

유리섬유 지오그리드의 마찰특성에 관한 실험연구

A Experimental Study on the Friction Characteristics of the Fiber Glass Geogrid

채영수¹⁾, Young-Su Chae, 박연준²⁾, Yeon-Jun Park, 유광호²⁾, Kwang-Ho You,
송신석³⁾, Sin-Suk Song, 강승문⁴⁾, Seung-Moon Kang

¹⁾수원대학교 건설공학부 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, The Univ. of Suwon

²⁾수원대학교 건설공학부 전임강사, Senior Lecturer, Dept. of Civil Engineering, The Univ. of Suwon

³⁾수원대학교 산업기술연구소 연구원, Researcher, Institute of Industrial Technology, The Univ. of Suwon

⁴⁾(주)건양테크산업 대표, President, Kun-Yang Tech, Co., LTD

SYNOPSIS : The friction between soils and the geosynthetics varies depending upon the types and characteristics of the involved materials. Many engineers have studied the frictional characteristics between the two materials in many ways but the results obtained so far are not satisfactory.

In this study the frictional characteristics between the soil and the geogrid were examined through laboratory direct shear test and pull-out test. Tests were conducted on two different types of geogrid: Polyester grids(PET) which are currently used and newly developed fiber-glass grids(FG).

Results showed that FG grid yielded smaller displacements and uniform displacement distribution mainly due to much higher stiffness. Therefore, it is expected that more efficient support and displacement control can be achieved by the FG grid.

KeyWords : Fiber-glass geogrid, Pull-out test, Interface friction angle

1. 서론

흙과 토목섬유는 그 종류와 성질에 따라서 마찰각의 범위가 다르므로, 여러 연구자들에 의해 흙과 토목섬유간의 마찰특성에 관한 연구가 다양한 형태로 수행되고 있으나, 아직은 미약한 실정이다. 또한, 지오그리드를 이용한 보강토 공법의 수요가 증가하고 있으나, 대부분의 지오그리드를 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이에 국내에서도 일반범용수지를 이용한 그리드를 개발하여 사용하고 있으나, 일반범용수지 지오그리드의 특성보다 인장강도가 높고 신율이 적은 유리섬유 지오그리드를 개발하여 국내의 보강토 구조물에 적용하고자 한다.

본 연구에서는 흙과 그리드의 마찰특성을 규명하기 위하여 모래질 흙과 일반 지오그리드와 개발된 유리섬유 지오그리드를 대상으로 직접전단시험과 인발시험을 수행하였다.

