

복합토목섬유의 거동특성에 관한 연구

A Study on the Behavior Characteristics of Composite Geosynthetics

김홍택¹⁾, Hong-Taek Kim, 이은수²⁾, Eun-Soo Lee, 이형규³⁾, Hyung-Kyu Lee
박건일⁴⁾, Gun-Il Park

¹⁾홍익대학교 토목공학과 교수, Prof., Dept' of Civil Eng., Hong-Ik University

²⁾보강기술(주) 기술고문, E & S Engineering Co., Ltd.

³⁾서일대학 토목과 조교수, Assistant Prof., Dept' of Civil Eng., Seo-II College

⁴⁾홍익대학교 토목공학과 대학원, Graduate Student, Dept' of Civil Eng., Hong-Ik University

SYNOPSIS : In the present study, laboratory pull-out tests with various geogrid shapes are carried out to investigate behavior characteristics of the composite geosynthetic composed of the geogrid and geotextile. Pullout resistance of the composite geosynthetic is mobilized based on both the frictional resistance and passive resistance. Coefficient of the passive resistance and density factor for each of the grid shape are evaluated based on the pull-out test results. Analyzing and comparing these results, the grid effects are examined in detail and finally the efficient grid shape to achieve maximum pullout resistance of the composite geosynthetic is suggested.

Key words : Composite Geosynthetics, Grid Effects, Pull-out Tests

1. 서론

보강토벽체 시공시 현장발생토를 폭넓게 사용하기 위한 노력의 일환으로 복합보강재의 적극적 활용이 시도되고 있으며, 이 중 龍岡文夫(1991)에 의하면 지오그리드와 지오텍스타일을 병행하여 포설하거나 또는 지오그리드와 배수기능이 있는 지오텍스타일을 밀착시켜 제조한 형태의 복합보강재를 사용함으로써 다짐시의 과잉간극수압 소산과 다짐후 부(-)의 간극수압이 유지되는 효과를 제시한 바 있고, 또한 棚橋由彦등(1996)에 의하면 인장 보강기능이 우수한 지오그리드와 지오텍스타일을 동시에 사용할 경우에 단일 보강재보다 마찰특성 등이 우수함을 밝힌 바 있다.

그러나 이와 같은 복합토목섬유(지오그리드 + 지오텍스타일)가 지중에 포설되는 경우, 보강효과는 복합보강재를 중심으로 1)지오그리드 표면과 흙 사이의 마찰저항, 2)지오그리드 개공부분에 존재하는 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰저항, 3)지오그리드의 횡방향 부재에 의한 수동저항과 4)흙과 지오텍스타일 표면 사이에서 마찰저항이 예상되는등 상당히 복잡한 양상을 띠게 된다. 이와 같은 다양한 보강효과를 규명하기 위한 노력의 일환으로 본 연구에서는, 지오그리드의 종방향 및 횡방향 간격을 다양하게 변화시켜(그림 1) 실내인발시험을 수행하고, 그리드의 개공율(밀도) 변화에 따른 횡방향 부재의 정량적인 수동저항효과와 규명과 이를 토대로 그리드 밀도등에 따른 복합보강재의 마찰특성을 종합적으로 규명하고자 하였다.

본 실험연구를 통해 복합보강재의 그리드 효과 및 마찰특성 등에 대한 분석자료가 제시되었고, 또한 계속적 연구를 통해 지오텍스타일의 배수기능에 의한 복합보강재의 보강효과 등이 종합적으로 규명되는

경우, 향후 화강풍화토등 현장발생토와 복합보강재를 이용하는 보강토벽체 공법의 학문적, 실용적 진일보가 기대된다.

