

광양지역 해성점토의 물리적 특성 분석

Analysis on the Physical Properties of Gwangyang Marine Clay

허 열[†] · 권선욱¹⁾ · 강석범¹⁾ · 박성훈¹⁾

Heo, Yol · Kwan, Seonwook · Gang, Seokbeom · Park, Seonghoon

ABSTRACT : Normally consolidated and slightly overconsolidated soft clay layer is widely distributed in the south coast of Korea. To ensure the efficient and economical construction design of any structure to be built on this soft soil, exhaustive studies related to geotechnical and physical engineering properties are required. In this study, the relationship of the physical properties of southern Gwangyang marine clay in the Korea Peninsula were examined, including natural water content, specific gravity, total unit weight, initial void ratio, liquid limit, plastic limit, and physical properties of activity and soil parameters. For the parameter relationship analysis, the latest relatively reliable data on the large harbor construction work were used, optimum values were deducted with linear regression and non-linear regression between soil parameters, water content or initial void ratio appears to be very large. Moreover, in the linear and involution pattern regression, equal coefficient of determination appeared. The relationship of the different parameters was shown to be excellent in the non-linear regression of involution equation and exponential equation pattern compared with the findings of linear regression analysis.

Keywords : Physical properties, Soil parameters, Linear regression, Non-linear regression

요 지 : 우리나라 서, 남해안은 정규압밀 또는 약간 과압밀된 연약 점토층이 널리 분포하고 있다. 이러한 연약지반의 효율적이고 경제적인 설계와 시공을 위해서는 사전에 지반공학 및 점토의 물리적 특성을 상세히 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 한반도 남해안 광양지역 해성점토에 대하여 자연함수비, 비중, 전체단위중량, 초기간극비, 액성한계, 소성한계, 활성도의 물리적 특성을 파악하고 토질정수간의 물리적 특성의 상관성을 규명하였다. 분석을 위하여 비교적 신뢰성이 크다고 볼 수 있는 대형 항만공사용 최근자료를 수집하여 이용하였다. 상관관계분석에서 선형회귀분석과 비선형회귀분석을 통하여 최적의 값을 도출하였다. 본 분석에 사용된 통계 소프트웨어는 SPSS(Version10.0)을 이용하였다. 분석결과 물리적 토질정수 사이의 선형 및 비선형 회귀분석결과 함수비와 초기간극비의 상관성이 가장 큰 것으로 나타났으며 선형 및 누승형 회귀분석에서 동일한 결정계수를 나타내 주고 있다. 기타 다른 정수사이의 상관성은 누승식 및 지수승식 형태의 비선형 회귀분석이 선형회귀분석보다 양호한 상관성을 보여주고 있다.

주요어 : 물리적특성, 토질정수, 선형회귀분석, 비선형회귀분석

1. 서 론

우리나라의 서, 남해안 지역 지반은 지형적인 특성으로 연약한 해성퇴적 실트질 점토로 이루어진 경우가 대부분이다. 이중 상당 부분은 과압밀비가 2 이하인 정규압밀 또는 약간 과압밀된 상태에 있으며 자연함수비와 액성한계가 비슷한 것으로 파악되고 있다. 이들 점성토 지반은 큰 압축성과 작은 전단강도 등 공학적으로 취약한 특성을 가지고 있어 과거의 각종 건설 공사 시에는 이들 지반을 이용하는 것을 회피하여 왔다. 그러나 경제 규모의 확대에 의해 공학적으로 불리한 조건에 있는 이들 지반에서의 건설 공사와 해안 매립 사업이 증가하고 있는 실정이다. 현재도 연약지반 구간을 통과하는 고속도로나 철도가 지속적으로 건설되고 있으며, 서해안과 남해안에서는 바다를 매립하여 부지를 조성해서 항만이나 공항 또는

공업단지를 건설하는 대규모 건설공사들이 진행되고 있다.

이러한 대규모 건설공사로 인해 우리나라의 연약지반 처리 관련기술 수준은 발전이 이루어져 왔다. 그러나 아직도 개선이 요구되는 분야가 많이 존재하고 있다. 특히 정밀한 지반조사의 필요성이 다른 종류의 공사보다도 상대적으로 중요한 연약지반개량사업을 통하여 지반조사상의 문제점은 점차 개선되어야 할 문제점으로 지목되고 있다. 체계적이고 종합적인 지반조사는 보다 합리적인 연약지반 개량공법의 선정, 설계 및 시공을 가능케 함으로써 안정성 증가는 물론 경제적으로도 막대한 예산 절감 효과를 얻을 수 있다. 따라서 연약지반의 경제적이고 효율적인 처리를 위해서는 체계적이고 정밀한 지반조사를 통하여 대상지반의 공학적 특성을 사전에 정확히 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 전국 규모의 종합 지반조사와 각종 지반조사 결과의 수집, 분석 및 정리가 미흡하여

† 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학부 교수(E-mail : heoyol@yahoo.co.kr)

1) 정회원, 충북대학교 토목공학과 대학원 박사과정

연약지반의 분포현황 및 특성파악이 불충분하였다. 그러나 최근의 연구결과들은 우리나라 연약지반의 특성 및 분포를 부분적으로 파악할 수 있는 자료를 제공하여 주고 있으나, 체계적으로 정리된 결과는 미약한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 남해안 광양지역 해성점토의 토질특성분석 연구의 일환으로 연구결과 중에서 물리적 특성에 대한 결과를 분석하였다.

분석의 대상은 광양항 지역의 항만 프로젝트를 위한 지반조사 결과를 분석 대상자료로 사용하였다. 분석자료의 정도를 높이기 위하여 원칙적으로 해성점토만을 대상으로 하였으며, 지역별로 시험결과들을 비교, 분석하여 시험 값이 전반적인 경향에서 크게 벗어나는 자료는 분석대상에서 제외하였다. 통일분류법으로 ML, MH, CL, ML-CL에 해당되는 시험자료는 분석대상에 포함하였으며, SC로 분류되는 자료는 분석대상에 포함하지 않았으며, 깊이는 불교란시료 채취 심도의 중간 값을 사용하였다.

본 연구에서는 광양지역 해성점토지반의 토질특성 중 물리적 특성을 파악하여 기초자료를 제공하고, 또한 선형 및 비선형 회귀분석을 수행하여 물리적 특성값 사이의 상관관계를 분석하고자 하였다.

2. 토질특성 분석

2.1 개요

광양항 지역의 지반조사보고서(계룡건설산업, 1996; 현대건설, 2000, 2002, 2003; 여수지방해양수산청, 2001, 2002, 2003; 동아지질, 2002, 2003; 삼성물산, 2002; 대우건설, 2002, 2003; 대림건설 등, 2003; 포스코건설, 2003; 삼기지

질, 2004)를 통합 정리하여 깊이에 따른 해성점토의 물리적 특성을 분석하였다. 단, 시험결과 중에서 통일분류법으로 SC로 분류되는 자료는 이용하지 않았으며 물리적 특성에서는 깊이에 따른 함수비, 비중, 전체단위중량, 간극비, 액성한계, 소성한계, 소성지수, 액성지수, 200번체 통과율, 2 μ m 이하 점토입자 함유율, 활성도를 분석하였다. 광양지역 점토의 물리적 특성분석에 이용된 자료의 수는 최대 자료수는 1,290건으로 분석되었다.

2.2 물리적 특성

2.2.1 함수비

그림 1은 깊이에 따른 함수비 분포를 나타낸 것으로 광양 지역의 함수비는 19.55~181.4%의 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있으며, 평균 함수비는 82.78%를 나타내고 있다. 깊이가 증가함에 따라 함수비가 약간 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 본 연구에 포함된 대상 지역의 점토층의 최대 두께를 알 수 있으며, 광양지역의 경우 30m 정도로 나타났다.

2.2.2 비중

그림 2는 대상지역 점토시료의 깊이에 따른 비중분포를 나타낸 것으로 깊이에 따라 비교적 일정한 경향을 보이고 있다. 광양지역 점토의 비중은 2.58~2.77의 범위에 분포하며, 평균비중은 2.695로 조사되었다.