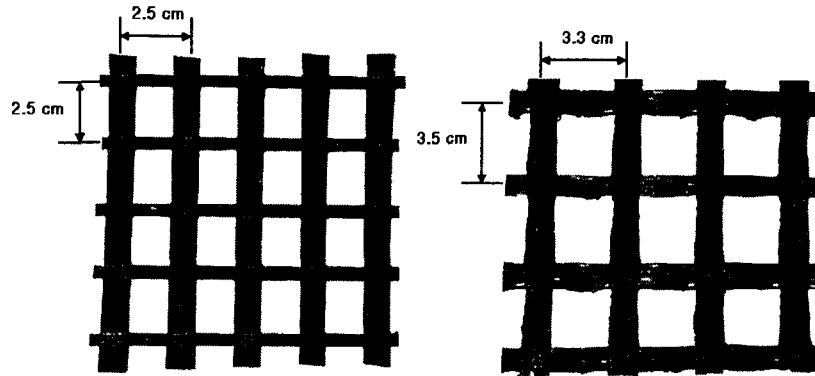
2. 연구내용

흙과 그리드의 마찰특성을 규명하기 위하여 주문진 표준사와 기존 개발된 지오그리드 제품과 유리섬유 지오그리드 제품에 대해 각각 물리적, 역학적 시험을 거친 후 직접전단시험과 인발시험을 실시하였다. 대형직접전단시험은 흙과 보강재의 접촉마찰각을 구하기 위해서 연직응력을 3, 6, 9 t/m²으로 하여 실험하였으며, 전단속도는 0.003~3mm/min 범위에서 흙과 보강재 사이의 전단특성에 영향을 미치지 않는다는 Williams(1986)의 연구결과에 의하여 분당 1mm의 속도로 시험을 실시하였다. 인발시험의 연직응력은 일반적인 보강토 벽체에서 인발과피가 예상되는 상부 5m 정도의 토피하중을 감안하여 3, 6, 9 t/m²로 하였으며, 인발시 변형속도는 분당 0.5mm의 속도로 시험을 실시하였다.

3. 시험방법

3.1 지오그리드

시험에 사용한 지오그리드는 기존 개발된 지오그리드(이하 PET 그리드)와 유리섬유 지오그리드(이하 FG 그리드)를 사용하였다. PET 그리드는 폴리에스터를 PVC coating 처리한 제품으로 국내에서 사용되어 오고 있으며, FG 그리드는 유리섬유 재질을 Acryl coating 처리하여 개발한 지오그리드 제품을 사용하였다. 각 그리드의 물리적 특성 및 역학적 특성은 <표 1>과 같으며, PET 그리드와 FG 그리드의 단면형상은 <그림 1>와 같다.



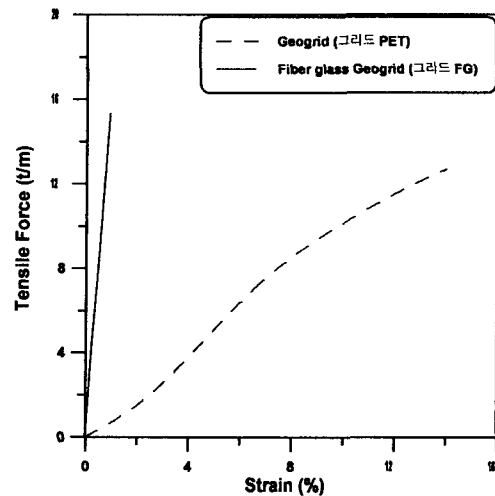
(a) PET 그리드

(b) FG 그리드

<그림 1> 그리드의 형상

<표 1> 그리드의 물리적·역학적 특성

시료 종류	PET 그리드	FG 그리드
항 목		
재 질	폴리에스터 PVC coating	유리섬유 Acryl coating
극한 인장 강도 (t/m)	12.7	15.331
극한인장강도시 변형률 (%)	14	0.9045
경사 간 격 (mm)	15	22
위사 간 격 (mm)	20	24
두께 (mm)	2	2



<그림 2> PET, FG 그리드의
광폭인장강도 비교

<그림 2>은 PET 그리드와 FG 그리드에 대해 광폭인장시험(ASTM D 4595)으로부터 구한 인장력과 변형을 관계곡선을 나타내고 있다.

3.2 주문진 표준사

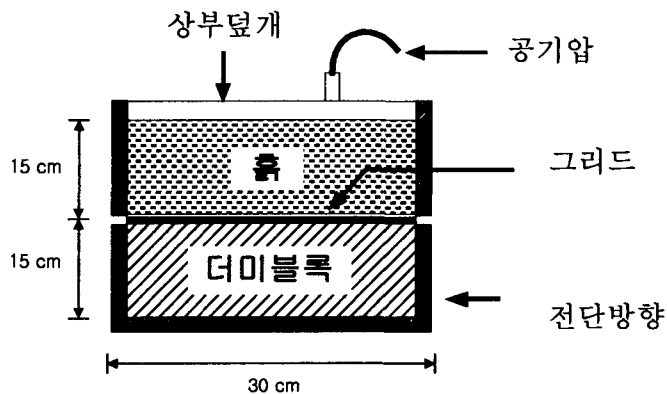
<표 2> 주문진 표준사의 역학적 특성

재 료	비 중 Gs	입 경		건조 밀도(g/cm ³)		통일분류	내부마찰각 $\phi(^{\circ})$
		Cu	Cg	γ_{dmax}	γ_{dmin}		
표준사	2.65	1.72	1.06	1.64	1.39	SP	40

3.3 대형직접전단시험 및 인발시험

3.3.1 대형직접전단시험

본 연구에서는 지오그리드를 고정장치에 완전히 고정하여 전단시키는 고정전단방법을 사용하여 흙과 지오그리드의 전단에 따른 마찰특성을 조사하였다.

