

직접전단시험에 의한 토목섬유 보강토의 마찰특성

Characteristics of Geosynthetics Reinforced Earth by means of Direct Shear Test

주재우¹⁾, Jae-Woo Ju, 한호남²⁾, Ho-Nam Han, 박종범²⁾, Jong-Beom Park, 오세란³⁾, Se-Ran O

¹⁾ 순천대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Suncheon

²⁾ 순천대학교 대학원 토목공학과, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Suncheon

³⁾ 동아기술공사 상무이사, Managing director, Dong-a Engineering, co., LTD

SYNOPSIS : Recently reinforced earth method using geosynthetics as a reinforcement has been getting popular and usefulness also has been increased due to reductions in costs and ease of construction and great exterior view.

In this study, as a part of studying on estimation of shear frictional characteristics between soil and geosynthetics, direct shear tests were performed and from the result of direct shear tests, shear frictional parameters between soil and geosynthetics were obtained and shear behaviors were learned.

KEYWORDS : Direct shear test, Geotextile, Fortrac geogrid, Tenax geogrid

1. 서론

토목섬유를 이용한 보강토공법은 경제성과 시공성이 우수하고 다른 공법과 비교하여 신뢰성이 탁월한 공법으로 보강토 구조물의 설계와 해석에서 흙과 토목섬유 사이의 마찰특성을 파악하는 것은 매우 중요한 사항으로 국내에서도 이에 대한 연구가 꾸준히 진행 중에 있다. 직접전단시험은 흙과 토목섬유 사이의 마찰특성을 파악하기 위해 이용되어지는 시험 중 하나로서 흙과 토목섬유사이의 마찰특성을 파악하고 마찰정수를 구하기 위해 주로 사용되는 시험이다.

본 논문에서는 직접전단시험을 통하여 토목섬유 보강토의 보강효과를 파악하기 위하여 무보강 모래지반과 Geotextile, Fortrac geogrid, Tenax geogrid 등 3종류의 토목섬유로 보강된 모래지반에 대한 직접전단시험을 실시하였다. 직접전단시험은 토목섬유보강 모래지반에 대하여 토목섬유의 인장변형을 고려한 자유(Free)조건과 인장변형을 억제한 고정(Fixed)조건으로 구분하여 실시하였다.

전단시험결과로부터 전단응력과 전단변형률관계를 고찰하였으며, 무보강 모래지반과 토목섬유보강 모래지반에 대한 전단마찰정수를 제시하였다. 그리고 흙에 저항하는 전단응력의 최대점인 파괴점(Peak point)이후 잔류응력에 대해서 비교 분석하였다

2. 직접전단시험

2.1 직접전단시험 장치

본 연구에 사용된 직접전단시험 장치는 그림 1에서 보는 바와 같다. 본 시험장치는 직접전단시험과 인발시험이 동시에 가능하며 시험기는 토조와 Air pressure bag, Load cell 등 크게 3부분으로 구성되어 있다. 토조는 강판으로 제작되었으며 토조는 상·하부로 분리되어 있고, 상부와 하부 토조는 각각 깊이가 9cm이고 약 1.0cm의 간격을 두고 분리되어 있으며 이 간격은 조절이 가능하다. 토조의 크기는 길이 60cm×폭 40cm×깊이 19cm이다. 또한 상부토조에는 Flat bearing이 부착되어 있어 직접전단시험시 상부토조의 이동이 가능하도록 되어 있다. 상부토조의 상부에는 Air pressure bag이 설치되어 있어 공기압에 의해 토조내에 균등한 수직하중을 가압할 수 있도록 되어 있으며, Air pressure bag에 가할 수 있는 최대공기압은 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 전단속도는 속도 조절 시스템에 의하여 임의의 속도로 조절이 가능하며 시험시 흙과 토조 내벽의 마찰을 최소로 줄이기 위하여 토조 내벽에 실리콘 그리스를 바르고 멤브레인을 붙였다.

