

풍화잔적토의 함수비 변화에 따른 전단거동특성

유남재* · 김영길** · 이종호***

Shear Behavioral Characteristics of Weathered Residual Soil for the Change Water Content

Yoo, Nam-Jae* · Kim, Young-Gil** · Lee, Jong-Ho***

ABSTRACT

This thesis is an experimental research of shear behavioral characteristics and shear behavioral coefficient of weathered residual soil which is mostly contained in soil of Korea. Using the weathered residual soil from mountain near Kangwon National University, this experimental research were contained the physical properties of sample in term of the basic test method such as specific gravity, plastic and liquid limit, grain-size distribution, density and water content. Experimental results obtained from direct shear test sand triaxial compression tests show that according to step loading, linear strain and linear stress increase continually and angle of internal friction decreases just little according to increasing of water content in case of ignoring the cohesion, and angle of internal friction appears the maximum angle near a optimum moisture content in case of considering the cohesion.

1. 서론

1.1 연구목적

우리나라 전국토의 대부분은 화강암과 편마암이 모암인 원지반에서 풍화된 풍화잔적토(weathered residual soil)로 이루어져 있기 때문에 풍화잔적토는 토목공사에서 쉽게 접하게 되는 흙이다. 풍화잔적토는 대부분이 1차 광물성분인 석영, 장석, 운모 등과 2차 광물성분인 점토광물로 이루어져 있으

며, 일반적으로 깊이가 깊은 곳에서 표층으로 올라올수록 풍화의 정도가 심하다. 풍화가 많이 된 흙일수록 2차 광물성분인 점토광물이 많이 나타나며, 광물성분에 따라 강도정수(c' , ϕ')등이 차이를 나타낸다. 풍화잔적토는 건조시에는 외관상으로 압의 형태를 취하며 강한 강성을 보이지만, 물과 접촉하게 되면 강성이 상당히 저하되어 거동형태가 달라진다. 따라서 위와 같은 특성으로 인하여 시공현장에서 많은 어려움을 겪고 있다. 그러므로, 모암의 성질 및 광물성분과 함수비에 따른 풍화잔적토의 거동을 체계적으로 연구하는 것이 필요하

* 강원대학교 토목공학과 부교수
** 강원대학교 토목공학과 박사수료
*** 강원대학교 토목공학과 박사과정

다. 이 연구에서는 풍화잔적토가 함수비에 따른 강도정수의 차이 및 거동특성을 파악하기 위한 근간을 제시하는데 목적이 있다. 따라서, 이 연구에서는 강원대학교내 야산에 있는 풍화잔적토중 대표적인 화강풍화토를 교란된 상태에서 채취하여 기본물성시험을 수행한 후, 재성형된 시료를 가지고 함수비를 6, 10, 14, 18%로 변화시켜가면서 강원대학교 토질실험실내에 설치된 재래형(변형제어식, 상부이동식)직접전단시험기와 삼축압축시험기를 사용하여 실내전단시험(직접전단시험, 삼축압축시험)을 수행하였다.

2. 실험내용

풍화잔적토의 함수비 변화에 따른 전단거동 특성을 규명하기 위하여 전단강도시험을 수행하였다. 시험에 사용된 풍화잔적토의 기본적인 물리적 특성을 얻기 위하여 비중, 액·소성, 입도분석 시험을 실시하였고, 다짐 시험을 실시하여 전단강도시험에 사용할 공시체의 건조단위중량을 1.75g/cm^3 로 결정하였다. 전단강도시험은 함수비를 6, 10, 14, 18%로 변화시켜가며 삼축압축시험과 직접전단시험을 실시하여 전단강도정수와 응력-변형 특성을 통해 전단거동 특성을 비교분석하였다.

2.1 시료의 기본물성

풍화잔적토는 풍화의 정도에 따라서 암석에 가까운 것에서부터 실트, 점토와 같은 세립토까지 지역적으로 광범위하게 분포하고 있다. 풍화잔적토는 통일분류법(USCS)에 의해 주로 SM~SC 군으로 분류되어 명칭상으로는 사질토로 되어 있으나 지표면 부근에서 완전 풍화되면 점토질인 MH~ML 군으로 변화되며 보통의 흙과는 다른 공학적 특성을 지니고 있다. 일반적으로 풍화잔적토는 물에 약하기 때문에 풍화잔적토 지반은 외관상으로는 마치암의 형태를 가지고 있는 경우라 할 지라도 침수되면 물과의 반응 작용이 커서 건조시에는 강도가 강하나 일단 침수되면 급격히 강도가 떨어져서 지지력이 작아지고 침하량이 커져서 각종 기초 공사 및 흙댐과 같은 토질구조물 구축에 여러 가지 난점을 초래하고 있다.

