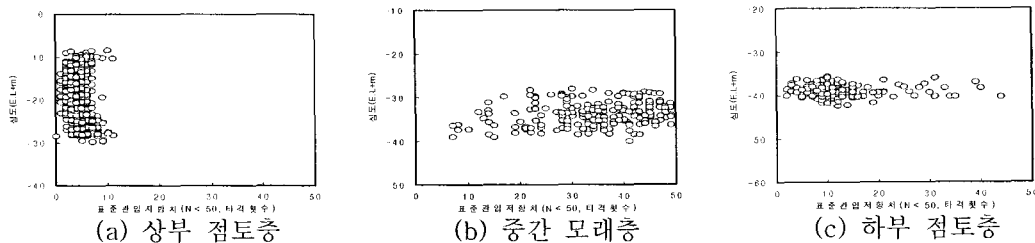
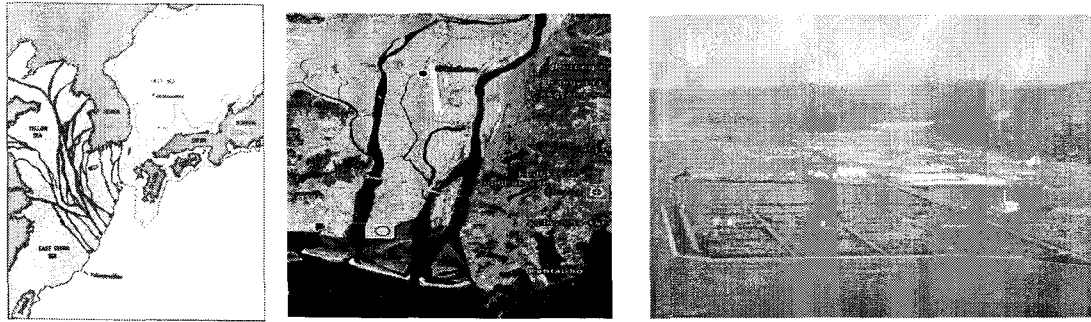


그림 2.2 지층별 표준관입저항치

위의 결과와 같이 상부 점토층의 경우는 평균 N=4 의 비교적 균질한 분포를 보이고 있으나 중간 모래층 및 하부 점토층의 경우는 구간별로 큰 차이를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

2.2 대상지역에 대한 지질공학적 고찰

대상지역인 명지주거단지를 포함하는 낙동강 하구언은 최대 빙하기에 현재의 해수면 보다 138~143m 낮게 형성되었던 것으로 추정된다.(Han, 2001) 따라서, 대상지역의 최하층을 형성하고 있는 모래 자갈층



(a) 고지형도(Park,1988) (b) 현재 위성사진 (c) 명지주거단지 항공사진
 그림 2.3 낙동강 삼각주의 고지형도 및 현재사진

도 이 시기에 형성된 것으로 판단된다.

문헌상에 제시된 자료(Kim, 1999)에 의하면 인근의 가덕도 신항만의 경우, 해수면 아래 44m, 32m, 24m에서 채취된 점성토의 퇴적연대가 12,000년BP, 10,500년BP, 6200년BP로 조사되어 있고 40m 위치에 10,000년BP~12,000년BP 사이에 퇴적된 모래층이 분포하는 것으로 보고되고 있다.(Han, 2001)

따라서, 당 부지에 분포하는 하부 점토층과 중간 모래층도 비슷한 조건으로 퇴적 되었을 것으로 판단되며 상부 점토층의 경우는 적어도 6000년BP~10,000년BP 사이에 퇴적이 시작되었을 것으로 추정된다. 이를 근거로 볼 때 상부 점토층과 하부 점토층은 퇴적이력의 차이가 크고, 연경도의 차이도 있으므로 특성 파악시 상·하부를 분리하여 고려하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3. 연약 점토층의 공학적 특성

3.1 물리적 특성

3.1.1 심도별 비중, 단위중량, 점토 함유율

본 지역 연약점토층의 비중은 심도에 관계없이 2.63~2.75의 범위로 나타나며, 값의 변화가 작은 것으로 볼 때 유사한 광물성분으로 구성되어 있는 것으로 추정된다. 습윤단위중량의 경우 상부점토층은 1.52~1.81t/m³, 하부점토층은 1.83~1.94t/m³로 하부점토층이 상대적으로 크게 나타났으며, 이는 그림 3.3 심도별 점토함유율 관계에서 도시된 바와 같이 하부점토층이 상부점토층에 비하여 점토 함유율이 낮고 상대적으로 실트와 모래 함유율은 높기 때문으로 판단된다.

