

강원도에 분포하는 화강토의 다짐특성 및 토질정수의 상관관계에 관한 연구

A Study on Correlations between Compaction Properties and Soil Constants of Granite Soil in the Kangwon Province

유 남 재* 박 병 수** 홍 영 길***
Yoo, Nam-Jae* Park, Byung-Soo** Hong, Young-Gil***

ABSTRACT

This study is to provide the useful data for the design and construction of the geotechnical engineering works by collecting and analyzing the soil properties of granite soil in the Kangwon Province.

Data base was obtained from 92 field sites in the Kangwon province divided into 15 areas based on administration district. Total numbers of data were 478.

Correlations between soil constants, especially compaction properties, were obtained by performing statistical analysis.

Analyzed results were as followings.

1. Most of granite soil consists of SM and GM based on Unified Soil Classification System.
2. Mean gravity of granite soil is 2.65
3. High correlations between optimum moisture content and the maximum dry density, plasticity index and liquid limit are obtained.
4. Analyzed results between other soil constants show relatively low correlation. However, they show consistent trends matchable to geotechnical engineering senses.

키워드 : 화강토, 다짐, 기본물성, 상관관계

Keywords : Granite, Compaction, Soil Property, Correlation

1. 서 론

각종 건설공사의 계획, 설계, 시공에 이르기 까지 토공이 차지하는 비중은 상당히 크며 토공사에 있어서 국내 전지역에 많이 분포되어 있는 화강토(화강암질 암석의 풍화토)가 실제로 많이 사용되고 있는 실정이다.

화강토는 화강암질 암석이 풍화되어 생성된 흙으로써 우리나라는 경상도와 제주도 일부지역을 제외한 전국에 광범위하게 산재되어 있으며, 이러한 화강암질 풍화토는 점토광물의 함유량과 풍화의 정도에 따라서 그의 공학적 성질이 달라지는 특수토이며 그 구성도 사질토에서 점성토에 이르기 까지 폭 넓게 분포되어 있다.

보통 화강토는 흙쌓기 재료로서나 기초지반으로서 양호한 토질로 인정되어 오고 있으나 결코 안정된 토질 재료라고 할 수 없다. 일반적으로 화강토를 흙쌓기 재료로서 이용할 경우 무처리 상태로서는 물과 관련하여 생각하면 부적당한 재료인 경우가 많다. 즉, 화강토는 풍화도의 진도에 따라 전단강도가 저하

* 정회원, 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 정회원, 강원대학교 대학원 토목공학과 박사수료
*** 정회원, 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

되며, 이와같은 관계는 특히 다짐시험이나 CBR시험에서 소정의 함수비 이상을 유지한 시료는 다짐 에너지와는 무관하게 전단강도가 급격히 저하되며, 또한 다짐에 의해서 크게 입자의 파쇄가 진행된다.

토목공사에 있어서 흙의 역학적성질을 최대치로 이용하여 만들어진 도로, 제방, 단지조성, 팔주로, 옹벽 배면의 성토, Earth Dam등을 축조하는데 있어서 가장 중요한 것이 흙의 다짐이다. 이러한 구조물들을 시공 관리함에 있어서 흙의 전단강도가 최대가 되고 투수계수가 최소가 되도록 유지하기 위하여 현장다짐이 요구되며 그의 특성을 아는 것이 매우 중요하다. 화강토를 실제 공사에 이용할 경우에는 공사의 목적과 규모에 적합한 다짐기계를 사용하고 다짐함수비, 다짐두께, 다짐횟수등의 확인이 다른 흙에 비하여 더 한층 필요하다.

따라서 본 연구는 강원도 지역내에 분포하고 있는 화강토에 대한 기존 토질시험 결과자료로부터 다짐 특성 및 제반 토질정수의 상관관계를 분석 검토하여 규명함으로써 향후 강원도내 지역에서 시행하는 토목공사의 계획, 설계 및 시공에 참고가 될 유용한 자료를 제공하는데 목적이 있다.

본 연구에서는 강원도 지역내에 분포하고 있는 화강토를 대상으로 한 각종 토목공사 시행을 위하여 수행된 각종의 토질시험 보고서 결과자료를 수집하여 이들의 자료를 정리하고 각 토질정수의 상관관계를 최소자승법에 의한 회귀분석을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 자료수집은 최근 1985~1992년 까지 강원도 및 각 시,군을 중심으로한 공공기관에서 시행한 토목공사중 도로 확.포장공사가 주가되며 일부 택지 및 농공단지 조성을 위해 시행한 7개시 15개군 강원도 전지역내 92개 공사지구를 15개 지역(춘천시(8), 원주시(7), 삼척시-동해시-태백시(9), 강릉시(4), 속초시(6), 홍천군(9), 화천군(7), 횡성군(8), 인제군(6), 평창군(7), 고성군(3), 정선군(7), 영월군(7), 양구군(2), 철원군(2))으로 분류하여 총 478개 데이터에서 제 토질정수의 기본특성 및 상관관계를 분석, 검토 연구하였다.

