

보강토 응력에 사용되는 각 보강재의 특성연구

김 경 모 연구원
(이엔에스 엔지니어링(주))
방 영 익 선임연구원
(이엔에스 엔지니어링(주))

1. 서 론
2. 보강재로서 갖추어야 할 조건
 - 2.1 인장강도
 - 2.2 마찰저항 유발력
 - 2.3 변형을
 - 2.4 내구성
 - 2.5 경제성
3. 보강재의 특성검토
 - 3.1 철제 대상 보강재
 - 3.2 합성섬유 보강재
 - 3.3 텐사 그라드
 - 3.4 각 보강재의 특성 비교
4. 인발시험
5. 결 론

참고문헌

보강토 옹벽에 사용되는 각 보강재의 특성 연구

THE STUDY ON PROPERTIES OF REINFORCING ELEMENTS APPLIED CURRENT REINFORCED EARTH STRUCTURES

김 경 모 " 방 영 익 "

개요

1966년 H. Vidal에 의해 체계화된 보강토 이론이 발표된 이래, 이에 관련된 많은 연구가 진행되었고, 이와 더불어 다양한 범위에서의 공법적용이 매우 확산되어 있다. 지금까지 많은 학자들의 연구에 의해 보강토 이론에 상당한 발전이 있었지만, 보강재의 개발은 연구에 부응하여 만족한 수준에 이르지 못하고 1970년대 이전에 개발된 수준에 머물고 있는 것이 현실이다.

본 조사·연구에서는 이와 같은 현실에서 보강재로서 갖추어야 할 조건에 대해 알아보고, 기존의 보강재들이 이들 조건을 얼마나 충족시키는가에 대해서 알아보았다. 또 우리는 보강토 공법 이론의 발전과 이에 부합하는 보강재의 개발을 위해 대형 인발시험기를 설치 운영하고 있으며 한 걸음 나아가서 이를 토대로 더 좋은 보강재를 개발하기위한 방향을 제시하고자 한다.

1. 서론

현재 국내·외에서 사용되고 있는 보강재를 재질별로 보면 철제보강재, 섬유보강재, 합성수지보강재 등 여러 종류가 있다. 그리고 이들 보강재는 각각 사용 목적에 따라 그 재질과 형상을 달리하며 제작·공급되고 있으나 기존의 이들 보강재는 실질적인 이용측면에서 서로의 장단점을 갖고 있다.

1) 이엔에스 엔지니어링 (주) 연구원

2) 이엔에스 엔지니어링 (주) 선임 연구원

따라서 우리는 좀 더 나은 보강재의 개발을 위해 노력하고 있으며, 이런 목적을 위하여 우선 보강재료로서 갖추어야 할 조건에 대하여 알아보고, 기존 보강재의 특성(장·단점)에 대하여 조사해 본다.

2. 보강재로서 갖추어야 할 조건

2.1. 인장강도

보강토 구조물의 파괴형태는 일반적으로 보강재의 인장파괴(tensile failure)와 보강재와 뒤채움재 사이의 미끄러짐 파괴(slippage failure)로 대별된다.^{1) 5) 10)} 이러한 두가지 파괴형태로부터 보강토 구조물의 내적 안정상태를 평가하는데 먼저 보강재의 인장파괴에 대하여 알아보면, 보강재는 최종적으로 보강재 한개 또는 보강재의 단위폭당 작용하는 인장력에 견딜 수 있는 충분한 인장강도를 지녀야 한다. 이때 보강재가 받는 인장력은 다음 식으로 추정할 수 있다.^{1) 5) 10)}

$$T = K \cdot \sigma_v \cdot S_h \cdot S_v \text{ ----- (1)}$$

여기서, T = 보강재가 받는 인장력

K = 토압계수($K_o \sim K_a$)

σ_v = 수직하중($= \gamma \cdot h$)

S_h = 보강재의 수평간격

S_v = 보강재의 수직간격

따라서 보강재의 허용 인장강도 (T_a)는 다음 식 (2)를 만족시켜야 한다.

$$\frac{T_a}{F_r} \geq T \text{ ----- (2)}$$

여기서, T_a = 보강재 한 개의 허용 인장력

F_r = 보강재의 인장파괴에 대한 안전율

T = 식 (1)에 의해서 구한 보강재가 받는 인장력

2.2. 마찰저항 유발력

다음으로 미끄러짐 파괴에 대해서 알아보면, 미끄러짐파괴(slippage failure)는 보강재와 뒤채움 재료사이의 마찰 유발력의 부족에 의해 발생한다. 이러한 마찰 유발력은 보강토 이론에서 가장 기초가 되는 것으로, [그림 1.]로 부터 다음과 같은 식을 만족하여야 한다.^{1) 5) 11)}

$$T_m = 2 b \int_{L-L_r}^L \mu^* \sigma_v dL = 2 b \cdot \mu^* \cdot \sigma_v \cdot L_r \text{ ----- (3)}$$