2.2.3 전체단위중량

그림 3은 깊이에 따른 전체단위중량의 변화를 나타낸 것으로 광양지역 점토의 전체단위중량은 10.299~19.531kN/m³의 범위에 분포하며, 평균 전체단위중량은 14.906kN/m³으로

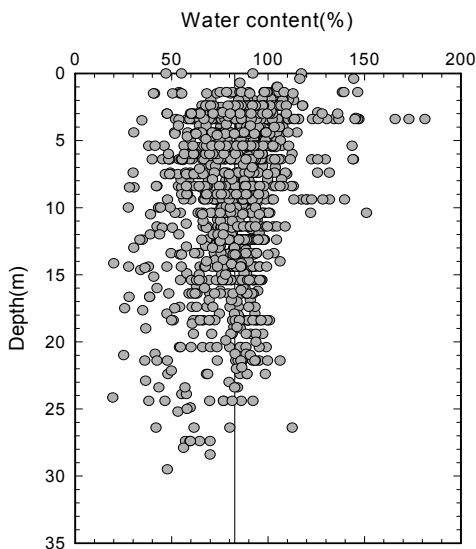


그림 1. 깊이에 따른 함수비 분포

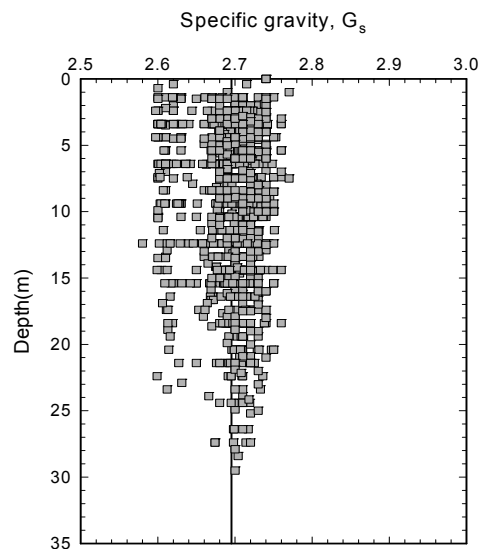


그림 2. 깊이에 따른 비중 분포

나타났다. 광양지역의 경우 깊이와 전체단위중량의 관계는 $\gamma_t = 0.0036D + 1.4834$ 로 깊이에 따라 0.0036의 기울기로 증가하지만, 결정계수가 0.08로 매우 작게 평가되었다.

2.2.4 초기간극비

본 분석에서 초기간극비는 압밀시험, 일축압축시험, 삼축 압축시험 시 측정된 결과를 이용하였으며, 그림 4는 깊이에 따른 간극비의 분포를 보여주고 있다. 광양지역 점토의 초기간극비는 0.739~4.491 정도로 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있으며, 평균 초기간극비는 2.291로 나타났다.

광양지역의 경우 깊이와 초기간극비와의 선형관계는 $e = -0.0214D + 2.512$ 로 깊이에 따라 감소하는 것으로 나타났으나, 결정계수가 0.06으로 매우 작게 평가되어 상관성은 크지 않은 것으로 나타났다. 광양지역의 경우에는 깊이 10m

이내에서 과대하게 측정된 몇 개의 자료를 제외한다면 깊이에 따라 비교적 일정한 경향을 나타낸다고 할 수도 있다.

2.2.5 액성한계와 소성한계

그림 5는 광양 지역의 깊이에 따른 액성한계의 분포를 나타낸 것으로 전반적으로 깊이에 따라 일정한 경향을 보이고 있으며, 전반적으로 액성한계 50% 이상으로 압축성과 팽창성이 큰 고소성점토에 속한다고 할 수 있다. 광양지역 점토의 액성한계는 27.5~114.92%로 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있으며, 평균 액성한계는 79.81%를 나타낸다.

그림 6은 깊이에 따른 소성한계의 변화를 나타낸 것이다. 이로부터 광양지역의 경우 소성한계는 15.5~55%의 범위에 분포하고 있으며, 평균 소성한계는 28.67%를 나타낼 수 있다.

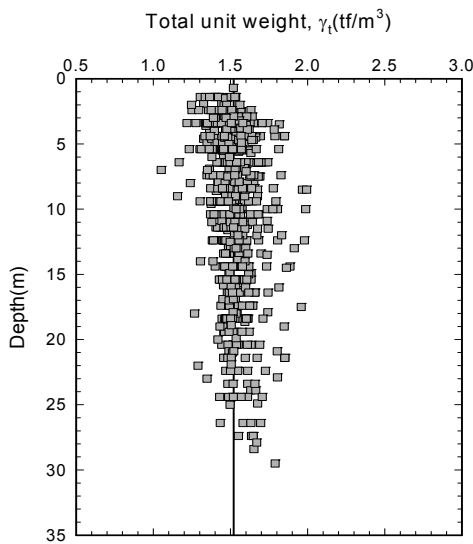


그림 3. 깊이에 따른 전체단위중량 분포

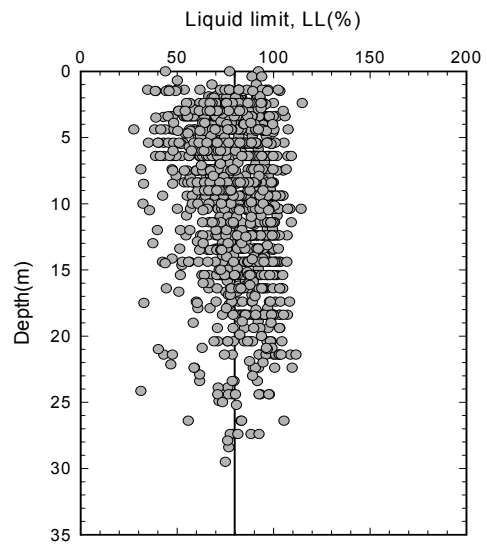


그림 5. 깊이에 따른 액성한계 분포

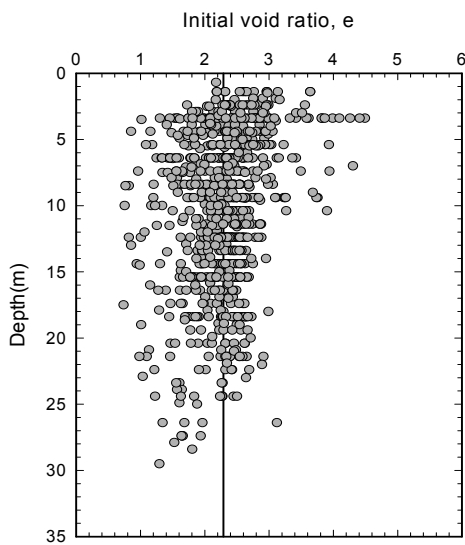


그림 4. 깊이에 따른 초기 간극비 분포

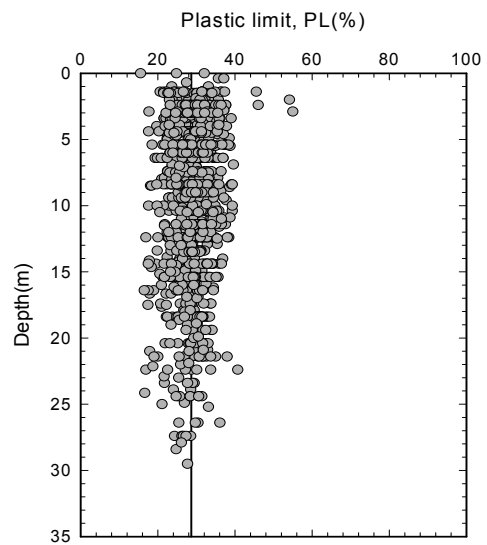


그림 6. 깊이에 따른 소성한계 분포

2.2.6 소성지수와 액성지수

그림 7은 대상지역 시료에 대한 소성지수의 분포를 나타낸 것으로 전반적으로 분포범위가 크며, 깊이에 따라 뚜렷한 경향을 나타내지 않으며, 자료의 분산이 크다는 것을 알 수 있다. 광양지역 시료의 소성지수는 8.1~82.75%의 범위에 분포하고 있고, 평균 소성지수는 51.11%를 나타내고 있다.