2. 통계분석

2.1 상관계수

각 개체에 대하여 두 가지 변량(x,y)를 관찰할 때 그 개체가 속하는 모집단에 있어서 x가 증가할 때 y가 증가하는 경우, 반대로 x가 증가할 때 y가 감소하는 경우, 그리고 아무 관계가 없는 경우 등의 3가

지 경우를 생각할 수 있다. 이때 각 개체가 지나는 두 가지의 변량들 사이에 존재하는 상호간의 종속적인 관계를 상관관계(correlation)라 하고 상관관계의 정도를 수학적으로 나타내는 척도가 상관계수이다. 그리고 이러한 관계에서 하나의 함수관계를 이끌어 낼 때 이 함수관계를 회귀관계(regression)라고 한다. 상관계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$R = \frac{\frac{1}{n} \sum xy - \bar{x} \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (1)$$

여기서 R : 상관계수

n : 데이터 갯수

$\bar{x} \bar{y}$: 변수 $\bar{x} \bar{y}$ 의 평균

σ_x, σ_y : 변수 \bar{x}, \bar{y} 의 표준편차

식(1)로 구한 상관계수는 두 변량간의 상호관계를 측정하는 척도로서 대단히 중요한 의미를 갖는다. 일반적으로 상관계수와 분석결과와는 다음 관계가 있다고 보고되고 있다.

- 1) $-1 < R < 1$ 이다.
- 2) $R > 0.7$ 이면 상관관계가 깊은 것으로 한 쪽이 증가하면 다른 한 쪽도 증가하는 경향이 강하다.
- 3) $R < 0.7$ 이면 상관관계가 깊은 것으로 한 쪽이 증가하면 다른 한 쪽은 감소하는 경향이 강하다.
- 4) $0.4 < |R| < 0.7$ 이면 상관관계가 있다.
- 5) $|R| < 0.4$ 이면 상관관계가 거의 없다.

단, 상관계수로서 분석할 경우 주의할점은 x와 y사이의 상관정도에 따라서 그 값이 결정되므로

- ① 상관계수는 두 변수간의 선형관계가 어느정도인가를 재는 척도이지 함수관계를 알아보는 척도는 아니다.
- ② 두 변수간의 어떠한 관련이 있음을 알려주지만 이러한 관련이 있다고 두 변수간의 인과관계를 논할 수는 없다.
- ③ 상관계수만을 놓고 두 변수간의 관계를 분석하는 것은 별로 바람직하지 않으며, 각 변수의 평균과 SD를 함께 논하는 것이 낫다.

2.2 회귀분석

회귀분석의 결과는 1차함수 또는 2차 함수로서 표시될 수 있는데 본 논문에서는 1차함수 관계식으로 표시하였다.

n쌍의 데이터(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots , (x_n, y_n) 이 있는데 x와 y사이에는 $y=a+bx$ 의 관계가 있다고 할 때 상수 a,b를 구한 후 x값을 알면 y값이 얼마인가를 알 수 있다.

a와 b의 값은 최소자승법에 의하여 다음의 연립방정식의 근으로서 구해진다.

$$\sum y = na + b\sum x \quad (2)$$

$$\sum xy = a\sum x + b\sum x^2 \quad (3)$$

이 연립방정식을 풀면 a와 b는

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \bar{y} - b\bar{x} \quad (4)$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} \quad (5)$$

여기서 \bar{x} , \bar{y} 는 평균값

2.3 통계처리

전산처리는 SAS를 이용하였고 SAS는 Statistical Analysis System(통계분석체계)의 약자로서 경제, 사회, 과학 분야 뿐만 아니라 심리학, 생물학, 공학 등의 광범위한 분야에 걸쳐서 자료처리 및 데이터 분석을 위해 PL/I을 기저로 해서 하나의 컴퓨터 언어로 고안된 컴퓨터 소프트웨어 패키지(Package)이다.

3. 자료분석

강원도 전 지역내 시, 군별로 분류한 Fig. 1과 같이 15지역 92개 공사지구에서 실시된 토질 조사 결과에서 화강토에 해당하는 시험굴조사(Test Pit) 478개의 데이터를 이용하여 11개 항목에 대해 통계처리를 실시하였다.

수집자료는 대부분이 강원도 및 각 시, 군에서 강원도의 설계 심사과정을 거쳐서 시행한 토질조사 보고서 자료와 일부 공공기관에서 시행한 것이며, 92개 공사지구중 76개(82.6%)가 도로 개발 및 도로 확포장공사 보고서 자료이다.

대부분의 자료가 도로공사 및 소단위 택지 및 농공단지 조성에 필요한 조사보고 자료에 제한되어 토질특성에 대단히 중요한 부분을 차지하는 점착력과 내부마찰각의 전단강도 정수, 투수계수등에 대한 토질정수에 관한 자료는 매우 제한적이며 대부분이 다짐특성에 관한 자료가 주를 이루고 있다.

3.1 제 토질정수의 분석

1) 토질분류(USCS)

토질분류는 통일분류법에 의한 자료만 있었고, AASHTO 분류법은 찾아볼수 없었으며, 다짐방법은 A-1, D-2방법을 주로 이용하였다. Table 1과 같이

통일분류법에 의한 대부분의 화강토는 우리나라 화강토가 SM(71%)이 많은것과 유사한 경향을 나타내고 있으며 본 강원도 지역에서도 SM이 67%로 가장 많으며, GM, ML, GL, SC, GP, SP, SW, MH, MC 순으로 분포하고 있었다.[2]

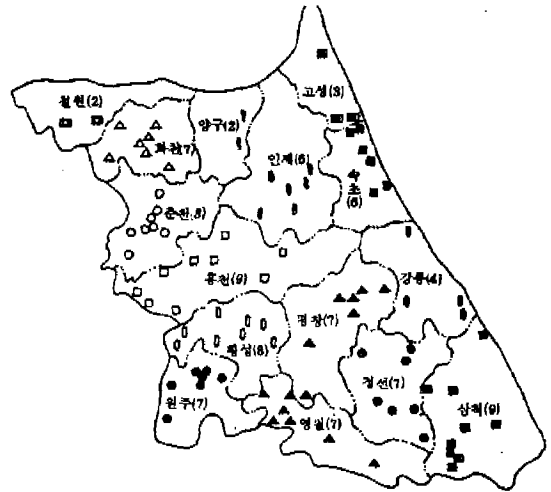


Fig. 1. Position of Soils Test in the Kangwon Province

SM(실트질 모래, 모래실트 혼합토)과 GM(실트질의 자갈, 자갈모래 점토 혼합토)은 모두 No. 200번체 통과량이 50%이하인 조립토로써 실내 실험 특성상 세립질이 12%이상이고, 소성도표상 A-Line아래 또는 $PI < 4$ 를 나타낸다.

