

낙동강하구 점토의 공학적 특성과 압축지수와의 상관성 연구

A study on the relationship between engineering properties and compression index for Nakdong-River estuary clay

진승현¹⁾, Seung-Hyeon Jin, 이규환²⁾, Kyu-Hwan Lee, 정대석³⁾, Dae-Suk Jung

¹⁾ 중부대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Joongbu University

²⁾ 건양대학교 건설시스템공학과 부교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Konyang University

³⁾ 중부대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Joongbu University

SYNOPSIS : This research intends to clarify the engineering characteristics of compression index which plays the most important role in the calculation of consolidation settlement, based on the survey of the clay in the estuary of Nakdong River. In addition, it will analyze the parameters of soil and the correlation between the parameters and the existing relation, especially the correlation with compression index, through which it will propose a proper relation for the parameters of clay in this area. As a result of the study, the relation between the settlement and the compression rate using compression index showed 13% settlement error on the average. It is judged that this number can be used for forecasting the consolidation characteristics and the settlement for brief (preliminary) design when the difference between the execution settlement and the measuring settlement is regarded to be 15%.

Keywords : compression index, marine clay, Nakdong River, settlement

1. 서론

인구 증가와 산업화의 발달로 인해 협소한 국토 개발의 필요성에 따라 그동안 연약지반 지역으로 발전이 제한된 곳들이 개발되기 시작하였으며 연약지반인 바다를 매립하여 항만, 공업단지, 국도, 고속도로 등이 조성되어지고 있다. 그러나 연약지반 처리 기술의 부족으로 인한 공사 부실, 예산 낭비라는 큰 문제점을 남기고 있다.

이러한 연약 지반은 지반조사가 매우 중요한데 그 이유는 체계적이고 정밀한 지반조사를 바탕으로 합리적인 연약지반 개량공법 적용, 설계 및 시공이 가능하기 때문이다.

본 연구는 압밀 침하량 산정에 가장 중요한 역할을 하는 압축지수에 관하여 낙동강 하구의 지반 조사를 바탕으로 낙동강 하구 점토의 공학적 특성을 규명하고자 한다. 또한 낙동강 하구 지역 점토의 각종 토질정수와의 상관성을 지금까지 발표되었던 관계식과 비교해 보고, 특히 압축지수와의 상관성을 중심으로 분석, 침하량 산정 시 어떠한 차이점이 있는지를 알아보고 이 지역 토질정수에 적합한 관계식을 유도하는데 목적이 있다.

2. 시료 및 시험방법

2.1 시료 채취구역

낙동강 하구 지역의 경제자유구역 00지구 개발사업 지반조사 자료를 이용 하여 본 연구를 수행 하였으며 연구 지역은 행정구역상 부산광역시 강서구 신호동·화전동에 속한다.

2.2 시험방법

연구 구간 내 기본 물성 파악을 위해 함수비시험, 비중시험, 체분석시험, 액성한계시험, 소성한계 시험, 입도 분석 시험을 실시하였으며 연약지반 특성을 파악하기 위하여 일축압축시험, 삼축압축시험, 표준(장기) 압밀시험을 실시하였다.

3. 낙동강 하구 점토의 공학적 특성

3.1 물리적 특성

낙동강 하구 점토의 물리적 특성 중 활성도는 0.379~1.763의 분포 범위로 나타났으며 대부분 Illite로 나타났다. #200번체 통과율은 88.4%~96.2%로 평균 92.5%로 나타났으며 통일분류법으로 분류하면 대부분 CH, CL로 나타났다. 비중(G_s)은 상부점토층은 2.68~2.67로 나타났고 하부점토층은 2.63~2.71의 분포로 나타났다. 자연함수비(w_n)는 평균 39%, 액성한계(LL)는 평균 58.5%, 액성지수(LI)는 -3.6~2.8로 0 보다 작은 값을 제외하고 평균 0.6으로 나타났다.