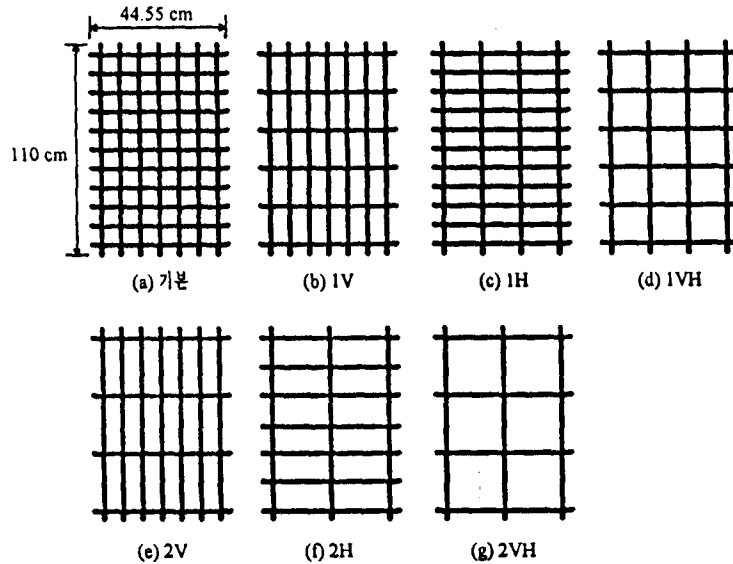


그림 1. 본 시험에 적용된 복합보강재의 그리드 형상 개요

2. 복합보강재의 인발저항 평가법

복합보강재(그림 2)의 최대인발저항력(F_{Tmax}) 평가식은 식(1)과 같다.

$$F_{Tmax} = \sigma_v \cdot (2 \cdot L \cdot \tan \delta + \mu \cdot t_1 \cdot \alpha \cdot K_p \cdot (L / S)) \quad (1)$$

여기서, σ_v : 연직응력

δ : 흙과 복합보강재 사이의 표면마찰각

μ : 지오그리드 횡방향 부재의 수동저항계수

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

ϕ : 흙의 내부마찰각

S : 지오그리드 횡방향 부재의 중심간 간격

L : 지오그리드 종방향 총길이

t_1 : 지오그리드 횡방향 부재의 두께

또한, 식(1)을 토대로 지오그리드 횡방향 부재의 수동저항계수 μ 값을 평가하기 위한 표현식을 정리하면 식(2)와 같다.

$$\mu = \rho_g \cdot (F_{Tmax} - 2 \cdot \sigma_v \cdot L \cdot \tan \delta) / (\sigma_v \cdot K_p \cdot L) \quad (2)$$

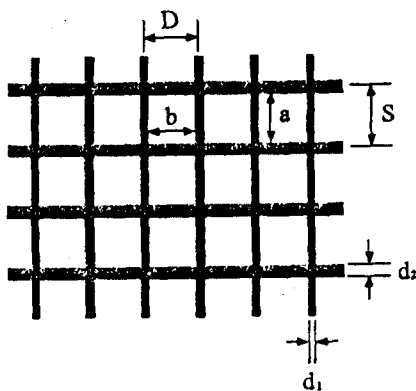
여기서, 지오그리드의 형상특성을 표현하기 위한 3가지 계수를 정의하면 각각 다음과 같다.

- 1) 지압부 할증, α : 유효 횡방향 부재길이의 합($\sum b$)을 전체 부설폭(B)으로 나눈 값 = $\sum b / B$
- 2) 밀도계수, $\rho_g = S / (\alpha \cdot t_1)$
- 3) 형상계수, $R = t_1 / S + t_2 / D$

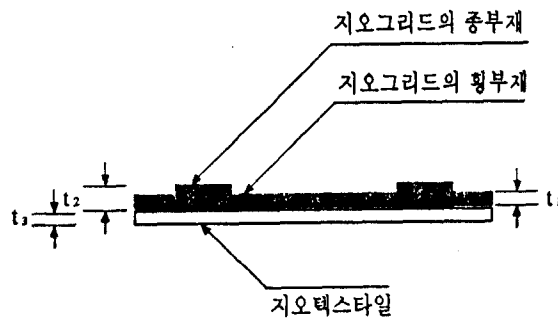
본 시험에 적용된 다양한 그리드 형상(그림 1 참조)에 대한 형상특성을 앞의 3가지 계수를 이용해 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 본 시험에 적용된 다양한 그리드의 형상특성 요약

