

지오스트립/샌드페이퍼 계면에서의 마찰특성 평가

Evaluation of Friction Properties between Geostrip/Sandpaper Interface

임 지 혜¹ Lim, Ji-Hye
변 성 원² Byun, Sung-Won
전 한 용^{3*} Jeon, Han-Yong

ABSTRACT

Frictional properties between geostrip and sand paper interface were estimated considering soil particle size also the friction coefficients and angles were determined with normal stress. Three kinds of geostrips of design strength 50, 70, 100 KN/m were used and 5 sandpapers of P100, P220, P320, P400, P600 were used also. Shear strength between geostrip and sand paper interface with design strength showed big difference and this is due to the uniform surface pattern of each geostrip when contact to sandpaper without regard to design strength. Shear strength of geostrip was increased with design strength and geostrips/P100 sandpaper interface showed the biggest value. Finally, all of geostrips showed the decrease phenomena of post-peak strength and this is due to the abrasion of geostrip surface by shear test.

요 지

흙 입자의 크기를 고려한 5종류의 샌드페이퍼를 사용하여 지오스트립/샌드페이퍼 계면에서의 마찰특성을 평가하였으며, 전단력에 의한 마찰계수와 마찰각 등을 구하였다. 설계강도가 각각 50, 70, 100KN/m인 3종류의 지오스트립이 사용되었으며, 입자 크기가 각각 P100, 220, 320, 400, 600인 5종류의 샌드페이퍼가 사용되었다. 지오스트립의 설계강도에 따라 전단강도는 큰 차이를 나타내지 않았으며, 이는 전단 시 접촉되는 지오스트립 표면이 강도에 따라 차이가 나지 않고 비슷하기 때문이다. 샌드페이퍼의 입자의 크기가 클수록 더 큰 전단강도 값을 나타내었으며, 지오스트립/P100 계면에서 가장 큰 값을 나타내었다. 끝으로 모든 시료의 경우 post-peak 강도 감소 현상이 나타났으며, 이는 전단 시험에 의한 지오스트립 표면의 마모에 기인한다.

Keywords : Frictional properties, Geostrip/sand paper interface, Soil particle size, Normal stress, Shear strength, Design strength, Post-peak strength

1. 서 론

토목합성재료와 흙 사이 혹은 토목합성재료간의 계면에서의 마찰거동은 매립지, 터널, 저수지, 보강토 옹벽 등을 설계하는데 요구되는 특성중의 하나이다. 특히, 보강토 옹벽에 사용되는 토목합성보강재에는 지오스트립, 지오그리드, 직포형 지오텍스타일 등이 있다. 이중 지오스트립(geostrip)은 초기 보강토공법의 보강재로 적용된 아연도금 띠형 철재보강재를 대체하기 위해 개발되었다. 철재 제

품의 부식에 따른 내구성의 단점을 해결하기 위해 제안된 제품으로 고강도의 폴리에스테르 섬유를 폴리에틸렌으로 코팅하여 폭 90-100mm 정도의 띠형으로 제조된 토목합성보강재를 의미한다.

지오스트립은 보통 흙과의 마찰력을 향상시키기 위해 보강재의 표면에 요철을 부여하고 있으며(이은수, 1996) 이때 흙은 인장과 전단에 의해 파괴가 되나 인장은 그 힘이 미미하므로 보통 흙은 전단에 의해 파괴가 발생한다. (Ling 등, 2001)보통 흙 쌓은 부분이 무너지거나, 옹벽이

1 학생회원, 인하대학교대학원 섬유공학과 석사과정 (Graduate Student, Department of Textile Engineering, Inha University Graduate School)
2 정회원, 한국생산기술연구원 산업용섬유연구센터 센터장 (Director, Technical Textile Center, Korea Institute of Industrial Technology)
3* 정회원, 인하대학교 나노시스템공학부 교수 (Professor, Division of Nano-Systems Engineering, Inha University, E-mail: hyjeon@inha.ac.kr)

미끄러져 밀린 경우는 흙에 작용하는 외력에 의해 생기는 전단응력이 흙의 전단 저항력보다 크기 때문이다. 따라서 지오스트립이 적용되는 보강토 옹벽에서 흙과 지오스트립의 접촉면에서의 마찰특성이 전체 시스템의 안정성에 큰 영향을 미치기 때문에 흙과 지오스트립 간의 접촉면의 전단강도를 정확히 산정하는 것은 매우 중요하다고 생각한다.

