

그리드효과 및 복합보강재의 적용성에 관한 연구

A Study on Grid Effect and Applicability of Composite Reinforcement

김홍택¹⁾, Hong-Taek Kim, 이형규²⁾, Hyung-Kyu Lee, 김승욱³⁾, Seung-Wook Kim

¹⁾ 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hong-Ik Univ.

²⁾ 서일대학교 토목공학과 부교수, Associate Prof., Dept. of Civil Eng., Seo-IL College

³⁾ 농어촌진흥공사 농어촌연구원, Rural Development Co., Rural Research Institute

SYNOPSIS : In this study, laboratory pull-out tests and finite element modeling are carried out focused on the grid effects of geogrid and the analyses of friction characteristics associated with interaction behaviors of the composite reinforcement composed of geogrid with a superior function in tensile resistance and geotextile with sufficient drainage effects. In addition, drainage effects of the geotextile below geogrid are examined based on the analysis of finite difference numerical modeling. From the present investigation, it is concluded that the geosynthetic composite reinforcement in the weathered granite backfills may possibly be used to achieve effects on both a reduction of deformations and an increase of the tensile resistance, together with drainage effects due to the geotextile.

Key words : Grid Effect, Composite Reinforcement, Geogrid E, Geotextile T, Pullout Test, Drainage effect

1. 서론

보강토벽체공법은 기존 공법에 비해 경제성 및 안정성의 도모와 더불어 미적효과까지 고려할 수 있는 등 여러 장점 때문에 국·내외에서 적용이 꾸준히 확대되어 왔다. 이와 같은 보강토공법의 효율성을 한층 높이고, 그 적용성을 더욱 확대하기 위한 차원에서, 현장발생토를 뒤채움흙으로 폭넓게 사용하기 위한 연구가 근래에 들어 부분적으로 진행된 바 있다(Tatsuoka, 1991; Tanabashi, 1996).

본 연구에서는, 세립분이 비교적 많이 포함된 화강풍화토를 뒤채움흙으로 활용하는 토목섬유 보강토벽체 시스템을 체계화하기 위해 관련재료의 거동특성 파악, 안정해석 절차 및 설계기법 등을 정립하기 위한 단계적 노력의 일환으로, 인장보강용 지오그리드와 배수기능용 지오텍스타일을 병행하여 포설하는 형태의 복합보강재의 마찰특성 등 상호관련거동에 대한 분석에 초점을 두고, 실내인발시험 및 유한요소 수치모델링 해석 등을 수행하였다. 또한 단일 지오그리드만을 포설하는 경우, 횡방향부재에서 발휘되는 수동저항력 즉, 그리드효과(grid effect)를 파악하기 위한 실내인발시험을 실시하였으며, 복합보강재 포설의 경우, 지오텍스타일의 배수효과를 살펴보기 위해 유한차분 수치모델링 해석을 추가로 시행하였다.

2. 실내인발시험

2.1 흙시료 및 토목섬유의 특성

본 연구의 실내인발시험용 흙시료는 200번체를 통과하는 세립분 함유율이 25.8~32.9% 정도로서, 보강토공법의 뒤채움흙으로는 적절하지 않은 화강풍화토(SM)를 사용했다. 흙시료에 대해 직접전단시험, 다짐시험 및 투수시험 등을 실시한 결과는 표 1에 명기한 바와 같다.

한편, 토목섬유시료는 LDPE로 코팅처리한 지오그리드(이하 그리드 E) 및 폴리에스터 장섬유를 스판본드 방식으로 결합한 지오텍스타일(이하 부직포 T)을 사용하였다. 이중 그리드 E는 보강토벽체 시스템의 인장보강기능 향상을 목적으로 국내에서 개발중인 시제품이며, 부직포 T는 국내에서 개발되어 배수 및 필터재로 널리 쓰이고 있는 제품이다(이형규, 1999). 각 토목섬유의 재료특성 등을 파악하기 위해 실시한 시험결과는 표 2에 정리되어 있다.