3.2 압밀특성

압축지수는 0.404~1.098 사이의 값을 나타냈으며 수정압축지수는 0.404~1.324 사이의 값을 나타냈다. 선형압밀하중은 40(KN/m^2)~210(KN/m^2)의 분포를 나타냈으며 과압밀비는 0.33~1.14(평균 0.67)의 분포 범위로 나타났다.

3.3 강도특성

비배수전단강도 ($c_u=qu/2$)에 대한 분포범위는 7.61~74.82 KN/m^2 (평균 35.75 KN/m^2) 로 나타났으며 삼축압축시험(UU-test)의 비배수전단강도에 대한 분포 범위는 8.34~77.36 KN/m^2 (평균 36.14 KN/m^2) 로 나타났고 예민비는 2.49~10.60 사이의 값을 얻었다.

4. 물리적 특성과 압축지수 분석

토질정수 상관관계는 연구된 자료들의 비교가 용이 하도록 회기분석에 의한 선형 형식으로 표기하였다. 본 연구에서는 여러 학자들의 발표된 논문 중 송만순(1998)의 기준에 따라 r값을 선정하였다. r값이 0.4미만이면 상관정도가 낮고, 0.4~0.69일 경우 보통의 상관성, 0.7~0.89일 경우 높은 상관성, 0.9이상일 경우 매우 높은 상관성이 있는 것으로 적용하였다.

4.1 압축지수와의 상관관계

4.1.1 액성한계와 압축지수와의 상관관계

액성한계와 압축지수와의 상관관계를 선형 회귀분석하여 나타낸 그래프로 김동후(2002)가 액성한계 60% 미만인 점토를 대상으로 제안한 식 $C_c = 0.01(LL - 5)$ 와 최충탁(2006)이 서부산 지역을 대상으로 제안한 식 $C_c = 0.011(LL - 3)$ 과 거의 유사한 증가율을 보였다. 상관성의 계수인 r 값은 0.8로 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났으며 상관 관계식은 $C_c = 0.012(LL - 3.95)$ 로 나타났다.

4.1.2 소성지수와 압축지수와의 상관관계

소성지수와 압축지수와의 상관관계를 선형 회귀분석하여 나타낸 그래프로 그림2에서 보는바와 같이 액성한계의 증가에 따라 압축지수가 증가하는 경향을 보였다. 상관성의 계수인 r 값은 0.85로 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났으며 상관 관계식은 $C_c = 0.0182(PI + 4.24)$ 로 나타났다.