복합 보강재의 그리드 형상	평면형상특성			입체형상특성					
	그리드간 거리(mm)		$\frac{L}{S}$	횡부재 길이(mm)		그리드의 전체폭(B)	지압부 할증(α)	밀도계수 (ρ_g)	형상계수 (R,%)
	종(S)	횡(D)		b	$\sum b$				
기본	39.75	29.95	26.67	24.15	338.10	445.50	0.76	52.38	6.19
1V	78.83	29.95	13.95	24.15	338.10	445.50	0.76	103.87	4.94
2V	118.93	29.95	9.25	24.15	338.10	445.50	0.76	156.71	4.51
1H	39.75	59.93	26.67	54.53	381.71	445.50	0.86	46.39	4.35
2H	39.75	89.60	26.67	83.76	335.04	385	0.75	45.68	3.74
1VH	78.83	59.93	13.95	54.53	381.71	445.50	0.85	92.00	3.10
2VH	118.93	89.60	9.25	83.76	335.04	385	0.75	137.66	2.07



$d_1=10\text{mm}$, $d_2=5\text{mm}$
(a) 평면형상도



$t_1=1.0\text{mm}$, $t_2=1.1\text{mm}$
(b) 입체형상도

그림 2. 복합보강재의 형상특성 개요

3. 실내인발시험

3.1 개요

본 연구에서 수행된 실내 인발시험에 사용된 흙시료는 200번체(입경 0.074mm) 통과율이 30% 이상인 화강풍화토를 사용했다. 사용된 흙시료의 물리적 특성, 시험장치 및 시험방법 등에 대한 상세한 내용은 참고문헌 1에 정리되어 있다.

3.2 시험용 토목섬유의 특성

인발시험용 토목섬유로는 S 그리드(이하 그리드 S)와 T 부직포(이하 부직포 T)를 사용하였다. 시험에 이용된 그리드 S와 부직포 T는, 국내에서 개발되어 주로 인장보강재와 배수 및 필터재로 널리 쓰이고 있는 제품을 대상으로 하였다. 인발시험에 앞서 각 토목섬유의 물리적, 역학적 특성을 파악하기 위해 실시한 각종 시험의 결과는 표 2에 명시되어 있다.

표 2. 시험용 토목섬유의 재료특성

항 목 \ 시료종류	그리드 S	부직포 T	복합토목섬유
재 질	폴리에스터 (PVC 코팅)	폴리에스터 장섬유	그리드S + 부직포T
단위면적당 중량(g/m ²)	439	398	837
극한인장강도	9.43 t/m	6.3 t/m	10.995 t/m
극한인장강도시 변형률(%)	13	69.6	14
중,횡부재의길이(mm)	24.15 by 30.1	-	-
중,횡부재의 폭(mm)	5.8 by 9.7	-	-
두께(mm)	1.183	1.365	2.548
투수계수(cm/sec)	-	1.33×10^{-1}	-

3.3 시험방법 및 종류

본 연구에서 수행된 인발시험 방법은 참고문헌 1에 정리되어 있으며, 지오그리드, 지오텍스 타일 및 복합토목섬유 각각에 대해 광폭인장시험(ASTM D 4595)을 실시하였다.

4. 시험결과

4.1 광폭인장시험결과

지오그리드 및 복합보강재 각각에 대한 광폭인장시험결과에 의거한, 인장력-변형률 관계곡선은 그림 3과 같다.

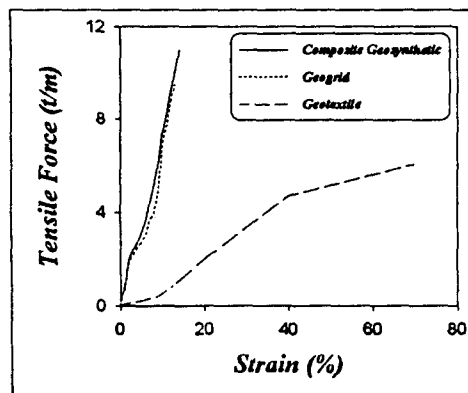


그림 3. 광폭인장시험에 의거한 인장력-변형률 관계곡선

4.2 인발력과 선단인발변위 사이의 관계

입체적인 형상특성 변화에 따른 다양한 복합보강재(그림 1 및 표 1 참조)의 인발력과 선단인발변위 사이의 관계에 대한 시험결과(복합보강재 총길이의 2% 변형율)를 도시하면 그림 4와 같다. 그림 4의 결과는 상재하중(σ_v)이 $3t/m^2$ 인 경우이며, 그림 4의 결과를 토대로, 동일한 크기의 선단인발변위에 대해 인발저항력이 크게 발휘되는 순서로, 그리드의 형상특성을 정리하면, 1V, 2V, 기본, 1H 및 1VH 경우(그림 1 참조)의 순서이다. 이와 같은 결과는, 그리드 횡방향 부재의 설치간격에 따라 상호간섭효과의 정도가 달라지기 때문인 것으로 추정된다.