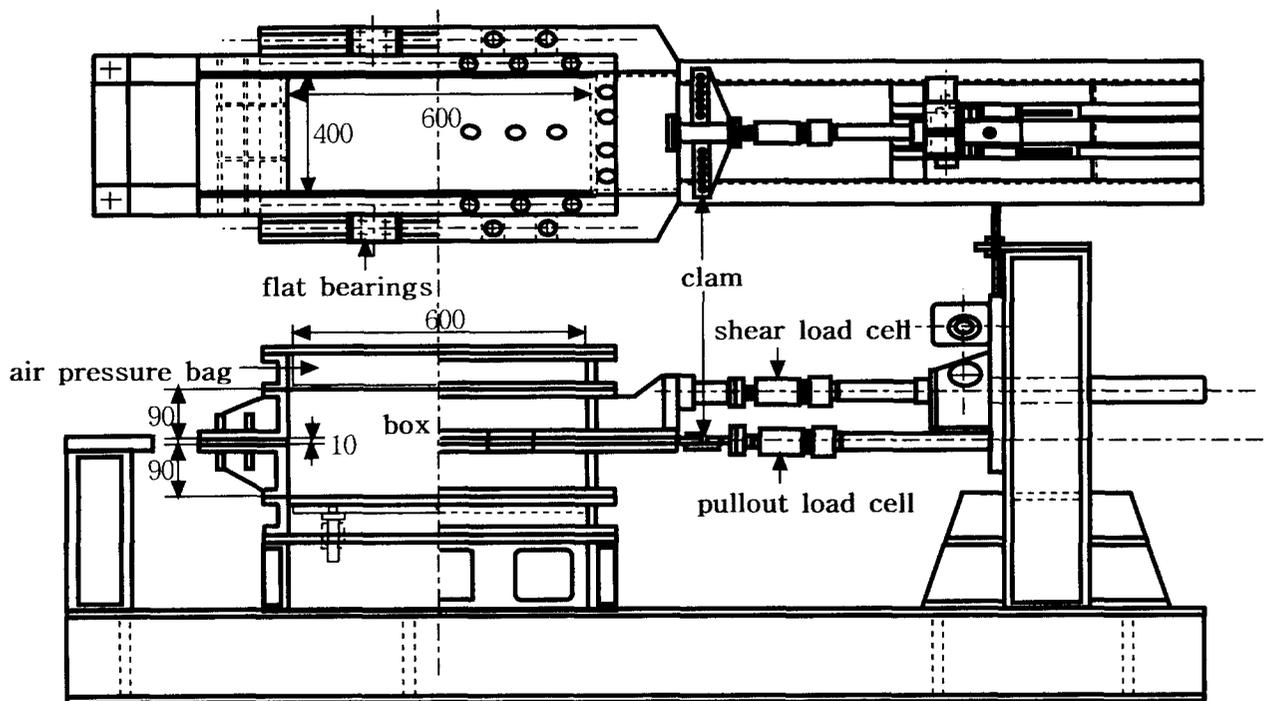


그림 1. 직접전단시험기

2.2 보강재료의 특성

2.2.1 모형지반

전단시험에 사용된 흙시료는 주문진 표준사로서 그 성질은 표 1과 같다. 토조내의 흙시료 제작은 상대밀도 80%를 재현하기 위하여 다중체 낙하장치를 이용하였다.

표 1. 주문진 표준사의 물리적 성질

물리적 성질 시료종류	비중 G_s	최대밀도 (g/cm^3)	최소밀도 (g/cm^3)	모델지반의 밀도 (g/cm^3)	상대밀도 (%)
주문진 표준사	2.67	1.654	1.398	1.612	80

2.2.2 토목섬유

전단시험에 사용한 토목섬유는 부직포(Nonwoven geotextile)와 고밀도 폴리에틸렌을 일방향으로 열연 신하여 제조한 geogrid제품인 Tenax geogrid(TT 401) 그리고 가로방향과 세로방향 부재를 격자형태로 부착시킨 Fortrac geogrid제품으로 그 물성치는 표 2와 같고 그 형상은 그림 2와 같다.

표 2. 토목섬유의 물리적 특성

보강재의 종류	최대인장강도	최대신율	망눈크기	비 고
NONWOVEN GEOTEXTILE	길이:146.6kg 폭:99.9kg	길이:65% 폭:78%	-	C.R.E그래브법
TENAX GEOGRID	80.0kN/m	13.0%	140×17mm	
FORTRAC GEOGRID	35.0kN/m	12.5%	20×20mm	