풍화잔적토가 건조할수록 토립자 사이의 Interlocking이 더 크게 되어 전단강도도 크게 되며, Dilatancy 현상도 뚜렷하므로 수직변위도 크게 되어 변형에 대한 저항도 감소하게 된다. 시료가 전

단응력의 첨두점 이후부터는 전단변형이 커짐에 따라 전단응력이 감소하게 된다.

실험에 사용된 시료는 강원대학교 인근 야산에서 채취한 풍화잔적토로서 비중, 액·소성, 입도분석시험을 통해 기본적인 물리적 특성을 획득하였으며, 전단강도시험에 사용할 공시체의 건조단위중량과 함수비 변화 폭을 결정하기 위하여 다짐시험을 실시하였다. Table 1은 기본물성시험 결과를 보여주고 있으며, 입경가적곡선을 Fig. 1에 나타내었으며 사용된 시료는 통일분류법상 SP로 나타났다.

Table 1 풍화잔적토의 기본물성

비 중 (Specific Gravity)	소성지수 (Plasticity Index)	입도분포 (Grain Size Distribution)		
		D10	Cu	Cg
2.68	NP	0.25	7.2	0.8

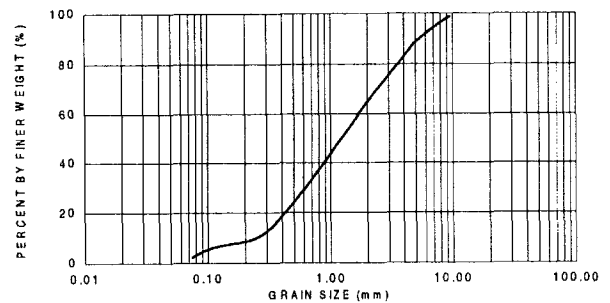


Fig. 1 풍화잔적토의 입경가적곡선

2.2 다짐시험

이 시험은 KS F 2312 규정에 의거 직경 10cm, 높이 15cm의 몰드를 사용하여 5층-55회 다짐을 실시하였다. 시험결과 이 연구에 사용된 풍화잔적토의 최대건조단위중량은 1.923g/cm^3 이며 최적함수비는 11.7%로 나타났으며, 다짐시험결과를 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2의 다짐곡선을 이용하여 전단강도시험을 위한 공시체의 제작에 있어 최대 건조단위중량에 가까운 건조단위중량으로 시료를 다짐 성형할 때 다짐에 따른 입자의 파쇄가 크고 선정된 단위중량에 해당되는 함수비보다 크거나 작은 경우의 함수비 상태로 공시체 성형이 곤란할 것으로 판단되어짐에 따라 공시체의 건조단위중량은 1.75g/cm^3 으로

함수비 변화는 6, 10, 14, 18%로 임의 선정하였으며 이 때의 공시체 성형은 Undercompaction 방법을 사용하였다. 이 방법은 다짐에 필요한 시료의 총 중량으로부터 각층의 높이를 결정한 다음 각층

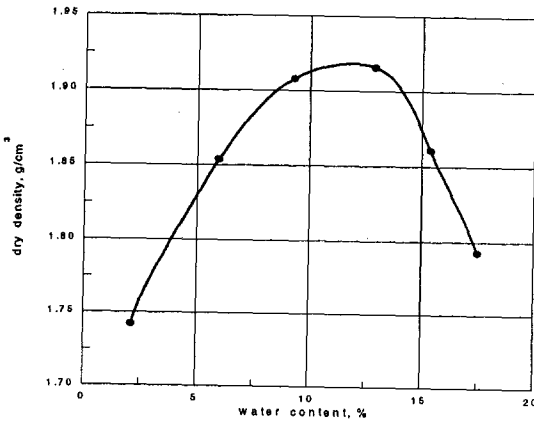


Fig. 2 풍화잔적토의 다짐곡선

의 Un(Percentage of Undercompaction)값과 다짐높이를 결정하는 방법으로서 강사법에 의한 시료성형이 곤란한 경우 많이 사용되고 있는 방법이다. 각층의 높이는 1.2cm가 추천되며 이 연구에서는 1.25cm의 높이로 7층 다짐을 실시하였다.