표 1. 시험용 흙시료의 특성

강도정수	$c(\text{kg}/\text{cm}^2)$	0.204
	$\phi(^{\circ})$	34.7
다짐특성 (A 다짐)	최적함수비(%)	16.3
	최대건조밀도(t/m^3)	1.783
투수계수	2.06×10^{-6}	

표 2. 각 토목섬유의 재료특성

토목섬유종류	그리드 E	부직포 T	복합보강재
항 목			
단위면적당 중량(g/m^2)	439	398	837
극한인장강도(t/m)	8.8	6.1	9.7
극한강도시 변형률(%)	19.2	63.0	19.6
인장시험방법	GRI GG 5	KS K 0520	ASTM D 4595
리브간격(mm)	30.5×37.2	-	-
리브폭(mm)	5.3×8.1	-	-
두께(mm)	1.375	1.365	2.740
투수계수(cm/sec)	-	1.33×10^{-1}	1.33×10^{-1}

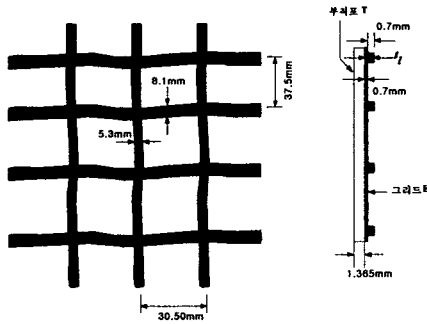


그림 1. 시험용 토목섬유의 형상

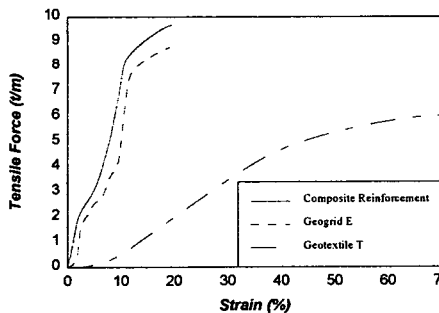


그림 2. 토목섬유시료의 인장력-변형률 관계곡선

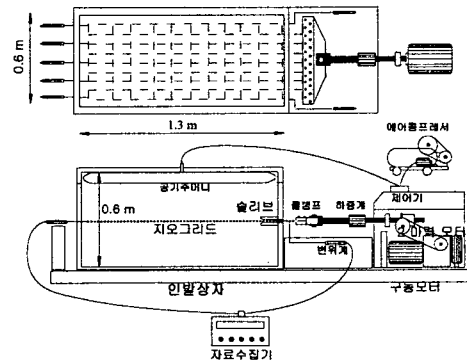


그림 3. 인발시험기의 구성 및 개요도

2.2 시험장치 및 시험방법

본 연구에서 사용된 실내인발시험기는, 그림 3에 도시한 바와 같이 인발상자, 인발장치, 계측기 및 자료수집기 등으로 구성된다. 토조의 크기는 $60 \times 60 \times 130\text{cm}$ 이고, 연직하중강도는 고무주머니를 이용하여 재하하였으며, 정압기를 이용하여 인발시 일정변위속도($1\text{mm}/\text{min}$)를 유지할 수 있도록 하였다. 인발상자 내부의 흙은 다짐도 95%를 기준으로 15cm 높이로 층다짐을 실시하였으며, 각 층에 필요한 중량만큼 일정 함수비의 시료를 소형 진동다짐장비를 사용하여 할당된 흙이 각 층에 채워질 때까지 계속하였다.

한편, 그리드 E와 부직포 T를 병행하여 포설하는 형태의 복합보강재의 경우, 시험종료후 그리드 E와

부직포 T의 일체거동 여부를 확인하기 위한 방법으로, 초기 복합보강재 설치시에 그리드 E 개공부의 부직포 T 표면에 유성매직으로 표시하여 그리드 E와 부직포 T의 최초 설치위치와 시험종료후의 위치를 육안으로 확인하였으며, 이를 통해 그리드 E와 부직포 T의 분리, 이탈 현상 등은 거의 없는 것으로 판단하였다.

3. 실내인발시험결과 분석

3.1 인발력-변위 관계

그림 4에는, 단일 그리드 E(이하 그리드 E), 부직포 T 및 복합보강재 등 세가지 종류의 토목섬유 각각에 대한 인발시험을 통해 측정된 인발력과 선단인발변위가, 연직하중강도(σ_v) 크기별로 도시되어 있다. 그림 4의 결과를 살펴보면, 다양한 크기의 선단인발변위 각각에 대해 복합보강재의 경우가 인발력 및 최대인발력이 복합보강재의 경우에 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 복합보강재의 최대인발력은 그리드 E와 부직포 T의 최대인발력을 합한 결과와 비교하여 각각 78.4%($\sigma_v=3t/m^2$ 인 경우), 80.4% 정도($\sigma_v=6t/m^2$ 인 경우)에 해당되며, $\sigma_v=9t/m^2$ 인 경우에는 이보다 낮은 64.7% 정도에 해당하는 경향을 보이고 있다.