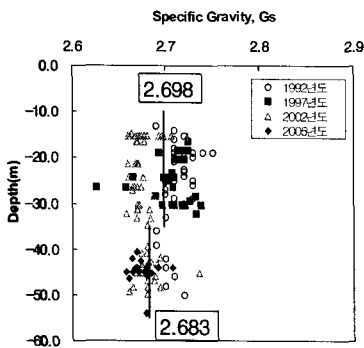


그림 3.1 비중

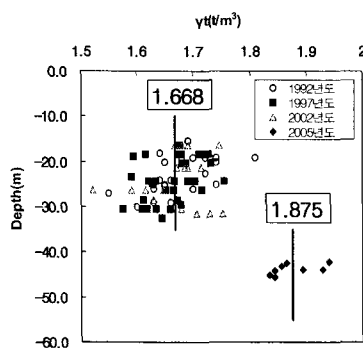


그림 3.2 단위중량

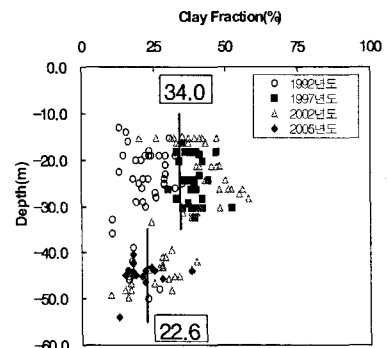


그림 3.3 점토함유율

3.1.2 아터버그 한계

자연함수비는 상부점토층이 31.63~75.81%, 하부점토층이 12.9~38.2%이며, 액성한계의 경우, 상부점토층은 36.6~85.9%, 하부점토층은 28.7~52.3%, 소성한계의 경우, 상부점토층은 20.5%~33.5%, 하부점토층은 14.0~25.6%로 나타났다. 전반적으로 자연함수비, 액성한계, 소성한계 모두 하부점토층이 상부점토층보다 작게 나타났으며, 이는 퇴적력의 차이로 인하여 하부점토층이 상대적으로 견고하기 때문인 것으로 추정된다.

액성지수는 깊이에 따라 0.2~1.2의 일정한 범위를 보이나, 층후가 두껍고 상대적으로 연약한 상부점토층의 경우, 매립전(1992년)의 값보다 매립완료 후 압밀진행(1997년~2005년)에 따라 값이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 그림 3.4와 그림 3.9에 도시된 바와 같이 원지반 상태에서 액성한계에 근접해 있던 자연함수비가 압밀 진행에 따라 액성상태(또는 고소성 상태)에서 소성상태(또는 저소성 상태)로 진행중인 경향과 유사한 것으로 추정된다. 소성지수는 상부점토층이 15.2~58.7, 하부점토층이 9.8~39.7의 범위의 비교적 큰 값을 보여 고소성 상태에 있는 것으로 판단된다.

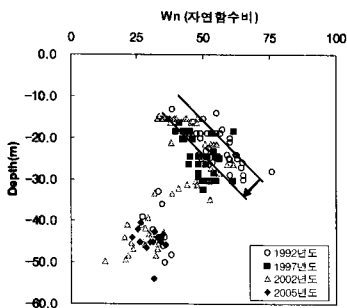


그림 3.4 자연함수비

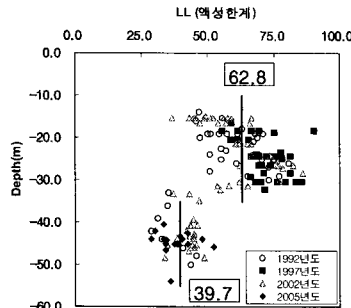


그림 3.5 액성한계

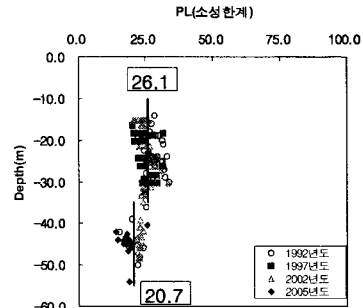


그림 3.6 소성한계

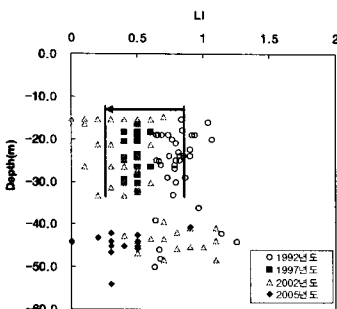


그림 3.7 액성지수

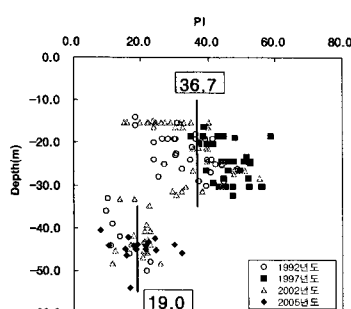


그림 3.8 소성지수

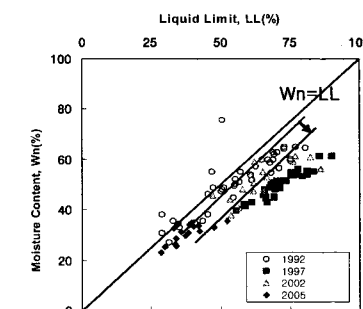


그림 3.9 액성한계 vs 함수비

3.1.3 소성도표와 활성도

Casagrande의 소성도표를 이용한 흙의 분류 결과, 상·하부 점토층은 크게 압축성이 작은 무기질 점토(CL)와 압축성이 큰 무기질 점토(CH)로 분류되며 상부점토층은 CH가 우세하고 하부점토층은 CL이 우세한 것으로 나타나 하부점토층의 압축성이 상부점토층보다 작을 것으로 추정된다.