2.3 전단강도시험

풍화잔적토의 함수비 변화에 따른 전단강도정수와 응력-변형거동 특성변화를 비교분석하기 위해 건조단위중량 1.75g/cm³, 함수비 6, 10, 14, 18% 구속응력 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kg/cm²의 조건으로 삼축압축시험과 직접전단시험을 실시하였다.

2.3.1 삼축압축시험

함수비 변화에 따른 풍화잔적토의 전단강도 정수 및 응력-변형 거동을 구하기 위하여 압밀배수(CD Test)의 삼축압축시험을 실시하였다.

구속응력을 4 단계로 변화시키어 등방압밀 완료 후 전단시험을 수행하였을 때의 전단속도는 1%/min의 연직 변형률 속도를 유지하여 전단시험을 수행하였다. 전단시험중 체적변화의 측정은 압력실과 연결된 뷰렛을 통하여 시료의 팽창과 수축시 물의 배수되는 양을 측정하였고, 축하중을 가해주는 피스톤의 관입으로 인한 물의 배수되는 양을 시험전에 측정하여 실측값에서 보정하였다.

구속압력은 Air Compressor로 가해주고, 축하중, 전단변위, 간극수압등은 각각 Proving Ring, LVDT, 간극수압계 등을 통하여 자동기록장치로 나타나게 되어 있으며, 변형률 제어(Strain Control)방식으로 축하중을 가해주어 시료를 전단시키는 방식의 실험장치이다.

2.3.2 직접전단시험

직접전단시험은 구속응력을 4 단계로 변화시키어 전단속도 1%/min의 연직 변형률 속도를 유지하여 단순 전단시험을 수행하였다.

이 연구에 사용된 직접전단시험기는 Mikasa Type으로 직경 60mm, 높이 20mm의 성형시료를 전단할 수 있도록 제작되었으며, 시험중 일정한 연직응력이 상향방향으로 가해지는 응력 제어 방식으로 물통을 이용하여 일정한 연직응력을 하부에서 가할 수 있도록 제작되었다. 전단하중은 변형률 제어 방식으로 일정한 속도로 전단하중을 재하하게 되어 있으며, 전단하중은 Proving Ring에 의해 측정되고 수평변위, 연직변위는 Dial gauge에 의해 측정된다.

3. 실험결과 및 분석

일정한 건조단위중량에서 함수비변화에 따른 풍화잔적토의 전단특성변화를 파악하기 위하여 삼축압축시험을 수행하여 축하응력-축방향 변형률 관계곡선과 체적변형률-축방향 변형률곡선을 곡선을 획득하였고, 직접전단시험을 통해 응력-수평변위 관계곡선과, 응력-연직변위곡선을 획득하였다.

실험을 통하여 획득한 관계곡선을 이용하여 전단강도정수를 구하고 응력-변형 특성을 분석하여 함수비 변화에 따른 전단거동 특성을 파악하였다.

3.1 직접전단실험

Fig. 3은 직접전단시험을 통하여 획득한 응력-수평변위 관계곡선과, 응력-연직변위곡선을 분석하여 구한 전단응력-수직응력 관계곡선으로써 수직응력이 증가할수록 궁극전단응력이 증가하는 경향을 보인다. 점착력을 고려할 경우 최적함수비 근처에서 내부마찰각이 최대가 되는 경향을 보인다.

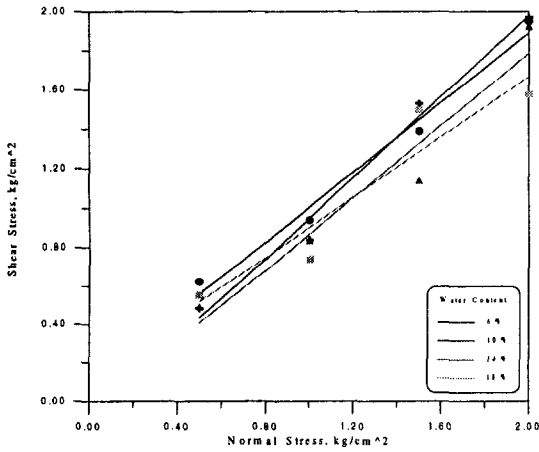


Fig. 3 함수비 변화에 따른 직접전단시험 결과

3.2 삼축압축시험

Fig. 4는 함수비 6%에 대한 삼축시험결과를 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 구속응력이 증가할수록 축차응력이 증가하며 각 구속응력에서 축방향 변형률과 축차응력이 지속적으로 증가하는 변형경화 현상을 보인다. 또한 체적변형률은 구속응력이 증가함에 따라 축방향변형률이 증가할수록 팽창이 증가하는 경향을 보인다.