본 연구에서는 흙 대신 샌드페이퍼를 이용하여 시험을 하였는데 이것은 소형전단강도시험기로 흙 구조물에서 시험이 불가하다고 판단하여 보강토 옹벽의 뒤채움재로 쓰이는 흙의 입자분포와 비교를 하여 샌드페이퍼를 산정하여 시험을 하였다. 이는 보강토 옹벽에서 흙과 보강토의 접촉면은 흙 입자의 크기와 지오스트립의 강도, 지오스트립 표면의 요철에 의해 영향을 받기 때문에 흙 입자의 크기에 따라 5종류의 샌드페이퍼를 선정하였으며, 강도가 각각 50, 70, 100kN/m 등의 총 3종류의 지오스트립을 사용하여 마찰실험을 실시한 후 그 결과를 분석, 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시료의 준비

2.1.1 지오스트립

강도가 각각 50, 70, 100kN/m인 3종류의 지오스트립을 사용하였으며 표 1에 본 연구에 사용된 지오스트립의 규

표 1. 시험에 사용된 지오스트립의 규격

Specimen	Type	Nominal Tensile Strength(kN/width)	Width(mm)	Material (core/sheath)
GS50	50KN	50	90±3	PET/PE
GS70	70KN	70	90±3	PET/PE
GS100	100KN	100	90±3	PET/PE

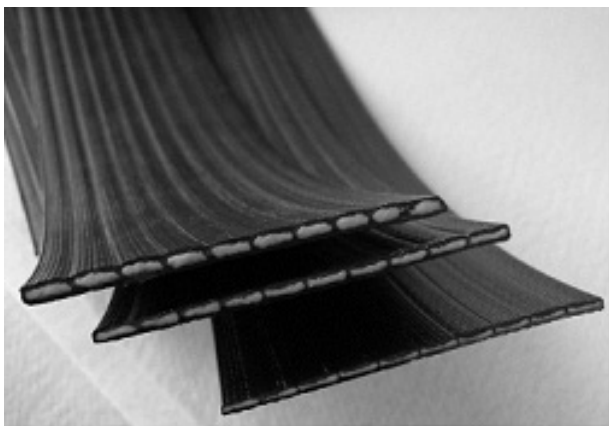


그림 1. 지오스트립 사진

격을, 그림 1에 사용된 지오스트립을 각각 나타내었다.

2.1.2 샌드페이퍼

본 연구에서는 국내 흙의 입자분포를 고려하여 이와 유사한 입도 P100, P220, P320, P400, P600의 5종류의 샌드페이퍼를 사용하였으며, 그림 2에 나타내었다.

여기서 P100, P220, P320, P400, P600 5종류의 샌드페이퍼는 KS L 6522에 제시되어 있는 흙의 입도 분포를 고려해보면 보통 보강토 옹벽의 뒤채움재로 쓰이는 흙인 sand, silt정도의 크기를 갖는다.

