

부직포 배치간격에 따른 화강풍화토의 보강효과에 관한 연구

A Study on the Reinforcement Effects of Decomposed Granite Soils according to the Spacing Intensity of Non-woven Geotextile

조 용 성^{1*} Cho, Yong-Sung
이 명 호² Lee, Myung-Ho
김 경 신³ Kim, Kyeong-Shin

ABSTRACT

In this study, the deformation and strength characteristics for non-woven geotextile-reinforced decomposed granite soil on the triaxial compression test under the same condition as the underground. The specimen of reinforced earth was made of the decomposed granite soil imbedded horizontal in a given space with non-woven geotextile. Four different type of specimen was used in this experimental programme; UR for unreinforced, R-1 for a single non-woven geotextile sheet, R-2 for two sheets, and R-3 for three sheets. According to the testing results, it was found that the strength of the reinforced soil increased when the non-woven geotextile sheets were more used. These results would be applied to the design of reinforced earth structure through the theoretical interpretation method.

요 지

본 연구에서는 부직포로 보강된 화강풍화토를 삼축압축시험장치를 이용해 보강재 배치간격에 따른 보강효과를 알아보고자 하였다. 보강토 시료는 일정한 간격의 공간에 준비된 부직포를 수평으로 삽입하여 형성하였다. 여기에 사용된 시료는 4종류이며, UR은 무보강, R-1은 부직포 1층, R-2는 2층, R-3은 3층으로 포설하였다. 이러한 실험결과로부터 부직포로 보강된 보강토는 강도 증가가 뚜렷하게 확인되었으며, 보강층수가 증가할수록 그 경향은 크게 나타났다. 이러한 실험결과로 향후 보강토구조물 설계에 있어서 이론적인 분석법에 활용될 수 있을 것이다.

Keywords : Non-woven geotextile, Reinforced earth, Unreinforced, Decomposed granite soil

1. 서 론

화강풍화토는 우리나라에 널리 분포되어 있으며, 건설 현장에서 흔히 볼 수 있는 건설재료이다. 흔히 현장에서 화강토는 성토재료나 기초지반으로서 양호하다고 인정되고 있으나, 조성광물의 함유량과 풍화정도에 따라 그 공학적 성질이 크게 달라지는 형태를 보이고 있다. 또한 화강풍화토는 겉보기에 고결상태에 있고 단단해 보이지만 층

격이나 기타의 교란 작용을 받으면 쉽게 입자가 분리되는 구조적 불안정상태에 있다. 이러한 화강풍화토를 성토재료로 사용할 경우 보다 경제적이고 안정적인 지반이 될 수 있도록 별도의 보강이 필요하다.

국내의 경우 보강토공법은 1980년대 이후 지속적으로 많은 연구를 통해 실용적인 설계 및 시공법이 다수 개발되고 있으며 그 시공실적 또한 지속적인 증가추세에 있다. 또한 체계적인 보강토공법이 개발된 이후 보강토공법에서

1* 정희원, 국립공원관리공단, 국립공원연구원, 선임연구원 (Member, Senior Researcher, National Park Research Institute, Korean National Park Service, E-mail: machoys@hotmail.com)

2 정희원, (주)한준지오텍, 토양환경연구팀 팀장 (Member, Managing Director, Department of Soil & Environment Research, HanJun Geotech Co., Ltd.)

3 비회원, 서울시 광진구 도로과 (Non-Member, KwangJin-ku, Public Roads Division, Seoul Metropolitan Government)

활용되고 있는 보강재의 종류도 초기에는 금속띠형 보강재로 시작하여 근래에는 섬유산업의 발전에 따라 재료 및 역학적 특성이 우수한 보강재가 개발되고 있다(Leshchinsky, 2002). 근래에는 보강재에 의한 보강효과를 알아보기 위한 논문이 많이 보고되고 있다. 하지만 시험방법과 보강재의 종류 및 보강재를 배치하는 방법에 따라 강도특성이 다르게 나타나므로 보다 더 많은 실험논문이 필요하다고 생각된다(조용성, 2005). 본 연구에서는 압밀비배수 삼축압축시험을 통하여 부직포로 보강된 화강풍화토의 보강재 배치간격에 따른 보강효과 변화에 대해 검토하고자 한다.

