

## 각종 지오텍스타일 보강재에 의한 보강점성토의 보강효과 비교 Reinforcement Effect Comparison of Reinforced Clayey Soil with Various Geotextile

송성원<sup>1)</sup>, Seong-Won Song, 이재열<sup>2)</sup>, Jae-Yeol Lee, 김유성<sup>3)</sup>, You-Seong Kim

<sup>1)</sup> 전북대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

<sup>2)</sup> 전북대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

<sup>3)</sup> 전북대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.

**SYNOPSIS** : Recently, research of reinforcement mechanism in a sense of soil mechanics has been under way by many researchers with developing various kinds of geotextiles. But it must be consider that reinforcement effect largely depends on used geotextile even if it is used on same in-site condition. As a matter of fact, it is not necessarily that reinforcement effect appears in all the case of reinforced soil construction. It means that appropriate geotextile coincided with the intention has to be selected and adequate examination is needed. In this study, reinforcement effect with various kinds of geotextiles are compared through a series of direct shear tests. Based on the test results, shear strength characteristics and reinforced effects are investigated quantitatively and qualitatively considering the confining stress, reinforcement characteristics and number of reinforcement.

**주요어(Key words)** : Reinforcing effect, Geotextiles, Spacing rate, Strength ratio

### 1. 서론

최근 화학섬유산업의 발달과 더불어 다양한 종류의 지오텍스타일의 개발과 보강메커니즘에 따른 토질 역학적 측면에서의 연구가 활발히 진행되어지고 있다. 그러나 지오텍스타일의 종류도 다종다양하므로 사용하는 지오텍스타일이 다르면 보강효과도 다르다는 것을 고려하지 않으면 안된다. 어떠한 지오텍스타일이라도 사용하면 반드시 보강효과가 있다고 할 수는 없다. 즉, 당연한 것이지만 사용목적에 맞게 재료를 선정할 필요가 있고, 재료선정에 있어서는 충분한 조사를 해야한다. 예를 들어, 지오텍스타일을 철근이나 금속재의 대체물로서 사용하는가 또는 종래의 금속재보강재에서는 적용할 수 없었던 장소에 사용하는 것인가 등에 대한 것들을 검토하는 것도 대단히 중요하다. 그러나, 아직까지도 보강재로 사용되어지는 지오텍스타일과 점성토 사이의 마찰특성 및 이들 보강재를 사용하여 점성토를 보강하는 경우의 전단특성, 토체내에서의 보강재의 변형특성 등은 명확하게 규명되고 있다고 할 수 없다. 본 연구에서는 보강재로서 현재 국내에서 생산되어지는 부직포(2종류), 직포 및 그리드 3종의 토목섬유로 보강된 점성토에 대하여 압밀비배수 직접전단시험을 수행하고, 그 결과를 토대로 무보강점성토에 대한 보강점성토의 전단특성 및 보강효과를 압밀구속압, 보강재의 종류, 보강재의 배치간격 등을 고려하여 조사하고 각각의 보강재 사용에 따른 보강효과를 정량적, 정성적으로 비교 검토하였다.

## 2. 전단시험방법 및 사용 재료

보강점성토의 보강효과를 조사하기 위하여 각형의 직접전단 상자(폭30cm×길이 30cm×높이 15cm)를 이용 압밀비배수 전단 시험을 2.0mm/min의 전단속도로 변형률제어방식으로 행하였다. 전단상자내의 점성토의 다짐은 다짐시험결과를 근거로 하여 최대건조밀도와 유사한 밀도가 확보되도록 다짐하였고, 1층 보강점성토에 대한 시험에서는 보강재를 전단면에 대하여 연직으로 중앙에 배치하였으며, 1층 이상의 보강시에는 보강재를 등간격으로 배치하였다.

사용된 점성토에 대한 기본적 실내시험의 결과를 표1에 요약하였으며 그림1은 점성토의 입도분석 결과이다. 또한 표2에 점성토의 보강재로서 사용된 지오텍스타일에 대한 특성을 요약하였다.

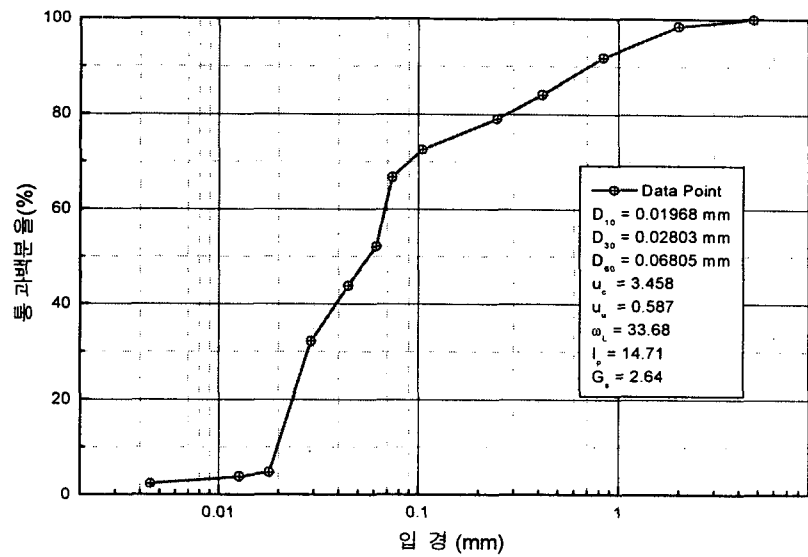


그림 1. 점성토의 입도분포

표 1. 점성토의 기본적 시험결과

콘시스턴시	액성한계 LL(%)		소성한계 PL(%)		소성지수 PI		비 중	
		29.30		21.20		8.10		2.63
입도분석	$D_{10}$ (mm)	$D_{30}$ (mm)	$D_{60}$ (mm)		균등계수 $C_u$	곡률계수 $C_c$	통일분류	
	0.020	0.028	0.068		3.458	0.587	CL	
다 짐	최대건조단위중량 $\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )				최적함수비 $\omega_{opt}$ (%)			
	1.867				14.7			