이와같이 강원도 지역내에 분포하고 있는 지반의 입도분포가 SM 및 GM의 조립질 토사로 구성되어 있음은 지역별 풍화도 진전 및 지질학적 조건등에 따라 분포의 편차가 매우 심할것으로 사료됨에도 불구하고 비교적 양질의 성토재료원으로 구성되어 있음을 추정할 수 있다.

2) 표준관입시험의 N치

수집한 자료가 대부분 화강풍화 잔류토로써 화강토는 기반암이 외부적인 요인, 즉 물리적 또는 화학적 작용으로 풍화된 것이기 때문에 기반암의 조직을 어느정도 유지하고 있으나 화학적, 역학적 성질은 상실한 채로 있는 토층으로서 기반암의 종류나 주변여건에 따라서 다소 차이는 있지만 하부로 갈수록, 즉 기반암에 가까워 질수록 모든 조건이 기반암에 가까워 진다.[2]

화강토와 풍화암은 위와같은 사유로 점진적인 변화를 가지므로 그 구분은 매우 애매하다. 따라서 N

치를 50/30을 기준으로 풍화암과 화강토를 구분하는 것이 일반적이다.

Table 1. Regional Distribution of Soil Data due to USCS

	SM	GM	ML	GL	X	SC	GP	SP	SW	MH	SL	CH	MC	합계
춘천	29		2	2					4		3			40
원주	31	1	3	1	4		1	1						42
삼척	22	27	5	8		5	2	2		3				74
강릉	14	1												15
속초	22	4	3	1		1		1	3			1		36
홍천	36	1	2			2	3	2					1	47
화천	21	2	2		4									29
횡성	23	7	7	1		3	2							43
인제	33		1					1						35
평창	25	2	2				1							30
고성	8	2		1										11
정선	14	5	5			2	3	2						31
영월	15	3		5	1	1								25
양구	12													12
철원	7		1											8
합계	312	55	33	19	9	14	12	9	7	3	3	1	1	478

N치는 모래의 상대밀도나 점토의 Consistency와 1축압축강도를 측정하는데 쓰이며, 일반적으로 N치가 30일 경우 모래의 상대밀도는 중간-촉촉한 상태이며, 점토의 Consistency는 대단히 전고-고결 상태와 1축압축강도 $Q_u = 4\text{kg/cm}^2$ 의 관계를 나타낸다. 현장 표준관입시험을 통해 얻은 N치를 중심으로 지반심도에 따라 N치의 변화를 추정함으로써 기초 설계 및 도로설계의 기초자료로써 활용 가능성을 시도하였으나 지역별로 N치의 변화량이 매우 다양할 뿐 아니라 보고서에서 표준관입시험이 실시된 자료가 매우 제한적이어서 그의 통계처리가 의미가 없음을 인지하였다.

한편, 제한된 범위에서 자료분석을 실시한 결과로 총 15지역 478개 데이터중 4지역에서만 37개 데이터

로 처리되어 평균 44로 위의 기준과 비교하면 높은 수치를 나타내고 있으나, 속초시의 경우는 평균깊이가 5.56m의 최고깊은 지역을 대상으로 81인 매우 높은 수치가 나타난 것을 감안할 때 이 자료에 의한 수치로는 강원도 전체를 대표할 수 없다고 판단된다. 그러나 강원도 전체의 평균 N치는 자료를 분석, 추정해 보면 약 30이상의 수치가 나타날 가능성을 보이고 있다.

3) 비중

화강토의 주성분을 차지하는 1차 광물인 석영은 2.65의 비중을 가지며 점토나 실트는 2.6~2.9 사이에 존재한다. 총 445개의 데이터중 가장 많은 비중데이터가 나왔으며 평균값은 석영의 비중과 같은 2.65로 나타났다. 따라서 통계결과와 국내지반이 화강토로 구성되어 있음을 비교할 때 일관성이 있음을 알 수 있고 특별한 경우, 즉 유기질토가 많이 함유되어 있거나 특정의 광물질이 함유되어 있는 지역을 제외하고 대표값으로 2.65의 평균비중값을 사용하여도 제반 토질정수 산정에 무리가 없음을 알 수 있다.

4. 제 토질정수의 상관관계

강원도 전 지역내를 15개 지역으로 분류하여 92개 공사지구에서 각종 토목공사를 위하여 실시된 토질조사 보고서중 화강토에 해당하는 전체 478개 데이터를 이용하여 24개 항목에 대하여 통계처리를 실시한 주요 각 토질정수 상호간의 상관관계를 다음과 같이 분석하였다.