2.2. 시험장치 및 시험

본 연구에서는 ASTM D 5321-92에 의거하여 Ming-han Li와 Robert B. Gilbert 등의 고안에 의거하여 제작한 소형 직접전단시험 장치를 사용하여 각 계면에서의 직접전단강도를 측정하였다.(ASTM D5321, 1996) 소형 직접전단시험장치는 대형 직접전단시험장치와 비교하여 그 결과에 큰 오차가 없음이 입증되었으므로 본 연구에서는 별도의 대형직접전단시험을 행하여 그 결과를 비교하지 않았다.(Gilbert 등, 1995)

시험에 사용된 소형직접전단시험 장치는 23mm의 최대 전단변위를 가지며 3.3mm/min에서 0.66mm/min까지 변형 속도를 조절할 수 있으며, 그림 3은 소형직접전단시험 장

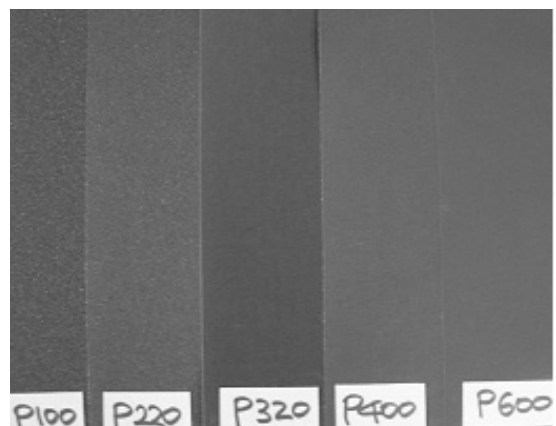


그림 2. 시험에 사용된 샌드페이퍼 사진

치의 모식도이다.

시험 장치는 대형직접전단시험 장치와 마찬가지로 크게 고정전단상자와 이동전단상자의 두 부분으로 이루어져 있다. 고정 전단 상자는 지름 60mm의 원형으로 되어 있으며, 상자 속으로 시료를 접착한 Brass 원판을 넣고 그 위로 stainless steel loading cap을 놓은 후 수직응력을 부가하게 된다. 이동전단상자는 115mm×145mm의 크기를 가지며, 이동전단상자의 표면에는 지오스트립 시료가 미끄러지는 현상을 방지하기 위해 #36 grit의 사포를 부착시켰고, 시료의 상하부에 볼트로 시료를 고정하여 시험 시 유동에 의한 오차를 최소화 시켰다.

모든 계면실험에서 지오스트립 시료를 하부 이동 전단

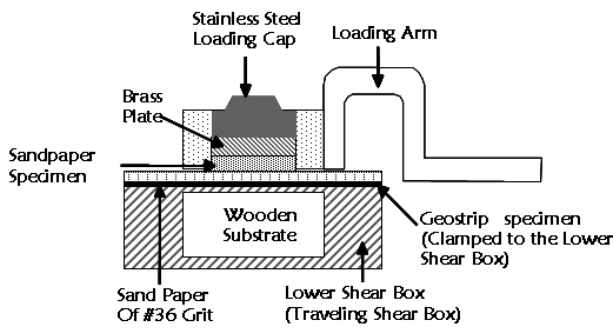


그림 3. 소형전단시험장치의 모식도



그림 4. 소형전단시험장치

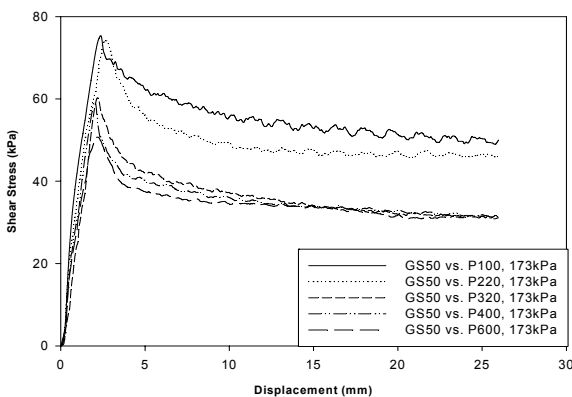


그림 5. 173kPa에서 GS 50/sandpaper 계면에서의 전단강도

상자에 볼트로 고정하여 실험을 행하였으며, 상부 고정 전단 상자에는 원형 brass 평면 판에 지름 60mm의 샌드페이퍼를 부착하였다. 그림 4는 시험에 사용된 소형 직접전단 시험 장치의 사진이다.