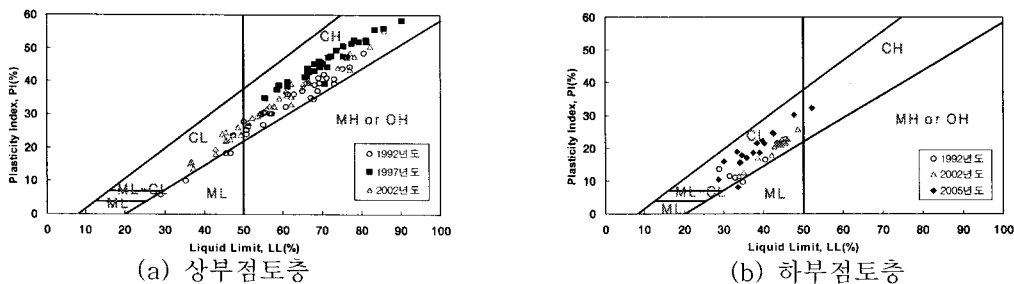


그림 3.10 소성도표

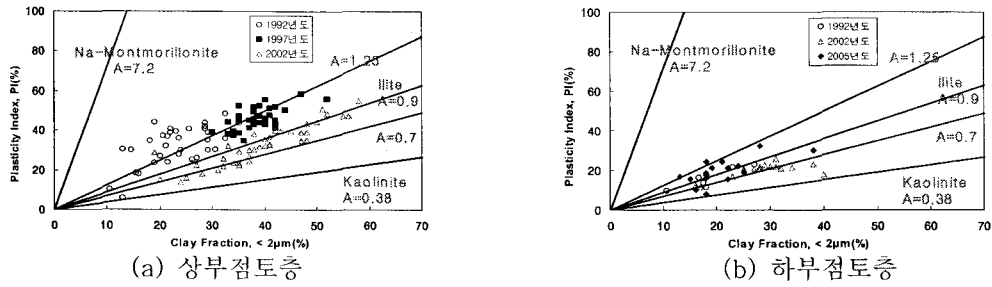


그림 3.11 활성도

활성도(Activity)는 상·하부 점토층 모두 심도에 상관없이 0.7~1.3 범위에 집중되어 있으며, 상부점토층은 1.3~1.6범위에도 부분적으로 존재하고 있다. 전반적으로 보통정도의 활성을 갖는 것으로 나타났으며, 활성도의 범위로 판단할 때, 상·하부 점토층 모두 주된 구성 광물은 Illite인 것으로 추정된다. 상부점토층의 경우 일부 Montmorillonite 성분을 갖고 있을 것으로 추정되나, 점토 구성광물에 대한 상세한 분석을 위해서는 x-ray 회절분석이나 EDAS system을 통한 추가 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.2 역학적 특성

3.2.1 심도별 전단강도

그림 3.12에서부터 그림 3.14는 심도별 비배수 전단강도를 도시한 것으로 일축압축강도, 삼축압축강도의 실내시험 결과와 Vane 시험, 콘관입시험의 현장시험 결과를 제시하였다. 전반적으로 GL(-)26m 내의까지는 전단강도가 비교적 일정한 값을 유지한 후, 그 하부로 내려갈수록 선형적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다.

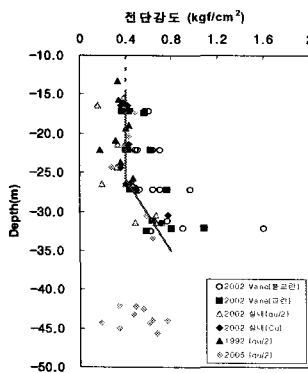


그림 3.12 전단강도분포

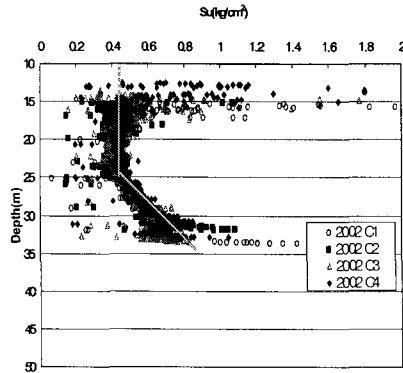


그림 3.13 CPT 시험결과(2002년도)