$$\frac{T_m}{F_f} \geq T \text{ ----- (4)}$$

여기서 T_m = 동원된 마찰력

b = 보강재의 폭

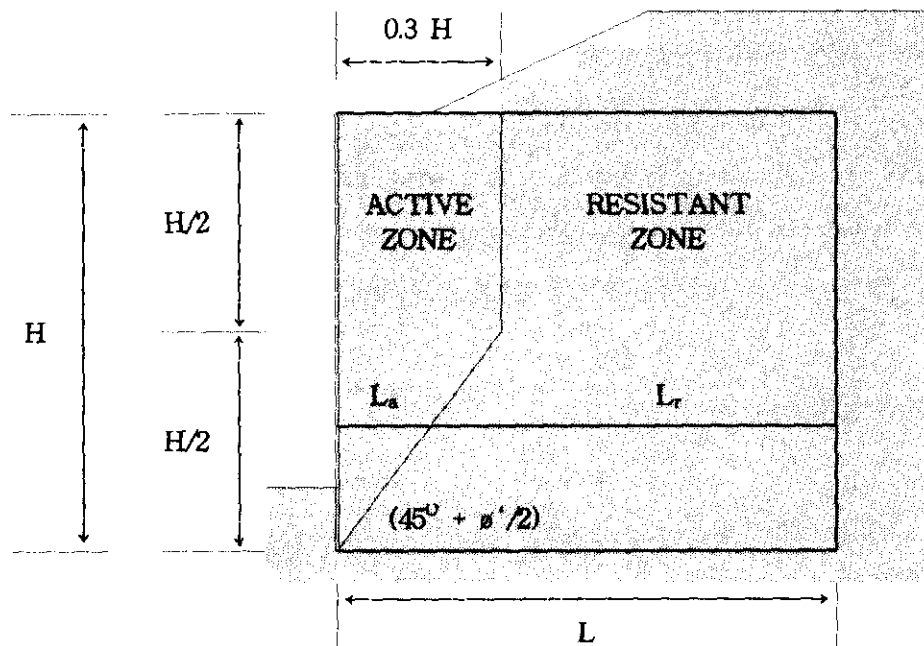
μ^* = 마찰계수 (= $\tan \phi$)

L = 보강재의 전체 묻힌 길이

L_r = 저항영역내의 보강재의 묻힌 길이

F_f = 보강재와 흙 사이의 미끄러짐 파괴에 대한 안전율

T = 식 (1)에 의해서 구한 보강재가 받는 인장력



[그림 1.] 보강토 옹벽의 가상파괴면

식 (3)에서 알 수 있듯이 동원된 마찰력에 영향을 끼치는 요소는 보강재의 폭(b), 저항 영역내의 보강재의 묻힌 길이(L_r), 상재 하중(σ_v), 보강재와 뒤채움재 사이의 마찰계수(μ^*) 등이다.

보강토 옹벽의 경우 [그림 1.]과 같이 가상파괴면을 가정할 수 있는데 인발에 대해 저항할 수 있는 보강재의 유효길이는 저항영역내의 길이(L_r) 뿐이다.

이 중에서 우리가 가장 관심을 가질 부분은 보강재와 뒤채움재 사이의 마찰계수(μ^*)를 크게하는 것이다. Schlosser 등의 시험결과([그림 2.] (a))와 이엔에스 엔지니어링 (주)의 시험결과([그림 2.] (b))를 참고하면, 두 가지 실험의 절대적인 비교는 불가능하지만, 돌기가 있는 경우 마찰저항력이 더 커진다는 것을 알 수 있고, 이는 여러 학자들의 연구에 의해 이미 증명되었다. ^{3) 10) 11)}

2.3. 변형을 (Strain or Elongation)

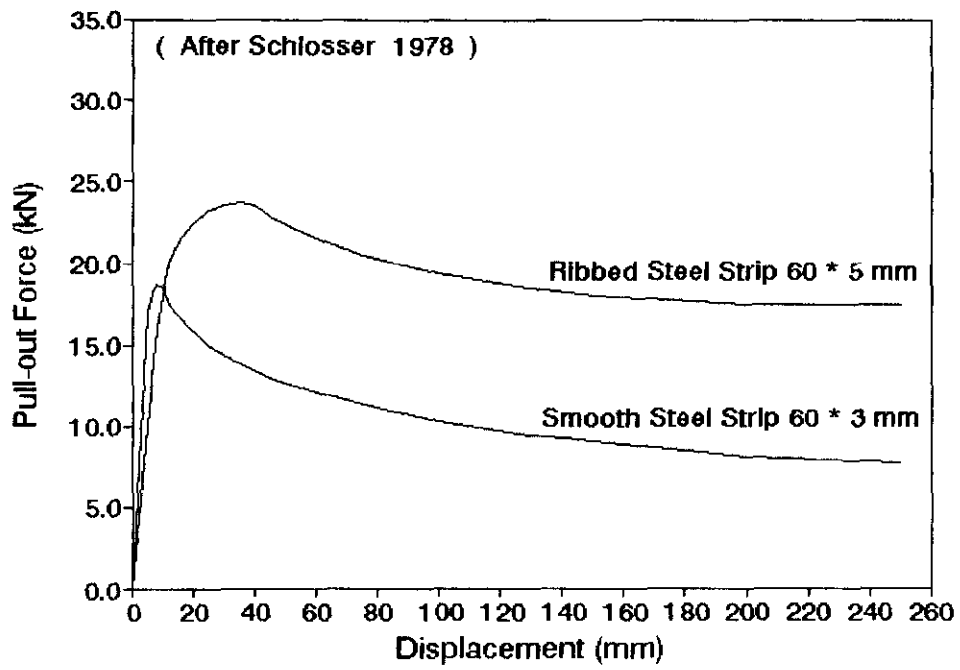
보강토 옹벽에서 보강토체의 수평방향 변위는 보강재에 의해서 억제되고 이에 따라 보강재 내에 응력이 발생하게 되어 보강재 자체도 인장변형을 일으키게 된다. 이 때 보강재의 변형 범위는 $K_0 \sim K_a$ 상태안에 있어야 한다. 이는 종래의 옹벽공에서와 같이 변형이 허용범위를 초과함은 옹벽자체의 파괴를 의미하기 때문이다. 그러므로 보강재의 변형은 K_a 상태에서의 변형보다 커서는 안된다.