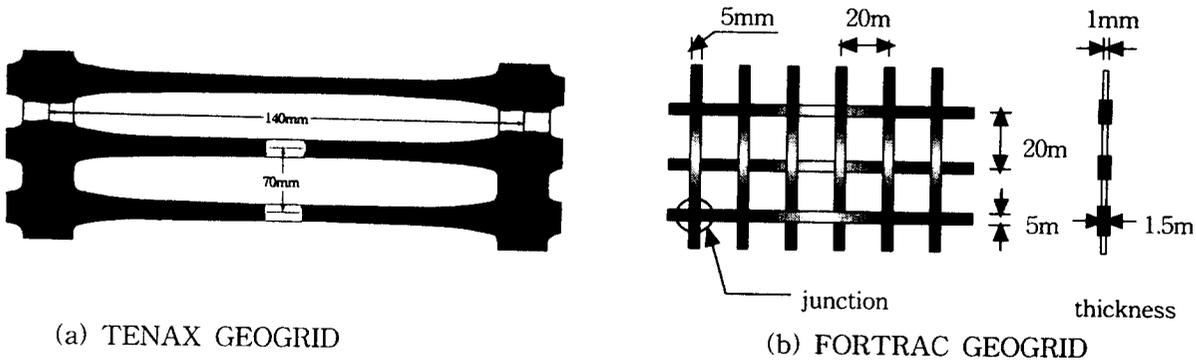


그림 2. 토목섬유의 형상

3. 시험방법

모래와 토목섬유사이의 전단마찰특성과 토목섬유보강에 따른 보강효과 및 잔류응력의 변화를 파악하기 위하여 무보강과 토목섬유보강 모래지반에 대한 직접전단시험을 실시하였으며 토목섬유보강의 경우 토목섬유의 인장변형을 고려한 경우(Free)와 토목섬유의 인장변형을 배제한 경우(Fixed) 등 2종류의 시험을 실시하였다. 토목섬유의 인장변형을 고려한 경우, 토목섬유의 한쪽을 고정하여 직접전단시험을 실시하였으며 토목섬유의 인장변형을 배제한 경우, 토목섬유를 Dummy공시체에 접착제로 부착하여 전단과정 중에 토목섬유에 유발되는 인장변형을 최대한 억제하였다. 그림 3은 시험방법들을 개략적으로 나타낸 것이다.