그림 8은 깊이에 따른 액성지수의 분포를 보인 것으로 모두 깊이가 증가함에 따라 액성지수가 감소하고 있으며, 광양지역 점토시료의 액성지수는 0.07~5.18의 범위에 걸쳐 분포하고 있으며, 광양지역 평균 액성지수는 각 1.10으로 평균값만을 고려하면 광양지역 원지반점토는 액체상태로 존재한다, 그러나 그림 8로부터 어느 깊이 이상에서는 전반적으로 모두 소성상태로 존재하고 있음을 알 수 있다. 광양지역의 경우 15m 이하의 깊이에서 액성지수는 1 이하 소성상태로 존재하

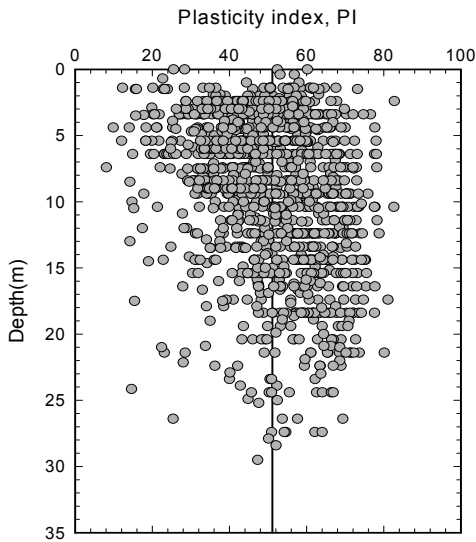


그림 7. 깊이에 따른 소성지수 분포

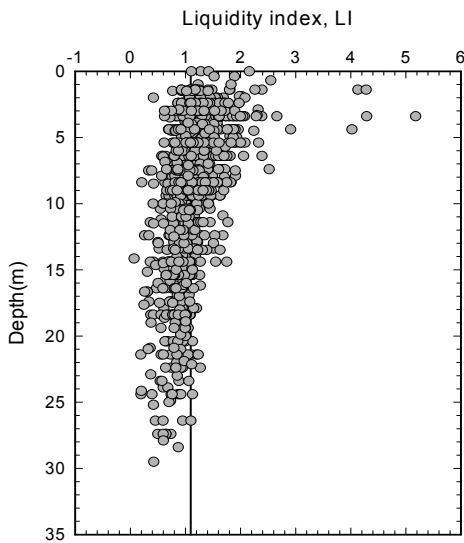


그림 8. 깊이에 따른 액성지수 분포

며, 광양지역 점토의 액성지수와 깊이와의 선형관계는 $LI = -0.03112D + 1.389$ 로 깊이에 따라 0.03112의 기울기로 감소하는 것으로 나타났으며, 결정계수는 0.21로 평가되었다.

2.2.7 200번체 통과율과 점토입자 함유율

그림 9는 대상지역 시료의 깊이에 따른 200번체 통과율을 나타낸 것으로 깊이에 따라 일정한 경향을 보이고 있다. 광양지역 시료의 200번체 통과율은 50~100%로 평균 91.01%를 나타내고 있으며, 그림 10은 깊이에 따른 2 μ m 이하의 점토입자 함유율의 변화를 나타낸 것이다. 이로부터 깊이에 따라 뚜렷한 경향을 보이지 않는 것으로 나타났으며, 측정된 자료의 분산이 크다는 것을 확인할 수 있다. 광양지역의 경우 2 μ m 이하의 점토입자 함유율은 6.25~65.3%로 평균 39.77%를 나타내고 있다.

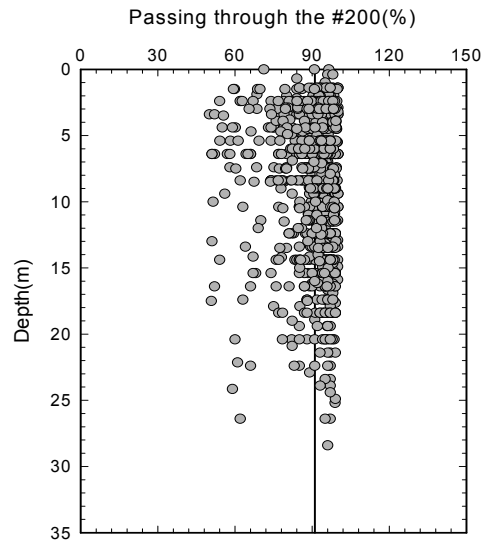


그림 9. 깊이에 따른 200번체 통과율

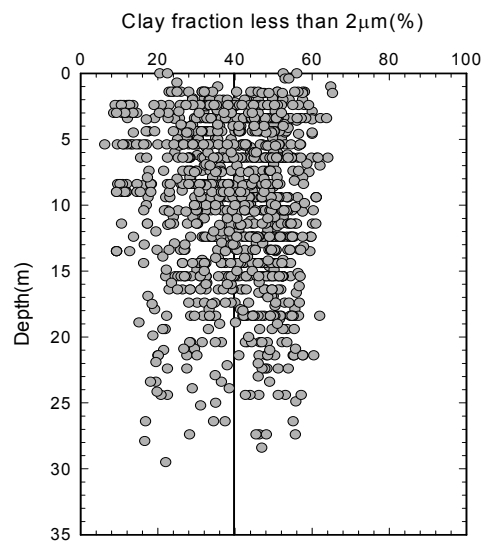


그림 10. 깊이에 따른 2 μ m 이하 점토입자 함유율

2.2.8 활성도

Skempton(1953)에 의해 제안된 활성도(A)는 소성지수와 2 μ m 이하의 점토입자 함유율의 비로 점토의 팽창성을 나타내는 지표로 활성도가 클수록 팽창성이 크며, 활성도로부터 대략적인 점토광물의 종류를 파악할 수 있다.

그림 11은 깊이에 따른 활성도의 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 광양지역의 활성도가 크다는 것을 확인할 수 있으며, 깊이에 따라서는 특별한 경향성을 보이지는 않는다. 광양지역 시료의 활성도는 0.31~6.9 정도로 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있지만 대부분은 보통 내지 활성점토의 활성도를 보이고 있으며, 평균 활성도는 1.44를 나타내고 있다.

3. 확률통계분석

3.1 개요

본 연구에서 확률통계분석은 물리적 특성 시험결과 모든 자

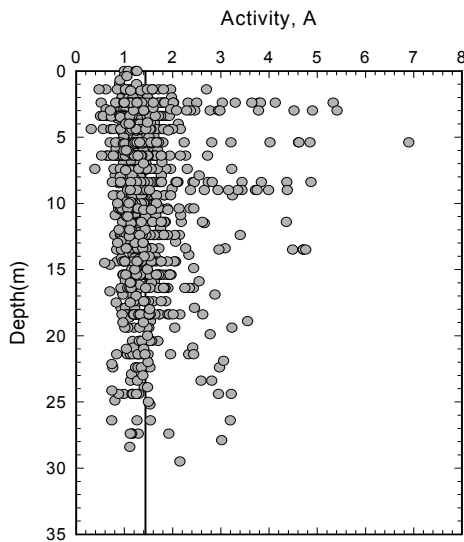


그림 11. 깊이에 따른 활성도 분포

료를 대상으로 빈도분석, 데이터탐색 등을 통하여 원 자료에 대한 평균, 표준편차 등의 기술통계량을 작성하였다. 시험에서 얻어진 각종 물성치중에는 깊이에 무관한 값과 깊이에 따라 일정한 경향을 갖는 물성치로 구분할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비중, 액성 및 소성한계 등과 같이 깊이에 무관한 물성치에 대해서는 대표값을 산정하였다. 즉, 데이터탐색을 통하여 기술통계량과 시험자료에 대한 정규성 검정을 실시하였으며, 정규성 검정은 Q-Q plot, Kolmogorov-Smirnov 방법을 통하여 분석하여 정규분포를 따르는 물성치를 확인하였으며, 유의수준은 일반적으로 많이 사용되고 있는 0.05(5%)를 적용하였다.

일반적으로 지반조사결과에 대한 통계분석에서 MCS(Monte Carlo Simulation) 분석과 Bayesian 기법을 통하여 대표값을 선정하고 있다. 그러나, 본 연구와 같이 특정지역에 대한 비교적 많은 자료에 대한 통계분석과 같은 경우 Monte Carlo Simulation 분석과 Bayesian 기법을 적용하는 것이 의미가 없는 것으로 판단되어 본 분석에서는 고려하지 않았다.