2. 시험재료의 역학적 특성

2.1 화강풍화토의 특성

흙의 비중시험은 KS F2308 시험기준으로 실험을 하였으며, 결과 비중이 2.64로 조사되었다. 시험결과를 표 1에 정리하였다. 그림 1의 입도시험 결과는 체분석과 비중계 분석으로 수행하였으며, 균등계수는 8.4 곡률계수는 5.23으로 통일분류법에 의해 SM으로 조사되었다(표 2).

다짐시험(KS F)은 표준 A다짐을 이용하여 화강풍화토의 최대건조밀도는 1.59kg/cm^3 이고, 이때 최적함수비는 17.50%로 나타났다(그림 2).

2.2 보강재의 특성

토목섬유의 기능은 현재 널리 알려져 있는 배수, 필터, 분리, 보강, 차수, 침식 제어기능 외에도 다른 여러 기능이

표 1. 액소성한계시험 및 비중시험결과

흙의 종류	Liquid Limit w_L (%)	Plastic Limit w_P (%)	Gravity G_s
화강풍화토	38	NP	2,641

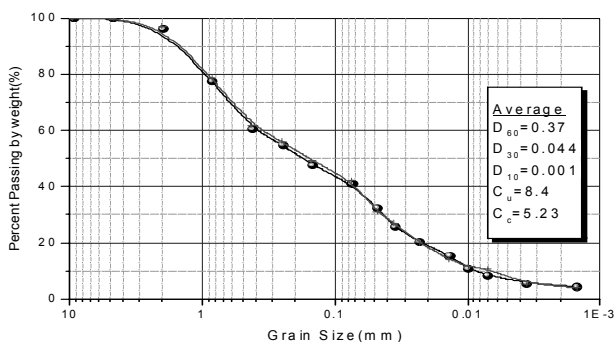


그림 1. 입도시험 결과

있음이 확인되고 있으며 현장에 적용된 토목섬유는 하나 이상의 기능을 수행하고 있다. 본 연구에 사용된 토목섬유는 부직포(non-woven geotextile)를 사용하였고 그 특성은 표 2의 결과와 같다.

3. 압밀비배수 삼축압축시험(CU-Test)

압밀비배수(CU)삼축압축시험은 시료에 일정한 구속압력을 가하고 배수를 허용하여 간극수압이 0이 될 때까지 압밀시킨 다음 축차응력을 가할 시에는 배수를 허용하지 않고 전단파괴 하였다.

3.1 시료준비

화강풍화토에 대해 다짐시험 후 구한 최적함수비와 다짐에너지를 계산하여 시료를 성형하였다. 시료의 크기는 직경 50mm, 높이 102mm로 하고 그림 3과 같이 무보강

표 2. 보강재에 대한 인장시험결과

Reinforcement	Test No.	Tensile strength T_{max} (tf/m)	Axial Strain at peak, $\epsilon_a(\text{peak})$	Young's modulus(tf/m)	
				Initial J_i	Secant at 5% $J_{sec}(0.05)$
Non woven	1	3,062	0.508	12,1	7,6
	2	3,058	0.432	16,0	8,9
	Ave.	3,060	0.470	14,1	8,3