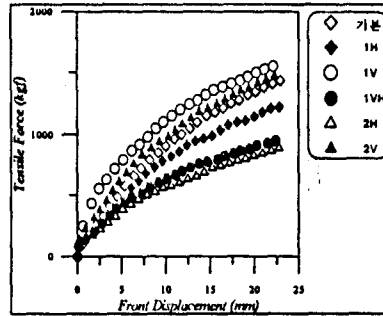
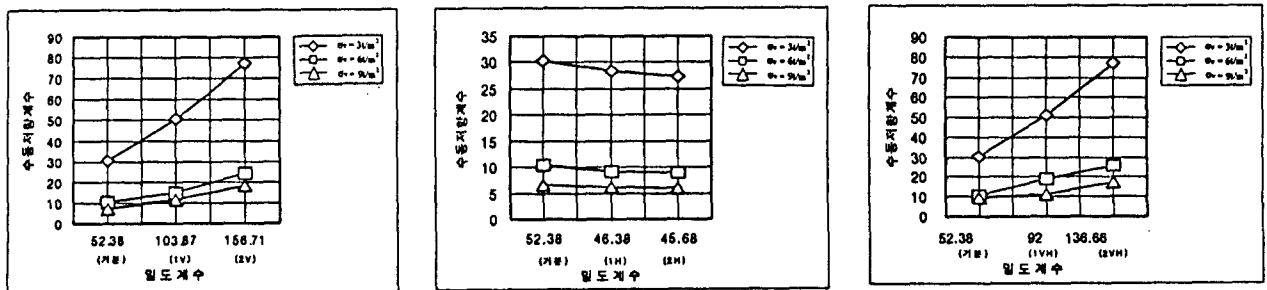


그림 4. 상재하중 $\sigma_v = 3t/m^2$ 인 경우, 인발력과 선단인발변위 사이의 관계곡선

5. 분석

5.1 인발력에 미치는 횡방향 부재의 영향

앞의 식 (2)를 이용해 평가되는, 수동저항계수(μ)와 밀도계수(ρ_g) 값 사이의 관계를 이용하여 그리드의 입체적인 형상특성을 나타내면 그림 5와 같고, 이를 분석하면 다음과 같다.



(a) P_f 와 ρ_g 관계(기본, 1V, 2V) (b) P_f 와 ρ_g 관계(기본, 1H, 2H) (c) P_f 와 ρ_g 관계(기본, 1V, 2V)

그림 5. 수동저항계수(μ)와 밀도계수(ρ_g)의 관계

1) 그림 5(a)의 경우(기본, 1V 및 2V인 경우, 그림 1 참조)를 분석하면, 상재하중 σ_v 가 비교적 작은 $3t/m^2$ 인 경우에는, 그리드의 횡방향 부재 중심간 간격 S(그림 2 참조)가 커질수록(밀도계수가 커질수록) μ 값이 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 S가 커짐에 따라 그리드 부재간 상호간섭영역은 작아지고 또한 σ_v 에 의한 구속효과가 감소되어, 결국 횡방향 부재의 수동저항 역할이 증대됨을 의미한다. 그러나 σ_v 가 상대적으로 큰 경우에는, S가 증가하더라도 μ 값의 크기 증가는 비교적 미미한 편이다. 이는 σ_v 가 커질수록 즉, 보강재의 부설깊이가 깊어질수록, 전체적인 인발저항은 수동저항 보다 마찰저

함에 해 지배되고 있음을 의미한다.

2) 그림 5(b)의 경우(기본, 1H 및 2H인 경우)를 분석하면, 다양한 크기의 상재하중 모두에 대해 μ 값의 크기 변화는 밀도계수 즉, 본 경우 유효 횡방향 부재의 길이 b(표 1 및 그림 2 참조)의 증가에 상관없이 미미한 경향을 보이고 있다. 이와 같은 경향은, 유효 횡방향 부재의 길이 증가가 수동저항의 역할중대로 직결되는 것은 아님을 의미한다.