3.2 물리적 특성에 대한 통계분석

3.2.1 조사자료에 대한 기술통계량

표 1은 광양지역에서 조사된 물리적 특성의 조사자료에 대한 평균, 중위수, 변동계수, 95% 신뢰구간 등의 기술통계량을 나타낸 것이다. 대부분 물성치의 평균값과 중위수가 거의 일치 내지 근접한 상태를 보이고 있으며, 대부분의 물성치(함수비, 비중, 전체단위중량, 간극비, 액성한계, 소성한계, 소성지수, #200번체 통과율, 2 μ m 이하 점토입자 함유율)가 변동계수는 0.3 이하로 자료의 변동이 크지 않은 것으로 나타났으며, 액성지수와 활성도의 변동계수가 비교적 크게 나타났다. 첨도는 정규분포와 비교하여 분포의 뾰족한 정도를 나타내는 값으로 단위중량, 액성지수, 200번체 통과율, 활성도는 첨도가 3 이상으로 정규분포(보통첨도, 첨도계수 3)보다 높은 첨도를 보이고 있으며, 다른 물성치들은 낮은

표 1. 물리적 특성의 조사자료에 대한 기술통계량

물성치	평균	중위수	표준편차	분산	변동계수	왜도	첨도	95% 신뢰구간	
								하한	상한
W _n (%)	82.782	85.12	19.0175	361.664	0.2297	0.1211	2.1393	81.7433	83.8208
G _s	2.6953	2.7	0.0339	0.0012	0.0126	-1.1761	1.3735	2.6933	2.6972
γ_t (kN/m ³)	1.5205	1.508	0.1035	0.0107	0.0681	0.8142	3.5124	1.5137	1.5273
e	2.2910	2.323	0.5148	0.2650	0.2247	0.2180	1.9439	2.2572	2.3249
LL(%)	79.812	81.3	15.0997	228.001	0.1892	-0.5919	0.1231	78.9860	80.6375
PL(%)	28.671	28.6	4.2005	17.6441	0.1465	0.3659	2.4198	28.4416	28.9010
PI(%)	51.112	52	13.3996	179.548	0.2622	-0.3912	-0.1675	50.3797	51.8446
LI	1.0959	1.0247	0.3993	0.1594	0.3644	2.8326	19.6187	1.0741	1.1177
#200(%)	91.0063	94	9.2143	84.9034	0.1013	-2.1418	4.9637	90.4585	91.5542
2 μ m(%)	39.7709	41.5	11.9242	142.186	0.2998	-0.525	-0.2896	39.0890	40.4528
A	1.4361	1.28	0.6426	0.4129	0.4475	3.1995	14.0779	1.3994	1.4729

침도를 나타낸다. 왜도는 평균에 대한 분포의 비대칭 정도를 나타내는 지표로 왜도가 0이면 분포가 대칭임을 의미하고, 비중, 액성한계, 소성지수 등과 같이 왜도가 0 이하인 경우에는 자료가 오른쪽으로 편중되어 있음을 나타낸다.

3.2.2 정규성 검정

표 2는 광양지역 점성토의 물리적 특성의 조사자료에 대한 Kolmogorov-Smirnov의 방법에 의한 정규성 검정결과를 나타낸 것이다. 이로부터 광양지역의 물리적 특성을 나타내

표 2. 물리적 특성에 대한 Kolmogorov-Smirnov의 정규성 검정 결과

물성치	통계량	자유도	유의확률	비고
W _n (%)	0.070	1290	0.000	귀무가설 기각
G _s	0.157	1190	0.000	귀무가설 기각
γ _t (kN/m ³)	0.118	897	0.000	귀무가설 기각
e	0.073	889	0.000	귀무가설 기각
LL(%)	0.060	1287	0.000	귀무가설 기각
PL(%)	0.040	1287	0.000	귀무가설 기각
PI(%)	0.049	1288	0.000	귀무가설 기각
LI	0.132	1288	0.000	귀무가설 기각
#200(%)	0.178	1089	0.000	귀무가설 기각
2μm(%)	0.078	1177	0.000	귀무가설 기각
A	0.205	1177	0.000	귀무가설 기각

는 모든 검정통계량의 유의확률(p값)이 0.0으로 유의수준보다 작게 평가되어 조사된 자료가 정규분포에 적합하지 않는 것으로 나타났다.

3.2.3 Box plot을 통한 이상치 제거 및 빈도분석

표 3은 광양지역 점성토의 물리적 특성값에 대한 이상치 제거를 위한 box plot 결과를 나타낸 것이다. 이상치(outlier)란 자료의 전반적인 경향으로부터 뚜렷하게 벗어나는 자료로 조사자료에 이상치가 있으면 상관관계 분석 등에 전반적인 영향을 주게 된다. 표 3로부터 대부분의 물성치에 다수의 이상치가 포함되어 있음을 확인할 수 있으며, 이 이상치를 제거한 후에 물리적 특성에 대한 통계분석을 수행하였다. 표 3에서 오른쪽의 box plot은 이상치를 제거한 후의 box plot을 보여준다. 단, 이상치 제거는 깊이에 따른 변화와 무관한 물성치에 대하여 적용하였으며, 깊이에 따라 증가 또는 감소 경향을 나타내는 경우에는 전 구간에 대하여 극단값을 제거한 후 다시 깊이별로 세분하여 이상치를 제거하였다.

표 4는 광양 지역 점성토에 대해 조사된 물리적 특성값에 대한 원자료와 이상치 제거 후의 빈도 분석 결과를 나타낸 것으로 여기에는 실선으로 정규분포를 함께 도시하였다. 이로부터 이상치 제거로 인하여 분포형태가 거의 대칭형태로 바뀐다는 것을 알 수 있다.