모든 실험에서 수직응력에 의한 영향을 평가하기 위해 173, 345kPa(25, 50psi)의 수직응력을 가하여 각각 3회 실험한 후 마찰강도를 평가하고 최대 전단응력 파괴포락선을 플롯 하여 마찰계수를 평가하였다. 또한 전단속도는 전단강도에 영향을 미치지 않는다는 것이 입증되었기 때문에 0.66mm/min 속도에서만 시험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 지오스트립/샌드페이퍼의 계면 마찰특성

3.1.1. 샌드페이퍼의 영향

그림 5와 6에 지오스트립/샌드페이퍼의 계면 전단강도 시험에서 샌드페이퍼의 입자 크기가 전단강도에 미치는 영향을 평가한 결과를 각각 나타내었다.

여기서 샌드페이퍼 P100의 경우 가장 큰 전단강도 값을 갖는 것을 알 수 있다. 샌드페이퍼 P100의 경우 입자의

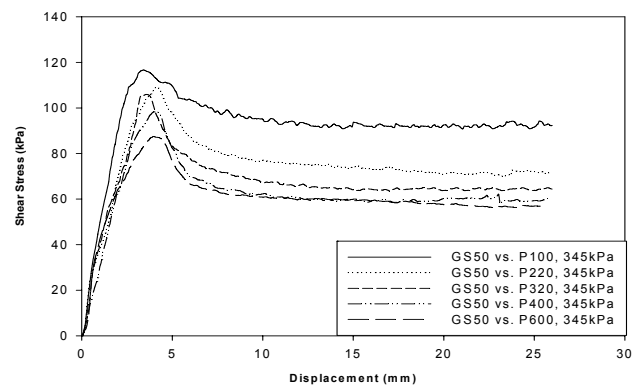
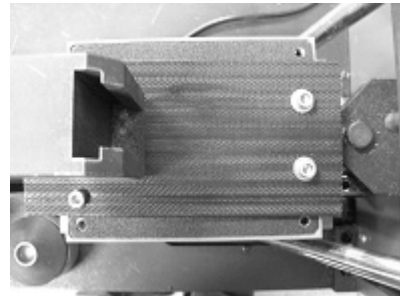


그림 6. 345kPa에서 GS 50/sandpaper 계면에서의 전단강도

크기가 가장 큰 경우이며, 이와 같이 입자의 크기가 크고 입자의 표면이 더 거친 경우 마찰저항이 커서 더 큰 전단강도 값을 갖게 된다. 한편, 입자크기가 점점 작아지는 P600으로 갈수록 전단강도 값이 작게 나왔음을 확인 할 수 있다.

그리고 모든 시료의 경우 시험 결과 post-peak 강도 감소 현상이 나타났으며, 이는 시험에 사용된 지오스트립의 표면에 있는 돌기가 전단 시험을 할 때 돌기가 떨어져나가 지오스트립 표면이 부드러워졌기 때문에 post-peak 강도 감소현상이 일어 난 것으로 보인다.

3.1.2. 지오스트립의 영향

지오스트립의 강도에 따른 마찰특성을 그림 7~9에 각각 나타내었다. 여기서, 지오스트립의 강도 차이에 따라 전단강도는 큰 차이를 보이지 않았는데, 이것은 전단 시 접촉하는 지오스트립 면이 강도에 따라 차이가 나지 않고, 지오스트립의 표면이 모두 비슷하게 형성되었기 때문이라고 생각된다.