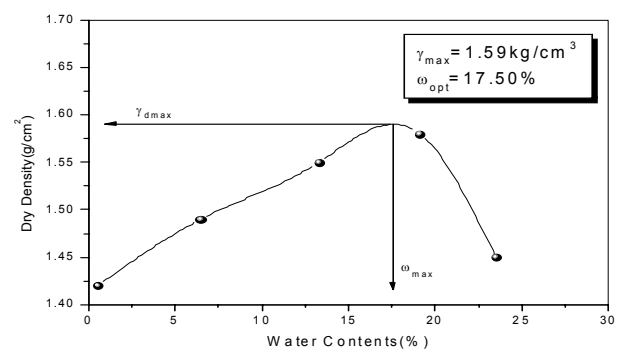


그림 2. 다짐시험 결과

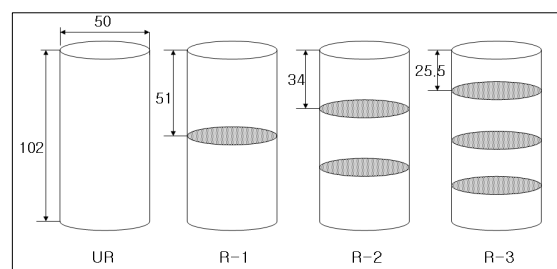


그림 3. 시험에 사용된 시료 형태

시료와 시료 내에 부직포를 51mm, 34mm, 25.5mm간격으로 배치하여 제작하였다.

그리고 시료의 크기에 맞게 측변, 양단용여과지를 준비한다. 무게를 잰 시료에 여과지를 씌워 고무막 확장기로 시료를 삼입한다.

3.2 시료포화에서 전단과정

세팅이 끝난 이후 배압을 가하여 시료를 포화시킨다. 이때 시료 내부의 유효응력이 변화하지 않도록 배압의 증분만큼 셀압도 더불어 증분시킨다. 포화되었다고 생각되면 Data Logger를 간극수압계에 연결하여 측정하여 Skempton (1954)의 간극수압계수 $B \geq 0.97$ 이면 포화과정을 끝냈다. 포화가 완료된 이후 시료의 심도에 해당하는 유효상재하중에 맞추어 구속압을 가한다. 본 연구에서는 공시체에 대한 구속응력을 1.0kg/cm^3 , 1.5kg/cm^3 , 2.0kg/cm^3 으로 변화시켰다.

일정한 압밀이 완료되면 구속압의 증분 이후 변형률 제어방식을 채택하여 시료를 전단하는데, 급속 전단시험 시 $0.5\sim 1\%/min$ 의 속도로 시료를 전단시키며 일반적으로 변형률 20% 이상을 전단시킨 후 압력을 제거하고 해체하였다.

4. 시험결과

시료의 함수비는 표 3에서 보는 것처럼 15% 내외로 최적함수비의 건조측에 속하고, 습윤단위중량(γ)은 $1.8\sim 1.9\text{kg/cm}^3$, 건조단위중량(γ_d)은 $1.56\sim 1.61\text{kg/cm}^3$ 로 나타났다. 또한 초

기 간극비(e_0)는 $0.6\sim 0.69$, 초기포화도(s_0)는 $57\sim 67\%$ 이다.

시료는 압밀시험 전 강제 포화시켰고 모든 시료에 대해서 포화도가 97% 이상을 확인한 후에 압밀 시험을 실시하였다. 표 4는 압밀 및 전단시험후의 시료의 상태를 나타낸다.

파괴시험 후의 함수비는 $20\sim 30\%$ 로 나타났고 습윤단위중량은 $2.1\sim 2.23\text{kg/cm}^3$, 건조단위중량은 $1.6\sim 1.8\text{kg/cm}^3$, 간극비는 $0.5\sim 0.7$ 로 조사되었다.

4.1 보강재 배치간격에 따른 파괴형상

보강재 배치간격에 따른 파괴형상은 표 5에서 보는 바와 같이 보강재를 배치한 부분에서는 변형 정도가 작다는 것을 알 수 있다. 이는 보강재와 토체 사이의 마찰력이 파괴 정도를 감소시킨다는 것을 알 수 있다.

표 3. 시료의 초기상태

시험 형태	구속압 σ_3 , kgf/cm^2	함수비 $w_1, \%$	무게 W_1, g	단위중량		간극비 e_0	포화도 $S_r, \%$
				γ	γ_d		
A	1.0	15.31	379.85	1.9	1.65	0.60	67.12
	1.5	15.02	371.02	1.85	1.61	0.64	61.83
	2.0	15.23	369.78	1.85	1.61	0.64	62.40
B	1.0	14.98	363.33	1.82	1.58	0.67	59.22
	1.5	15.02	359.82	1.8	1.56	0.69	57.72
	2.0	15.31	372.84	1.86	1.61	0.64	63.49
C	1.0	15.19	374.54	1.87	1.62	0.63	64.04
	1.5	15.01	363.19	1.81	1.57	0.68	58.49
	2.0	15.04	363.33	1.82	1.58	0.67	59.38
D	1.0	15.22	367.59	1.84	1.60	0.65	61.52
	1.5	15.17	366.06	1.83	1.59	0.66	60.55
	2.0	15.15	363.45	1.82	1.58	0.67	59.67