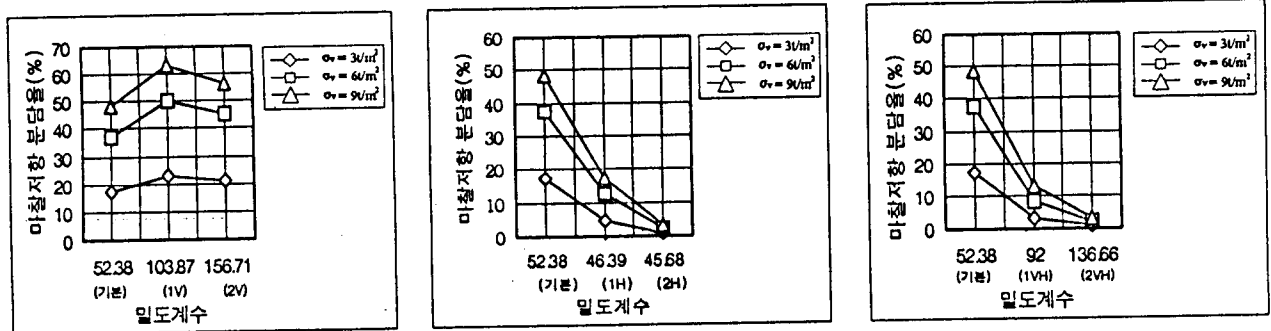
3) 그림 5(c)의 경우(기본, 1VH 및 2VH인 경우)를 살펴보면, 1)의 경우과 거의 유사한 변화양상을 보이고 으며, 이는 2)에서 기 분석한 바와 같이, b값의 증가가 수동저항의 역할 중대에 직접적으로 영향을 미치지 못하는 데 원인이 있다.

5.2 복합보강재의 마찰저항력과 밀도와의 관계

복합보강재의 표면과 흙 사이에서 발생하는 마찰저항력 f_p 을 최대인발저항력 평가식인 식(1)로부터 분리 정의하면 다음과 같다.

$$f_p = 2 \cdot \sigma_v \cdot L \cdot \tan \delta \quad (3)$$

식(3)을 토대로 평가되는 마찰저항력과, 식(1)을 토대로 평가되는 최대인발저항력의 비(ratio)를 퍼센트(%)로 환산하여, 마찰저항 분담율 P_f 라고 정의하였으며, 다양한 그리드 형상에 대해 P_f 와 밀도계수 ρ_g 사이의 관계를 도시하면 그림 6과 같다.



(a) P_f 와 ρ_g 관계(기본, 1V, 2V) (b) P_f 와 ρ_g 관계 (기본, 1H, 2H) (c) P_f 와 ρ_g 관계(기본, 1VH, 2VH)

그림 6. 마찰저항 분담율과 밀도계수 사이의 관계

1) 그림 6(a)의 경우(기본, 1V 및 2V인 경우, 그림 1 참조)를 분석하면, 상재하중 σ_v 가 커질수록 마찰저항 분담율로 정의된 P_f 값 역시 커짐을 알 수 있다. 또한 본 경우 다양한 크기의 상재하중 및 다양한 횡방향 부재 중심간 간격 S(즉, 밀도계수)에 대한 분석결과를 종합적으로 살펴보면, P_f 값은 1V, 2V 및 기본의 경우 순서로 크게 평가됨을 알 수 있다. 여기서 1V 그리드 형상의 복합보강재 보다 2V 그리드 형상 복합보강재의 P_f 값이 오히려 작게 평가된 이유는, 2V 경우는 1V 경우에 비해 상호간섭영역에 의한 영향이 줄어들긴 하나, 반면에, 그리드의 표면과 흙이 접촉하는 면적이 또한 상대적으로 작아지는 데 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

2) 그림 6(b)의 경우(기본, 1H 및 2H인 경우)를 분석하면, 각각의 상재하중 σ_v 에 대해 본 경우 유효 횡방향 부재의 길이 b가 커짐에 따라 밀도계수는 점차 감소하고, 또한 이에 따라 마찰저항 분담율도 점차 감소함을 알 수 있다. 이를 통해, 복합보강재의 마찰저항력은 그리드의 종방향 부재의 개수(그림 1 참조)에 지배적으로 영향을 받는다는 점을 확인할 수 있다.