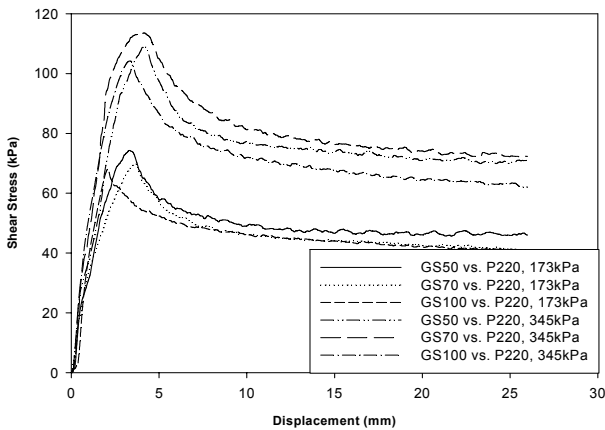


그림 7. 지오스트립/P220 샌드페이퍼 계면에서의 전단강도

그리고 173, 345kPa의 2가지 수직응력을 부여하여 실험한 결과 지오스트립/샌드페이퍼의 계면에서 부가되는 수직응력이 전단강도에 미치는 영향을 알 수 있었다. 즉, 계면에서의 전단강도는 부가되는 수직응력이 증가함에 따라 정비례적으로 증가함을 알 수 있으며, 이는 전단응력 대 수직응력의 비로 표시되는 파괴포락선의 그래프로부터 수직응력이 직선 형태로 나타남을 알 수 있다.

3.2 파괴포락선

마찰계수는 각 계면에서의 부가 수직응력에 대한 최대 전단응력을 구하여 외삽한 후 외삽직선의 기울기를 평가 함으로 구할 수 있다. 실제 파괴 포락선은 어느 정도의 곡선 형태를 보이나, 실험된 수직응력범위에서는 대략 직선 적으로 나타남을 알 수 있다.