4.1 최적함수비와 최대건조밀도와의 관계

총 325개 데이터를 이용하여 최적함수비와 최대건조밀도와의 관계를 나타내면 Fig. 2와 같다. 그림에서 최적함수비가 증가하면 최대건조밀도는 감소하는 반비례 관계를 나타내며, 건조측(Dry Side 95%)과 습윤측(Wet Side 95%)에 대한 폭도 평균치와 큰 차이없이 고르게 나타나고 있음을 알 수 있고, 상관계수는 0.82로 매우 높은 상관이 있으며 관계식은 다음과 같다.

$$OMC = 57.353704 - 23.623915 \times \gamma_{max} \quad (6)$$

일반적으로 흙의 다짐 특성값인 최적함수비와 최대건조밀도의 관계는 최적함수비가 클수록 최대건조밀도가 감소하는 밀접한 상관관계를 직선적으로 보

여주고 있다. 화강토에서도 다짐 곡선은 일반적인 흙과 외견상 거의 같고 통계 시공상 중요한 최적함수비와 최대건조밀도도 비교적 정확하게 구해진다. 다짐에너지가 커지면 최적함수비는 작아지며 최대건조밀도는 커지며 동일한 다짐에너지하에서는 풍화가 진행된 것 일수록 최적함수비는 커지고 최대건조밀도는 작아지는 경향을 보인다.[7] 또한 광물조성에 의해서도 다르고 유색 광물량이 증가하면 최적함수비는 증가하고 최대건조밀도는 감소하는 경향이 있다.

비에 대한 가장 좋은 다짐방법을 결정하는 것이 좋으며 현장함수비를 측정하고 실내실험에서 구한 최적함수비와 비교하여 그에 따라 살수 및 건조에 의하여 현장에서 최적함수비를 맞출 수 있다.

자연함수비가 시방서에서 규정된 함수비보다 작다면 물을 더 뿌린다. 그러나 더 무거운 장비로 다진다면 물을 뿌리지 않고도 최대다짐효과를 얻을 수 있다. 더 무거운 장비를 사용한다면 최적함수비가 감소하기 때문이다. 자연함수비가 규정된 값 이상이라면 흙이 건조할때까지 기다리는 수 밖에 없다.

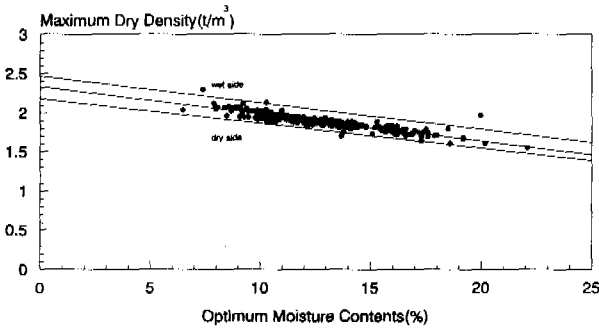


Fig. 2. Relationship between Optimum Moisture Contents and Maximum Dry Density

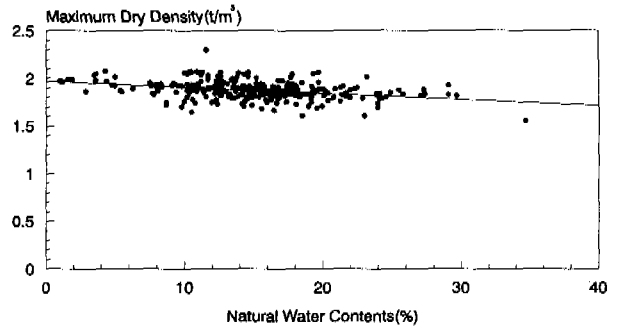


Fig. 3. Relationship between Natural Water Contents and Maximum Dry Density

4.2 자연함수비와 최대건조밀도와의 관계

총 291개 데이터를 이용하여 자연함수비와 최대건조밀도와의 관계를 나타내면 Fig. 3.과 같다. 그림에서 자연함수비가 증가하면 최대건조밀도는 감소하는 반비례관계를 나타냄을 알 수 있고 상관관계는 0.11으로 상관관계는 거의 없으며 관계식은 다음과 같다.

4.3 최대건조밀도와 CBR과의 관계

총 309개의 데이터를 이용하여 최대건조밀도와 CBR과의 관계를 나타내면 Fig. 4.와 같다. 그림에서 최대건조밀도가 커지면 CBR값이 커지는 관계에 있음을 알 수 있고 상관관계는 0.31로서 상관관계는 거의 없으며 관계식은 다음과 같다.

$$W_n = 59.680156 - 23.887697 \times \gamma_{max} \quad (7)$$

$$\gamma_{max} = 1.758906 + 0.010680 \times CBR \quad (8)$$

이는 다짐시험에서는 현장의 시료를 채취하여 교란된 상태에서 실험을 수행하기 때문에 원지반의 자연함수비는 불교란된 상태를 나타내므로 자연함수비와 최대건조밀도와의 상관성이 없음을 입증한다.

한편, 최대건조밀도는 함수량 및 흙의 비표면적과 밀접한 관계를 가지고 있으며 시공시 현장 함수비를 고려하여 다짐효과를 극대화시키는 시공상의 문제를 고찰할 필요가 있다.