또한 σ_v 의 증가에 따른 최대인발력의 증가율을 살펴보면, 연직하중강도가 $3t/m^2$ 에서 $9t/m^2$ 으로 커짐에 따라 그리드 E의 경우 71.2% 정도, 부직포 T는 44.6% 정도, 복합보강재의 경우에는 30.2% 정도로서, 그리드 E에서 가장 크고, 복합보강재에서 가장 작은 현상을 나타내고 있다. 복합보강재의 경우, 연직하중강도가 $6t/m^2$ 인 경우와 $9t/m^2$ 인 경우를 서로 비교하여 보면, 한계상태로 정의되는 최대인발력의 크기가 거의 동일한 현상을 나타내고 있다. 이와같은 현상은, 보강토벽체의 경우 일정깊이(대략적으로 6m 정도) 아래쪽으로는 더 이상의 마찰저항 증대가 예상되지 않으며, 특히 본 복합보강재의 경우 구속압이 증가할수록 그리드 E의 구성 부재중 횡방향 부재에 의해 발휘되는 수동저항력이 점차 감소되어 결과적으로 마찰이 주된 저항력 역할을 하게 되는 현상을 통해 이에 대한 설명이 부분적으로 가능하다.

3.2 그리드효과(Grid Effect)

그리드효과와 관련한 Jewell 등(1984) 및 Jones(1996)의 연구는 강성재료의 단일 그리드에 초점을 둔 것으로서, 연성의 그리드 E 및 부직포 T로 구성되는 본 연구 복합보강재의 경우와는 차이가 있다. 따라서 본 복합보강재에 대한 그리드효과의 정도를 살펴보기 위해, 그리드 E의 구성부재중 횡방향 부재를 모두 제거한 그리드를 대상으로 세종류의 연직하중강도 조건하에서 인발시험을 추가로 실시하여 그림 5에 도시하였다.

그림 5에 도시된 결과를 살펴볼 때, 인발력-선단인발변위 관계곡선의 경향은 대체적으로 2.7% 정도 이상의 변형률에 대해서는 세종류의 연직하중강도 모두에 대해 횡방향 부재가 있는 경우에 인발력이 더 큰 현상을 나타내고 있다. 연직하중강도가 $6t/m^2$ 인 경우와 $9t/m^2$ 인 경우를 서로 비교하여 보면, 그림 4의 분석결과와 유사하게, 횡방향 부재의 유·무에 관계없이 한계상태로 정의되는 최대인발력의 크기가 거의 동일한 현상을 나타내고 있다.

본 연구 복합보강재의 경우는, 단일 그리드와는 달리 최대인발력은, 상부흙-그리드 종방향 부재 사이의 표면마찰저항, 상부흙-그리드 횡방향 부재 사이의 표면마찰저항, 개공부의 흙-부직포 사이의 표면마찰저항, 하부흙-부직포 사이의 표면마찰저항 또한 상부그리드 횡방향 부재의 수동저항형태의 지지저항력 등의 합으로 구성된다. 근사적이긴 하나 각 마찰저항 사이 상호작용의 영향을 무시하고, 또한 그리드 E의 횡방향 부재 제거시, 상부흙-그리드 횡방향 부재 사이에서 예상되는 표면마찰저항을 부분적으로 증가되는 개공부의 흙-부직포 사이의 표면마찰저항 정도로 간주하면, 결국 횡방향 부재의 유·무에 따른 최대인발력의 차이는 그리드 E의 횡방향 부재에 의해 발휘되는 수동저항력을 의미한다고 볼 수 있다. 최대인발력의 차이에 해당되는 지지저항력의 분담정도(=지지저항력/횡방향 부재가 있는 경우의 최대인발력)를 % 형태로 정리하면 그림 6과 같다.