그림 10~12에 각각의 마찰계수를 평가하기 위해 최대 전단응력 파괴포락선과 잔류전단응력 파괴포락선을 나타

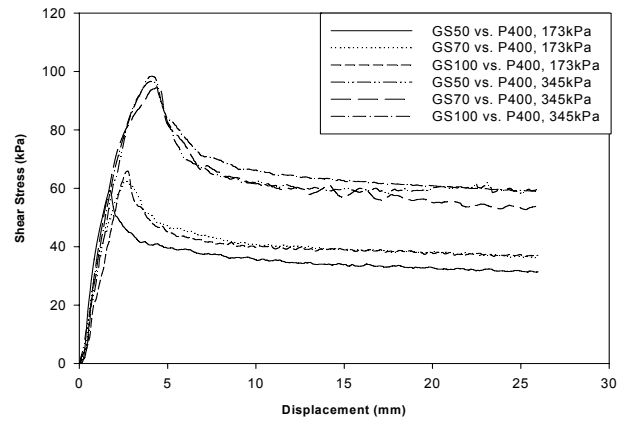


그림 8. 지오스트립/P400 샌드페이퍼 계면에서의 전단강도

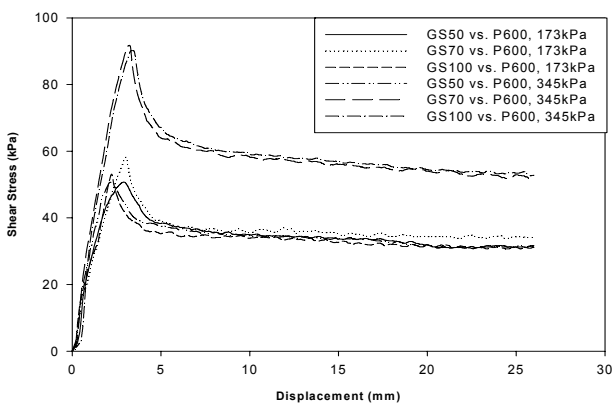


그림 9. 지오스트립/P600 샌드페이퍼 계면에서의 전단강도

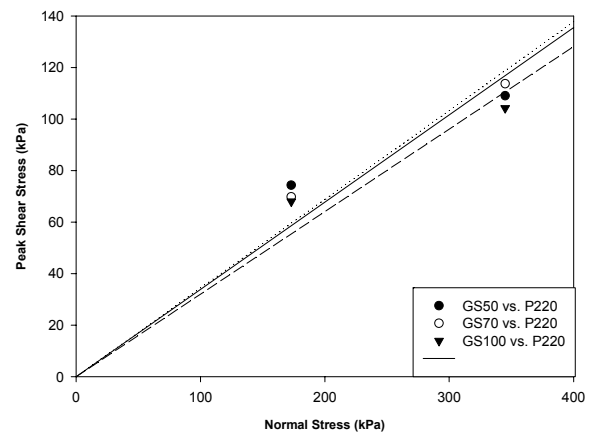


그림 10. 지오스트립/P220 샌드페이퍼 계면에서의 최대 파괴포락선

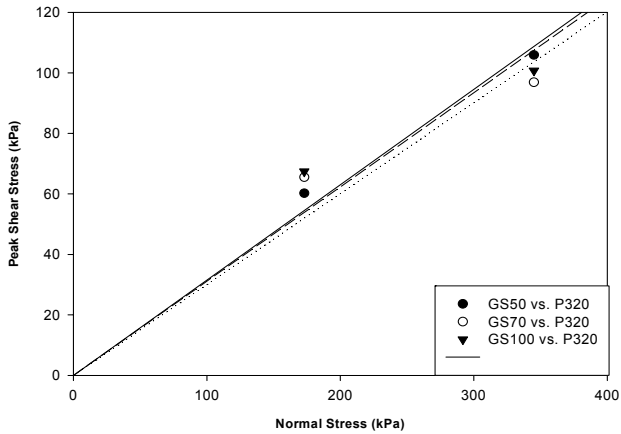


그림 11. 지오스트립/P320 샌드페이퍼 계면에서의 최대 파괴포락선

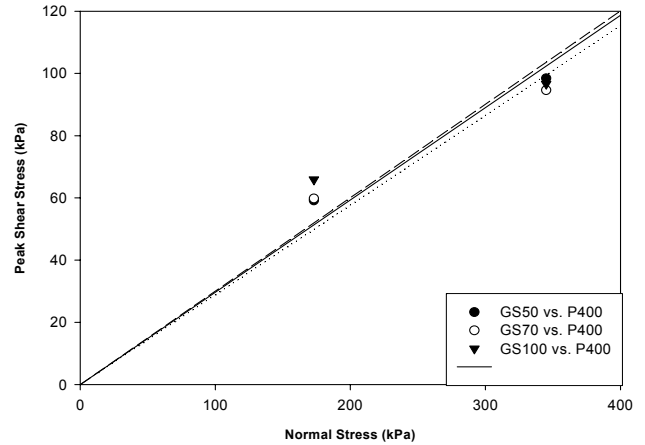


그림 12. 지오스트립/P400 샌드페이퍼 계면에서의 최대 파괴포락선

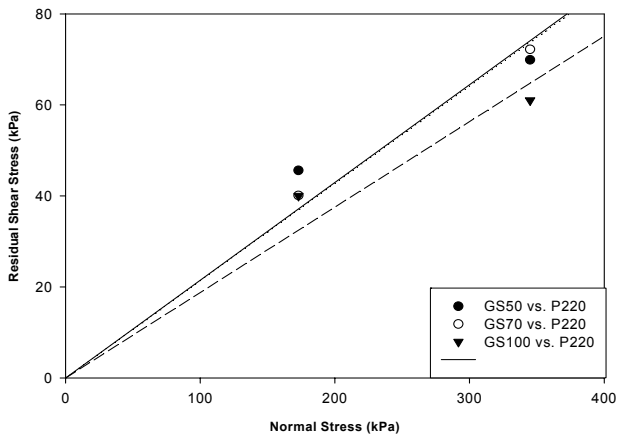


그림 13. 지오스트립/P220 샌드페이퍼 계면에서의 잔류 파괴포락선

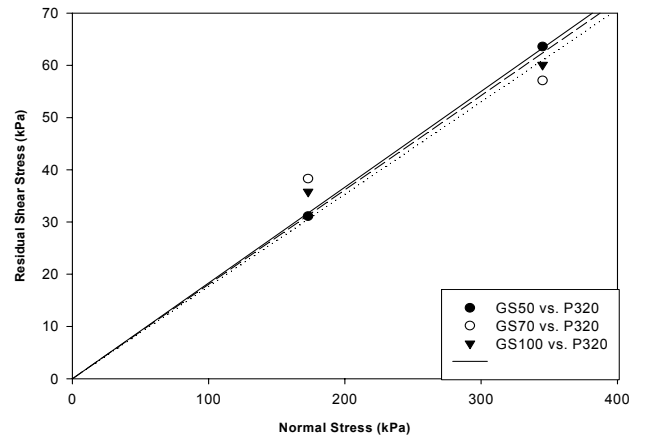