자연함수비가 최대건조밀도를 얻을 수 있는 함수비 이내일 때 다짐을 수행할 수 있는데, 실험실에서의 최적함수비가 현장에서의 최적함수비와 꼭 일치하지는 않는다. 따라서 중요한 공사를 위해서는 다짐장비로 현장에서의 다짐시험을 수행하여 주어진 장

보통 화강토는 다짐특성이 우수함에도 불구하고 CBR값은 작다. 이것은 관입봉과 흙과의 접촉부에서 토립자가 파쇄되어 관입량이 증가하기 때문이다. 따라서 밀도와 CBR은 반드시 대응되는 것은 아니다. 또한 다짐에너지가 커지면 CBR값이 변화하고 함수비가 큰 경우에는 이른바 과도압축 현상이 발생하여 밀도가 증가해도 CBR값은 감소한다.[7]

따라서 동일한 함수비 조건에서 최대건조밀도 증가에 따라 CBR값은 증가하며 그의 상관성은 증가될 것으로 사료되나 CBR값 즉, 지반의 탄성계수를 나타내는 변수가 입도분포, 함수비, 전단강도, Consistency등 다양한 토질정수에 의하여 결정되므

로 단순히 최대건조밀도와 CBR값의 상관성 비교가 무리가 있음을 알 수 있다.

화강토의 최대건조밀도는 모래의 혼합비율이 증가함에 따라 증가한다. 그리고 CBR치는 수침에 의해서 현저히 저하하나 모래를 혼합하므로써 비수침 및 수침 CBR치는 증가한다. 특히 모래의 혼합으로 인한 수침 CBR의 증가효과는 현저하다.[4]

한국공업규격(KSF2320)에 의하면 시방서 또는 현장다짐의 밀도에 대응하는 지지력비(CBR)를 결정하는 방법을 따로 규정하고 있다. 즉 이것은 수정다짐 방법으로 각 총 10, 25, 55회씩 다짐회수를 다르게 다져 지지력비와 건조단위중량과의 관계곡선을 그리고 소정의 최대건조단위중량에 대응하는 지지력비로 정하게 되어 있다.[4]

연상태에 있는 흙이 거의 액체상태라면 액성지수는 1또는 2이상 이 되고 액성상태에 있다면 1이하가 된다. 일반적으로 최대건조밀도는 Atterberg한계에 반비례하는 특성을 가지고 있으며 액성한계>소성한계>소성지수의 순으로 회귀성이 높다.[5]

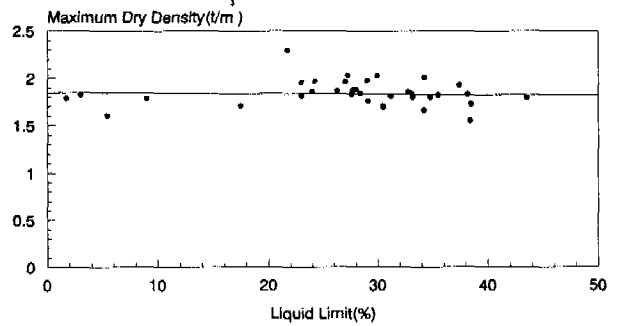


Fig. 5. Relationship between Maximum Dry Density and Liquid Limit

4.5 최대건조밀도와 No. 200번체 통과량과의 관계
총 306개 데이터를 이용하여 No. 200번체 통과량과 최대건조밀도와 의 관계를 나타낸 것이 Fig. 6이다. 그림에서 최대건조밀도는 1.6~2.2 t/m³의 범위에 있고 No. 200번체 통과량이 0~45% 범위내에 많이 존재하며 즉 No. 200번체 통과량이 50%이상되는 것은 드물다. 그리고 No. 200번체 통과량이 많을수록 최대건조밀도는 작아짐을 알 수 있다. 상관계수는 0.23으로서 상관관계는 거의 없으며 관계식은 다음과 같다.

$$\gamma_{max} = 1.950145 - 0.003101 \times \text{No.200} \quad (10)$$

No. 200번체 통과량이 증가할수록 최대건조밀도는 감소하므로 효율적인 현장시공을 위하여 적절한 다짐장비의 사용이 필요하다.

다짐에너지와 최적함수비, 최대건조밀도의 관계는 램마가 가벼울수록 최대건조밀도의 증가율과 최적함수비의 감소율은 크게 나타나며 어느 다짐에너지 이상에서는 램마가 무거울수록 다짐효과가 크고 최적함수비는 작으며 그 이하의 다짐에서는 램마가 무거울수록 다짐효과가 크고 최적함수비는 작게 나타난다.[6]

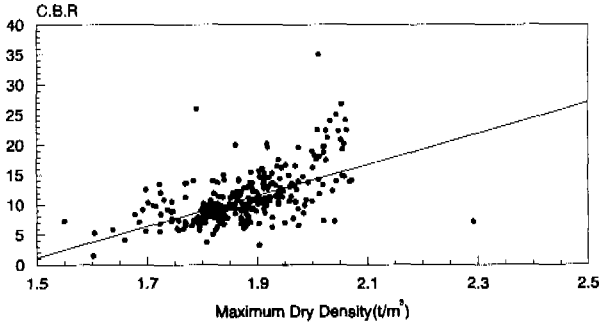


Fig. 4. Relationship between Maximum Dry Density and CBR

4.4 최대건조밀도와 액성한계와의 관계

총 26개의 데이터를 이용하여 최대건조밀도와 액성한계와의 관계를 나타내면 Fig. 5와 같다. 그림에서 액성한계가 증가하면 최대건조밀도가 감소하는 반비례관계를 나타냄을 알 수 있고 상관계수는 0.18로서 상관관계는 거의 없으며 관계식은 다음과 같다.

$$\gamma_{max} = 2.117669 - 0.009414 \times LL \quad (9)$$

본 통계자료에 의하면 No. 200번체 통과량이 많을수록, 즉 세립질이 증가할수록 액성한계, 소성한계가 증가하며 또한 최적함수비는 증가하고 최대건조밀도는 감소하는 경향을 알 수 있다. 그러나 통계분석에서는 액성한계값의 변화가 γ_{max} 값에 영향을 미치고 있으나 매우 작은폭의 범위에서 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