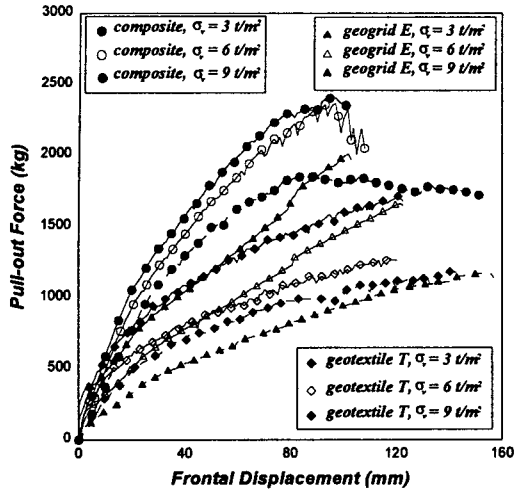


그림 4. 인발력-선단인발변위 관계

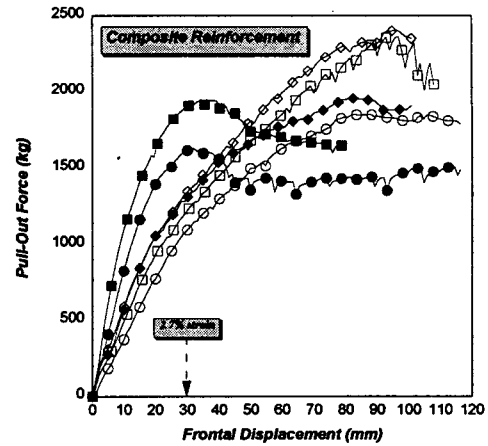


그림 5. 횡방향 부재 유·무에 따른 인발력-변위 관계

그림 6의 결과를 살펴보면, 단일 그리드 E 및 복합보강재의 경우 모두 연직하중강도의 크기 증가에 비례하여 횡방향 부재의 지지저항력 분담율이 점차 커짐을 알 수 있다. 그러나 각각의 연직하중강도에 대해, 단일 그리드 E의 경우가 복합보강재의 경우에 비해 지지저항력 분담율이 0.7~13.3% 정도 큰 경향을 보이고 있으며, 이는 주로 복합보강재의 경우 하부에 설치되는 부직포 T로 인해 그리드 E 횡방향 부재의 수동저항이 한쪽 면에만 치우쳐서 유발되는 데 기인하는 것으로 판단된다. 또한 단일 그리드 E와는 달리 복합보강재의 경우에는, 연직하중강도가 6t/m²을 초과하여 커짐에 따라 그리드 E 횡방향 부재의 지지저항력이 최대인발력 중에서 차지하는 분담율의 증가 정도가 훨씬 둔화되는 경향을 보이고 있다. 이와 같은 경향은 앞서 그림 5에서 분석한 바와 같이, 연직하중강도가 6t/m²인 경우와 9t/m²인 경우, 최대인발력의 크기가 거의 동일하게 평가되는 현상과 연관되어 있다.

전술한 그리드 효과에 대한 분석결과 및 그림 4의 결과 등을 종합하면, 복합보강재의 경우 상부 그리드 E 횡방향 부재의 지지저항력 보다는, 하부에 설치되는 부직포 T가 주변흙과 전체면적에 걸쳐 접촉하고 있는 특성으로 인해 증대되는 마찰저항이 결국 복합보강재의 최대인발력을 커지게 하는 주된 요인임을 알 수 있다.

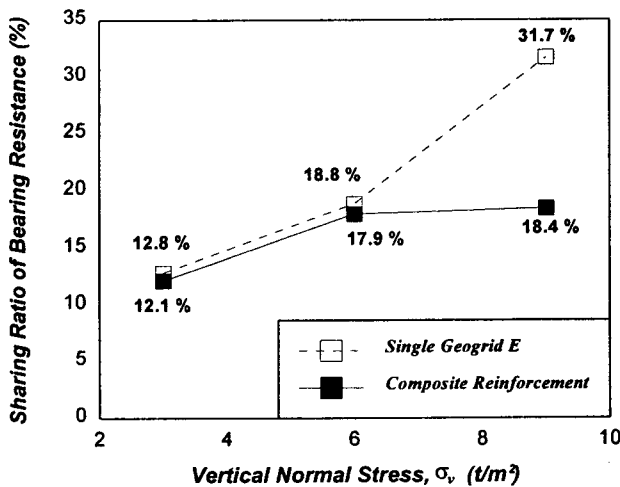


그림 6. σ_v 에 따른 지지저항력 분담율의 변화

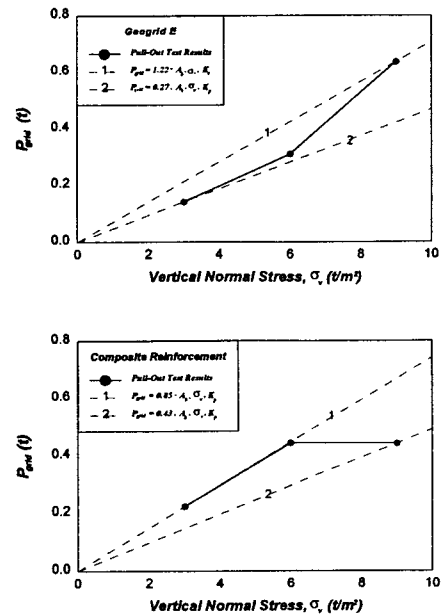


그림 7. σ_v 에 따른 지지저항력의 평가결과

계속해서 Jones(1996)가 제시한 수동저항형태의 지지저항력, P_{grid} , 계산식을 토대로, 연성 그리드 E에 부합되는 보정계수 f 값(식(1) 참조)의 범위를 평가하여 보았으며, 그 결과는 그림 7에 도시되어 있다.