2.4. 내구성(Durability)

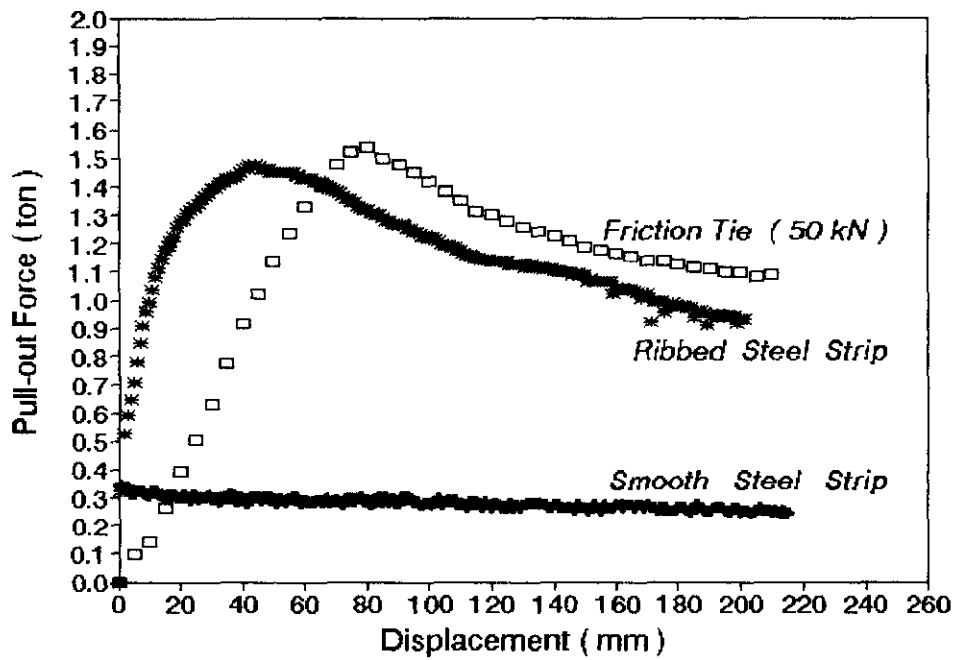
보강재는 그 사용목적을 달성하기 위해서 설계 내용년간 동안 그 보강재의 인장강도, 형상 등을 유지하고 변형이 허용범위 안에 있어야 한다. 특히 보강재는 흙 속에 설치되는 것이므로, 흙 속에 함유된 모든 화학성분에 대해서 충분한 내구성을 가져야 한다.

2.5. 경제성

보강토 옹벽은 기존 콘크리트 옹벽의 단점을 보완한 대체 구조물이므로 철근 콘크리트 옹벽보다 경제성이 있어야 하는 것은 당연하다. 그리고 보강재의 공급이 원활히 해야하며 취급, 관리, 운반, 시공 등이 편리하여야 한다.



a) Schlosser (1978)



b) 이엔에스 엔지니어링 (주) (1993)

[그림 2.] 인발 시험 결과

3. 보강재의 특성 검토

앞에서 보강재로서 갖추어야 할 조건에 대해서 알아 보았다. 지금부터는 현재 사용되고 있는 보강재들이 위의 조건들을 얼마나 만족하는지 그 특성들에 대해서 알아보려고 한다.

이번 검토에 사용된 재료는 철제 대상 보강재, 합성 섬유류(마찰 타이), 그리드형 보강재 (Tensar grid, SR80) 등이고, 형상 및 인장 강도는 다음 [표 1.]과 같다.

[표 1.] 검토에 이용된 재료의 형상 및 인장 강도

보 강 재	폭 b(mm)	두께 t(mm)	인장강도(파괴시)	비 고
돌기형 철제 대상 보강재 (NFA - 35501) ¹¹⁾	60	5	10737.65 kg/EA	높이 3 mm rib를 50 ~ 100 mm간격으로 부착
합성섬유 대상 보강재 (마찰타이 100 kN)	90	6	10622.00 kg/EA	폴리에스터 섬유에 폴리에틸렌 피복
그리드형 보강재 (Tensar SR 80) ^{8) 9)}	1000	rib 부분 : 1.4 junction 부분 : 3.6~3.9	8157.76 kg/m	폴리머 그리드

그리고 각 보강재의 설계에 이용되는 기준을 정리하면 [표 2.]와 같다.