액성지수는 자연상태의 흙의 함수비에서 액성한계를 뺀 값을 소성지수로 나눈값이며, 해성점토처럼 자

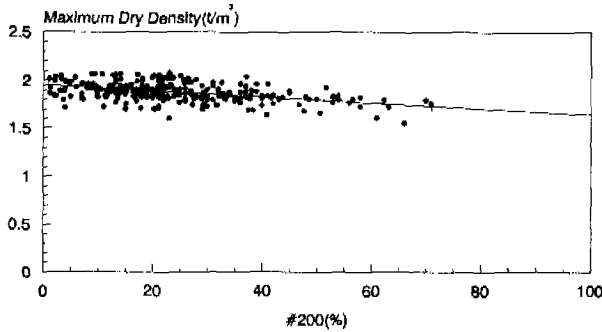


Fig. 6. Relationship between Maximum Dry Density and Passing Percent of No.200 Sieve

4.6 최적함수비와 No. 200번체 통과량과의 관계

총 306개의 데이터를 이용하여 최적함수비와 No.200체 통과량과의 관계를 나타내면 Fig. 7과 같다.

그림에서 최적함수비는 대부분 10~15%에 해당되고 No. 200번체 통과량이 많을수록 최적함수비는 커짐을 알 수 있다. 상관계수는 0.28로서 상관계수는 거의 없으며 관계식은 다음과 같다.

$$OMC = 10.73770 + 0.094589 \times \text{No.200} \quad (11)$$

일반적으로 세립질을 많이 함유할수록 최적함수비는 증가하고 최대건조밀도는 감소하는 경향을 보이고 있는점을 고려할 때 최대건조밀도와 No. 200번체 통과량과의 관계의 상관성이 0.23으로 최적함수비와 No. 200번체 통과량과의 상관성이 매우 유사함을 알 수 있다.

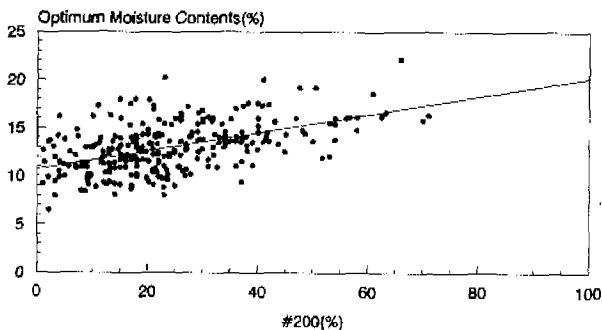


Fig. 7. Relationship between Optimum Moisture Contents and Passing Percent of No.200 Sieve

우리나라의 화강토는 대부분 No. 200번체 통과량이 20%이상이기 때문에 배수에 문제점이 있고, 혼합토를 사용할 때에도 화강토는 배수가 불량하면 급수

에 의해 전단강도가 약화되므로 유의해야 한다.

일반적으로 사질분을 많이 함유하고 있는 흙은 최적함수비가 낮을때 비하여 점토나 실트질 로움등에서는 최적함수비가 현저하게 높고 또한 토질의 차이가 다짐효과에 미치는 영향이 크며 다짐방법에 따라 다르다.

4.7 CBR과 No.200번체 통과량과의 관계

총 289개의 데이터를 이용하여 CBR과 No. 200번체 통과량과의 관계를 나타내면 Fig. 8과 같다. 그림에서 CBR은 대부분 7~15에 해당되고 No. 200번체 통과량은 주로 0~40%에 해당하고 No. 200번체 통과량이 35%까지는 자료의 분산이 매우 심하고 그 이상은 비교적 분산이 적음을 나타냈다. No. 200번체 통과량이 많을수록 CBR은 작아짐을 알 수 있다. 상관계수는 0.18로서 상관계수는 거의 없으며 관계식은 다음과 같다.

$$CBR = 14.01233 - 0.129362 \times \text{No.200} \quad (12)$$

CBR값이 실트나 가는 모래의 함유율에 따라 영향을 받으며 No. 200번체 통과량이 35%이하 범위의 함유율에서는 점토크기가 함유율이 미치는 영향이 크지 않으며, CBR값의 직선적인 영향을 미치는 값은 점토크기의 세립질이 40%이상 점토일때는 점토의 기본 물성에 의하여 혼합다짐토의 물성이 결정된다.

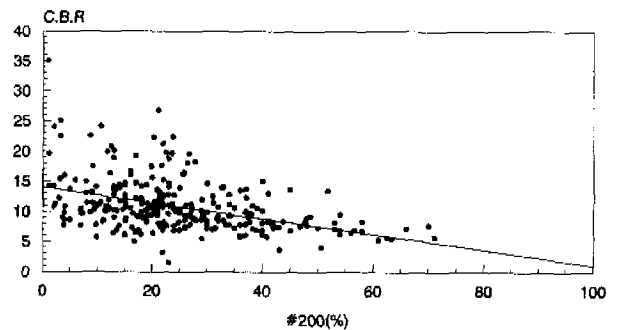


Fig. 8. Relationship between CBR and Passing Percent of No.200 Sieve

4.8 최대건조밀도와 No. 40번체 통과량과의 관계

총 292개의 데이터를 이용하여 최대건조밀도와 No. 40번체 통과량과의 관계를 나타내면 Fig. 9와 같다. 그림에서 No. 40번체 통과량이 많을수록 최대건조밀도는 작아짐을 알 수 있으며 Fig. 6의 최대건조