$$P_{grid} = f \cdot A_b \cdot \sigma_v \cdot K_p \quad (1)$$

여기서, K_p : Rankine의 수동토압계수 = $\tan^2(45^\circ + \phi/2)$

A_b : 횡방향 부재 지지단면의 총면적(m^2) = $t_l \cdot b \cdot n$

t_l : 횡방향 부재의 두께(m, 그림 1 참조)

b : 그리드의 부설폭(m)

n : 횡방향 부재의 개수

그림 7의 평가결과를 살펴보면, 단일 그리드 E의 경우 연직하중강도의 크기에 따라 보정계수 f 값의 범위는 0.27~1.22 정도이며, 복합보강재의 경우는 0.43~0.85 정도의 범위에 해당됨을 알 수 있다. 이 결과는 Jones(1996)가 강성재료인 앵커보강재에 대해 제시한 f 값 4.0 보다는 훨씬 작은 값에 해당된다.

4. 유한요소해석결과와 실내인발시험결과와의 비교

4.1 유한요소해석 모델링

실내인발시험에 의해 얻어진 결과의 분석을 통해 파악된 화강풍화토 뒤채움흙 내부 토목섬유 복합보강재의 거동특성 등에 대한 신뢰성 검증과, 복합보강재 관련거동의 분석을 위한 수치해석적 모델링 기법의 적용성 등을 검토하기 위한 목적으로, *Pentagon^{2D}*(1997) 유한요소 프로그램을 이용한 해석을 추가로 시행하였으며, 그 결과를 인발시험결과와 서로 비교하였다. 해석단면 개요 및 경계조건은 그림 8에 명시되어 있으며, 실내시험과 동일한 크기의 연직하중강도(=3, 6 및 9t/m²)가 지반 최상부에 가해지는 조건에서 해석을 수행하였다.

본 해석에 적용된 관련재료의 계원은 표 3에 정리되어 있으며, 지반요소의 내부마찰각 및 점착력은, 실내인발시험결과를 토대로 Ochiai 등(1992)이 제시한 전체면적법에 의거해 평가된 값을 적용하였고, 상부 그리드 E 및 하부 부직포 T로 구성된 복합보강재와 인접 상·하부 주변흙이 서로 접하는 경계면을 포함하는 지반요소의 비선형 거동특성을 모델링하기 위해, Duncan & Chang(1970)이 제시한 쌍곡선 모델을 채택하였다. 그리드 E 및 부직포 T 각각에 대해 수행된 인발시험결과에 대한 회귀분석(변형률 2~10% 범위의 구간)을 통해 얻어진 응력-변형률 관계를 도시하면 그림 9와 같다(참고문헌 1 참조).

표 3. *Pentagon^{2D}* 해석에 적용된 각 요소의 계원

	σ_v (t/m ²)	G (t/m ²)	ϕ (°)	c (t/m ²)
상부 경계면 지반요소	3	203.6	12.3	0.92
	6	308		
	9	447.8		
하부 경계면 지반요소	3	325.7	8.3	0.93
	6	437.8		
	9	572.2		
지반조건	$\gamma=1.783$ t/m ³ , $\phi=34.7^\circ$, $c=2.04$ t/m ² , $K=2500$ t/m ² , $G=1154$ t/m ²			
복합 보강재	$E_i=18266$ t/m ² , $A=0.00077$ m ²			

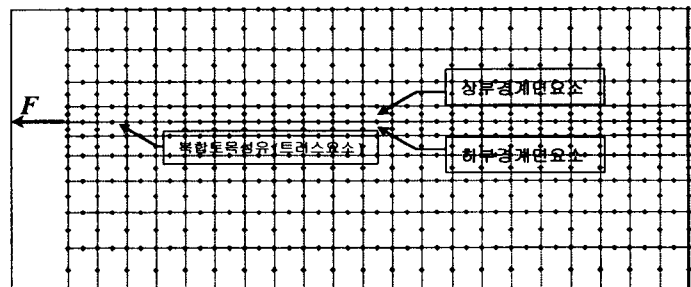
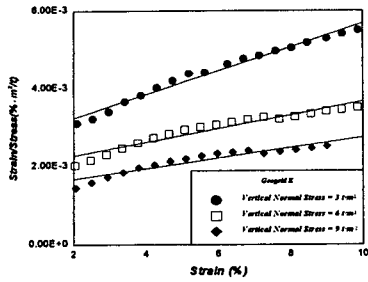
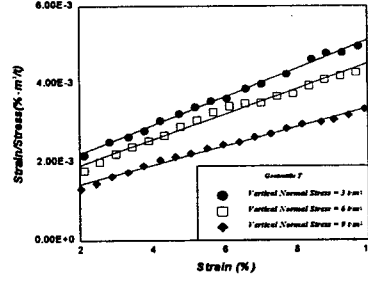