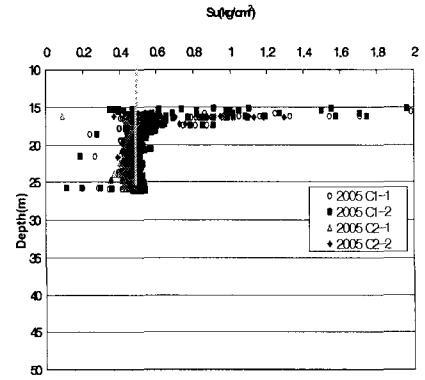


그림 3.14 CPT 시험결과(2005년도)

3.2.2 예민비와 강도증가율

그림 3.15와 그림 3.16은 각각 일축압축강도에 의한 예민비와 삼축압축강도(Cu)에 의한 강도증가율을 도시한 것이다. 예민비의 경우, 상부점토층은 2.1~12.9로 나타나 중간 정도의 예민비를 갖으며, 이는 부산점토의 예민비에 대한 기존의 시험결과(4~12, 정성교 외, 2001)와 유사하다. 하부점토층의 예민비는 3.65~7.75의 범위로 상부점토층보다 비교적 작은 범위를 갖는 것으로 나타났다. 강도증가율은 상부점토층에 대하여만 산정하였으며, 0.178~0.342 범위로 나타났다.

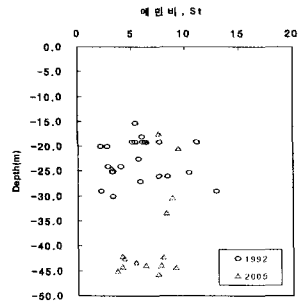


그림 3.15 에 린 비

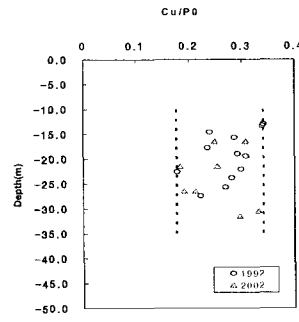


그림 3.16 강도증가율

3.3 압밀 특성

3.3.1 응력 이력

그림 3.17은 압밀시험결과로 결정된 깊이별 선형압밀하중을 도시한 것으로 심도에 따라 선형압밀하중이 선형적으로 증가하는 경향을 보이며, 하부점토층의 선형압밀하중은 상부점토층 값보다 약 2배 이상 큰 값으로 나타났다. 압밀시험에 의한 OCR 산정결과, 그림 3.18에 도시된 바와 같이 상부점토층 상하단으로 갈수록 OCR 값이 0.7~1.12로 정규압밀점토에 근접하고 있으며, 중앙부에서는 0.44~0.88로 압밀이 진행중에 있는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 콘관입시험에 의한 OCR 분포를 도시한 그림 3.19 및 그림 3.20에서 보다 뚜렷하게 나타나고 있으며, 2002년 분포와 비교하여 2005년 분포는 전체적으로 OCR 값이 증가하여 모래층 경계부에 근접하는 부분은 OCR이 1 이상으로 증가된 것을 확인할 수 있다. 이는 매립하중에 의한 압밀이 모래층 근접구간에는 압밀이 상당부분 진행되었으나, 중앙부에서는 아직 압밀이 완료되지 않은 상태인 것으로 판단된다.

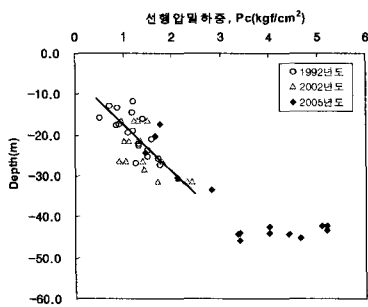


그림 3.17 선형압밀하중(압밀시험)

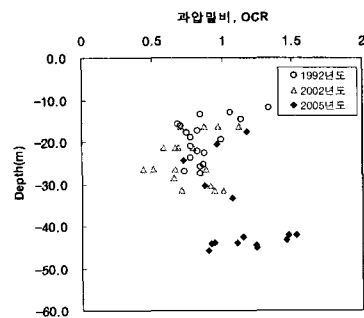


그림 3.18 과압밀비(압밀시험)

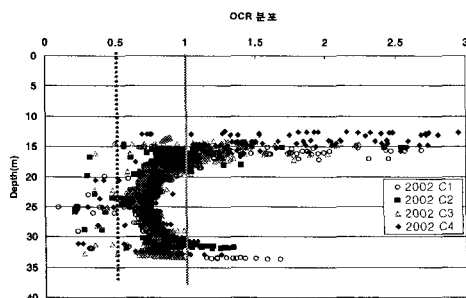


그림 3.19 과압밀비(CPT, 2002)