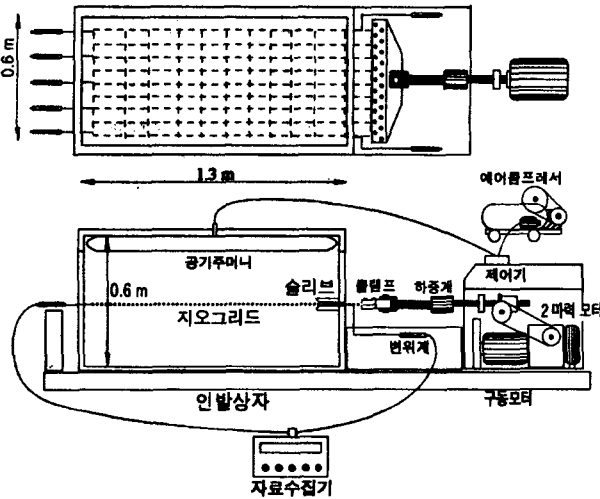


<그림 3> 전단시험상자 구성도(고정전단시험)

전단상자의 크기는 <그림 3>에서와 같이 30cm×30cm로서, 상부에는 연직응력을 재하할 수 있는 rubber membrane을 설치하여 compressor로 연직응력을 재하하였다. 전단시 전단속도는 1mm/min, 상대밀도(D_r)는 중량-체적 할당법에 의해 80%로 다짐하였으며, 전단력이 peak점을 지나 일정한 값으로 변화하는 잔류응력에 도달하거나 수평변위가 시료의 15% 될 때까지 매 30초 간격으로 전단력을 구하였다.

3.3.2 인발시험

본 연구에서 사용한 인발시험기는, <그림 4>와 같으며, 인발상자, 인발장치, 계측기 및 자료수집기 등으로 구성되어 있다. 인발상자 내부크기는 60×60×130cm이며, 인발상자 내부의 흙은 15cm 두께로 층다짐을 실시하여 다짐도 80%, 인발속도는 모든 시험에 0.5mm/min로 일정하게 하여 실험하였다. 그리드 전면부의 하중-변위량 관계곡선이 최고점에 도달하였거나 또는 변위량이 인발상자 길이의 20%에 도달할 때까지 시험을 실시하였다.