표 3. 물리적 특성 분석대상 자료에 대한 box plot sample

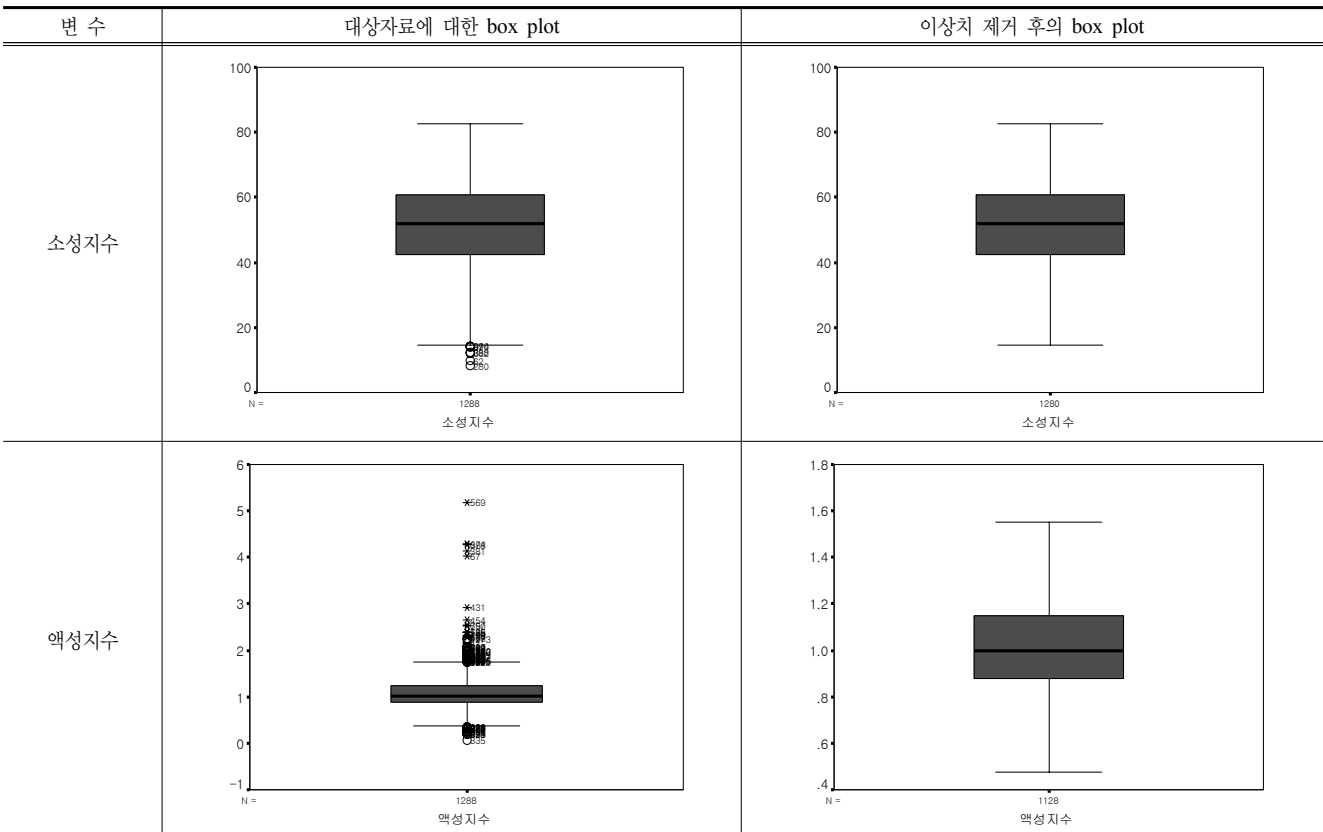


표 4. 광양지역 점성토의 물리적 특성값에 대한 빈도 분석 sample

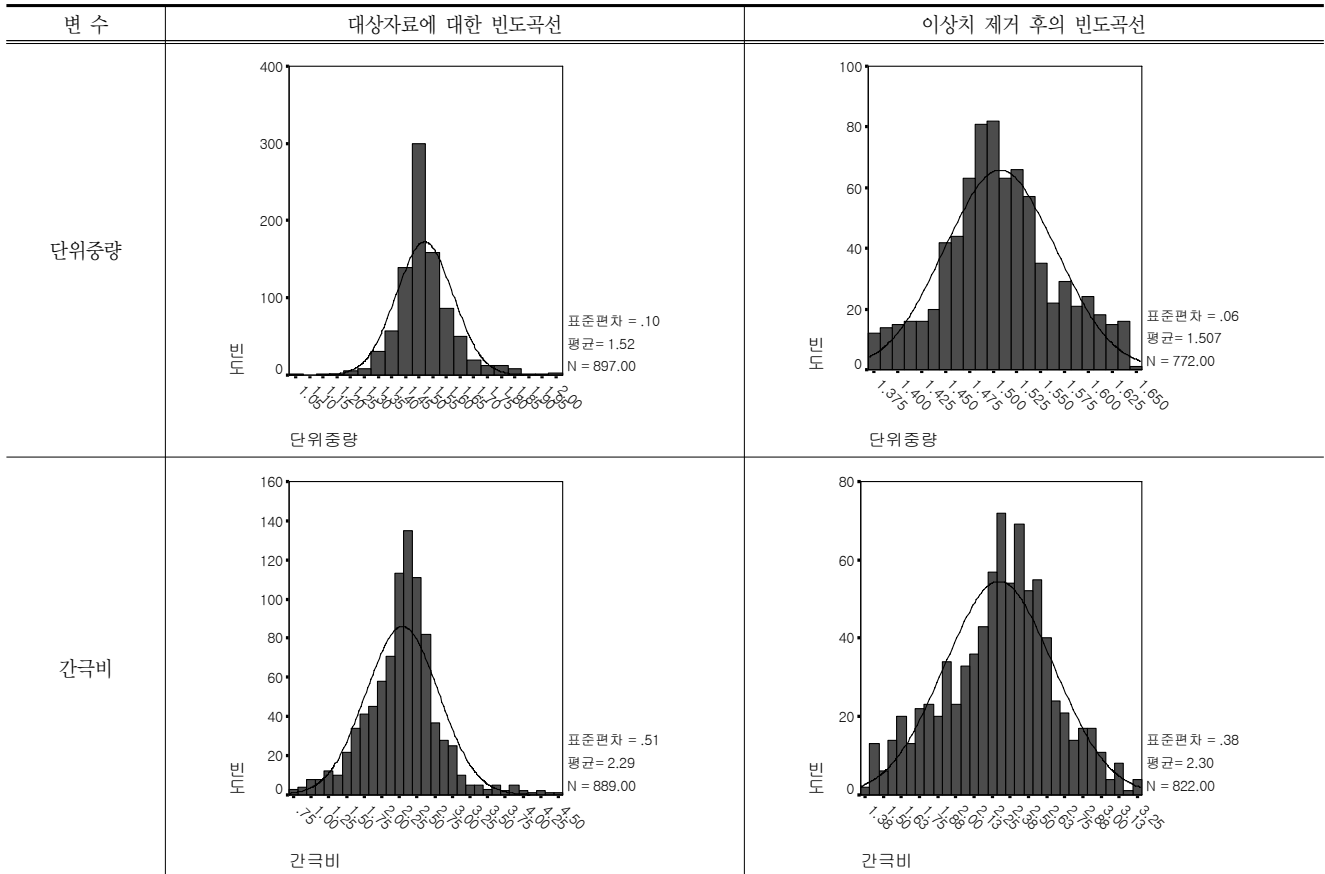


표 5. 이상치 제거 후 물리적 특성값의 기술통계량

물성치	평균	중위수	표준편차	분산	변동계수	왜도	첨도	95% 신뢰구간	
								하한	상한
W _n (%)	82.9586	85.3000	14.6009	213.1861	0.1760	-0.334	-0.226	82.1361	83.7811
G _s	2.7043	2.7020	0.0206	0.000425	0.0076	0.066	0.012	2.7031	2.7055
γ _t (kN/m ³)	1.5073	1.5040	0.058	0.0034	0.0385	0.104	-0.165	1.5032	1.5115
e	2.2974	2.3260	0.3752	0.1408	0.1633	-0.181	-0.224	2.2718	2.3231
LL(%)	80.4676	81.6000	14.2145	202.0516	0.1766	-0.411	-0.314	79.6845	81.2507
PL(%)	28.6794	28.7000	3.7051	13.7279	0.1292	0.055	-0.209	28.4740	28.8847
PI(%)	51.3540	52.0000	13.0849	171.2148	0.2548	-0.315	-0.334	50.6365	52.0715
LI	1.0239	1.0000	0.2134	0.046	0.2084	0.253	-0.111	1.0115	1.0364
2μm(%)	39.7994	41.5000	11.8891	141.3496	0.2987	-0.518	-0.304	39.1192	40.4796
A	1.2651	1.2500	0.2412	0.058	0.1907	0.247	-0.233	1.2503	1.2799

3.2.4 통계분석 결과

표 5는 앞 절에서 언급한 이상치를 제거한 후 광양지역 점성토의 물리적 특성에 대한 기술통계량을 나타낸 것이다. 표 1의 원자료와 비교하면 전반적으로 평균과 중위수의 차이가 감소하였으며, 분산 및 변동계수가 작게 나타난다는 것을 알 수 있다. 즉, 이상치 제거 후의 변동계수는 0.0076~0.2987 정도로 이상치 제거 전 원자료의 변동계수 0.0126~0.4475에 비해 감소함을 확인할 수 있다. 또한 전반적으로 왜도의 값이 감소하여 분포형태가 대칭형태에 근접한 것으로 나타났으며, 이것은 표 4의 빈도 분석 결과로부터 명확

표 6. 이상치 제거 후의 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검정 결과

물성치	통계량	자유도	유의확률	비고
W _n (%)	0.07	1213	0.000	귀무가설 기각
G _s	0.067	1067	0.000	귀무가설 기각
γ _t (kN/m ³)	0.041	772	0.004	귀무가설 기각
e	0.054	822	0.000	귀무가설 기각
LL(%)	0.059	1268	0.000	귀무가설 기각
PL(%)	0.033	1253	0.003	귀무가설 기각
PI(%)	0.049	1280	0.000	귀무가설 기각
LI	0.046	1128	0.000	귀무가설 기각
2μm(%)	0.078	1176	0.000	귀무가설 기각
A	0.044	1027	0.000	귀무가설 기각

하게 확인할 수 있다. 표 6은 이상치 제거 후의 정규성 검정 결과를 나타낸 것으로 광양지역의 경우에는 원자료와 동일하게 나타났다.