[표 2.] 각 보강재의 설계 기준

보 강 재	F_r	F_f	허용 인장력	μ^*	γ	T	K	시공방법
돌기형 철제 대상 보강재 (NFA - 35501) ¹¹⁾	1.5	1.35	5981.27 kg/EA	0.7	2.0 t/m ³	1.839 t (0.75 m * 0.75 m)	0.271	수직간격 고정 (0.75 m) 수평간격 조절
합성섬유 대상 보강재 (마찰타이 100kN)	1.5	1.35	7081.33 kg/EA	0.543		2.439 t (0.75 m * 1.0 m)		
그리드형 보강재 (Tensar SR 80) ^{8) 9)}	1.5	1.35	2228.96 kg/m	0.9 ~ 1.0				

여기서 F_r 은 보강재 자체의 인장파괴에 대한 안전율이고

F_f 는 보강재와 흙 사이의 미끄러짐 파괴에 대한 안전율이다.

T 는 깊이 6 m에서의 보강재 한개 또는 단위 폭당 받는 힘이다.

μ^* 는 보강재와 흙과의 마찰 계수 이고

γ 는 흙과 보강재 혼합토의 단위중량, K는 토압계수 이다.

위의 세가지 보강재에 대해서 [표 2.]와 같은 각각의 설계 적용 기준에 따라 옹벽의 높이에 따른(6m, 8m, 10 m, 12m, 14m) 깊이 6 m 에서의 보강재의 길이 및 소요량을 비교하면 [표 3.]과 같다. 여기서 보강재와 뒤채움재의 혼합토에 대한 단위 중량을 2.0 t/m^3 으로 보고 뒤채움재의 내부 마찰각은 35° 로 보았다. (단, 편의상 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ concrete panel 사용시로 통일)

[표 3.] 옹벽 높이의 변화에 따른 각 보강재의 길이 변화 및 소요량

옹벽 높이		6	8	10	12	14	비 고
돌기형 철제 대상 보강재 (NFA-35501)	길 이	2.45	3.65	4.85	6.25	6.65	Sv = 0.75m Sh = 0.75m
	소 요 량	9.80	14.60	19.40	25.00	26.60	
합성 섬유 대상 보강재 (마찰타이100kN)	길 이	2.11	3.31	4.51	5.71	6.31	
	소 요 량	8.44	13.24	18.04	22.84	25.24	
그리드형 보강재 (Tensar SR 80)	수직간격	0.32	0.42	0.49	0.53	0.57	전폭 포설
	면 적	3.25	4.34	5.42	6.50	7.59	
	소 요 량	22.86	23.24	24.88	27.59	29.94	

단, "길이"는 깊이 $z = 6 \text{ m}$ 에서 필요한 보강재의 길이(m)이고,

"소요량"은 깊이 $z = 6 \text{ m}$ 에서 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ Panel에 소요되는 보강재의 량(m)이다.

또 Tensar Geogrid는 전폭을 포설하므로 길이(m)가 아닌 면적(m^2)으로 나타내었다.

3.1. 철제 대상 보강재

철제 대상 보강재는 최초의 보강재로서 그 기본 재료는 steel이며 인장강도 및 제품의 품질은 가장 신뢰성이 있다.

마찰력 유발면에서 평면 대상 보강재는 그 효과가 불과 얼마 되지 않으나, Schlosser 등의 연구 결과^{10) 11)}와 본사의 실험결과([그림 2.])에 의하면, 평판에 $50 \sim 125 \text{ mm}$ 간격으로 높이 3 mm 의 돌기를 둘 경우 마찰력유발 효과가 아주 양호한 것으로 나타났다. 다만 돌기가 없는 경우에는 최대 마찰 유발력이 발생하기 위해서 필요한 변위가 $1 \sim 5 \text{ mm}$ 정도로 작으나, 돌기를 둔 경우에는 상대적으로 큰 변위($40 \sim 50 \text{ mm}$)가 필요하다는 단점이 있다. 그러나 보강재 자체의 변형은 아주 미소한 량 뿐이다. ^{10) 11)}

철제 대상 보강재는 부식에 대한 문제가 있는데, 철제는 공기중에서 보다는 흙 속에서 더

잘 부식 된다. 그 이유는 흙 속에는 간극수 속에 산소, 염기성 물질 등 철제를 산화시키는 물질이 많이 포함되어 있기 때문이다. 이 문제에 대해서 프랑스 규정에는 부식에 대한 내구성을 지니게 하기위해서 철제의 표면에 아연으로 도금을 하도록 하고 있다.¹¹⁾ 또 도금을 한 경우라도 영구구조물의 내구년한 100년을 유지하기 위하여는 지하수위면에서는 1.5 mm, 지하수위면 아래에서는 2.0 mm, 그리고 해수인 경우에는 특별히 부식에 따른 두께를 따로 필요로 한다고 규정하고 있다.¹¹⁾

마지막으로 철제 보강재는 인장강도, 형상, 시공성 등 여러 방면에서 우수하지만 제조단가가 비싸고 또 재료의 효율면에서 부식 등에 의한 손실(약 30 % 정도)이 크기 때문에 경제성을 확보하기가 어려우며, 특히 국내생산은 수요량 미달로 현실적으로 불가능한 실정이다.

3.2. 합성섬유 보강재

합성 섬유 보강재는 현재 국내에서 생산 사용하고 있는 것으로서 “마찰타이”라고도 부른다. 마찰타이는 폴리에스터 섬유를 고밀도 폴리에틸렌으로 감싼 것으로서 이의 인장강도는 내부의 섬유질로 결정되고 외부의 폴리에틸렌 피복은 화학적 침해의 방지 및 섬유질을 보호하는 역할을 하며 타이의 외형을 형성 한다.