밀도와 No. 200번체 통과량과의 분산의 정도와 비교해 보면 No. 40번체 통과량이 5~95%까지로 분산의 정도가 높다. 상관계수는 0.35로서 최대건조밀도와 No. 200번체 통과량과의 상관계수인 0.23보다는 다소 크게 나와 있으나 0.4이하로 공학적 의미의 상관관계는 없으며 관계식은 다음과 같다.

$$\gamma_{\max} = 1.998161 - 0.002703 \times \text{No.40} \quad (13)$$

No. 200번체 통과량과 비교해 볼 때 No. 40번체 통과량으로 해석한 결과 상관계수가 높은 것은 최대 건조밀도에 영향을 주는 것이 No. 200번체 미만의 점토크기의 세립질 입자보다도 실트나 가는 모래크기의 토립자의 함유량에 의한 것임을 나타낼수 있다. 그러나 점토크기 입자의 함유물이 어느 이상 정도가 되며 다짐토의 물성이 점토크기 입자의 물성에 의하여 주도됨에 따라서 함유율의 범위에 따라 그 물성이 변화할 수 있다.

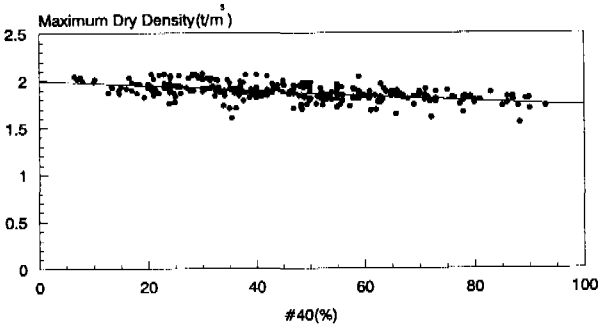


Fig. 9. Relationship between Maximum Dry Density and Passing Percent of No.40 Sieve

4.9 최적함수비와 No. 40번체 통과량과의 관계

총 293개의 데이터를 이용하여 최적함수비와 No. 40번체 통과량과의 관계를 나타내면 Fig. 10과 같다. 그림에서 No. 40번체 통과량이 많을수록 최적함수비는 커짐을 알 수 있으며 Fig. 7의 최적함수비와 No. 200번체 통과량과의 분산의 정도와 비교해 보면 No. 40번체 통과량의 5~95%까지로 분산의 정도가 높고 최적함수비에 미치는 영향의 상관에서 No. 200번체보다 No. 40번체가 크며 상관계수는 0.38으로서 최적함수비와 No. 200번체 통과량과의 상관계수인 0.28보다는 다소 크게 나와 있으나 0.4이하로 공학적 상관관계는 없으며 관계식은 다음과 같다.

$$\text{OMC} = 9.4922450 + 0.077502 \times \text{No.40} \quad (14)$$

식(11)의 $\text{OMC} = 10.73770 + 0.094589 \times \text{No.200}$ 와 비교할 때 기울기 값이 다소 작으므로 No. 200번체 함유율에 대하여 최적함수비가 예민하게 변동함을 알 수 있다.

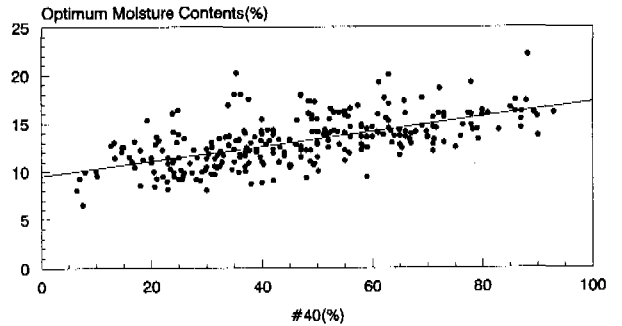


Fig. 10. Relationship between Optimum Moisture Contents and Passing Percent of No. 40 Sieve

4.10 CBR과 No. 40번체 통과량과의 관계

총 276개의 데이터를 이용하여 CBR과 No. 40번체 통과량과의 관계를 나타내면 Fig. 11과 같다. 그림에서 No. 40번체 통과량이 많을수록 CBR은 작아짐을 알 수 있으며 Fig. 5.7의 CBR과 No. 200번체 통과량과의 분산의 정도와 비교해 보면 분산의 정도가 높다. 상관계수는 0.29로서 CBR과 No. 200번체 통과량과의 상관계수인 0.18보다는 다소 크게 나타났으나 0.4이하로 상관관계는 없으며 관계식은 다음과 같다.

$$\text{CBR} = 16.333410 - 0.118043 \times \text{No.40} \quad (15)$$

식(12)의 $\text{CBR} = 14.01233 - 0.129362 \times \text{No.200}$ 와 비교할 때 기울기 값이 다소 작으므로 No. 200번체 함유율에 대하여 CBR이 더 예민하게 변동함을 알 수 있다. 그러나 No.200번체 통과량에 비하여 No. 40번체 통과량이 CBR값에 미치는 영향을 비교하여 보면 No. 40번체 통과량의 상관관계가 큼을 고려할 때 비교적 중간크기의 토립자의 입경이 세립질보다 CBR값에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

No. 40번체 통과량이 0~50%까지 분산이 크고 그 이상은 분산이 적음을 고려할 때 No. 40번체 통과량이 CBR에 영향을 미치는 기여도가 큼을 알 수 있다.