표 4. 구속압으로 포화/압밀/파괴 후의 시료 변화

T y p e	σ_3 , kgf/cm^2	압밀(Consolidated)후				파괴시험(Failure)후				
		부피, cm^3		길이 L_c, cm	단면적 A_c, cm^2	무게 W_2, g	함수비 $w_2, \%$	단위중량, kgf/cm^3		간극비 e_r
		ΔV	V_c					습윤	건조	
A	1.0	9.46	190.72	9.99	18.83	402.25	26.19	2.14	1.69	0.56
	1.5	12.09	188.09	9.91	18.48	395.74	26.07	2.16	1.71	0.54
	2.0	14.88	185.30	10.04	18.99	402.01	20.53	2.11	1.75	0.51
B	1.0	11.22	188.96	10.09	19.19	400.81	30.79	2.07	1.58	0.67
	1.5	17.26	182.92	9.91	18.46	399.15	21.36	2.18	1.80	0.47
	2.0	20.34	179.84	9.85	18.25	392.12	26.46	2.18	1.72	0.53
C	1.0	14.60	185.58	9.95	18.65	392.66	29.73	2.12	1.63	0.62
	1.5	15.99	184.19	9.93	18.55	399.18	21.59	2.17	1.78	0.48
	2.0	17.30	182.88	9.91	18.46	392.98	21.47	2.15	1.77	0.49
D	1.0	12.23	187.95	9.85	18.23	400.80	23.38	2.23	1.81	0.46
	1.5	14.84	185.34	9.95	18.63	401.00	19.67	2.16	1.81	0.46
	2.0	17.74	182.44	9.90	18.43	389.77	28.43	2.14	1.66	0.59

표 5. 보강재 배치간격에 따른 파괴형상

	UR (무보강)	R-1 (1층보강)	R-2 (2층보강)	R-3 (3층보강)
시험 전 시료 형태				
시험 후 시료의 파괴 형상				

4.2 변형률에 따른 축차응력의 변화

그림 4는 전체 시험조건에서 변형률과 축차응력의 관계 그래프를 종합한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 변형률 5% 내외에서 전단파괴가 발생함을 알 수 있고 보강재의 배치간격이 좁을수록, 구속응력이 클수록 더 높은 축차응력에서 전단 파괴가 일어남을 알 수 있다. 또한 전단파괴 후 기울기는 갑자기 완만해지는데 그 정도는 보강재의 배치간격이 좁은 경우가 덜 하다. 이는 보강재의 배치간격을 좁힘으로써 보강효과가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 5 및 6은 보강재 배치간격에 따른 보강도의 보강효과를 강도비와 간격비, 강도비와 보강층수로 나타낸 결과이다. 보강재의 배치 간격이 좁아지면서 즉, UR에서 R-1, R-2, R-3으로 가면서 구속압력이 1.0kg/cm²인 경우 8%, 25%, 45%의 보강효과가 나타나고, 1.5kg/cm²인 경우 2%, 29%, 43%로 구속압력이 2.0kg/cm²인 경우 15%, 24%, 52%로 보강효과가 더 커짐을 알 수 있다.

4.3 변형률에 따른 간극수압의 변화

그림 7은 전체 시험에서 변형률에 따른 간극수압의 관계를 나타낸 것이다. 간극수압은 변형률 3~5%까지 급하게 증가하다가 그 이후에는 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 보강재의 배치간격이 좁을수록 peak 이후 간극수압의 감소기울기가 더 완만하게 나타남을 알 수 있다.

따라서 간극수압의 크기는 구속압력이 증가할수록 보강재 배치간격이 좁아질수록 커짐을 알 수 있다.