그림 14. 지오스트립/P320 샌드페이퍼 계면에서의 잔류 파괴포락선

내었다. 여기서 샌드페이퍼 P100의 경우가 가장 큰 마찰계수를 나타내는데, 샌드페이퍼 P100이 경우 입자의 크기가 크고 표면이 거칠기 때문에 마찰저항이 커서 마찰계수가 더 크게 나오는 것을 알 수 있다. 이것은 입자의 크기가 작고 부드러운 샌드페이퍼인 P600으로 갈수록 마찰계수가 작아지는 것을 알 수 있다.

그림 13~15에 잔류전단응력 파괴포락선을 각각 나타내었으며, 표 2~4에 각 계면에서의 마찰계수 및 마찰각을 각각 나타내었다. 여기서 잔류 전단응력 파괴포락선 역시 실제 최대전단응력 파괴 포락선의 경우와 비슷한 형태를 갖는 것을 알 수 있다. 즉 샌드페이퍼 P100의 마찰계수와 마찰각이 크게 나타났으며, 입자의 크기가 작아질수록 점점 작아지는 경향을 나타내었다. 그리고 최대전단응력의 마찰각보다 잔류전단응력의 마찰각은 약간 작아지는 것으로

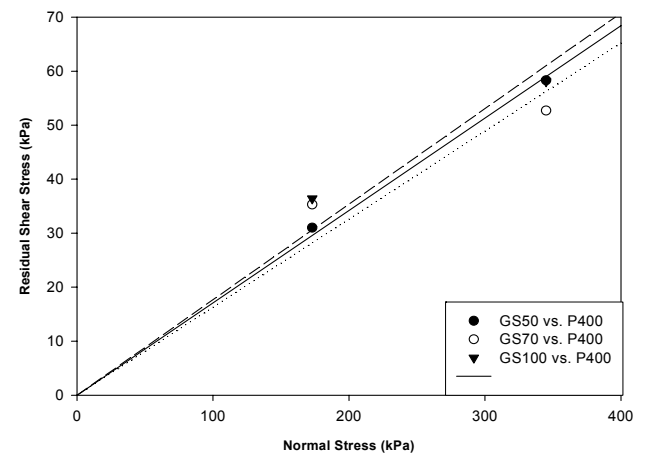


그림 15. 지오스트립/P400 샌드페이퍼 계면에서의 잔류 파괴포락선

로 나타났으며, 마찰계수는 파괴포락선의 기울기를 나타내며 마찰각은 여기서 얻은 마찰계수로부터 구할 수 있다.