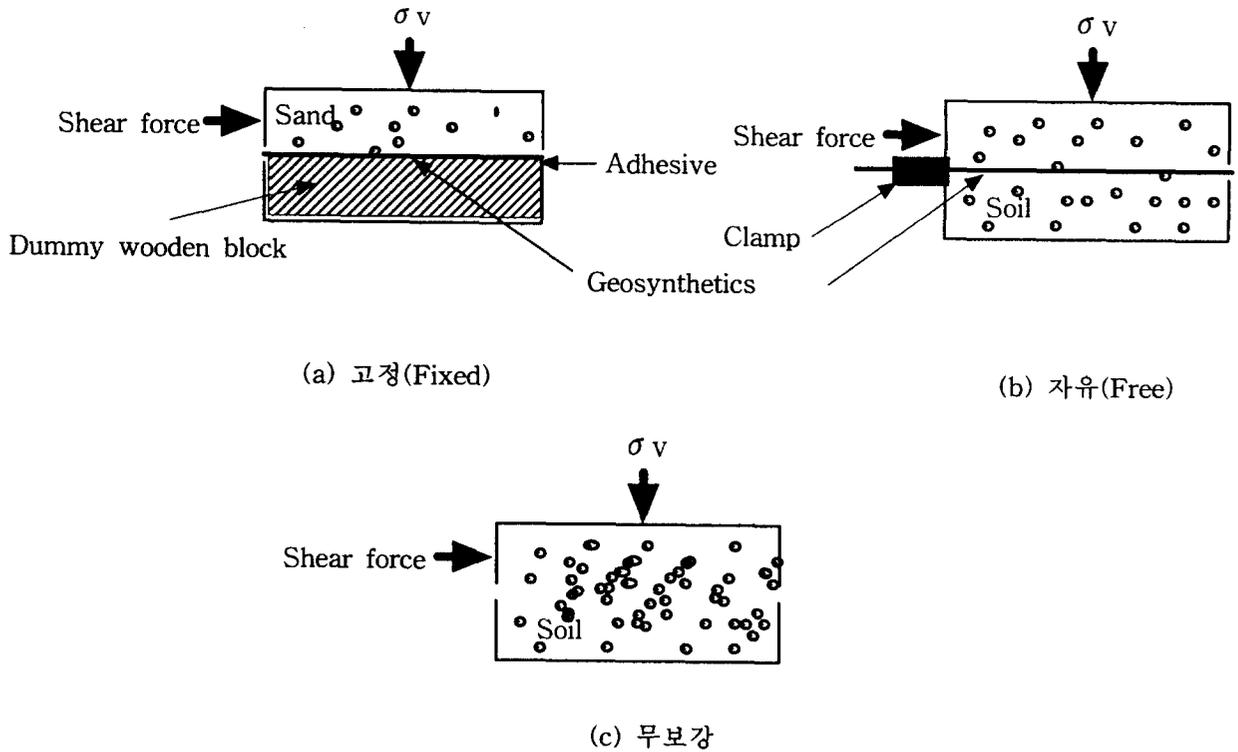


그림 3. 직접전단시험의 종류

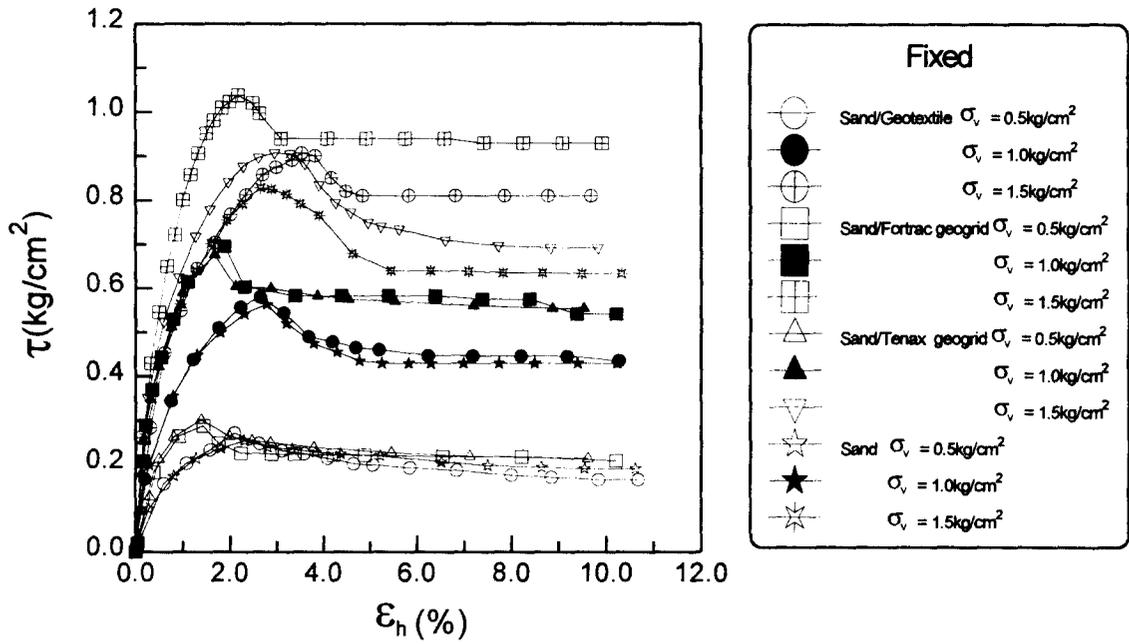
4. 시험결과 및 고찰

4.1 무보강과 토목섬유보강지반의 전단마찰특성

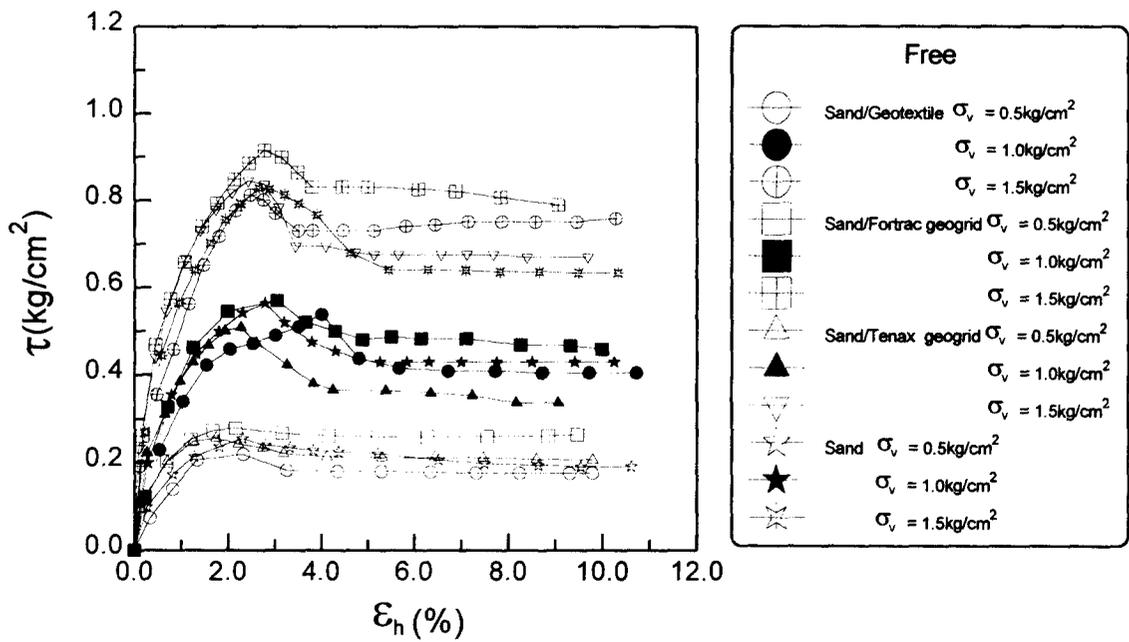
무보강 및 보강지반에 대한 토목섬유의 전단마찰특성을 고찰하고자 무보강 지반에 대한 전단시험과 토목섬유 보강지반에 대한 전단시험을 실시하였다.

그림 4는 직접전단시험결과로부터 구한 전단강도와 전단변형률과의 관계를 나타낸 것이다. 그림 4에서 토목섬유 보강지반은 무보강 지반보다 최대전단강도가 증가하였으며 최대전단강도에 도달하는 변형률은 감소하였다. 이는 모래와 토목섬유의 마찰저항에 의하여 모래의 변형이 억제되고 동시에 전단강도도 증가한 것으로 판단된다. 한편, 토목섬유의 인장변형을 배제한 고정조건(fixed)의 경우와 토목섬유의 인장변형을 고려한 자유조건(free)의 경우의 전단강도와 전단변형률 관계곡선을 비교해 볼 때, 자유(free)의 경우가 최대전단강도는 작게 나타났으며, 전단변형률이 상대적으로 크게 나타났는데 이는 전단시 토목섬유가 인장하면서 전단이 진행되었기 때문으로 판단된다.