그림 8. *Pentagon^{2D}* 프로그램 해석격자망



(a) 그리드 E



(b) 부직포 T

그림 9. 그리드 E 및 부직포 T의 쌍곡선 모델 응력-변형률 관계

4.2 인발력-변위관계 비교

그림 10에는 그리드 E 및 부직포 T로 구성된 복합보강재에 대해, 인발시험 및 유한요소해석 등을 통해 각각 얻어진 인발력-선단인발변위 관계곡선이 연직하중강도별로 도시되어 있다.

그림 10의 결과를 살펴보면, 유한요소해석의 경우에는 복합보강재를 탄성재료로 모델링하였기 때문에 인발력이 계속해서 증가하는 경향을 보이고 있으나, 실내인발시험을 통해 직접 얻어진 관계곡선과 서로 비교하여 보면, 10% 정도의 변형률에 해당하는 구간까지는 대체적으로 잘 일치하는 경향을 나타내고 있다. 그림 10에 도시된 바와 같이 인발시험의 경우에는 복합보강재와 주변흙 사이의 항복점이 명확히 나타났으나, 유한요소해석의 경우에는 복합보강재의 탄성거동 가정으로 인해 구체적인 항복점이 나타나지 않았으므로, 인발시험에서의 항복점이 나타난 변위를 기준으로 그림 11을 작도하였다. 그림 11에 도시된 인발시험과 유한요소해석에 의한 결과를 비교 분석하여 보면, 복합보강재의 경우 선단에서 뒤쪽으로 갈수록 인발시험과 유한요소해석에 의해 예측된 거동양상이 더욱 일치하는 경향을 보이고 있으나, 선단으로부터 가장 가까운 측정에서는 시험결과와 유한요소해석결과가 비교적 큰 차이를 보이고 있으며, 또한 이 차이는 연직하중강도가 증가함에 따라 더욱 커지는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 실내인발시험장치 전면벽의 영향을 최소화하기 위해 시험토조 내부에 설치된 강성슬리브가 유한요소해석상에는 반영되지 않았음이 주된 요인으로 판단된다.

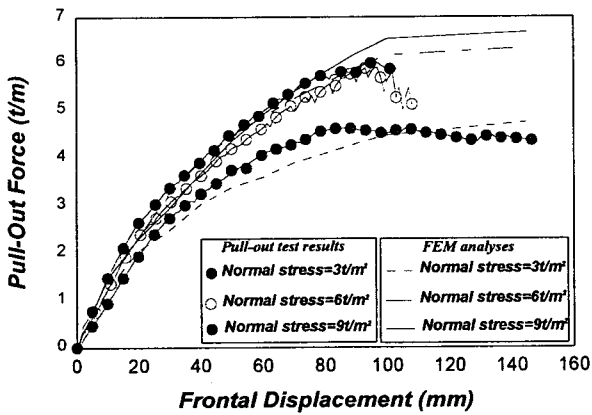


그림 10. 인발력-선단인발변위 관계 비교

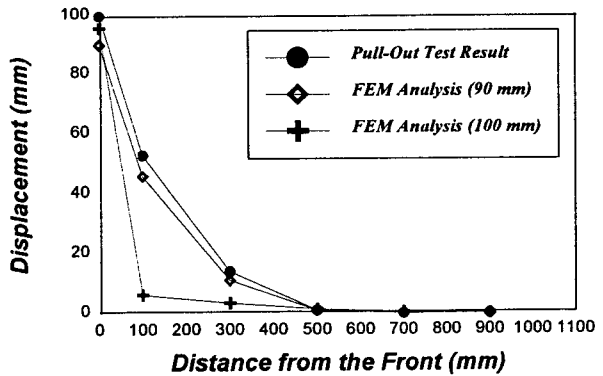


그림 11. 각 측정점에 유발된 변위 비교 ($\sigma_y=9t/m^2$)