3) 그림 6(c)의 경우(기본, 1VH 및 2VH인 경우)는, 그림 6(b)의 결과와 거의 유사한 변화양상을 나타내

고 있다. 결국, 복합보강재의 마찰저항력은, 그리드와 흙이 접촉하는 면적 보다는, 그리드의 종방향 부재 개수에 더욱 지배적으로 영향을 받음을 알 수 있다.

5.3 형상계수와 보강효과 사이의 관계

앞의 2장에서 기 언급한 형상계수 R (그림 7)을 구체적으로 정의하면 아래의 식(4)와 같으며, 퍼센트 형태로 표현한 R 값과 수동저항계수 및 마찰저항 분담율과의 사이의 관계를 다양한 그리드 형상에 대해 분석 도시하면 그림 8 및 9와 같다.

$$R(\%) = \frac{(S \cdot t_2 + D \cdot t_1) \cdot \frac{B \cdot L}{S \cdot D}}{B \cdot L} \times 100 = \left(\frac{t_1}{S} + \frac{t_2}{D} \right) \times 100 \quad (4)$$

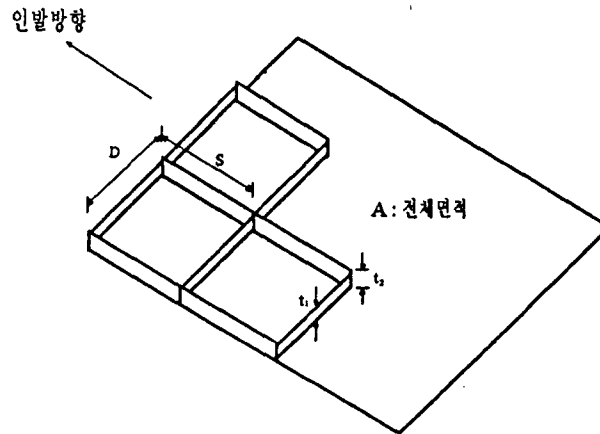


그림 7. 형상계수 R의 정의

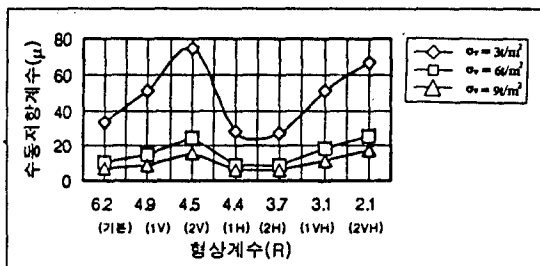


그림 8. 수동저항계수 μ 와 형상계수 R 의 관계

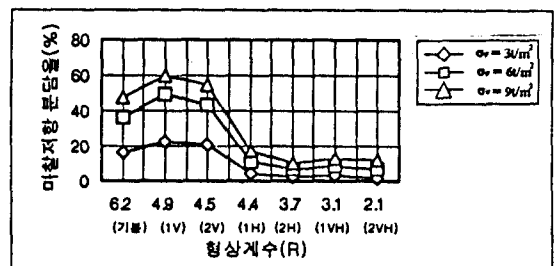


그림 9. 마찰저항 분담율 P_f 과 형상계수 R 의 관계

1) 그림 8에 도시된 수동저항계수 μ 값과 형상계수 R 값 사이의 관계를 살펴보면, μ 값은 상대하중 $\sigma_v = 3t/m^2$ 인 경우가 가장 크고, $\sigma_v = 6t/m^2$ 이상인 경우에는 상대적으로 작은 경향을 나타내고 있다. 구체적으로 살펴보면, 기본, 1V 및 2V인 경우(D를 일정하게 하고, S를 변화시킨 경우)에는 2V 경우가 μ 값이 최대이고, 기본, 1H 및 2H인 경우(S를 일정하게 하고, D를 변화시킨 경우)에는 1H 및 2H인 경우가 기본인 경우에 비해 μ 값이 약간 감소하는 경향을 나타내었다.

또한 기본, 1VH 및 2VH인 경우(S와 D를 동시에 변화시킨 경우)에는, 기본, 1VH 및 2VH의 순서로 (즉 그리드의 개공율이 클수록), 수동저항계수 μ 값이 점차 증가함을 알 수 있으며, 특히 $\sigma_v = 3t/m^2$ 인 경우에 가장 큰 증가율을 나타내고 있다. 본 경우 이와 같은 경향은, 그림 6에서 기 분석한 바와 유사하게, 그리드 부재간의 상호간섭영역이 줄어드는 것이 그 주요 원인이라고 판단된다.