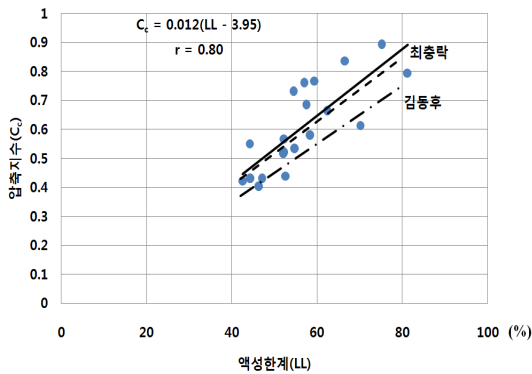


그림1. 액성한계와 압축지수와의 관계

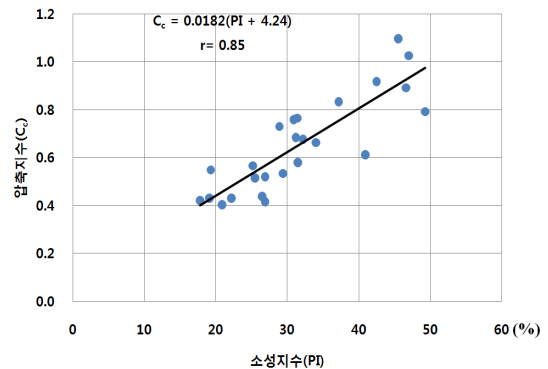


그림2. 소성지수와 압축지수와의 관계

4.1.3 자연함수비와 압축지수와의 상관관계

자연함수비와 압축지수와의 상관관계를 선형 회귀분석하여 나타낸 그래프로 장정욱의 2인(2001)이 진해 지역을 대상으로 제안한 식 $C_c = 0.015(w_n - 2)$ 와 김동후(2002)가 자연함수비 50% 미만을 대상으로 제안한 식 $C_c = 0.013(w_n - 8)$ 과 거의 유사한 증가율을 보였다. 상관성 계수인 r 값은 0.81로 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났으며 상관 관계식은 $C_c = 0.0161(w_n - 11.5)$ 로 나타났다.

4.1.4 초기간극비와 압축지수와의 상관관계

초기간극비와 압축지수와의 상관관계를 선형 회귀분석하여 나타낸 그래프로 김동후(2002)가 초기간극비 1.3미만을 대상으로 제안한 식 $C_c = 0.47(e_o - 0.18)$ 과 장정욱의 2인이 진해지역을 대상으로 제안한 식 $C_c = 0.7(e_o - 0.34)$ 와 유사한 결과를 얻었다. 상관성 계수인 r 값은 0.8로 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났으며 상관 관계식은 $C_c = 0.5817(e_o - 0.29)$ 로 나타났다.

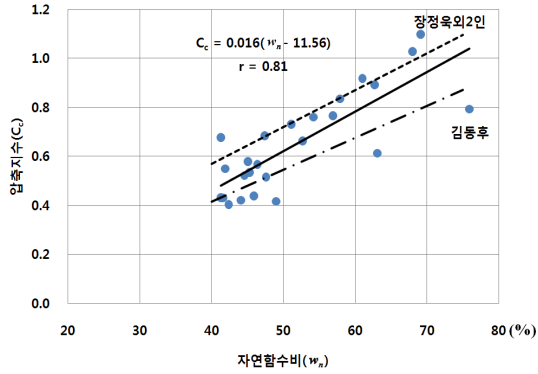


그림3. 자연함수비와 압축지수와의 관계

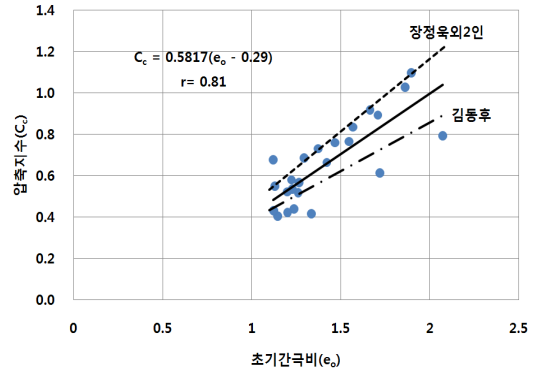


그림4. 초기간극비와 압축지수와의 관계

4.2 압축비와의 상관관계

4.2.1 액성한계와 압축비와의 상관관계

액성한계와 압축비와의 상관관계를 선형 회귀분석하여 나타낸 그래프로 최충락(2006)이 서부산 지역을 대상으로 제안한 식 $\frac{C_c}{1+e_o} = 0.0037(LL+13)$ 과 거의 동일한 결과를 얻었다. 상관성 계수인 r값은 0.7로 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났으며 상관 관계식은 $\frac{C_c}{1+e_o} = 0.0036(LL - 15.64)$ 로 나타났다.

4.2.2 소성지수와 압축비와의 상관관계

소성지수와 압축비와의 상관관계를 선형 회귀분석하여 나타낸 그래프로 최충락(2006)이 서부산 지역을 대상으로 제안한 식 $(\frac{C_c}{1+e_o}) = 0.0044(PI+29)$ 와 거의 동일한 결과를 얻었다. 상관성 계수인 r값은 0.71로 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났으며 상관 관계식은 $\frac{C_c}{1+e_o} = 0.0044(PI+29.)$ 로 나타났다.