Fig. 5~Fig. 6은 함수비 10, 14%에 대한 삼축압축 시험결과로 함수비6%의 결과와 동일하게 변형경화 현상을 보이며 구속응력이 증가할수록 체적팽창이 증가되는 경향을 보인다.

Fig. 7~Fig. 9은 삼축압축시험결과를 이용하여 구한 p-q 관계곡선을 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 함수비 변화에 따른 점착력 변화는 일관성이 없는 것으로 판단되어지며 내부마찰각은 건조상태에서 최적함수비에 접근할수록 내부마찰각이 증가하는 경향을 보이며 최적함수비이후에 감소하는 경향을 보인다. 한편, Fig. 3~Fig. 9을 비교 분석한 결과 함수비 변화에 따른 전단강도정수 변화는 Table 2과 같이 나타났다. 직접전단시험 결과와 삼축압축시험결과를 비교하여볼 때 점착력은 큰 차이를 보이는데 이것은 실험오차에 의해 차이가 발생하는 것으로 판단된다. 또한 내부마찰각은 두 시험 모두 점착력을 고려하는 경우 최적함수비 근처에서 내부마찰각이 최대가 되는 경향을 보이며 점착력을 고려하지 않는 경우 함수비가 증가함에 따라 내부마찰각이 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

직접전단시험결과와 삼축압축시험에 의한 내부마찰각의 크기의 차이는 점착력을 고려하는 경우 $\phi_{Direct} = 1.12\phi_{Triaxial}$ 의 관계를 보이며 점착력을 고려하지 않는 경우 $\phi_{Direct} = 1.04\phi_{Triaxial}$ 의 관계를 보이는데, Hansen이 제안한 평면변형 상태와 삼축압축 실험조건에 의한 내부마찰각의 관계($\phi_{pl} = 1.1\phi_{Triaxial}$)를 고려할 때 점착력을 고려하는 경우가 비교적 일치하는 것으로 나타났다.

한편, 함수비가 증가함에 따라 전단저항이 감소하는 경향을 실내 전단시험을 통하여 확인하려 하였으나 실제 실험 결과를 이용하여 그것을 확인할 수 없었으며 점착력을 고려하지 않는 경우 함수비가 풍화잔적토의 강도 저하의 원인이 된다는 사실을 알 수 있었다.

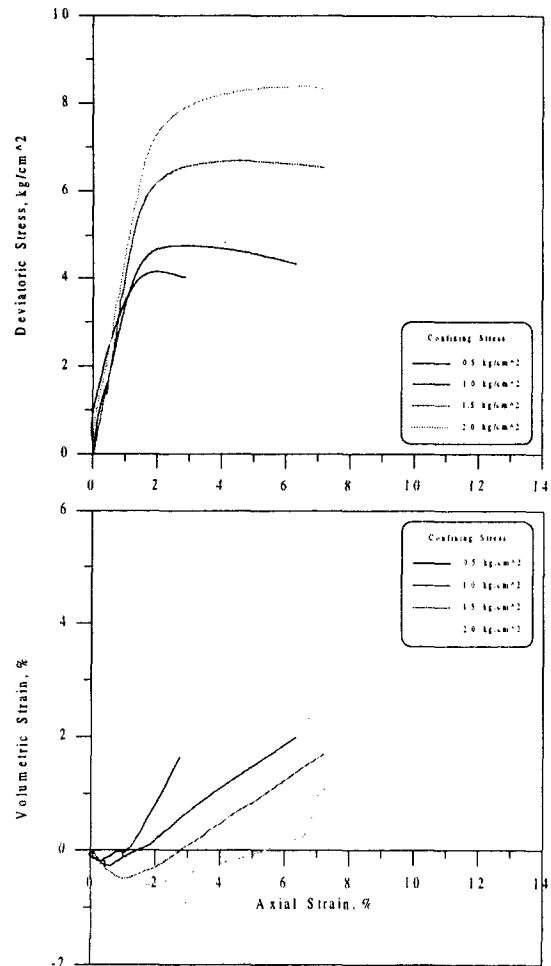


Fig. 4 삼축압축시험결과(w=6%)