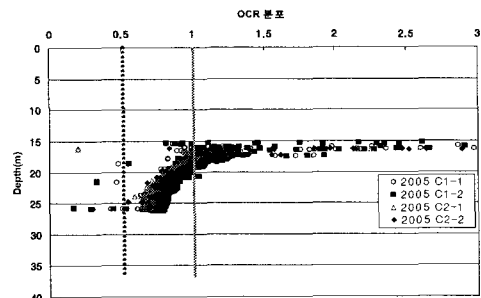


그림 3.20 과압밀비(CPT, 2005)

3.3.2 압축 특성

그림 3.21 및 그림 3.22는 상·하부점토층의 압축특성을 파악하기 위하여 액성한계, 초기간극비, 자연 함수비와의 상관관계를 분석한 후, 국내외에 제안된 기존 관계식과 비교 도시한 것이다. 분석결과, 상부 점토층의 경우, 압축지수와 액성한계의 관계는 $C_c=0.0086LL+0.2161$ 로 국내의 기존 제안식에 비하여 액성한계 증가에 따른 압축지수의 증가율이 상대적으로 작게 나타났으나, 상관관계가 낮아 추후 양질의 시험자료를 확보하여 보완하는 작업이 필요할 것으로 판단된다. 압축지수와 초기간극비의 상관관계는 $C_c = 0.7499e_0-0.477$, 압축지수와 자연함수비의 관계는 $C_c=0.0175w_n-0.26$ 으로 나타났으며, 기존 연구결과와 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냈다.

하부 점토층의 경우도 기존 제안식과 비교하여 상부점토층 분석결과와 유사한 경향을 보이고 있으나, 압밀시험 자료 개수가 8개로 적어 보다 많은 시험 자료의 확보를 통한 보완이 필요하다.

전체적으로 압축지수의 범위는 상부점토층이 0.37~1.169, 하부점토층이 0.26~0.50로 나타나 상부점토층의 압축성이 하부점토층보다 상대적으로 크며, 상부점토층의 경우, 압축지수가 대부분 0.5 이상으로 비교적 큰 값을 보이는 것으로 분석되었다.

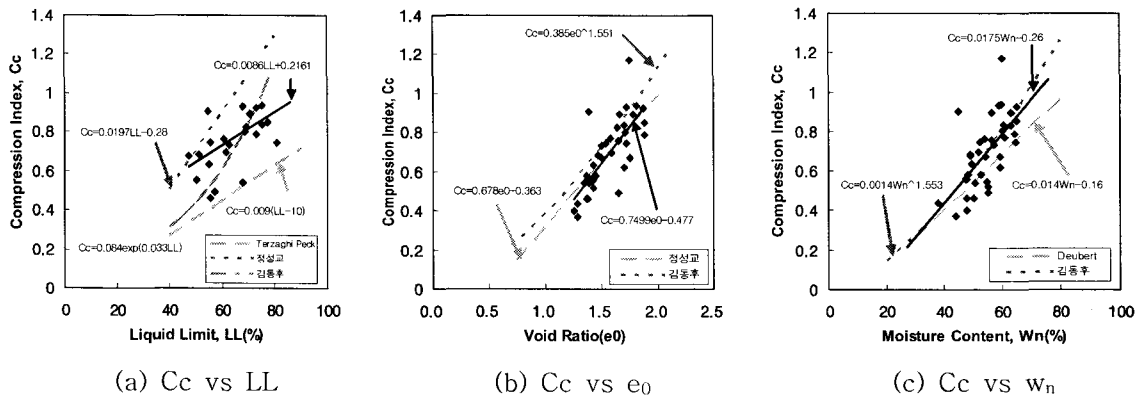


그림 3.21 상부점토층의 압축특성

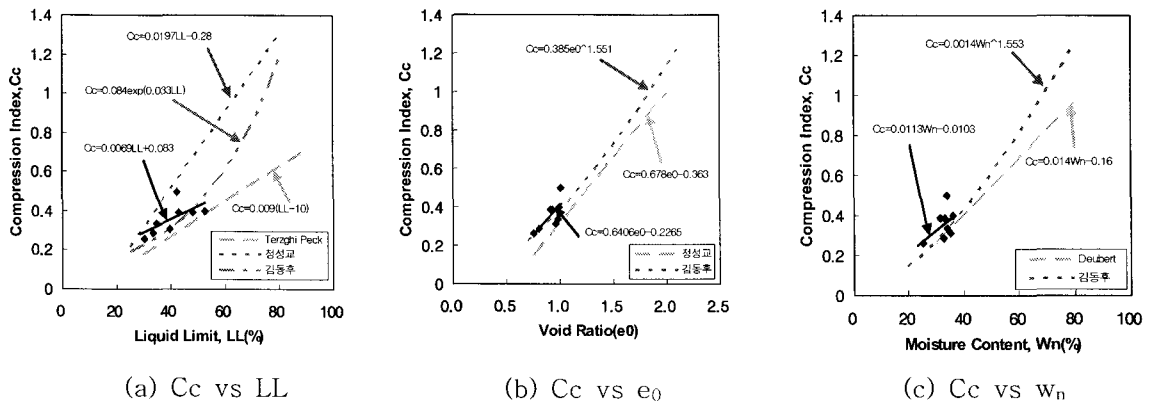
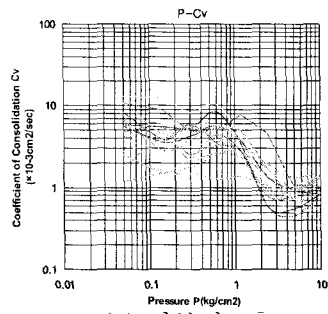