특히, 3종류의 토목섬유중에서 전단강도 증가량은 Fortrac geogrid로 보강할 경우에 가장 컸으며, Geotextile의 경우 최대전단강도시 변형률이 가장 크게 나타났다. 또한, 상재하중이 증가할수록 최대전단강도와 파괴후의 잔류강도와의 차가 커졌으며, 보강지반의 경우 잔류강도의 증가량은 Fortrac geogrid - Geotextile - Tenax geogrid순으로 컸다.



(a) 고정(fixed)



(b) 자유(free)

그림 4. 전단응력과 변형률과의 관계

4.2 전단강도정수

직접전단시험결과 전단강도정수는 표 3과 같다. 표 3에서 인장강도는 Fortrac geogrid보다 Tenax geogrid가 더 크지만, 마찰각의 증가치는 Fortrac geogrid 보강의 경우가 더욱 크게 나타났다. 이는 Fortrac geogrid가 접촉마찰계수라 할 수 있는 인장변형을 배제한 고정조건에서의 마찰각이 Tenax geogrid보다 더 크기 때문으로 판단된다.

표 3. 전단강도정수

시 험 종 류		마찰각 (°)	비 고
Sand		28	무보강 (Unreinforced)
Sand/Geotextile	고정(Fixed)	30	
	자유(Free)	27	
Sand/Fortrac geogrid	고정(Fixed)	34	
	자유(Free)	30	
Sand/Tenax geogrid	고정(Fixed)	30	
	자유(Free)	28	