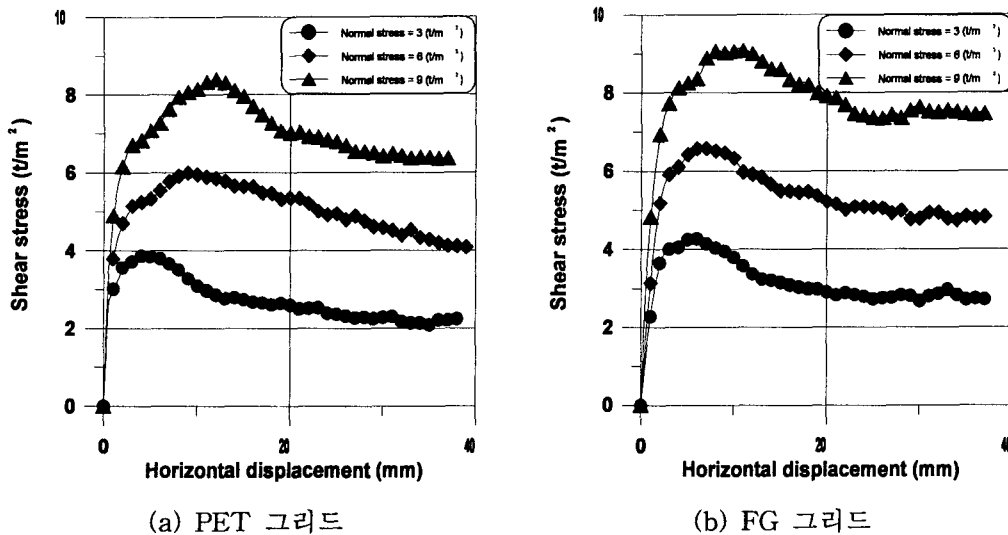
<그림 4> 인발시험기 구성 및 개요도

4. 실험 결과

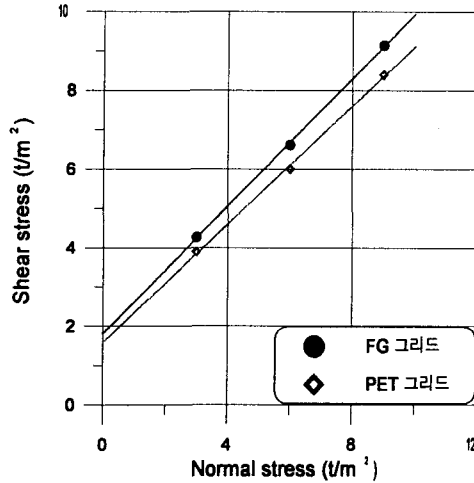
4.1 전단응력-수평변위 관계

<그림 5> (a), (b)에는 PET 그리드와 FG 그리드에 대한 대형직접전단시험동안에 측정된 전단응력과 수평변위를 연직응력 조건에 따라서 나타내었다. 최대전단응력은 PET 그리드에 비해서 FG 그리드의 경우에 더 큰 값을 나타내고 있으며, 연직응력이 증가함에 따라서 최대전단응력도 각각의 그리드에 대해서 증가하는 경향을 보이고 있다.

또한, 연직응력에 따른 전단수평변위량을 보면, 두가지 그리드 모두 연직응력이 증가할수록 peak점에 도달하는 수평변위량 값도 증가함을 알 수 있으며, PET 그리드보다 FG 그리드의 경우에서 더 작게 나타났다.



<그림 5> 전단응력-수평변위 관계곡선

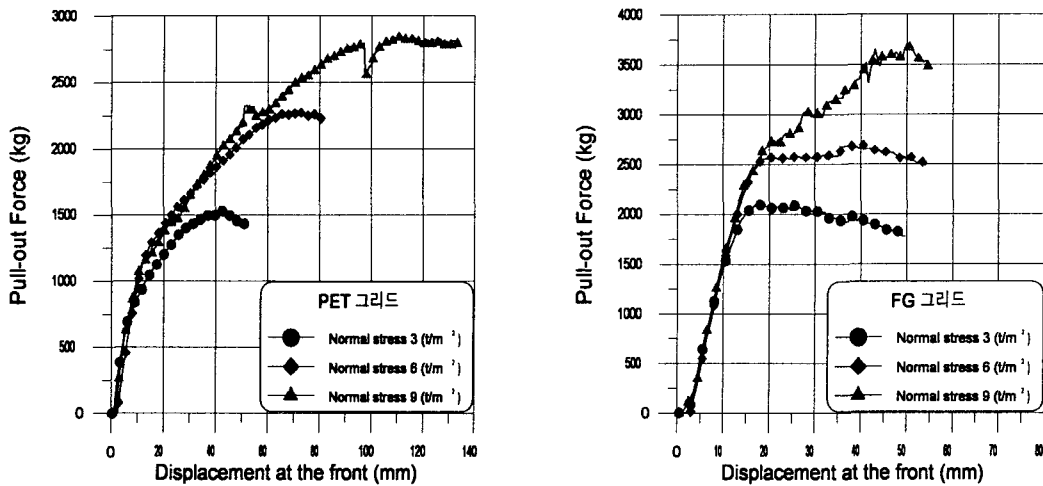


<그림 6> 연직응력-전단응력 관계곡선

<그림 6>는 전단시험 결과로부터 연직응력-전단응력 관계곡선을 나타낸 것이다. 그림으로부터 흙과 그리드 사이의 접촉마찰정수는 PET 그리드에서는 36.9° , FG 그리드에서는 39° 로 FG 그리드에서 더 큰 접촉마찰각을 나타내고 있으며, 두가지 그리드 모두 연직응력 크기에 비례하여 선형으로 나타났다.