4.4 변형률에 따른 축차응력-구속응력비의 변화

그림 8은 전체 시험에서 변형률에 따른 축차 응력-구속

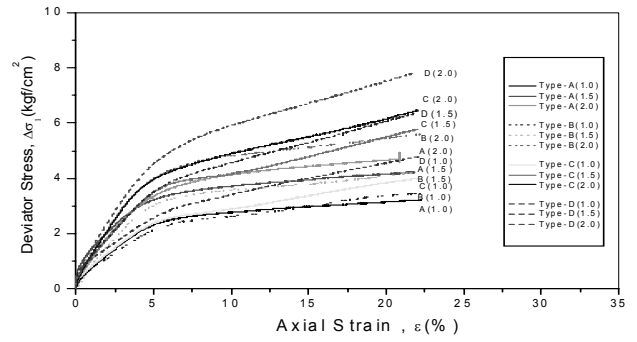


그림 4. 변형률에 따른 축차응력

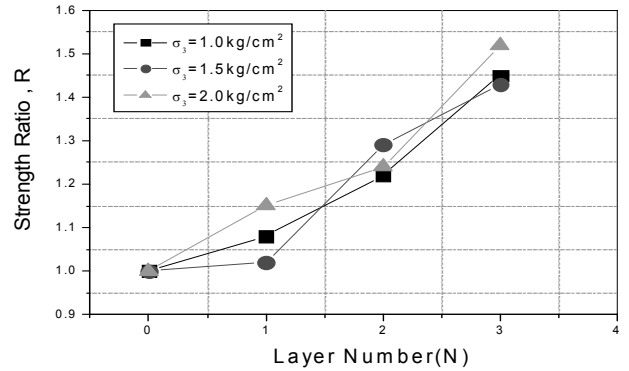


그림 5. 보강재 층수(N)와 강도비(R)