마찰타이의 인장 강도는 아주 양호하나 자체의 신장량이 약 11 %²⁾로서 큰 것이 단점이고 마찰유발효과 면에서는 폴리에틸렌 피복의 형상을 자유롭게 만들 수 있어 원하는 모양으로 만들어 마찰력을 크게 할 수 있다. 실험에 의하면 최대의 마찰력을 나타내기 위한 변위량이 비교적 큰 것으로 나타났다.

그러나 마찰 타이의 그 구성재료인 폴리에스터는 菌類(fungus)에 대해서 조금 약할 뿐 거의 모든 조건에 대해 적응력이 뛰어나고, 고밀도 폴리에틸렌은 모든 조건에 대해서 아주 뛰어난 내구성을 가지고 있다.^{1) 2) 5) 10)} 이런 특성 때문에 마찰타이는 耐生化學的 特性이 우수하며, 주위에서 흔히 볼 수 있는 쓰레기 더미나 오염 물질 내에서도 잘 부식되지 않는 강점이 있다. 또 마찰 타이는 연성이 크기 때문에 두루마리로 운반 할 수 있어 그 취급이 용이하며 시공성도 아주 좋다.

마찰 타이는 국내에서 제조·공급이 가능하고 그 운반과 취급이 용이하므로 경제성을 확보하기에는 아주 좋지만 제작상의 신뢰도가 낮고 신장율이 큰 것이 최대의 단점으로서 저신도사(底伸度絲)의 개발로 변형율을 줄여야 할 과제를 내포하고 있다. 또한 공업용 섬유를 전문적으로 생산할 국내 체제 및 시험규정이 미비하여 신뢰성 확보가 곤란하다.(특히 creep 현상에 대한 문제는 선진 외국에서도 아직 미해결의 연구 과제이다.)

3.3. 텐사 그리드(Tensar Grid)

텐사 그리드는 1970년대 후반에 영국의 네트론(Netron)사가 개발한 고강도 폴리머 그리드로서 각 종 토목 공사에서 널리 쓰이고 있다. 텐사 그리드는 기능면에서 인장보강기능(토사의 소성파괴 방지, 수평 전단 저항 강화, 기층의 강성 증대 등), 분리기능, 배수여과기능, 외에 상호 결속 기능으로 슬라이딩에 대한 저항이 강한 아주 좋은 재료이다.⁹⁾

텐사 그리드는 폴리에틸렌이나 폴리프로필렌을 압축한 쉬트를 세로 또는 가로와 세로 방향으로 인장시켜 만든다. 그래서 단위 면적당의 인장강도는 커지나 그 단면적이 작아서 전체적인 인장강도는 아주 약하다.([표 2.] 참조) 이는 전면적을 다 포설하더라도 토압에 대응하려면 수직 간격을 줄일 필요가 있다는 것을 의미한다.([표 3.] 참조)

텐사 그리드는 그 원료인 폴리프로필렌과 고밀도 폴리에틸렌의 특성 때문에 토양 중에 존재하는 산, 알칼리, 염 등의 침투에 의해서 변질 되지 않으며, 가솔린이나 디젤 용액, 미생물 등에 의한 영향을 받지 않는다.⁹⁾ 또한 자외선에 의한 영향을 거의 받지 않아서 식물에 의해서 묻히거나 덮혀질 때에는 그 수명이 무한하고, 햇볕에 노출된 경우라도 그들의 공학적인 특성은 몇 십년 동안 유지된다.⁹⁾ (creep의 영향은 전술한 섬유 보강재와 같음)

그러나 이들 텐사 그리드는 취급이 용이하고 시공성도 양호하나 국내에서 생산되지 않고 전량 외국에서 수입해야 하므로 경제성을 확보 하기는 곤란하다.

3.4. 각 보강재의 특성 비교

위에서 예로든 세 가지 보강재를 각각의 조건에 대해서 만족도를 비교해 보면 [표 4.]와 같이 정리할 수 있다. 보강토 응력의 파괴 유형에 맞추어 볼 때 보강재의 인장력과 마찰유발