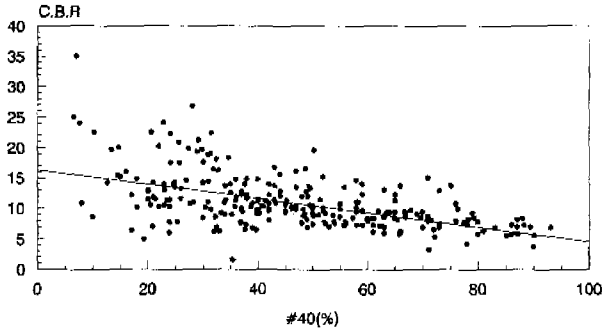


Fig. 11. Relationship between CBR and Passing Percent of No. 40 Sieve

4.11 소성지수와 액성한계와의 관계

총 68개의 데이터를 이용하여 소성지수와 액성한계와의 관계를 나타내면 Fig. 12와 같다. 그림에서 액성한계가 증가할수록 소성지수도 증가하는 비례관계를 나타낼 수 있고, 상관관계는 0.75로서 높은 상관성이 있으며 관계식은 다음과 같다.

$$PI = -9.8535330.607111 \times LL \quad (16)$$

소성도표상 A-Line식인 $PI=0.73(LL-20)$ 과 비교하여 볼 때 기울기 값은 약간 적으나 그 경향이 매우 유사함을 알 수 있다. 소성지수는 흙이 소성상태로 존재할 수 있는 함수비의 범위를 가르키며 액성한계가 증가할수록 일반적으로 소성지수도 증가하는 경향을 나타낸다.

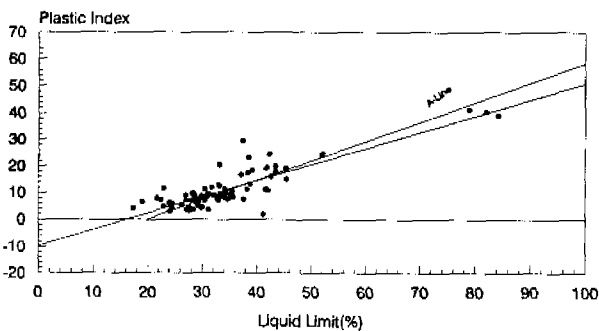


Fig. 12. Relationship between Plastic Index and Liquid Limit

일반적으로 세립질의 사질토는 액성한계와 소성지수가 점토보다 작거나 비소성적 성질을 보인다. 따라서 큰 강도가 필요한 도로의 노반 재료 및 각종 안정처리를 하는데 사용하는 골재의 적부를 판단하는데 소성지수를 사용해서 규제할 수 있다. 예를들면,

상층노반 $PI < 4$, 하부노반에서 $PI < 6$ 이어야 하는데 화강토는 대부분 이 조건을 만족한다.

5. 결론

강원도 전 지역내를 시군별로 15개 지역으로 분류하여 92개 공사지구에서 각종 토목공사 시행을 위하여 실시된 토질조사 보고서 결과중 화강토에 해당하는 총 478개의 데이터를 이용하여 24개 항목에 대하여 통계처리를 실시하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 대부분의 화강토는 SM 및 GM이 주를 이루고 있으며 나머지는 ML, CL, SC, GP, SP, SW, MH, MC순으로 전국 분포와 유사한 경향을 보이고 있다.
- 2) 화강토의 비중은 전지역이 2.63~2.67으로 평균 2.65를 보이고 있어 제토질정수의 산정에 대표값으로 사용이 가능하다고 판단된다.
- 3) 최적함수비와 최대건조밀도와의 관계는 매우 높은 상관을 보이고 있으므로 관계식을 신뢰성을 가지고 유용하게 사용할 수 있다고 판단된다.
- 4) 소성지수와 액성한계와의 관계는 높은 상관을 보이고 있으며 자료가 일부 제한되어 있어 잘 유의하여 이용하면 사용이 가능하다고 판단된다.
- 5) 기타 제토질정수와의 상관관계는 낮은 상관을 보이고 있으므로 관계식의 직접사용에는 무리가 있으나 제 토질정수간의 경향이 일관성이 있으므로 향후 더 많은 자료를 보완하여 간접적인 연구.검토가 요망된다.

참고문헌

- [1] 박병기, "화강암질 풍화토의 특성연구", 대한토목학회지, 제21권, 4호, 1973.
- [2] 유용열, "우리나라 화강토의 제 토질계수의 상관관계", 한양대학교, 석사학위논문, 1988.
- [3] 고영일, "화강토의 다짐특성", 인하대학교, 석사학위논문, 1983.
- [4] 함창학, "모래혼합에 의한 화강풍화토의 CBR개량에 관한 실험적 연구", 인하대학교, 석사학위논문, 1985.
- [5] 최수근, "점토의 다짐특성에 관한 연구", 한양대학교, 석사학위논문, 1990.
- [6] 함흥기, "램머의 중량과 No.200번체 통과량이 다

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제18집, 1998.

Research Report. The Institute of Industrial Technology, Kangwon Nat'l Univ., Korea, No. 18, 1998.

김효과에 미치는 영향”, 충북대학교, 석사학위논문, 1987.

- [7] 일본토질공학회, “風化花崗岩とまち 土の工學的性質とその 應用”, 土質基礎工學うてうる, 1979.
- [8] Bryan R. Ruxton, “Weathering and subsurface erosion in granite at the Piedmont”, *Geo Magazine*, Vol. 95, 1958.
- [9] Matsuo, Nishida and Sasaki, “Physical properties of weathered granite soil particles and their effect on permeability”, *Soil and Foundation*, Vol.1, 1979.
- [10] Lambe T. and W. Whitman, *Soil Mechanics* John Wiley and Sons, 1969.