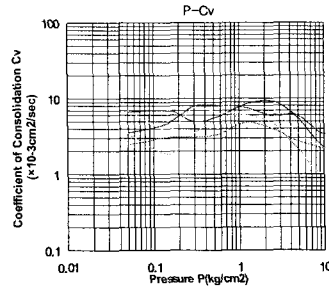
그림 3.22 하부점토층의 압축특성

3.3.3 압밀계수, C_v

그림 3.23은 압밀시험결과에서 얻어진 압밀계수값(C_v)을 도시한 것으로 상부점토층은 $4.5 \times 10^{-4} \sim 1.4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 하부점토층은 $1.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 의 범위로 나타나, 상부점토층이 상대적으로 작은 값을 갖는 것으로 분석되었다.



(a) 상부점토층



(b) 하부점토층

그림 3.23 압밀계수

4. 현재의 압밀도 분석

4.1 압밀도 추정

주 압밀침하층인 상부 점토층에 대하여 현재 시점(2005년 5월)의 압밀도를 추정하기 위하여 점토층 중간심도인 GL(-)25m 위치에서 Piezocone 소산시험을 수행하였다. Piezocone 소산시험을 이용한 압밀도 추정방법은 시간에 따른 소산도 곡선(그림 4.1 및 그림 4.3)에서 x축 시간을 역수로 취하면 소산 시험 최종부분이 직선으로 수렴(그림 4.2 및 그림 4.4)하는데, 이때의 최종 수렴값을 토대로 지반의 압밀도를 추정하는 방법이다. 즉, 압밀이 완료(정규압밀상태)되어 압밀도를 100%라고 가정해 보면, 다음 식 4.1을 이용하여 현지반의 압밀도를 추정할 수 있다(임, 2005).

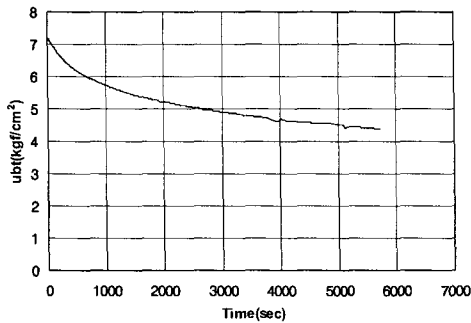


그림 4.1 C1-1구간 소산시험결과

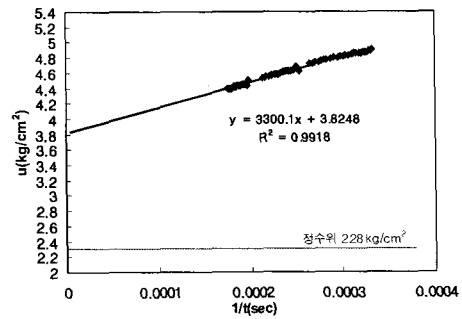


그림 4.2 C1-1구간 압밀도 판정

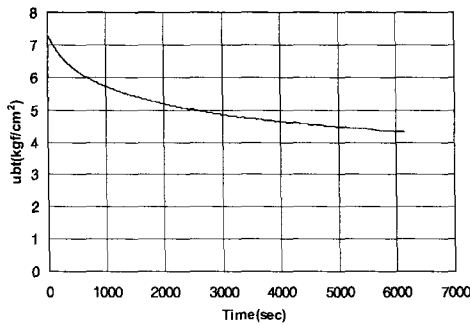


그림 4.3 C1-2구간 소산시험결과

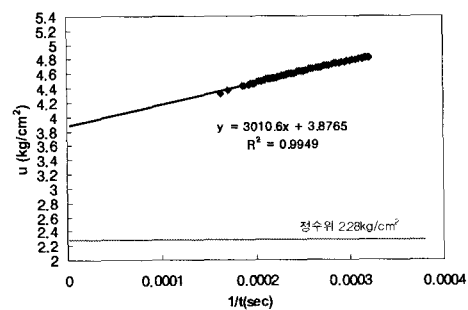


그림 4.4 C1-2구간 압밀도 판정

$$U(\%) = 100 - \left\{ \frac{U_{100} - U_0}{U_i - U_0} \right\} \times 100 \quad (\text{식 4.1})$$