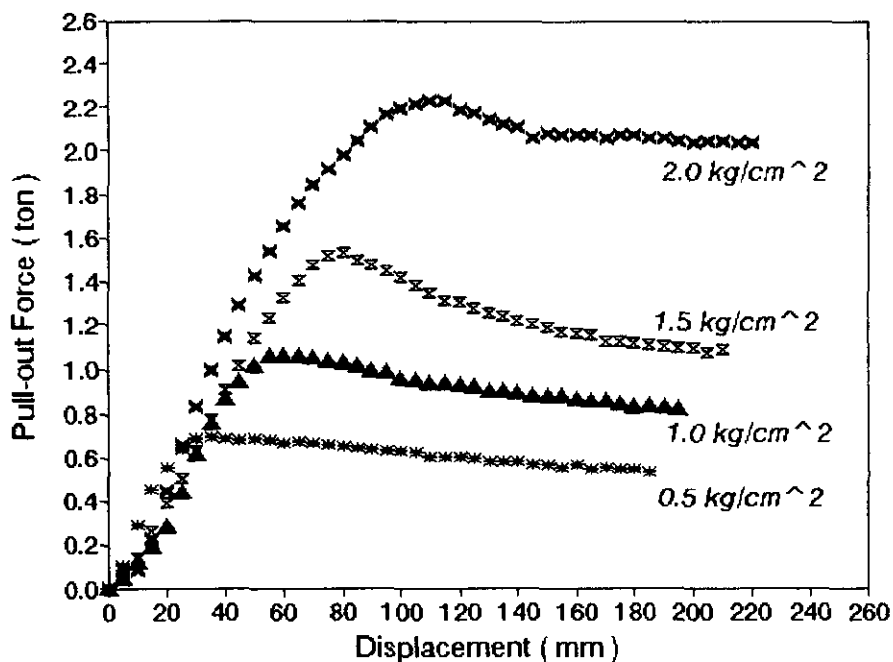
[표 4.] 각 보강재의 만족도

구분 \ 보강재	가중치	돌기형 철제 대상 보강재 (ribbed steel strip)	합성섬유 보강재 (마찰 타이)	그리드형 보강재 (Tensar SR80)
인장력	30	30	30	10
마찰 유발력	30	20	10	30
변형을	15	13	3	5
내구성	20	10	15	18
경제성	5	1	5	2
	100	74	63	65

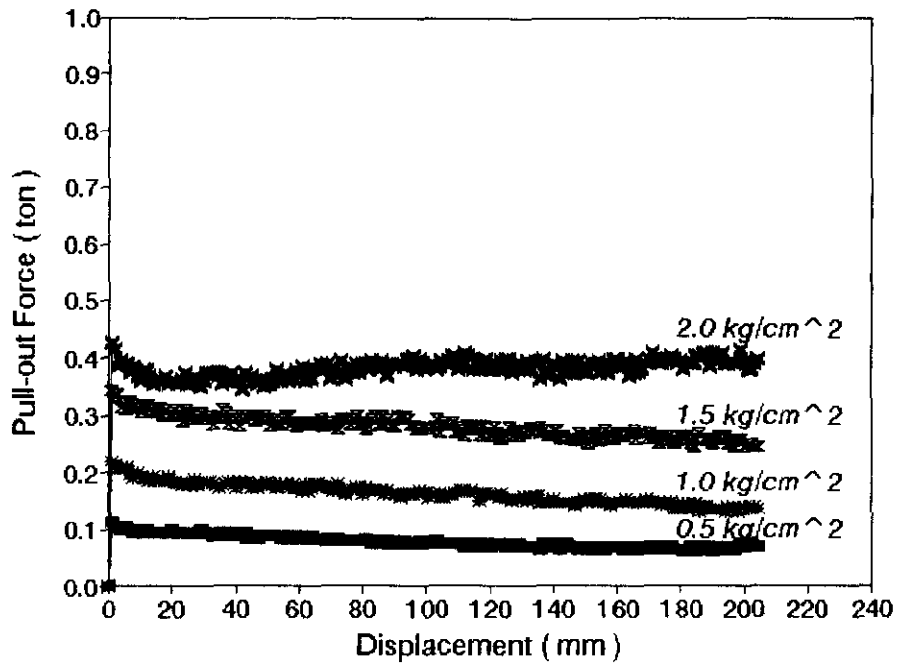
력이 보강토 응벽의 내적 안정을 유지하는 가장 큰 요인이므로 가장 많은 가중치를 주었다. 그리고 보강재는 흙 속에 묻히게 되는 것이므로 그에 대한 내구성이 커야 하므로 그 다음의 가중치를 주었다. 이 외에도 많은 요소들이 있으나 보강토 공법에서 가장 중요시하는 요인이 이들 다섯가지 이므로 여기에 대해서만 비교하였다. [표 4.]에 의하면 어떤 보강재도 모든 조건을 만족시키지는 못하고 있으며 그 만족도가 모두 70 %정도가 고작이다.

4. 인발시험

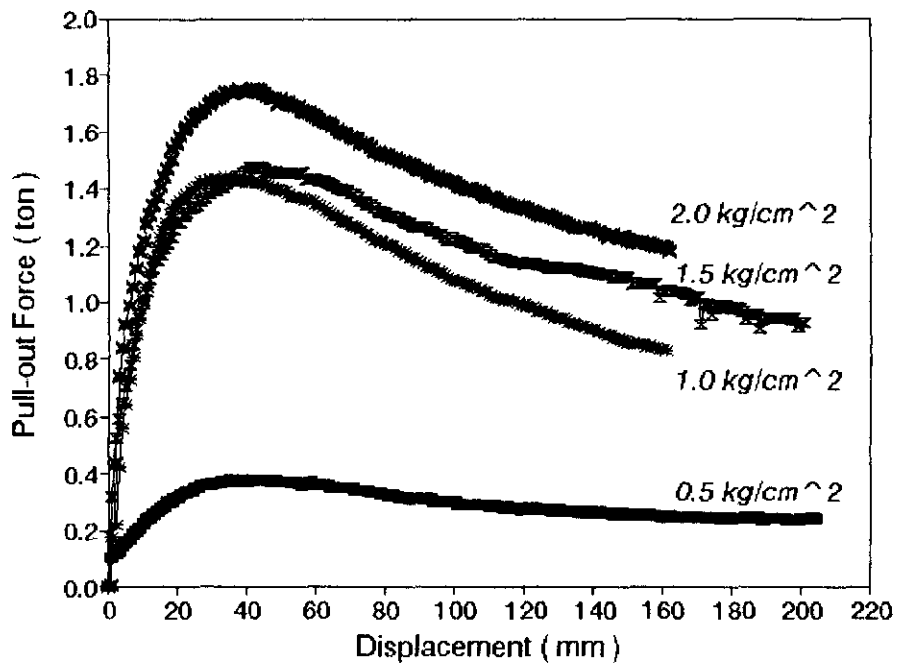
우리 이엔에스 엔지니어링 (주)에서는 현재 사용되고 있는 보강재의 특성을 알아보고 앞으로 더 좋은 보강재를 개발하고자 대형 인발시험기를 이용하여 여러 가지 보강재에 대하여 실험을 시행하고 있다. 앞의 [그림 2.]는 일반 철제 대상 보강재, 높이 3 mm의 돌기를 붙인 돌기형 철제 대상 보강재, 마찰타이(50 kN) 등에 대한 인발시험결과로서 상재압 1.5 kg/cm² 일 때를 나타낸 것이다. [그림 3.], [그림 4.], [그림 5.] 등은 각 보강재에 대한 인발 시험 결과 인발력과 변위와의 관계 그래프이다.