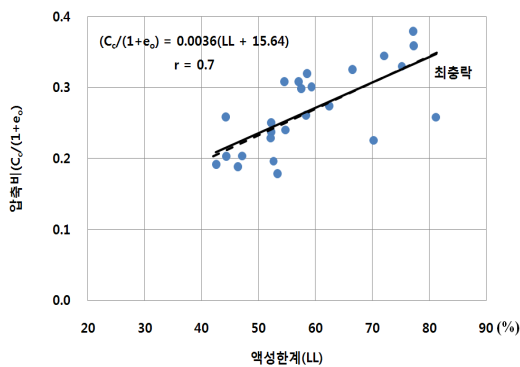


그림5. 액성한계와 압축비와의 관계

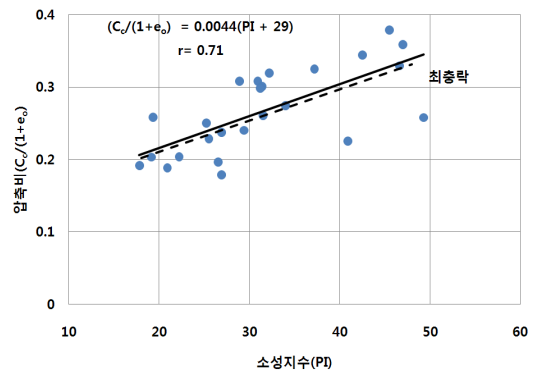


그림6. 소성지수와 압축비와의 관계

4.2.3 자연함수비와 압축비와의 상관관계

자연함수비와 압축비와의 관계를 선형 회귀분석하여 나타낸 그래프로 그림7에서 보는바와 같이 자연함수비의 증가에 따라 압축비가 증가하는 경향을 보였다. 상관성 지표인 r값은 0.59로 보통의 상관성을 가지는 것으로 나타났으며 상관 관계식은 $\frac{C_c}{1+e_o} = 0.0034(w_n + 25.97)$ 로 나타났다.

4.2.4 초기간극비와 압축비와의 상관관계

초기간극비와 압축비와의 관계를 선형 회귀분석하여 나타낸 그래프로 그림8에서 보는바와 같이 초기간극비의 증가에 따라 압축비가 증가하는 경향을 보였다. 상관성 계수인 r값은 0.59로 보통의 상관성을 가지는 것으로 나타났으며 상관 관계식은 $\frac{C_c}{1+e_o} = 0.124(e_o + 0.75)$ 로 나타났다.

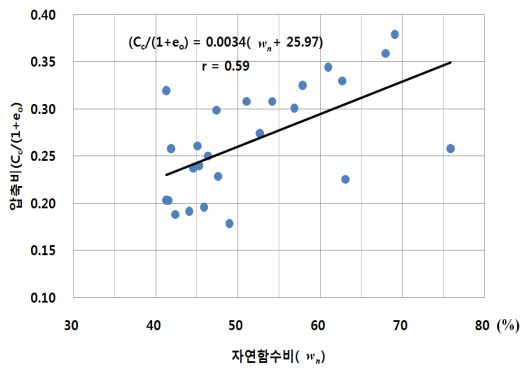


그림7. 자연함수비와 압축비와의 관계

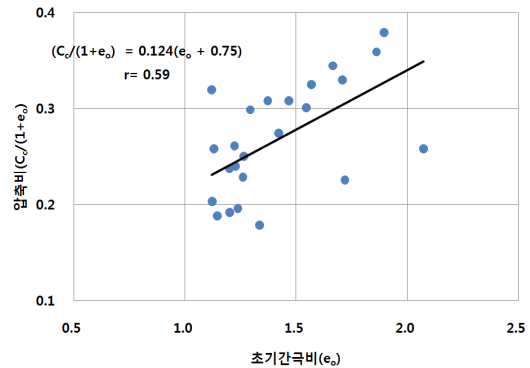


그림8. 초기간극비와 압축비와의 관계

4.3 침하량 분석

압축지수를 이용한 침하량 계산과 압축비와 액성한계, 소성지수, 자연함수비, 초기간극비의 상관관계를 활용한 침하량 계산을 계산하였다. 압축지수-압축비상관식의 침하량 비율은 평균 13%의 결과를 얻었으며 이결과는 예측된 실제 침하량과 실시 설계 침하량이 15%~20%의 차이를 보이므로 것으로 간주할 때 개략(예비)설계에 활용하여 침하량 예측에 참고할 수 있을 것으로 판단된다.