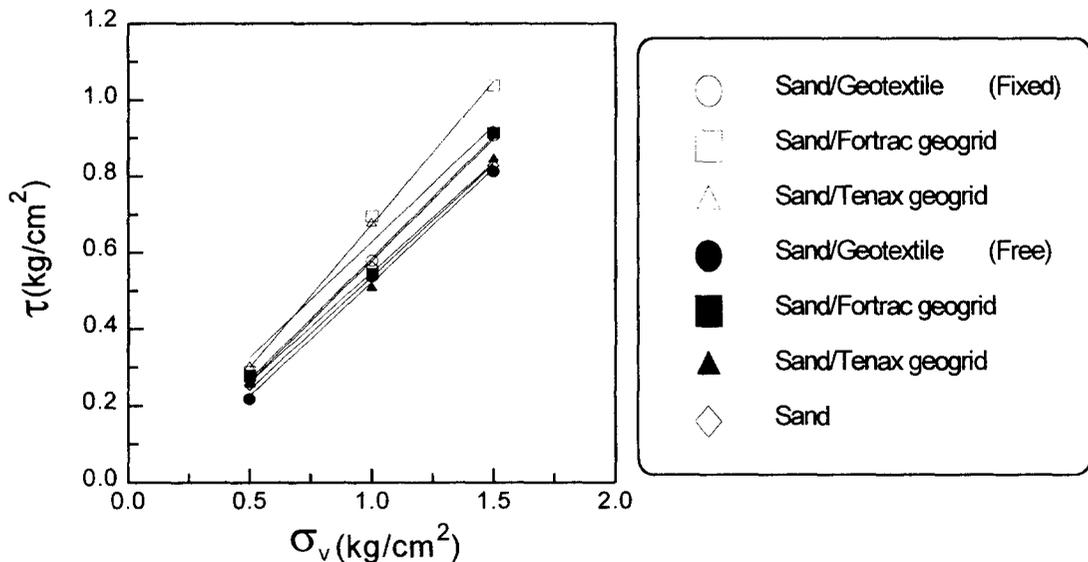


그림 5. 수직응력(σ_v)과 전단응력(τ)의 관계곡선

그림 5는 수직응력(σ_v)과 전단응력(τ)의 관계를 나타낸 그림이다. 그림 5의 관계곡선으로부터 구하고자 하는 전단강도정수인 마찰각 (°)을 산출할 수 있다. 전단시험결과 무보강의 경우 마찰각은 28 °, 자유조건에서는 27~30 °이었으며, 고정조건에서는 30~34 °이었다. 특히, 토목섬유 보강재가 Fortrac geogrid인 경우 마찰각이 가장 크게 나타났다.

4.3 최대전단응력(τ_{max})에 따른 잔류응력의 특성

일반적으로 전단응력의 최대점인 파괴점(Peak point)이후 계속되는 변형에 어느 정도 저항하다가 일정한 수준으로 잔류하고 있는 응력을 잔류응력이라고 하며, 잔류응력은 그림 6의 전단응력(τ)과 변형률(ϵ_h)관계에서처럼 일정한 값을 유지하게 된다. 잔류응력특성을 고찰하고자 최대전단응력과 변형률 5%에서의 전단응력을 비교·검토하였다. 여기서, 잔류응력특성을 판단하는 방법으로 잔류응력비를 이용하였으며, 잔류응력비(Residual Stress Ratio:RSR)는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{잔류응력비(RSR)} = \frac{\tau_{residual}}{\tau_{max}} = \frac{\text{변형률5\%일때의 전단응력}}{\text{최대전단응력}} \quad (1)$$

표 4. 잔류응력비(RSR)

시험종류		상재하중			비고
		0.5kg/cm ²	1.0kg/cm ²	1.5kg/cm ²	
Sand		0.86	0.84	0.82	무보강 (Unreinforced)
Sand/Geotextile	고정(Fixed)	0.73	0.79	0.98	
	자유(Free)	0.82	0.82	0.98	
Sand/Fortrac geogrid	고정(Fixed)	0.77	0.81	0.84	
	자유(Free)	0.88	0.89	0.93	
Sand/Tenax geogrid	고정(Fixed)	0.75	0.84	0.81	
	자유(Free)	0.82	0.79	0.80	