2) 그림 9에 도시된 마찰저항 분담율 P_f 와 R 값과의 관계를 살펴보면, 상재하중 σ_v 가 커짐에 따라 P_f 값 또한 증가한다. 그리드 형상에 따른 마찰저항 분담율의 변화를 분석하면, S만을 변화시킨 경우(1V 및 2V의 경우)에는 1V 경우에서 P_f 는 최대값을 보이고 있으며, D만을 변화시킨 경우(1H 및 2V의 경우)와 S와 D를 동시에 변화시킨 경우(1VH 및 2VH의 경우)에는, S만을 변화시킨 경우에 비해, P_f 값들은 낮게 평가되었다. 이 결과로부터, 마찰저항은 그리드의 종방향 부재 개수에 크게 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있고, 따라서 마찰저항 분담율이 상대적으로 크게 평가되는 1V 및 2V 그리드 형상의 경우가 이상적인 복합보강재의 형상으로 판단된다.

3) 그림 8 및 9에 도시된 다양한 경우의 결과를 종합적으로 살펴보면, 효율적인 그리드 형상으로 판단되는 1V 및 2V의 경우에, 상재하중이 클수록 수동저항 보다는 표면 마찰저항에 의해 인발저항력이 지배적으로 결정됨을 알 수 있다. 그러나 여타 그리드 형상의 경우에는, 오히려 수동저항이 더 지배적인 역할을 하는 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서 얻어진 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 그리드의 횡방향 부재 중심간 간격이 커질수록(밀도계수가 커질수록) 그리드 부재간 상호간섭영역은 작아지고 또한 상재하중에 의한 구속효과가 감소되어, 결국 횡방향 부재의 수동저항 역할이 증대됨을 알 수 있다. 또한 상재하중이 커질수록 즉, 보강재의 부설깊이가 깊어질수록, 전체적인 인발저항은 수동저항 보다 마찰저항에 의해 지배되고 있음을 알 수 있다. 이외에도, 유효 횡방향 부재의 길이 증가가 수동저항의 역할증대로 직결되는 것은 아님을 알 수 있다.

2) 복합보강재의 마찰저항력은 그리드의 종방향 부재의 개수에 지배적으로 영향을 받는다는 점을 확인할 수 있다.

3) 수동저항과 표면 마찰저항에 의한 최대인발력이 가장 효율적으로 발휘되는 복합보강재의 그리드 형상은 1V ~ 2V 정도의 범위로 판단되며, 이때의 형상계수(R)값은 4.94 ~ 4.51 정도의 범위이다.

또한 효율적인 그리드 형상으로 판단되는 1V 및 2V의 경우에, 상재하중이 클수록 수동저항 보다는 표면 마찰저항에 의해 인발저항력이 지배적으로 결정됨을 알 수 있다. 그러나 여타 그리드 형상의 경우에는, 오히려 수동저항이 더 지배적인 역할을 하는 것으로 판단된다.

4) 수동저항계수는 지오그리드 횡방향 부재의 두께와 간격, 이외에 상재하중이나 다짐에 따른 흙의 밀도, 그리고 지오텍스타일의 배수기능에 의한 함수비의 변화에도 영향을 받는 것으로 사료된다. 이와 같은 영향을 반영한 평가가 급후의 과제이다.

참고문헌

1. 김승욱(1998), "독립형 보강토 조립식 옹벽의 복합보강재 및 전면블록의 마찰특성에 관한 연구", 홍익대학교 석사학위논문
2. H.Ochiai, N.Yasufuku, T.Yamaji, Guang-Li xu & T.Hirai(1996) "Experimental evaluation of reinforcement in geogrid-soil structure" Balkema, Rotterdam. pp. 249~254
3. 得丸ら(1993), 土-ジオグリッドの引張抵抗に及ぼす横リフの効果, 第28回土質工學研究發表會, pp. 2727~2730.
4. 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", 토목학회 제51회 연차학술강연회, pp. 604~605.
5. 龍岡文夫 (1991), "補強土擁壁の過去・現在・將來 -メカニズムからの考察-", 基礎工 Vol. 19, No. 11, pp. 8~18.