표 2. GS50/샌드페이퍼 계면에서의 마찰계수와 마찰각

Interface	Frictional Coefficient (peak)	Frictional Angle(peak)	Frictional Coefficient(residual)	Frictional Angle(residual)
GS50/P100	0,357	19,647	0,267	14,949
GS50/P220	0,339	18,727	0,215	12,134
GS50/P320	0,315	17,484	0,183	10,370
GS50/P400	0,297	16,541	0,171	9,704
GS50/P600	0,262	14,681	0,166	9,425

표 3. GS70/샌드페이퍼 계면에서의 마찰계수와 마찰각

Interface	Frictional Coefficient (peak)	Frictional Angle(peak)	Frictional Coefficient(residual)	Frictional Angle(residual)
GS70/P100	0,363	19,951	0,257	14,413
GS70/P220	0,344	18,983	0,214	12,079
GS70/P320	0,301	16,752	0,177	10,037
GS70/P400	0,289	16,119	0,163	9,258
GS70/P600	0,278	15,536	0,157	8,923

표 4. GS100/샌드페이퍼 계면에서의 마찰계수와 마찰각

Interface	Frictional Coefficient (peak)	Frictional Angle(peak)	Frictional Coefficient(residual)	Frictional Angle(residual)
GS100/P100	0,382	20,907	0,246	13,820
GS100/P220	0,320	17,745	0,188	10,647
GS100/P320	0,312	17,328	0,181	10,259
GS100/P400	0,300	16,699	0,177	10,037
GS100/P600	0,271	15,163	0,157	9,923

4. 결론

지오스트립/샌드페이퍼 사이의 계면 마찰특성을 소형 직접전단시험을 통하여 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 지오스트립/샌드페이퍼 계면에서의 post-peak 강도 감소현상이 나타났으며, 이는 실험 진행과정에서 샌드페이퍼에 의해 지오스트립 표면이 마모되어 post-peak 강도 감소현상이 일어난 것으로 보인다.
2. 지오스트립/샌드페이퍼의 계면강도에 영향을 미치는 인자는 샌드페이퍼의 입자크기를 들 수 있으며, 샌드페이퍼의 입자크기가 클수록 마찰계수와 마찰각이 더 크게 나타났다. 또한 지오스트립의 강도와 관계없이 모든 계면에서 전단속도는 계면의 전단강도에 영향을 미치지 않았으며, 부가 수직응력이 증가함에 따라 전단강도는 정비례적으로 증가하였다.
3. 본 연구결과를 보강토 옹벽 시공에 적용할 경우 흙 입자 크기에 대한 일정한 마찰특성 값을 얻을 수 있다는 장

점이 있으며 전단강도 실험 시 흙을 압축하는데 시간이 절약될 것으로 생각된다.

그러나 일반적으로 흙과 토목합성재료간의 전단강도는 흙의 조밀도, 압축 등에 따라 그 값이 변하기 때문에 같은 흙으로 시험을 하더라도 시험을 하는 사람에 따라 값에 많은 변화가 있게 된다. 따라서 샌드페이퍼는 입자의 크기가 고정되어 있기 때문에 흙 대신 샌드페이퍼를 이용하여 시험하여 일정한 데이터 값을 얻을 수 있었다. 앞으로 지오스트립 이외의 토목합성보강재로 사용되는 지오그리드, 직포형 지오텍스타일과 입자의 크기가 고정되어 있는 샌드페이퍼를 이용한 실내시험 데이터 값을 비교해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-04) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 이은수 (1996), 보강토체 구성재료로 이용되는 화강토의 적용성 평가, 박사학위논문, 동국대학교 대학원, pp.44-46.
2. ASTM, D 5321-92 (1996), *Test Method for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic Friction by the Direct Shear Method*, ASTM Standard on Geosynthetics, West Conshohocken, pp.408-412.
3. Gilbert, R. B., Liu, C. N., Wright, S. G. and Trautwein, S. J., A (1995), "Double Shear Test Method for Measuring Interface Strength", *Proc. Geosynthetics '95 Conference*, IFAI, Vol.3, pp.1017-1029.
4. Hoe I. Ling, Ahmet Pamuk, Montri Dechasakulsom, Yoshiyuki Mohri and Christopher Burke (2001), "Interactions Between PVC Geomembranes And Compacted Clays", *Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, Vol.127, No.11, pp.950-954.

(논문접수일 2006. 9. 29, 심사완료일 2006. 12. 4)