4. 상관관계 분석

4.1 토질 정수 사이의 상관성분석

본 장에서는 분석대상 자료로부터 물리적 특성을 나타내는 토질 정수 사이의 상관 관계에 대하여 상관성분석을 실시하였으며, 박성현(1999)등의 통계 자료 분석을 위한 한글 SPSS를 참고로 하여 본 분석에 사용된 통계소프트웨어는 시카고대학에서 개발된 SPSS(version 10.0)를 이용하였다. 회귀분석에 앞서 각 토질 정수 사이의 상관성 분석을 실시하여 회귀식을 구하지 않고도 두 변수가 얼마나 밀접한 관계에 있는가를 추정할 수 있다. 따라서 본 연구에서도 광양 지역 분석된 원자료를 대상으로 하여 물리적 특성을 나타내는 토질정수들에 대한 상관성분석을 실시하였으며, 그 결과 Pearson의 상관계수를 표 7에 나타내었다. 표 7에 나타낸 바와 같이 물리적 특성들 중에서는 초기간극비와 함수비 사이의 상관계수가 0.925~0.951로 상관성이 가장 양호한 것으로 나타났으며, 그 다음으로 초기간극비와 전체단위중량사

이의 상관계수가 -0.879~-0.889로 상관성이 양호한 것으로 분석되었다.

4.2 물리적 특성사이의 상관성분석

4.2.1 선형회귀분석

물리적 특성을 나타내는 토질 정수 사이의 상관관계를 파악하기 위하여 선형회귀분석을 실시하였으며, 분석대상 자료는 원자료와 통계분석에서 box plot을 통하여 이상치를 제거한 후의 자료에 대하여 실시하여 관계를 분석하였다.

그림 12와 표 8은 광양지역 점성토의 물리적 특성을 나타내는 토질정수 사이의 선형회귀분석 결과를 나타낸 것이다. 원자료를 대상으로 함수비와 물리적 특성들 사이의 결정계수는 0.341~0.904, 액성한계와 물리적 특성간의 결정계수는 0.279~0.301, 초기간극비와 전체단위 중량 사이의 결정계수는 0.790으로 각각 다른 상관성을 나타냈다. 이들 중에서 함수비와 초기간극비 그리고 초기간극비와 전체단위 중량 간의 상관관계가 비교적 양호한 것으로 나타났다.

액성한계와 초기간극비와의 관계를 보면 액성한계가 50% 이내에서는 초기간극비를 다소 과대평가하게 되며, 그 이상에서는 과소평가하는 이상치들이 비교적 많은 것으로 나타내는 결과를 보였다. 이러한 현상은 단순회귀분석에서 사용되는 분석방법이 최소자승법으로써 단순히 잔차를 자승한 값들의 합이 최소가 되도록 회귀식을 구하는 방법이기 때문이다.

따라서 상관관계에서 비교적 많이 벗어나는 이상치를 제거한 후 다시 선형회귀분석을 실시하였으며, 선형회귀분석 결과 함수비와 물리적 특성들 사이의 결정계수는 0.311~0.861, 액성한계와 물리적 특성간의 결정계수는 0.171~0.591, 초기간극비와 전체단위 중량 간 결정계수는 0.729로 나타났

표 7. 토질 정수 사이의 상관성분석 결과 Pearson의 상관계수

상관계수	W_n	γ_t	e	LL	PL
W_n	1	-0.771	0.951	0.584	0.467
γ_t		1	-0.889	-0.529	-0.444
e			1	0.549	0.445
LL				1	0.523
PL					1

표 8. 광양지역 토질 정수 사이의 선형회귀분석 결과

구분	토질정수	선형회귀식	결정계수
원자료	함수비-액성한계	$LL = 0.46345 W_n + 41.42753$	0.341
	함수비-초기간극비	$e = 0.02587 W_n + 0.14438$	0.904
	함수비-전체단위 중량	$\gamma_t = -0.00417 W_n + 1.86719$	0.594
	액성한계-초기간극비	$e = 0.01878 LL + 0.75688$	0.301
	액성한계-전체단위 중량	$\gamma_t = -0.00358 LL + 1.81309$	0.279
	초기간극비-전체단위 중량	$\gamma_t = -0.17930 e + 1.93145$	0.790
이상치 제거후	함수비-액성한계	$LL = 0.52764 W_n + 36.81334$	0.311
	함수비-초기간극비	$e = 0.02567 W_n + 0.16094$	0.861
	함수비-전체단위 중량	$\gamma_t = -0.00325 W_n + 1.78226$	0.506
	액성한계-초기간극비	$e = 0.01516 LL + 1.04273$	0.591
	액성한계-전체단위 중량	$\gamma_t = -0.00190 LL + 1.66646$	0.171
	초기간극비-전체단위 중량	$\gamma_t = -0.14795 e + 1.85245$	0.729

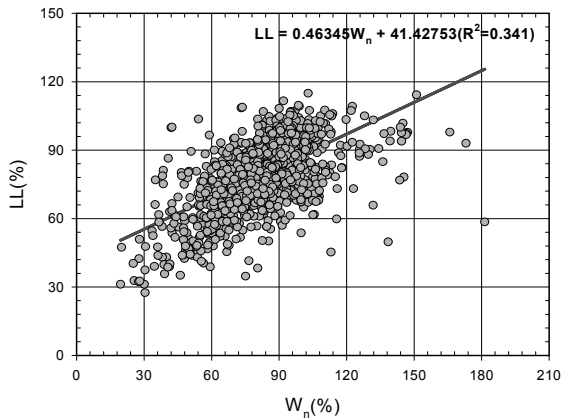
다. 이상치를 제거한 경우에도 함수비와 초기간극비, 그리고 초기간극비와 전체단위 중량 간의 상관관계가 다른 물리적 특성의 상관관계보다 비교적 양호한 것으로 나타났다.

원자료와 이상치 제거 후의 물리적 특성값 사이의 상관관계를 비교해 보면 액성한계와 초기간극비 사이의 상관관계를 제외하고 모든 경우가 원자료에 대한 분석이 더 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

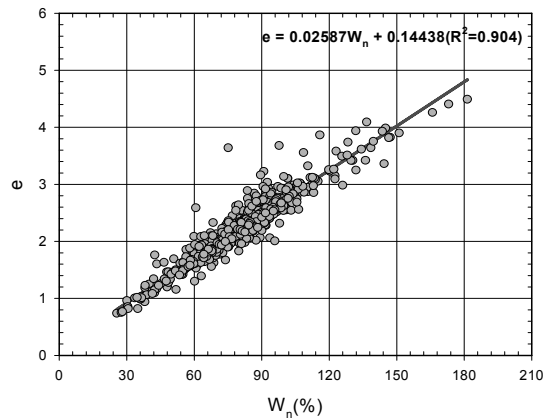
4.2.2 비선형 회귀분석

선형회귀모형은 x의 변화에 따라서 y가 직선적으로 변화한다고 가정할 때 사용되는 모형이다. 그러나 실무에서는 x의 변화에 따라서 y가 어떤 형태의 곡선을 그리는 경우가 많으며, 곡선추정 회귀모형은 여러 가지 형태의 곡선을 적합시키는 회귀분석이다.