5. 부직포 T의 배수특성 분석

5.1 유한차분해석 모델링

본 연구 복합보강재의 경우, 인장보강 효과와 더불어 특히 변위억제 효과를 기대할 수 있음을 앞의 여러 분석 등을 통해 확인한 바 있다. 이외에도 하부에 설치되는 부직포 T의 배수기능을 적극 활용하는 경우, 세립분이 많은 화강풍화토 뒤채움흙의 적용성은 더욱 커지게 될 것이므로, 강우 등 집중호우시에

예상되는 배수효과에 관련된 체계적인 실험적 연구가 요구된다. 이와 관련하여, 본 연구에서는 효율적인 침투류 거동분석을 위해 $FLAC^{2D}$ 유한차분해석 프로그램을 이용한 모델링을 하였으며(그림 12), 본 해석에 관련된 제원은 표 5에 명기되어 있다.

표 5. $FLAC^{2D}$ 해석모델 및 입력제원 등

구분	해석모델	입력물성치
기초지반	Mohr-Coulomb	$\gamma_t=2.0 \text{ t/m}^3$, $\phi=40^\circ$, $c=2.04 \text{ t/m}^3$ $G=52749 \text{ t/m}^3$, $K=24349 \text{ t/m}^3$
뒤채움	Duncan-Chang	$G=5275 \text{ t/m}^3$, $K=2085 \text{ t/m}^3$, $K_b=280$ $K_{ur}=1820$, modulus number(K)=700 modulus exponent(n)=0.37 bulk modulus exponent(m) = 0.19, $R_f=0.8$
전면벽체	beam	$\gamma=t/m^3$, $E=2.35 \times 10^6 \text{ t/m}^3$, $I=0.018 \text{ m}^4$, 벽체폭=0.6m
복합보강재	cable	$A=0.00077 \text{ m}^2$, $E=18266 \text{ t/m}^2$, 항복강도=0.251t
그리드 E	cable	$A=0.00028 \text{ m}^2$, $E=18266 \text{ t/m}^2$, 항복강도=0.251t

* 각 성토단계별 다짐효과는 연직하중강도 1 t/m^3 으로 처리하였음.

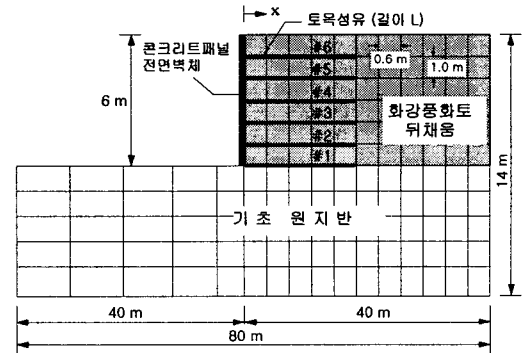


그림 12. $FLAC^{2D}$ 해석 모델링 개요

5.2 간극수압 비교

부직포 T의 배수효과를 고려하는 복합보강재의 경우(이하 Case 2)와 통상적인 침투류 조건 하에서 배수기능이 없는 단일 그리드 E만 설치되는 경우(이하 Case 3) 등에 대해 각 토목섬유-주변흙 사이 경계면에서의 유발 간극수압에 대한 $FLAC^{2D}$ 해석결과는 그림 13과 같다. 그림 13의 해석결과를 살펴볼 때, Case 2의 경우는 부직포 T의 배수기능으로 인해, 특히 전면벽체와 가까운 부분에서 간극수압의 소산 정도가 큰 경향을 보이고 있다. 반면에, 배수기능이 없는 Case 3의 경우는 정수압에 가까운 간극수압 분포를 나타내고 있다.