표1은 압축지수를 이용한 침하량과 각 상관관계를 이용한 침하량 계산결과 값을 오차범위 10% 이내, 11~20%, 21%이상 결과 값을 정리한 표로 표에서 보는바와 같이 소성지수는 침하량 오차범위 20%이내 가 84%로 나타났으며 액성한계는 72%, 자연함수비는 84%, 초기간극비는 80%로 나타났다.

표1. 압축지수와 압축비의 침하량 오차(%)

오차범위	소성지수	액성한계	자연함수비	초기간극비
1%~10%	48%	60%	32%	32%
11%~20%	36%	12%	52%	48%
21%이상	16%	24%	16%	20%

5. 결론

본 연구는 낙동강 하구 점토의 지반 조사 자료를 이용하여 공학적 특성을 분석하고 토질 정수를 압축지수 및 압축비와 선형 회기분석하여 상관관계를 추정하고 이 자료를 토대로 침하량을 계산하여 간접적으로 실무에 적용할 수 있도록 하였다.

1) 낙동강 하구 점토의 물리적 특성 중 활성도는 0.379~1.763의 분포 범위로 나타났으며 대부분 Illite로 나타났다. #200번체 통과율은 88.4%~96.2%로 평균 92.5%로 나타났으며 통일분류법으로 분류하면 대부분 CH, CL로 나타났다.

2) 낙동강 하구 점토의 공학적 특성 중 비중(G_s)은 상부점토층은 2.68~2.67, 하부점토층은 2.63~2.71로 나타났으며 자연함수비(w_n)는 평균 39%로 액성한계(LL)는 평균 58.5%로 액성지수(LI)는 -3.6~2.8로 0보다 작은 값을 제외하고 평균 0.6으로 나타났다.

3) 낙동강 하구점토의 압축지수와 상관관계는 상관계수인 r값이 압축지수는 높음과 매우 높음으로 나타났고 압축비와의 관계는 높음과 보통으로 나타났다. 특히 압축비와의 상관성의 경우 압밀 시험을 하지 않은 경우 압축비와 상관관계를 이용하여 연약지반의 압밀(침하)특성을 파악 하는데 매우 유용할 것으로 판단된다.

4) 압축지수를 이용한 침하량과 압축비와의 상관식을 이용한 침하량 오차가 평균 13%의 침하량 차이를 보였다. 소성지수와 압축지수 상관 관계식을 이용한 침하량의 계산이 20%이내가 84%, 액성한계는 72%, 자연함수비는 84%, 초기간극비는 80%로 나타났다. 이 수치는 실시설계 침하량과 계측 침하량이 보통 15% 정도의 차이를 보인다고 할 때 개략(예비)설계시 압밀특성을 판단할 때 활용할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

- 1) 김동후(2002), 해성점토의 물리적 특성과 압축지수의 상관성에 관한 연구, 경희대학교 박사학위논문.
- 2) 부산광역시 도시개발공사(2006), 경제자유지역 화전지구 지반조사보고서.
- 3) 송만순(1998), “우리나라 해성점토의 토질계수의 상관관계”, 한양대학교 석사학위 논문.
- 4) 최충락(2006), “서부산지역 연약지반의 공학적 특성 및 토질정수 상관관계”, 경희대학교 석사학위논문.
- 5) 정성교, 광정민, 장우영, 김덕곤(2002), “ 낙동강 하구점토의 압축특성에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제18권, 제4호, pp.295~307.
- 6) Terzaghi K., and Peck R(1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.