4.2 인발력-선단인발변위 관계

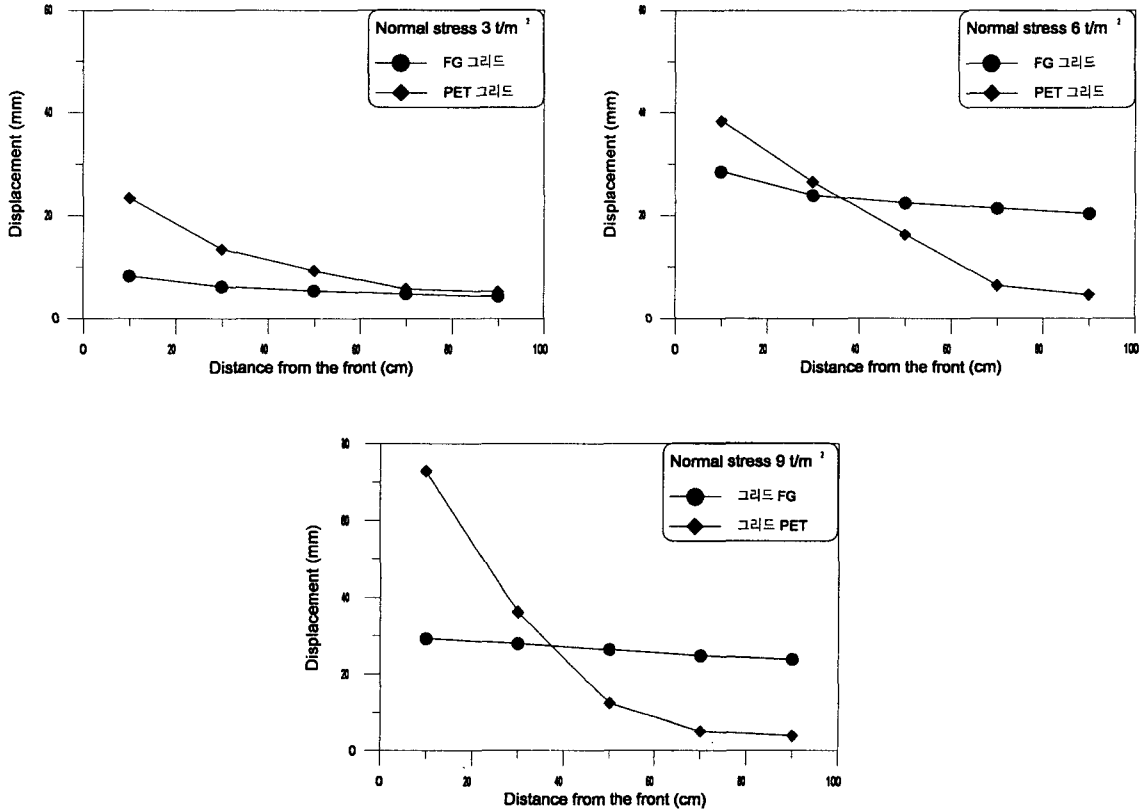
<그림 7> (a)와 (b)의 인발력과 선단인발변위의 관계곡선을 보면 PET 그리드의 경우보다 FG 그리드의 경우에 적은 선단인발변위에서 높은 인발력을 나타내고 있다. 연직응력이 증가함에 따라 두가지 그리드 모두 최대인발력의 크기가 증가하며, 최대인발력을 나타내는 인발변위도 증가한다. 이는 연직응력의 증가가 흙과 그리드 사이의 표면 마찰저항을 크게 하고, 인발시 흙의 부피팽창(dilatancy)을 억제하기 때문으로 판단된다.