[그림 3.] 마찰 타이(50 kN)에 대한 인발시험 결과
(이엔에스 엔지니어링 (주) 1993)



[그림 4.] 일반 철제 대상 보강재에 대한 인발시험 결과
(이엔에스 엔지니어링 (주) 1993)



[그림 5.] 돌기형 철제 대상 보강재에 대한 인발시험 결과
(이엔에스 엔지니어링 (주) 1993)

이 시험에 사용된 채움재는 주문진 표준사로서 장기간 공기중에서 건조하였으며 이의 비중은 2.70, 내부마찰각은 약 32° 정도이고 통일분류법으로 분류시 SP에 해당한다. 이 시료는 낙하고를 일정하게 유지한 낙사법에 의하여 토조에 채워졌다. 그리고 시험에 사용된 보강재는 [표 1.]과 같고 다만 합성수지 보강재의 경우 100 kN이 아닌 50 kN을 사용했다. 또 이 시험 결과를 식 (2)에서의 겉보기 마찰계수(μ^*)를 각 상재하중별로 계산하여 그래프로 그리면 [그림 6.]과 같다.

[그림 6.]에서 Schlosser & Elias의 시험 결과([그림 6.] a)에서 μ^* 값이 이엔에스 엔지니어링 (주)의 실험 결과(μ^*)보다 훨씬 더 크다는 것을 알 수 있다. 이는 Schlosser & Elias는 실험에 채움재로서 사력(砂礫 : Gravel)을 사용했고 이엔에스 엔지니어링 (주)에서는 주문진 표준사를 사용했기 때문이라고 생각된다.

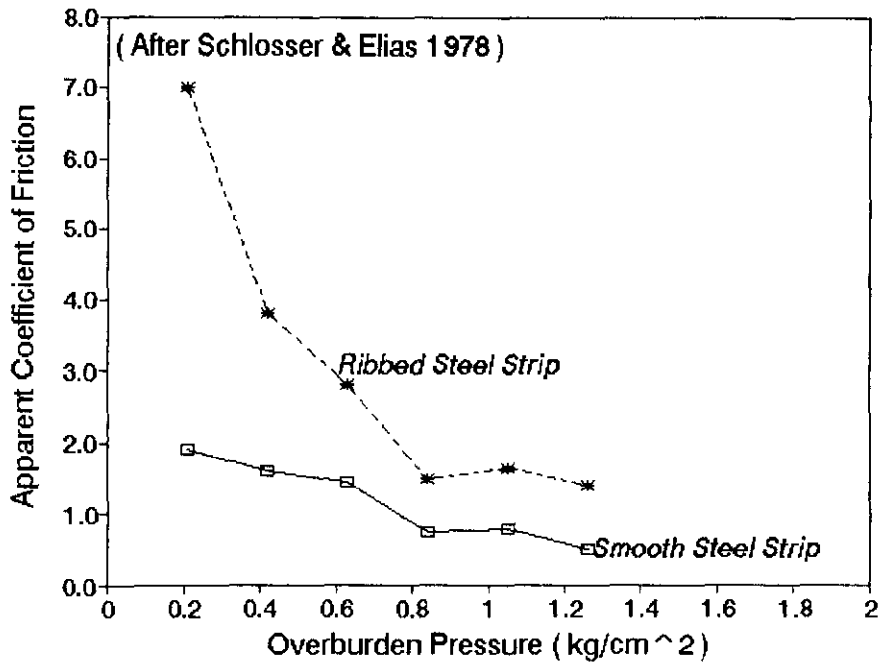
이들 시험 결과들을 종합해 보면 상재 하중이 커지면 인발저항력 또한 커지고, 돌기가 없는 경우 보다는 돌기가 있는 경우가 인발 저항력이 크다는 일반적인 이론을 확인할 수 있고, 또한 상재압이 커지면 겉보기 마찰계수(μ^*)의 값은 작아진다는 것도 확인 되었다. 이는 돌기형 철제 대상 보강재의 경우 수동지지저항으로 해석이 가능하고 상재하중의 증가에 따른 겉보기 마찰계수(μ^*)의 감소는 구속압력의 증가로 인한 다일레이턴시 효과의 감소로 설명이 가능하다.