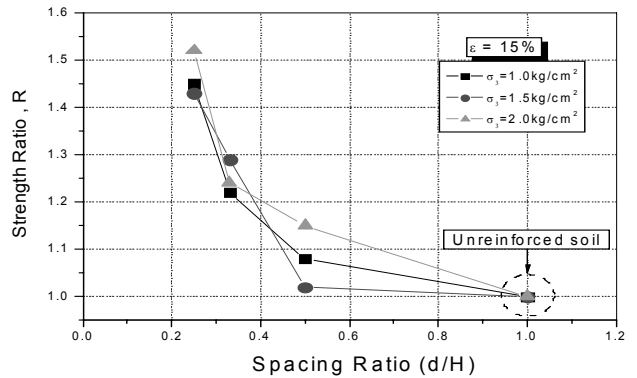


그림 6. 보강재 간격비와 강도비

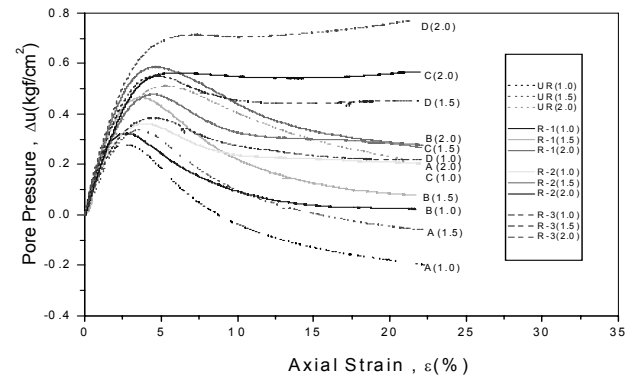


그림 7. 변형률에 따른 간극수압

응력비 관계를 나타낸 것으로 변형률 5%에서 기울기가 완만해짐을 알 수 있다(안영대 등, 2002). 또한 0~5% 사

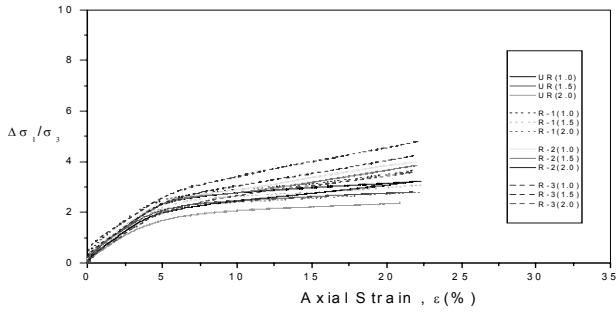


그림 8. 변형률에 따른 축차 응력-구속 응력비

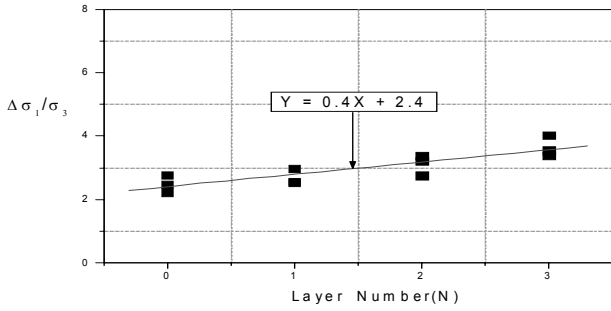


그림 9. 보강층수에 따른 축차 응력과 구속 응력비

이에서 전체 시료의 초기 기울기 값은 거의 비슷한 양상을 보여준다. 따라서 이 기울기를 이용하여 축차 응력-구속 응력비를 정규화시키면 적어도 본 연구에 사용된 화강풍화토에 대해 무보강에서 3층 보강사이에서 그림 9와 같이 나타낼 수 있다.

4.5 전단응력과 수직응력의 관계

그림 10과 그림 11은 보강재의 배치 간격에 따른 전응력과 유효응력의 관계를 나타낸 종합적인 그래프이다. 이러한 결과에서 보강재의 배치 간격이 좁아짐으로써 보강 효과가 크게 나타남을 알 수 있다.

점착력의 크기는 보강재의 삽입간격이 좁을수록 전체적으로는 감소하는 양상을 보여주는 듯하나 시료에 따라 다소 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 하지만 내부마찰각은 점차적으로 증가함을 알 수 있다. 이것은 보강토공법의 기본이론에서 내부마찰각의 증가로 전단강도가 증가하는 이론과 일치하는 것으로 확인되었다(조용성 등, 2006). 따라서 보강재 배치간격이 좁아짐에 따라 내부마찰각의 증가로 보강효과가 더 크게 나타남을 알 수 있다(그림 12). 또한 점착력은 전응력에서 유효응력보다 크게 나타나고 반대로 내부마찰각은 전응력에서 유효응력보다 작게 나타났다(그림 13).

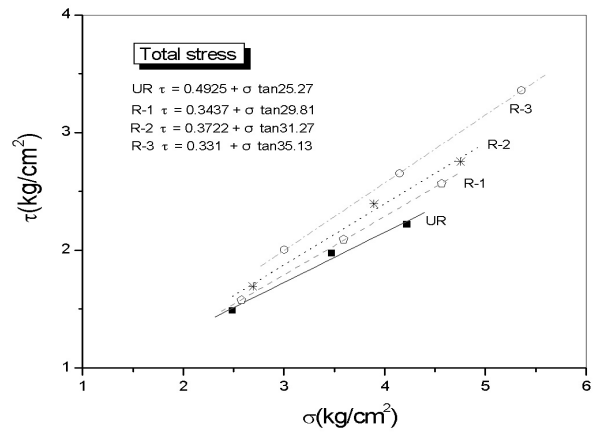


그림 10. 시료에 따른 전응력비교(ε=15%)

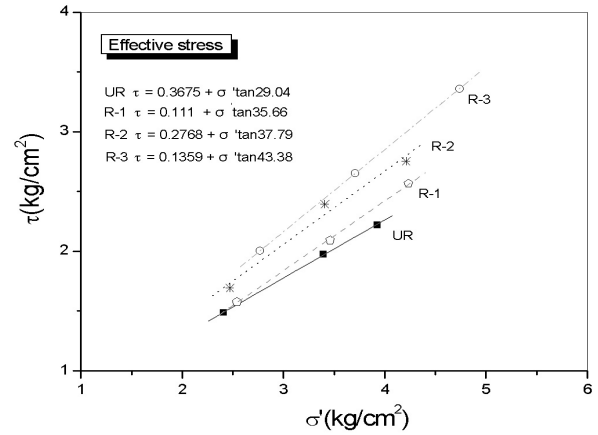


그림 11. 시료에 따른 유효응력비교(ε=15%)