<그림 7> 인발력-선단인발변위 관계 곡선

4.3 최대인발력시 그리드에 유발된 변위

<그림 8>은 최대 인발력 상태에서의 각 그리드에 유발된 변위곡선을 연직응력별로 나타내고 있다. 모든 연직응력에서 최대인발력 상태시의 유발된 변위는 두가지 그리드 모두 토조의 후면부로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 연직응력이 증가할수록 더욱 뚜렷이 나타나는 현상을 보여주는데 인발시에 그리드의 앞부분이 최대한 인장되면서 인발되기 때문이며, 인발력이 후면부까지 전달되지 않기 때문으로 판단된다. FG 그리드가 PET 그리드에 비해 위치별로 균등하게 변위를 일으킨 것을 알 수 있는데, 이는 FG 그리드가 토조내에서 일체거동을 하기 때문으로 판단된다.

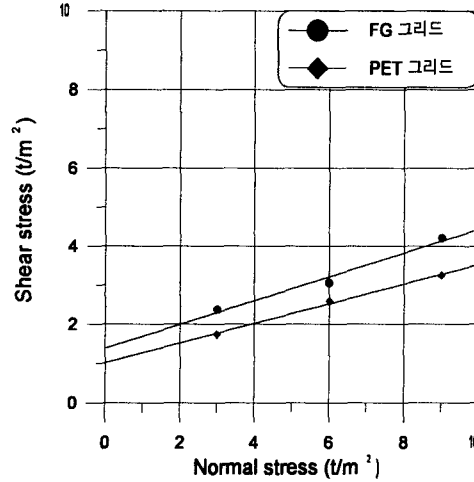


<그림 8> 최대 인발력 상태에서의 그리드에 유발된 변위곡선

또한, 최대인발력 상태에서 그리드에 유발된 인장변형률로부터 그리드의 각 변위측정점에서의 인장력을 구하였을 경우 그리드가 인발될 때, 인발력이 토조 전면부에 집중되어 작용하므로 토조의 전면부에서 상당히 큰 인장력이 발생하였으며, 후면부로 갈수록 인장력이 작게 나타났는데 PET 그리드보다 FG 그리드에서의 인장력이 변위측정점별로 더 크게 나타났다. 여기서, 인장변형률은 인접한 변위측정점에서 측정된 변위값의 차와 인접 변위측정점 사이의 길이와의 비율로 산정할 수 있으며, 인장력은 인장변형률 분포곡선과, 대기중에서의 인장시험결과를 이용하여 각 변위측정점에서의 인장변형률에 대응한 인장력을 구할 수 있다.

4.4 연직응력-마찰강도 관계

<그림 9>의 연직응력과 전단응력의 관계곡선으로부터 PET 그리드의 경우에는 접촉마찰각이 14° 로 나타났으며, FG 그리드의 경우에는 17.2° 로 더 큰 마찰각을 나타내고 있다.