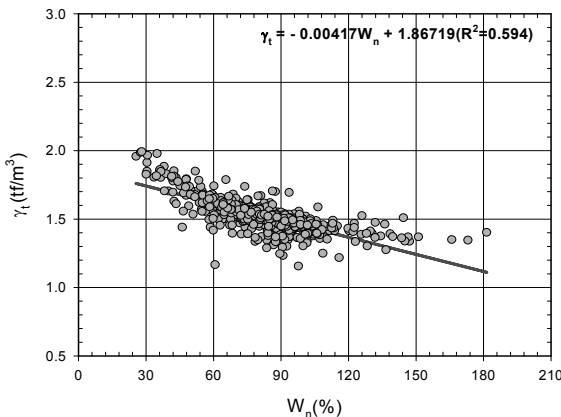
본 분석에서는 누승형($y = a_0 \cdot x^b$)과 지수모형($y = a_0 \cdot \exp(-bx)$)



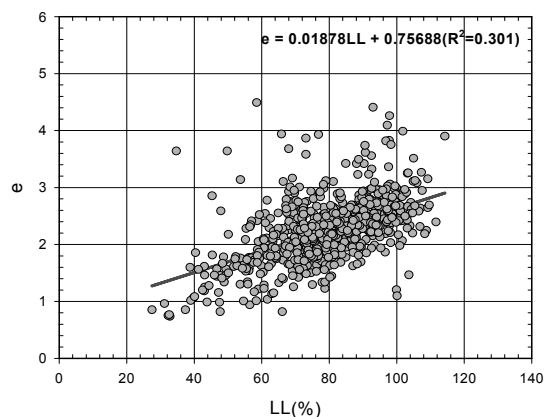
(a) 함수비-액성한계



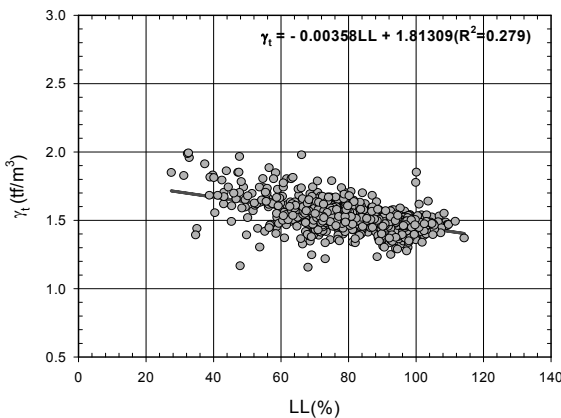
(b) 함수비-초기간극비



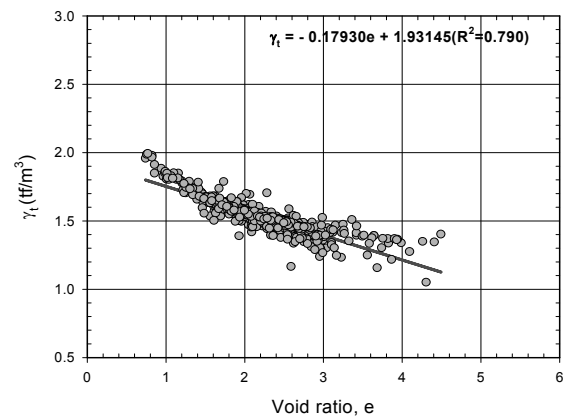
(c) 함수비-전체단위 중량



(d) 액성한계-초기간극비



(e) 액성한계-전체단위 중량

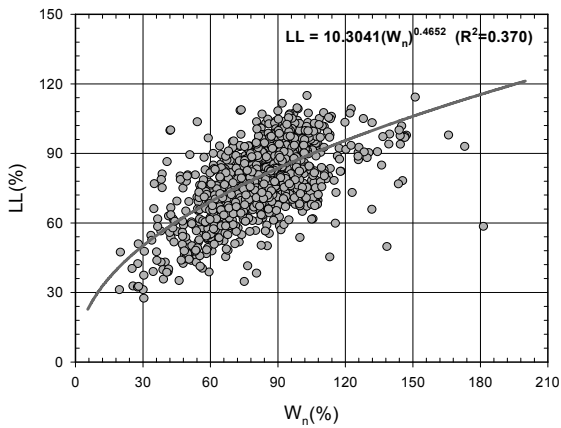


(f) 초기간극비-전체단위 중량

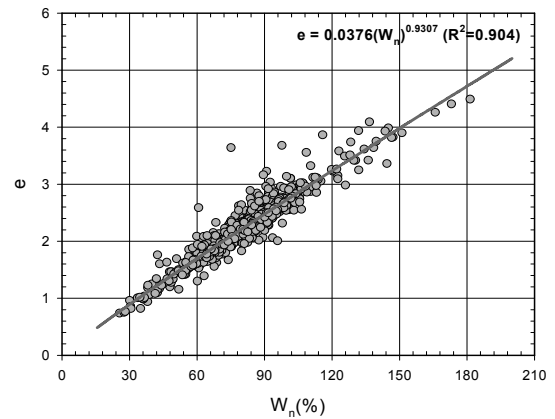
그림 12. 광양지역 점성토의 물리적 특성값 사이의 선형 회귀분석결과(원자료)

표 9. 물리적 특성을 나타내는 토질정수 사이의 비선형 회귀분석 결과

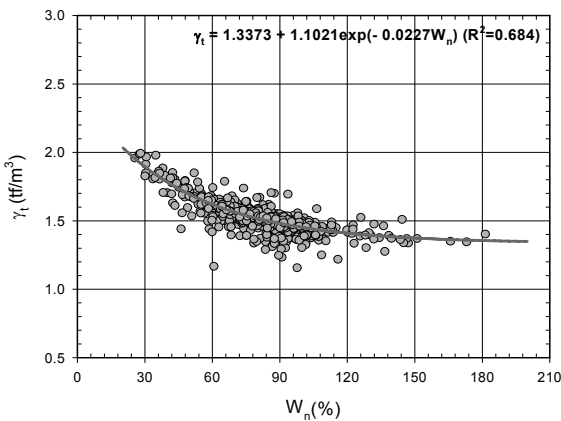
구분	토질정수	비선형 회귀식	결정계수
광양지역	함수비-액성한계	$LL = 10.3041(W_n)^{0.4652}$	0.370
	함수비-초기간극비	$e = 0.0376(W_n)^{0.9307}$	0.904
	함수비-전체단위 중량	$\gamma_t = 1.3373 + 1.1021\exp(-0.0227W_n)$	0.684
	액성한계-초기간극비	$e = 1.1450(LL)^{0.0084}$	0.297
	액성한계-전체단위 중량	$\gamma_t = 1.4063 + 0.9380\exp(-0.0268LL)$	0.303
	초기간극비-전체단위 중량	$\gamma_t = 1.2113 + 1.1279\exp(-0.5842e)$	0.849



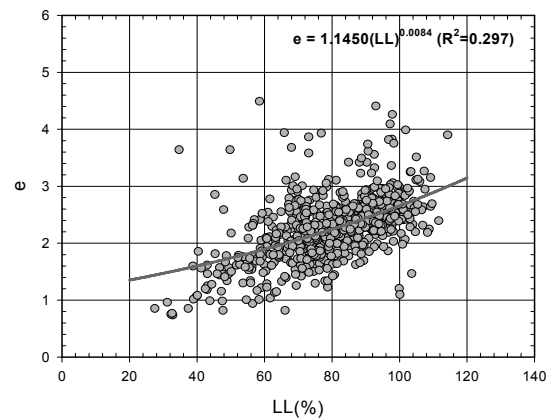
(a) 함수비-액성한계



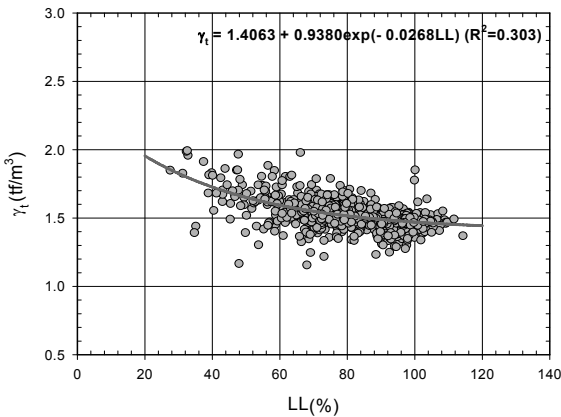
(b) 함수비-초기간극비



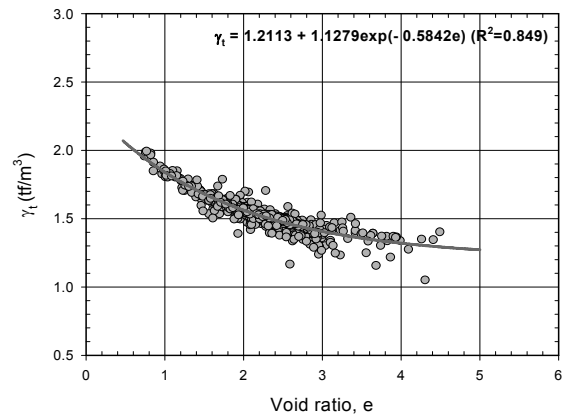
(c) 함수비-전체단위 중량



(d) 액성한계-초기간극비



(e) 액성한계-전체단위 중량



(f) 초기간극비-전체단위 중량

그림 13. 광양지역 점성토의 물리적 특성값 사이의 비선형 회귀분석결과(원자료)

방정식을 이용하여 물리적 특성에 대한 비선형회귀분석을 실시하였으며, 그 결과를 표 9와 그림 13에 나타내었다.