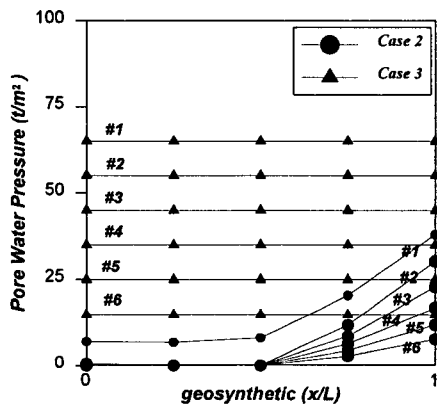


그림 13. 보강재-주변흙 경계면에서의 간극수압비교

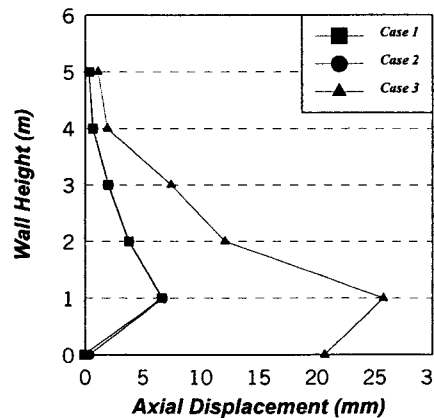


그림 14. 전면벽체에서 유발된 축방향 변위의 비교

5.3 전면부 변위 비교

각 경우별로 전면벽체 위치에서 유발된 토목섬유 축방향 변위에 대한 $FLAC^{2D}$ 해석결과를 종합하여 도시한 그림 14의 결과를 살펴볼 때, 전술한 1) 및 2)의 해석결과와 부합되는 경향 즉 복합보강재의 경우 Case 2는 부직포 T의 배수효과로 인해 건조지반상태로 가정한 Case 1과 유사한 크기의 축방향 변위 분포를 나타내고 있으며, 반면에 배수기능이 없는 단일 그리드 E만 설치한 Case 3는 침투류에 대한 영향으로 인해, Case 1 및 2에 비해 깊이에 따라 0.8 ~ 20.6mm 정도 상대적으로 큰 크기의 축방향 변

위가 유발되는 현상을 나타내고 있다.

6. 요약 및 결론

본 연구의 내용 및 결과중 주요 부분을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 복합보강재의 인발력-선단인발변위 관계, 최대인발력 상태에서의 각 측정별 유발변위 분포 등으로부터 변위억제의 효과와 더불어, 인발에 대한 저항력도 상대적으로 큰 특징을 확인할 수 있다.
- 2) 그리드 E 횡방향 부재의 지지저항력을 평가한 결과, 보정계수 $f_{\text{값}}$ 의 범위는 그리드 E의 경우 0.27~1.22 정도, 복합보강재의 경우는 0.43~0.85의 범위로 나타났다.
- 3) 그리드 효과에 대한 분석결과, 복합보강재의 경우 상부 그리드 E 횡방향 부재의 지지저항 보다는, 하부에 설치되는 부직포 T가 주변흙과 전체면적에 걸쳐 접촉하고 있는 특성으로 인해 증대되는 마찰저항이 결국 복합보강재의 최대인발력을 커지게 하는 주된 요인임을 알 수 있다.
- 4) 실내인발시험결과와 유한요소해석결과의 비교로부터, 인발력-변위관계는 대체적으로 일치하는 것으로 나타났으며, 복합보강재-주변흙 사이의 상호거동 예측을 위해, Duncan & Chang(1970)의 쌍곡선 모델을 이용하는 유한요소 해석기법을 적극 활용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 부직포의 배수효과가 충분한 경우, 화강풍화토 뒤채움흙 내부 복합보강재의 관련거동 특성(간극수압, 전면부 변위 등)은 건조지반상태와 유사함을 간접적으로 확인하였다.

본 연구를 통해 복합보강재의 마찰특성 및 그리드 효과 등에 대한 기초자료가 제시되었으며, 지속적인 연구를 통해, 해석 및 설계기법 등이 체계화되는 경우, 향후 세립분이 비교적 많이 포함된 화강풍화토 등 현장발생토와 복합보강재를 이용하는 보강토벽체 시스템의 학문적, 실용적 진일보가 기대된다.

참고문헌

1. 이형규(1999), 화강토내에 매설된 복합섬유보강재의 공학적거동 특성에 관한 실험연구, 홍익대학교 박사학위논문.
2. 棚橋由彦(1996), "複合ジオテキスタイルの引拔摩擦特性と部材内應力分布の把握", 일본토목학회 제51회 연차학술강연회, pp.604~605.
3. 龍岡文夫(1991), "補強土擁壁の過去・現在・將來 -メカニズムかちの-考察-", 基礎 I. Vol.19, No.11, pp.8~18.
4. Chen, R.H. and Chen, C.C.(1994), "Investigation of Pull-out Resistance of Geogrids", 5th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 5-9, September.
5. Jones, C.J.F.P.(1996), Earth Reinforcement & Soil Structures, Thomas Telford, ASCE Press.
6. Duncan, J.M and Chang, C.Y.(1970), "Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, Vol.96, No.SM5, pp.1629~1653.
7. Jewell, R.A., Milligan, G.W.E., Sarsby, R.W., and Dubois, D.(1984), "Interaction between Soil and Geogrids", Proc. of Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, London, England, pp.18~30.
8. Ochiai, H., Hayashi, S., Otani, J., and Hirai, T.(1992), "Evaluation of Pull-Out Resistance of Geogrid Reinforced Soils", Proc. of Int. Symposium on Earth Reinforcement Practice, Kyushu, Japan, pp.141~146.