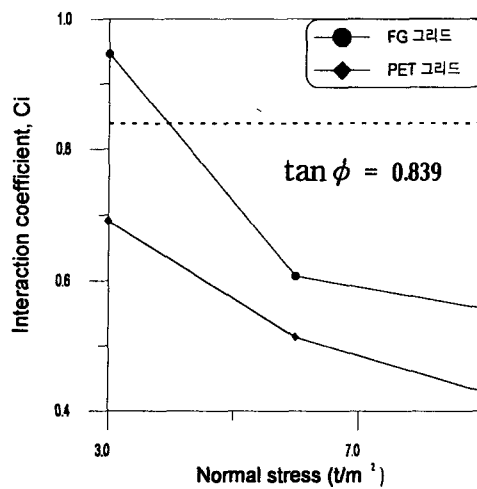


<그림 9> 연직응력- 마찰강도 관계곡선

4.5 상호작용계수의 범위

<그림 10>는 PET 그리드와 FG 그리드의 상호작용계수를 연직응력에 따라서 나타내었으며, 두가지 그리드 모두 연직응력이 증가함에 따라서 상호작용계수는 감소하는 경향을 보이며 FG 그리드의 경우에 3 t/m^2 의 연직응력 조건에서 0.946으로 주문진 표준사의 마찰각($\tan \phi = 0.839$)보다 큰 값으로 나타났고, PET 그리드의 경우에는 0.691로 작은값을 나타내고 있다.

연직응력이 증가할수록 PET 그리드보다 FG 그리드의 상호작용계수가 큰 값을 나타내므로 흙과 그리드의 결속력이 더 큼을 알 수 있다.



<그림 10> 연직응력에 따른 상호작용계수의 분포

5. 결론

- 1) 전단시험결과 PET, FG 그리드 모두 연직응력이 증가할수록 최대전단응력의 크기가 증가하며, Peak 점에 도달하는 전단수평변위량도 증가함을 알 수 있었다. 접촉마찰각은 FG 그리드의 경우 39° , PET 그리드의 경우에는 36.9° 로 FG 그리드의 접촉마찰각이 크게 나타났다.
- 2) 인발시험결과 PET, FG 그리드 모두 연직응력이 증가할수록 최대인발력이 증가하며, 최대인발력을 나타내는 인발변위도 증가함을 알 수 있다. PET 그리드보다 FG 그리드에서는 전면부와 후면부의 변위차가 많지 않은 것은 FG 그리드 자체의 강성이 크고, 신율이 상당히 적기 때문에 흙속에 매입된 그리드가 일체거동을 보이는 것으로 판단된다.
- 3) 그리드가 인발될 때, 인발력이 토조 전면부에 집중되어 작용하므로 토조의 전면부에서 상당히 큰 인장력이 발생하였으며, 후면부로 갈수록 인장력이 작게 나타났는데 PET 그리드보다 FG 그리드에서의 인장력이 변위측정지점별로 더 크게 나타났다.
- 4) 인발시험으로부터 구한 마찰강도 정수는 PET 그리드의 경우에 14° , FG 그리드의 경우에는 17.2° 로 더 크게 나타났으며, PET 및 FG 그리드에 대한 상호작용계수는 연직응력이 증가할수록 감소하는 경향을 보이는데 PET 그리드의 경우보다 FG 그리드의 경우 더 큰 값으로 나타났다.

따라서, FG 그리드를 보강토 구조물에 적용하였을 경우에 보강효과 및 변위억제 효과를 기대할 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국생산기술연구원의 산업기반 기술개발사업의 일환으로 이루어진 결과이며, 한국생산기술연구원에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김승욱, (1996), "독립형 보강토 조립식 옹벽의 복합보강재 및 전면블록의 마찰특성에 관한 연구", 홍익대학교 석사학위논문.
2. 조삼덕, (1995), "인발시험에 의한 지오그리드의 마찰특성 평가", '98 토목섬유 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 15~29.
3. Hayashi, S., Makiuchi, K. and Ochiai, H. (1994), "*Testing Methods for Soil-Geosynthetic Frictional Behaviour-Japanese Standard*", 5th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, pp. 411~415.
4. Palmeira, E. M. and Milligan, G. W. E. (1989), "*Scale and Other Factors Affecting the Results of Pullout Tests of Grids Buried in Sand*", Geotechnique, Vol. 39, pp. 511-524.
5. Peterson, L. M. and Anderson, L. R. (1980), "*Pull-out Resistance of Welded Wire Mesh Embedded in Soil*", Research Report, Dept, of Civil Engineering, Utah State University, Logan, UT, USA.
6. Williams, N. D. and M. Houlihan. (1986), Evaluation of Friction Coefficients between Geotextile and Related Products, Proc. of the 3rd Int'l. Conf. on geotextiles, pp.891-896