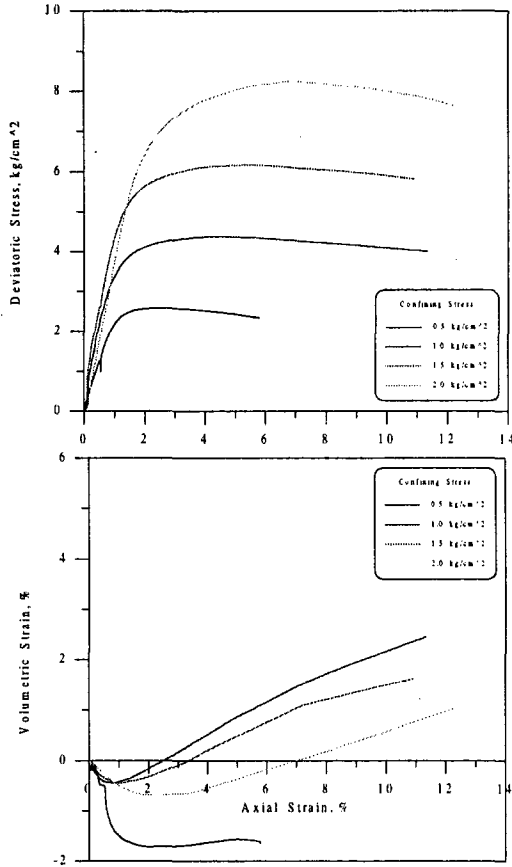


Fig. 5 삼축압축실험결과(w=10%)

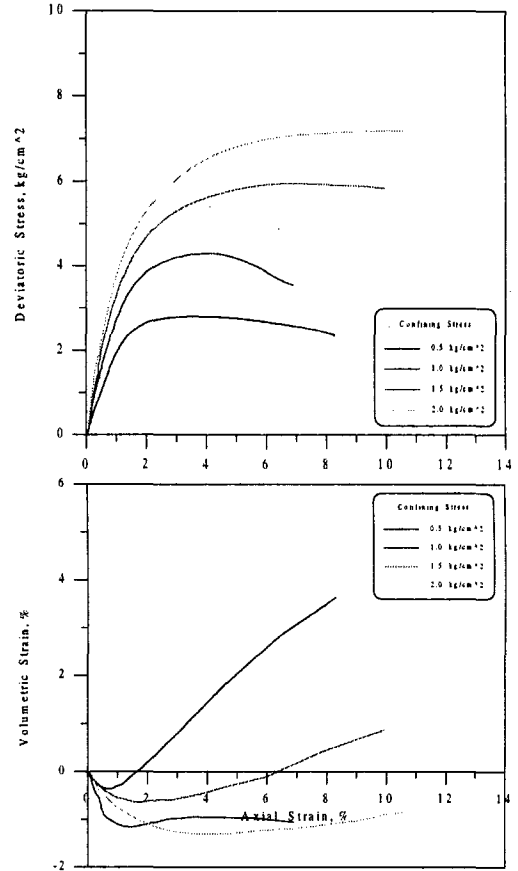


Fig. 6 삼축압축실험결과(w=14%)

Table 2 함수비 변화에 따른 전단강도정수

(Unit) C=kg/cm ² φ=Degree		w=6%		w=10%		w=14%		w=18%	
		c _{cd}	φ _{ca}	c _{cd}	φ _{ca}	c _{cd}	φ _{ca}	c _{cd}	φ _{ca}
직접 전단 시험	실험치	0.12	41.5	0	44.0	0	42.5	0.14	37.5
	c = 0	0	44.5	0	44.0	0	42.5	0	40.5
삼축 압축 시험	실험치	0.56	36.9	0.15	40.8	0.34	36.7	-	-
	c = 0	0	43.4	0	42.4	0	40.5	-	-

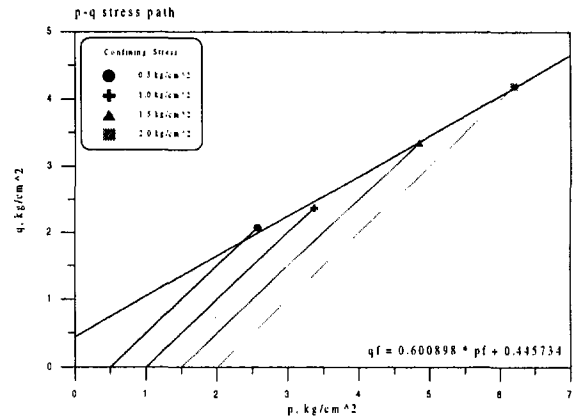


Fig. 7 p-q 곡선 (w=6%)