표 9는 광양지역의 점성토를 대상으로 물리적 특성값에 대한 비선형 회귀분석을 실시한 결과로써 함수비와 물리적 특성들 사이의 결정계수는 0.370~0.904, 액성한계와 물리적 특성간의 결정계수는 0.297~0.303, 초기간극비와 전체단위 중량 사이의 상관관계에 대한 결정계수는 0.849로 상관성이 양호한 것으로 나타났다. 액성한계와 초기간극비와의 비선형 회귀분석결과를 보면 선형회귀분석과 마찬가지로 액성한계값이 작은 경우에는 초기간극비를 과대평가하게 되는 것을 알 수 있으며, 액성한계값이 증가할수록 이상치로 인해 과소평가하는 결과를 보이는 것으로 나타났다.

물리적 특성 중에서 함수비와 초기간극비 그리고 초기간극비와 전체단위 중량 간의 상관관계가 비교적 양호한 것으로 나타났으며, 특히 x의 누승식으로 표현된 함수비와 초기간극비의 상관성은 매우 양호한 결과를 보여주고 있다. 또한 선형회귀분석보다 비선형 회귀분석법이 비교적 물리적 상관성을 높여주는 것으로 나타났다.

5. 결 론

- (1) 조사대상 자료를 분석하여 깊이에 따른 토질특성을 분석한 결과 함수비, 비중, 액·소성한계, 점토입자 함유율은 깊이에 무관하며, 깊이에 무관한 물성치에 대해서는 자료탐색과 데이터 여과(filtering)를 통하여 토질정수의 대표값을 선정하였으며, 깊이에 따른 증가 경향성을 가진 토질정수에 대해서는 회귀분석을 통하여 상관관계식을 도출하여 토질정수를 분석 산정하였다.
- (2) 광양지역 해성점토에 대한 물리적 특성 분석결과 비중은 2.58~2.77의 범위로 깊이에 따라 비교적 일정하고 전체단위 중량은 10.299~19.531kN/m³로 깊이에 따라 약간 증가하였으며, 또한, 초기간극비는 0.739~4.491의 범위에 분포하고, 활성도는 대부분 0.31~6.9 정도로 Illite와 Montmorillonite 사이에 분포하며, 통일분류법으로 분류하면 95% 정도가 CH로 분류되었다.
- (3) 광양지역에서 조사된 물리적 특성의 조사자료에 대한 평균, 중위수, 변동계수, 95% 신뢰구간 등의 기술통계량에서 대부분 물성치의 평균값과 중위수가 거의 일치 내지 근접한 상태를 보이고 있으며, 대부분의 물성치(함수비, 비중, 전체단위 중량, 간극비, 액성한계, 소성한계, 소성지수, #200번체 통과율, 2 μ m 이하 점토입자 함유율)가 변동계수는 0.3 이하로 자료의 변동이 크지 않은 것으로 나타났으며, 액성지수와 활성도의 변동계수가

비교적 크게 나타났다.

- (4) 이상치를 제거한 후 광양지역 점성토의 물리적 특성에 대한 기술통계량에서 원자료와 비교하면 전반적으로 평균과 중위수의 차이가 감소하였으며, 분산 및 변동계수가 작게 나타난다는 것을 알 수 있다. 즉, 이상치 제거 후의 변동계수는 0.0076~0.2987 정도로 이상치 제거 전 원자료의 변동계수 0.0126~0.4475에 비해 감소함을 확인할 수 있다. 또한, 전반적으로 왜도의 값이 감소하여 분포형태가 대칭형태에 근접한 것으로 나타났으며, 빈도분석결과로부터 명확하게 확인할 수 있다.
- (5) 비선형 회귀 분석에서 함수비와 액성한계의 경우 $LL = 10.3041(W_n)^{0.4652}$ 로 관계식을 나타내며 선형 회귀 분석에서는 $LL = 0.46345W_n + 41.42753$ 의 관계를 나타내어 비교적 비선형회귀분석의 경우 결정계수가 약간 양호한 것으로 분석되었다. 이에 반해 함수비 초기간극비의 경우는 결정계수가 유사한 경향을 보여주고 있는 특성을 발견할 수 있었다.
- (6) 해성점토의 물리적 특성을 나타내는 토질정수 사이의 선형 및 비선형 회귀분석 결과 함수비와 초기간극비의 상관성이 가장 큰 것으로 나타났으며, 선형 및 누승회귀분석에서 동일한 결정계수를 나타내었다. 그러나 다른 토질정수 사이의 상관성은 누승식 및 지수승식 형태의 비선형 회귀분석이 선형회귀분석보다 높은 상관성을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2009학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2009).

참 고 문 헌

1. 계룡건설산업 주식회사(1996), *광양항 서측 배후도로 실시설계 지반조사보고서*, pp. 107~118.
2. 동아지질(2002), *광양항 3단계2차 컨테이너 부두개발 기본설계 및 실시설계 지반조사보고서*, pp. 29~88.
3. 동아지질(2003), *광양항 3단계 3차 컨테이너 부두 민간제안사업*, pp. 251~297.
4. 대림건설, 보성건설, 포스코건설(2003), *광양항 중마일반부두 축조공사 지반조사(공동)보고서*, pp. 67~98.
5. 박성현, 조신갑, 김성수(1999), *통계 자료 분석을 위한 한글 SPSS, SPSS 아카데미*, pp. 207~228.
6. 삼성물산주식회사(2002), *광양항 준설토 투기장 가호안 축조*

공사 지반조사보고서, pp. 76~223.

7. 삼기지질(2004), 광양항 배후단지 개발 기본 및 실시설계 용역 지반조사, pp. 56~82.
8. 여수지방해양수산청(2001), 광양항 3단계 준설토 투기장 가호안 축조공사 기초조사 용역, pp. 120~222.
9. 여수지방해양수산청(2002), 광양항 3단계 1차 컨테이너부두 개발 기본계획 및 실시설계용역, pp. 134~157.
10. 여수지방해양수산청(2003), 광양항 3단계 2차 컨테이너 터미널 축조공사 기본 및 실시설계 보고서, pp. 257~289.
11. 여수지방해양수산청(2003), 광양항 중마일반부두 축조공사 지반조사보고서, pp. 84~116.
12. 주식회사 대우건설(2002), 광양항 3단계 1차 컨테이너 터미널 축조공사 지반조사 보고서, pp. 83~98.
13. 주식회사대우건설(2002), 광양항 준설토 투기장 가호안 축조

공사 지반조사보고서, pp. 7~28.

14. 주식회사대우건설(2003), 광양항 3단계 2차 컨테이너 터미널 축조공사 지반조사보고서, pp. 215~245.
15. 포스코건설(2003), 광양항 중마일반부두 축조공사 지반조사 (개별)보고서, pp. 57~238.
16. 현대건설주식회사(2000), 감천항 공영수산물 도매시장 건설공사 실시설계 지반조사보고서, pp. 27~28.
17. 현대건설주식회사(2002), 광양항 3단계 1차 컨테이너 터미널 축조공사 지반조사 보고서, pp. 356~378.
18. 현대건설주식회사(2002), 광양항 준설토 투기장 가호안 축조공사 지반조사보고서, pp. 56~72.
19. 현대건설주식회사(2003), 광양항 3단계 2차 컨테이너 터미널 축조공사 지반조사보고서, pp. 65~132.

(접수일: 2010. 10. 2 심사일: 2010. 10. 12 심사완료일: 2010. 11. 4)