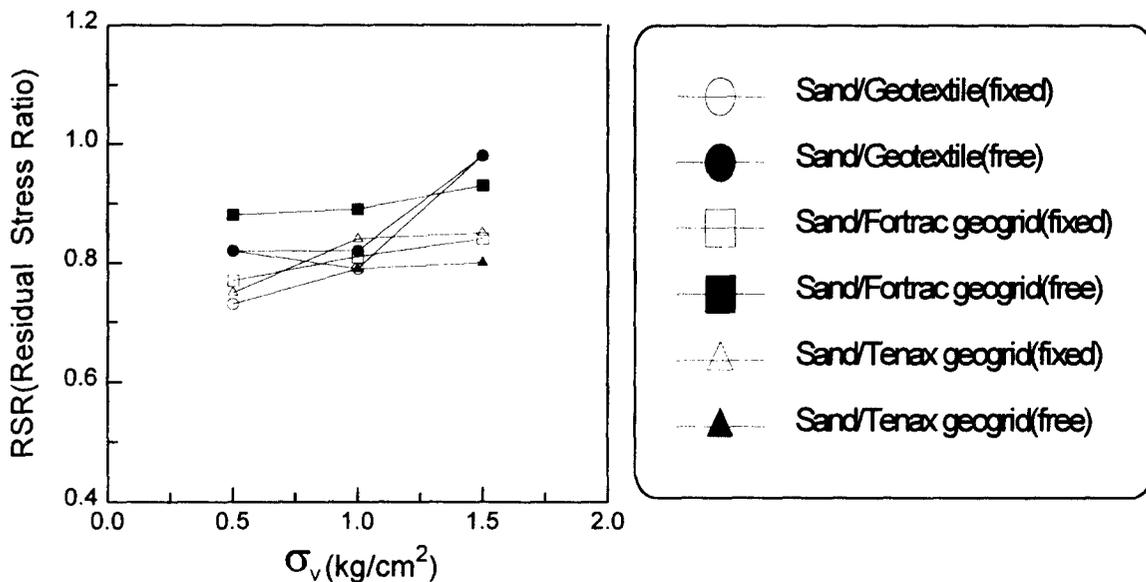


그림 6. 최대전단응력과 잔류응력비와의 관계

그림 6은 최대전단응력(τ_{max})과 잔류응력비(RSR)의 관계를 나타낸 그림이다. 그림 6에서와 같이 시험 조건과 관계없이 구속응력의 증가에 따라 잔류응력비(RSR)는 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 고정조건보다는 자유조건에서 잔류응력비가 크게 나타난 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 직접전단시험기를 제작하여 부직포, fortrac geogrid, tenax geogrid 등 3종류의 토목섬유를 이용하여 고정과 자유조건으로 직접전단시험을 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 전단강도와 전단변형률과의 관계에서 토목섬유 보강지반은 무보강 지반보다 최대전단강도가 증가하였으며 최대전단강도에 도달하는 변형률은 감소하였다. 그리고, 최대전단강도는 고정(Fixed)조건보다 자유(free)조건에서 작게 나타났으며, 토목섬유 보강재중에서 전단강도 증가량은 Fortrac geogrid의 경우에 가장 컸고 최대전단강도시 변형률은 Geotextile의 경우에 가장 크게 나타났다.
2. 직접전단시험결과 수직응력(σ_v)과 전단응력(τ)의 관계로부터 전단강도정수인 마찰각을 구하였다. 그 결과 무보강의 경우 마찰각은 28° , 자유조건에서는 $27\sim 30^\circ$ 이었으며, 고정조건에서는 $30\sim 34^\circ$ 이었다. 특히, 토목섬유 보강재가 Fortrac geogrid인 경우 마찰각이 가장 크게 나타났다.
3. 고정 및 자유시험조건과 관계없이 상재하중의 증가에 따라 잔류응력비(RSR)는 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 자유조건에서 잔류응력비가 크게 나타났다.

참고문헌

1. 이재열, 송성원, 김유성(1997), "전단시험에 의한 부직포보강 점성토의 보강효과", 한국지반공학회, '97 가을 학술발표회 논문집, pp.291~298.
2. 신은철, 이해영, 조삼덕, 정문영(1997), "지오멤브레인과 주변흙의 마찰특성", 한국지반공학회, '97 가을 학술발표회 논문집, pp.299~306.
3. Colin J.E.P. Jones(1996), "Earth reinforcement & soil structures", Thomas Telford, pp.37~96.
4. Robert M. Koerner(1994), "Designing with geosynthetics", Third edition, Prentice-Hall Inc, pp. 125~127
5. S. Hayashi, K. Makiuchi, H. Ochiai(1994), "Testing Methods For Soil-Geosynthetic Frictional Behavior - Japanese Standard", Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 5-9 September, pp. 411~415.