참 고 문 헌

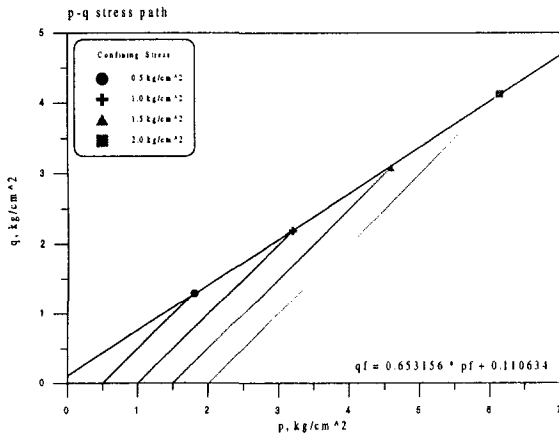


Fig. 8 p-q 곡선 (w=10%)

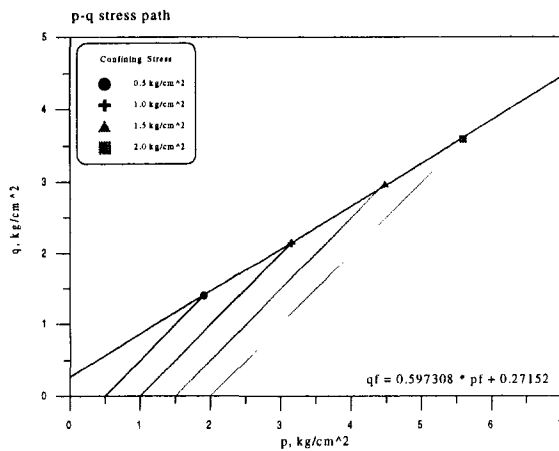


Fig. 9 p-q 곡선 (w=10%)

4. 결 론

풍화잔적토의 함수비 변화에 따른 전단 거동 특성과 관련하여 기본물성실험, 직접전단시험, 삼축압축시험 결과, 하중 단계별로 대부분 축방향 변형률과 축차응력이 지속적으로 증가하는 변형경화 경향을 보임을 알 수 있었다.

점착력을 고려하지 않는 경우 내부마찰각은 함수비가 증가함에 따라 작지만 감소하는 경향을 나타내었으며, 점착력을 고려하는 경우 내부마찰각은 최적함수비 근처에서 최대 크기를 갖는 것을 알 수 있었다.

1. 김용진, 이인모, 이인근(1994), "구성석을 이용한 다짐화강토의 공학적 특성(1)", 한국지반공학회지, Vol.10, No.3, pp. 55-78.

2. 박병기, 이문수, 강권수, 양재혁(1996), "화강토의 전단특성", 대한토목학회 학술발표회 논문집 (III), pp. 339-342.

3. 이인모, 이승철, 김용진(1996), "다짐 풍화잔적토의 거동특성 연구", 한국지반공학회지, Vol.12, No.6, pp. 115-126.

4. 조영목(1995), "사질토의 응력-변형 거동에 관한 비선형 구성모델의 적용", 석사학위논문, 강원대학교 대학원

5. 홍영길(1993), "강원도 지역내에 분포하고 있는 화강토의 다짐특성 및 지질정수의 상관관계에 관한 연구", 석사학위논문, 강원대학교 산업대학원.

6. Bryan R. Ruxton.(1958). "Weathering and Subsurface Erosion in Gracite at the Piedmont, Agnle, Balos, Sudan, Geol, Magazine", Vol 95, No. 5

7. Hansen, J. B.(1977). "A revised and extended fomula for bearing capacity". Danish Geotechnical Institute Bulletin, No. 28, Copenhagen.

8. Lambe T. W & Whitman R. V.(1969). "Soil Mechanics, SI Version" John Willy & Sons, New york.

9. Matsuo, Nishida & Sasaki.(1979). "Physical Properties of Weathered Granite Soil Particles & Their Effect on Permeability", Soil & Foundation, Vol. No. 1