그런데 [그림 6.]의 b)에서 돌기형 철제 대상보강재의 경우 수직응력이 0.5 kg/cm^2 일 때 겉보기 마찰계수(μ^*)의 값이 수직 응력이 1.0 kg/cm^2 인 경우 보다 아주 작게 나왔는데 이는 채움재가 둥글고 입경이 균등한 표준사이고 또 채움시에도 낙사법에 의해서 느슨하게 채워졌기 때문에 보강재에 돌기가 달려 있지만 다일레이턴시 효과가 발생하지 않았기 때문이라고 생각된다.

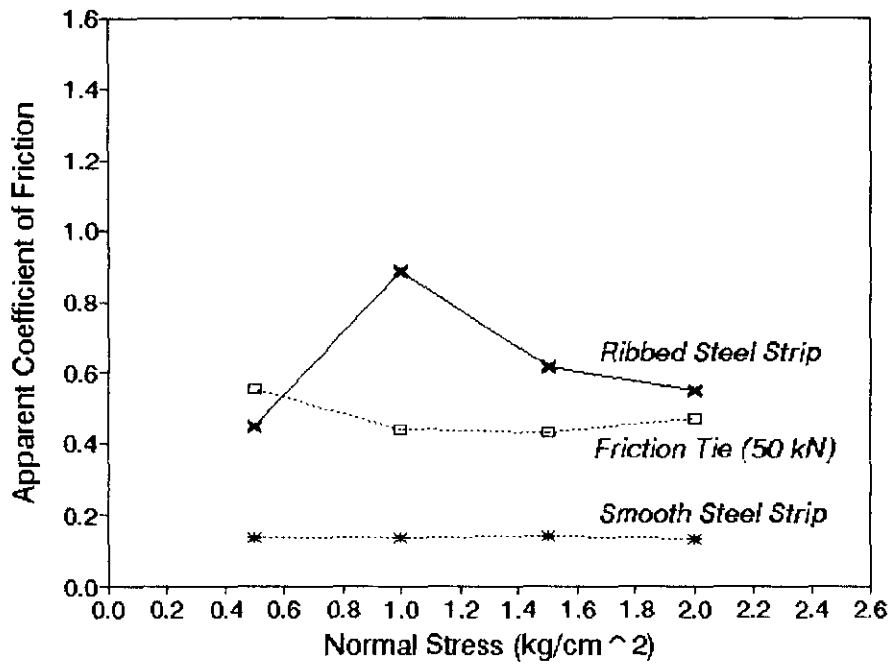
아직 Grid형에 대한 시험은 못하였으나 다른 여러 학자들의 연구에 의하면 Grid형의 경우 마찰력 보다는 수동지지 저항이 크므로 인발에 대한 저항이 현재 개발된 보강재 중에서는 가장 우수한 것으로 인정 받고 있다. 따라서 기존의 이론을 확인 발전시켜 가자면 이에 대한 계속적인 연구와 분석이 필요하며 국내 국산 모델의 출현도 가능하다고 판단된다.

5. 결 론

[표 3.]에서와 같이 어떤 보강재도 그 만족도가 불과 70 % 내외로 모든 조건을 만족시키지는 못하고 있다고 할 수 있다. 다만 만족도의 부분별 가중치 및 평가가 객관성이 있느냐 하는 이론(異論)이 있을 수 있으나 인장 강도와 변형율면에서는 철제가 가장 우수하고 마찰



a) Schlosser & Elias (1978)



b) 이엔에스 엔지니어링 (주) (1993)

[그림 6.] 상재하중과 겹보기 마찰계수와의 관계 그래프

력 유발면에서는 그리드 형이 가장 유리하며, 내구성 면에서는 철재 보다는 합성 수지 쪽이 유리하다는 것은 분명하다. 아무튼 모든 조건을 고려해 볼 때 아직까지 이론에 부합하는 이상적인 보강재는 개발 되지 않았다는 것은 분명하므로 이러한 보강재의 조건을 모두 만족시키는 보강재를 개발하는 것이 보강토 공법의 보다 발전을 위한 당면 과제라고 할 수 있다.

6. 참고 문헌

1. 도 덕 현 (1992), "보강토 구조물 - 이론 설계 및 시공", 탐구문화사. 서울, p.p. 25 ~ 85.
2. 박 판 암 (1987), "화학 섬유", 형설 출판사, 서울, p.p. 269 ~ 289, 365 ~ 373.
3. 한국 도로 공사 (1989), "보강토 공법", 서울
4. A. Cancelli, P. Rimoldi & S. Togni (1992), "Frictional Characteristics of Geogrids by Means of Direct Shear and Pull-out Tests", Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement Practice, Japan, p.p. 51 ~ 56
5. B. M. Das (1990), "Principles of Geotechnical Engineering", PWS-KENT Publishing Company, p.p.
6. Colin JFP Jones (1985), "Earth Reinforcement and Soil Structures", Butterworth Co. Ltd., London.
7. M. R. Hausmann (1990), "Engineering Principles of Ground Modification", McGraw-Hill Publishing Company, Singapore, p.p. 407 ~ 525.
8. Netlon Limited, "Guidelines for the design & construction of reinforced soil retaining walls using 'Tensar' geogrids"
9. Netlon Limited, "Tensar Geogrid in Civil Engineering - a guide to the products & their applications",
10. T. S. Ingold (1982), "Reinforced Earth", Thomas Telford Ltd., London, p.p. 55 ~ 122.
11. The Ministry of Transport (1980), "Reinforced Earth Structures - recommendation and rules of the art", Paris, p.p.107 ~ 108, 150 ~ 194.