- U_{100} : Piezocone 관입으로 인해 발생한 과잉간극수압이 100% 소산되었을 때의 추정되는 과잉간극수압 (그림 4.2 및 그림 4.4의 y 절편 값)
 U_i : Piezocone 소산시험 시작 직후의 과잉간극수압
 U_0 : 시험심도에서의 정수압 (지하수위는 GL(-)2.0m 적용)

$$1\text{구간} : U_1 = 100 - \frac{3.825 - 2.28}{7.09 - 2.28} \times 100 = 67.8\%, \quad 2\text{구간} : U_2 = 100 - \frac{3.876 - 2.28}{7.28 - 2.28} \times 100 = 68.0\%$$

산정 결과, 상부점토층 중간을 기준으로 할 때 현 지반상태에서의 압밀도는 67.8~68.0%로 분석되어 현재 압밀이 진행 중에 있는 지반으로 판단된다. 단, Piezocone 소산시험을 이용한 압밀도 추정방법은 소산율이 최소 60%~90%를 만족하여야 신뢰도가 높은 것으로 보고되어 있으나, 현 소산율은 56%~59%로 신뢰도가 다소 낮을 가능성이 있다. 이에 압밀시험 결과를 이용한 현 시점의 압밀도를 추정하여 Piezocone 소산시험 결과와 비교하였다. 압밀시험 결과로부터 상부점토층의 압밀계수 C_v (대표값 $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$)를 선정하고 매립 완료후에서 현 시점까지의 경과시간(압밀기간 약 9년)에 대한 압밀도를 산정한 결과, 60.0%(양면배수, 연약층 두께 20m)로 나타났다. 이로 판단하여 볼때, 현지반의 압밀진행은 60%~70% 정도 진행된 것으로 추정된다.

4.2 잔류침하량 추정

Terzaghi 1차원 압밀이론을 이용하여 시간에 따른 침하량을 산정 및 도시하면 표 4.1 및 그림 4.5와 같다. 침하량 산정시, 초기간극비(e_0)와 압축지수(C_c)는 시험 평균값을 적용하였으며, 정규압밀점토로 가정하였다. 침하량 산정결과, 최종침하량은 70.5cm 이고 60% 압밀시의 침하량은 42.3cm로 현 시점 이후의 잔류침하량은 약 28.2cm 이며, 90% 압밀시까지 향후 약 18년이 소요될 것으로 추정된다. 그러나, 압밀기간 9년 경과시의 침하량은 4.1절에서 추정된 압밀도를 토대로 검토된 값으로 상부 점토층에 국한하여 계산된 값이고, Creep에 의한 2차압밀 침하 및 하부 점토층의 침하 등이 고려되지 않은 조건이므로 실제 발생하는 잔류침하량과는 차이가 발생할 수 밖에 없다. 따라서, 정확한 잔류침하량 분석을 위해서는 보다 정밀한 추가 시험 및 분석작업이 필요할 것으로 판단된다.

표 4.1. 압밀도에 따른 잔류침하량 검토

압밀도 U	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1
시간계수 T_v	0.196	0.283	0.403	0.567	0.848	1.13	-
압밀침하량 S(cm)	35.3	42.3	49.4	56.4	63.5	67.0	70.5
시간 t (day)	2269	3275	4664	6563	9815	13079	-
시간 T (year)	6.2	9.0	12.8	18.0	26.9	35.8	-
잔류침하량 S'(cm)	35.3	28.2	21.2	14.1	7.1	3.5	0.0