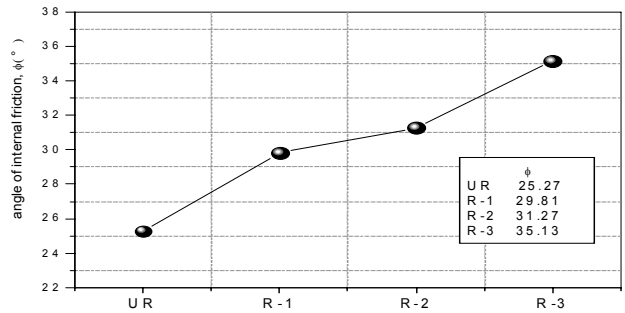


그림 12. 시료에 따른 내부마찰력비교(ε=15%)

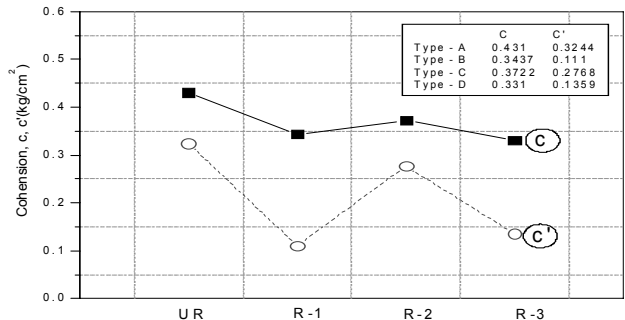


그림 13. 시료에 따른 점착력비교(ε=15%)

5. 결론

일정한 배치간격에 따른 보강효과를 확인하기 위하여 비배수 삼축압축 전단시험결과를 분석하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다:

- (1) 본 연구에 사용된 화강풍화토를 부직포로 보강할 경우 간격비 0.5~0.25 범위에서 최대 50%정도의 보강효과를 나타낸다.
- (2) 무보강 및 모든 보강시료의 축차응력 축변형률 관계에서 축변형률 5% 정도에서 항복응력을 나타낸 후 축차응력의 기울기는 보다 완만하게 나타나고 보강재 배치간격이 좁아질수록 그 기울기가 급하게 나타낸다.
- (3) 화강풍화토의 보강효과는 적어도 무보강에서 3층 보강 사이에서 다음과 같은 식($Y=0.4X+2.4$)으로 나타낼 수 있다.

- (4) 수직응력과 전단응력관계에서 본 연구에 사용된 화강풍화토의 보강효과는 점착력의 증가에 의한 개념보다는 내부마찰각의 증가에 의한 것이 지배적이다.

참고문헌

1. 안영대, 오세봉, 고동희, 김동수 (2002), “풍화토의 비배수 삼축압축시험시 전체 변형률 영역의 거동에 관한 연구”, *한국지반공학회지 논문집*, 제8권, 1호, pp.29-39.
2. 조용성 (2005), *초기반복하중에 의한 토목섬유 보강화강 풍화토의 변형강도특성*, 박사학위논문, 전북대학교.
3. 조용성, 구호분, 박인준, 김유성 (2006), “정·동적 하중에 의한 비압밀비배수 보강화강풍화토의 전단강도 특성”, *한국지반공학회지 논문집*, 제22권, 7호, pp.13-21.
4. Leshchinsky, D. (2002), *Design Software for Geosynthetic-Reinforced Soil Structures*, Geotechnical Fabrics Report, Vol.19, Mar/Apr, pp.44-49.
5. Skempton, A. W. (1954), “The pore pressure coefficient A and B”, *Geotechnique*, Vol.4, pp.143-147.

(논문접수일 2008. 1. 30, 심사완료일 2008. 2. 22)