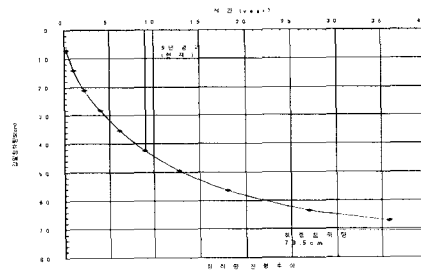


그림 4.5 침하량 추정

5. 결론

연구대상 부지인 '부산 명지주거단지'내에서 1992년 ~ 2005년에 걸쳐 수행된 지반조사 결과를 바탕으로 퇴적이력, 물리적 특성, 강도특성, 압밀특성, 시간경과 효과 등에 대한 분석을 수행한 결과를 토대로 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 퇴적이력에 대한 문헌조사 결과, 대상지역의 상·하부 점토층은 퇴적연대의 차이로 인하여 물리적 특성, 강도 특성, 압밀 특성 등이 서로 상이한 것으로 분석되었으며, 상·하부 점토층에 대한 공학적 평가는 구분되어야 할 것으로 판단된다.
- 2) 상부 점토층에 대한 OCR 분석, Piezocone 시험 분석, 압밀시험 분석 그리고 압밀진행에 따른 강도 특성 분석을 수행한 결과, 배수층과 인접한 점토층 상하단에는 압밀 완료(OCR 1 이상)시점에 근접하였으나, 중앙부에는 압밀이 아직 진행중인 것으로 추정된다.
- 3) Piezocone 소산시험을 이용한 압밀도 추정 방법과 압밀시험 결과를 이용한 압밀도 분석결과로 볼 때, 현재의 압밀도는 약 60%~70% 정도이며, 90% 압밀에 도달하기 위해서는 향후 약 18년 이상의 기간이 필요한 것으로 판단된다. 따라서, 향후 구조물 기초 설계시 이에 대한 충분한 고려를 하여야 한다.
- 4) GL-40m 내외에 분포하고 있는 하부 점토층은 위치별 분포 층후의 변화가 크고, 점토와 사질토의 호층이 발달되고, Sandseam 존재 등이 확인되어 위치별 강도 및 압축특성이 큰 차이를 보이고 있다. 따라서, 향후 상·하부 점토층 사이에 위치한 중간 모래층을 기초 지지층으로 적용하는 경우에는 상세 지반조사를 통하여 하부 점토층의 특성에 대하여 충분히 고려하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 김상규(1999), "김해 점토의 공학적 특성과 기초 설계와의 관련", proceedings of Sang-kyu Kim Symposium on Geotechnical Engineering, Seoul, pp205~230, April
2. 김상규, 박성재, 정성교(2001), "대심도 연약지반에 시공된 매립단지 및 구조물의 기초공법에 대한 평가", 한국지반공학회, 국내퇴적토층의 토질특성 및 지반개량 대책 학술발표회 논문집, pp.3~24
3. 부산직할시 종합건설본사(1992, 2), "명지주거단지 조성사업 실시설계 보고서"
4. 부산직할시 종합건설본사(1992, 2), "명지주거단지 조성사업 토질조사 보고서"
5. 백정수 구조 연구소(1997), "명지주거단지 조성사업 연약지반 기초 및 침하연구검토", pp170~186
6. 롯데건설(주), (주)동아지질 (1997), "명지주거단지 추가 지반조사보고서"
7. 롯데건설(주), 마루에이 조사설계(주) (2002, 10), "명지주거단지 지반조사 보고서"
8. 롯데건설(주), (주)동아지질 (2005), "명지주거단지 추가 지반조사 및 말뚝 시험타 용역 보고서"
9. 마루에이 조사설계(주) (2005), "명지주거단지 건설공사 중 기초말뚝 현장시험 중간보고서"
10. 윤성학, 이건, 김창동, 사상호, 남순성(2005), "서남해안 지역 연약 점성토층의 침하 특성 연구", 한국지반공학회, 2005년 기초·연약지반·지반조사 기술위원회 공동 학술발표회 논문집, pp.117~123
11. 임병석(2005), "Case study of soft ground geotechnical investigation and pile capacity in US and Korea", 한국지반공학회, 2005년 기초·연약지반·지반조사 기술위원회 공동학술발표회 논문집, pp.43~81
12. 정경환, 박성재, 박재환, 김찬홍, 오원택(2001), "양산지역의 한일 공동조사 결과", 한국지반공학회, 국내퇴적토층의 토질특성 및 지반개량 대책 학술발표회 논문집, pp.165~183
13. 정성교,곽정민, 김규중, 백승훈(2001), "부산점토의 지반공학적 특성에 관한 고찰", 한국지반공학회, 국내퇴적토층의 토질특성 및 지반개량 대책 학술발표회 논문집, pp.27~41
14. 한국지반공학회(2003), "지반조사 결과의 해석 및 이용", pp178~182
15. 한영철(2001), "낙동강 유역의 연약점성토 퇴적 특성에 대한 고찰", 국내퇴적층의 토질특성 및 지반개량 대책 학술발표회 논문집 pp45~53
16. 김동후, 김기웅, 백영석(2003), "해성점토의 물리적특성과 압축지수의 상관성", 한국지반공학회 논문집, 제19권 6호 pp371~387
17. 정성교, 곽정민, 장우영, 김덕곤(2002), "낙동강 하구 점토의 압축특성에 관한 연구", 한국지반공학회 논문집, 제18권 4호 pp295~307
18. Whittle, A.J. and et al,(2000), "prediction and interpretation of pore pressure dissipation for a tapered piezoprobe," Geotechnique Vol.51. No.7 pp601~617
19. Mehmet T. Tumay, Ph.D., P.E.(2005), "Cone Penetration Technology-Past, Present and Future", 한국지반공학회, 2005년 기초·연약지반·지반조사 기술위원회 공동 학술발표회 논문집, pp.3~39