표 2. 지오텍스타일 보강재의 특성

특 성	보 강 재		부 직 포		직 포	그 리 드
	P520	P570	P520	P570		
인 장 강 도 (kg/in)	60	204	127	198		
투 수 계 수 (cm/sec)	$\alpha \times 10^{-1}$ ( $\alpha = 1 \sim 9$ )		$1.1 \times 10^{-2}$			불투수성
중 량 (g/m <sup>2</sup> )	200	700	171.3	-		

## 3. 전단시험 결과분석

### 3.1 시험조건 및 시험 전후의 함수비 및 다짐도

표3은 시험조건, 시험전후의 함수비 및 요약한 것으로, 대부분의 시험에서 함수비는 최적함수비 보다 약간 습윤측으로 하였으며 다짐도는 거의 유사하게 100%가 유지되어 시험의 조건은 양호하였다.

표 3. 시험 조건

보 강	구속압, (kg/cm <sup>2</sup> )	보강층수	함수비, w(%)		단위중량, (t/m <sup>3</sup> )		다짐도
			시험전	시험후	습윤	건조	
무보강점성토	0.7	0	16.70	16.11	2.084	1.786	99.2
	1.6	0	16.60	15.82	2.099	1.800	100
	2.8	0	16.93	15.84	2.081	1.776	98.7
	2.8	0(×)	14.00	13.98	2.035	1.785	99.2
	3.2	0	16.77	15.10	2.096	1.795	99.7
부직포보강 점성토	0.7	1(P520)	16.72	15.50	2.079	1.781	98.9
	1.6	"	16.56	15.86	2.111	1.811	100.6
	2.8	"	16.56	15.34	2.089	1.800	100
	3.2	"	16.97	15.31	2.081	1.780	98.9
	2.8	2(P520)	16.67	15.32	2.074	1.785	99.2
	2.8	3(P520)	16.61	15.19	2.104	1.807	100.4
	2.8	3(P570)	16.70	15.98	2.074	1.777	98.7
직포보강 점성토	0.7	1	16.73	15.85	2.080	1.782	99
	1.6	1	16.70	15.89	2.074	1.777	98.7
	2.8	1	17.00	15.67	2.071	1.767	98.2
	3.2	1	16.78	15.99	2.078	1.779	98.8
	2.8	2	16.80	14.99	2.089	1.788	99.3
	2.8	3	16.61	14.79	2.104	1.804	100.2
그리드보강 점성토	0.7	1	16.45	16.42	2.069	1.777	98.7
	1.6	1	16.69	16.36	2.079	1.782	99
	2.8	1	16.73	15.65	2.081	1.783	99.1
	3.2	1	16.72	15.66	2.048	1.754	97.4
	2.8	2	16.69	15.95	2.104	1.803	100.2
	2.8	3	16.69	15.88	2.089	1.790	99.4
	2.8	3(×)	14.34	14.52	2.060	1.802	100.1
	2.8	4	16.84	15.53	2.077	1.778	98.8

(×)표는 최적함수비로 조정된 시험

### 3.2 무보강 점성토의 $c$ , $\phi$

압밀구속압 0.7~3.2 kg/cm<sup>2</sup> 하에서 수행된 무보강점성토의 전단시험결과는 표4와 같다.

표 4. 무보강점성토의 시험결과

구속압 $\sigma_v$ (kg/cm <sup>2</sup> )	전단강도 $\tau_f$ (kg/cm <sup>2</sup> )	파괴시 수평변위 D (mm)	파괴시 연직변위 $\Delta h$ (mm)	강도파라미터	
				점착력, $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	내부마찰각, $\phi$ (°)
0.7	0.651	25.4	0.860	0.385	24.5°
1.6	1.215	23.0	0.061		
2.8	1.573	26.0	0.815		
3.2	1.874	30.0	1.127		

### 3.3 보강점성토의 보강효과

### 3.3.1 구속압에 따른 보강효과

무보강점성토에 대한 보강점성토의 보강효과를 조사하기 위하여 부직포(P520), 직포, 그리드를 1층으로 전단면에 연직으로 보강한 점성토에 대하여 동일조건하에서 전단시험을 수행하였다. 그림2는 무보강점성토 및 보강점성토에 대한 연직구속압에 따른 전단강도의 변화를 나타낸 것으로 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

- 1) 점착력은 약간 증가하고 있으나, 내부마찰각의 변화는 미소하다.
- 2) 시험의 결과를 강도비, R(보강점성토의 전단강도/무보강점성토의 전단강도)로서 요약하면 P520 부직포보강재의 경우 0.98~1.16, 직포보강재의 경우 1.05~1.10, 그리드보강재의 경우 0.99~1.22의 범위로 나타나고 있어, 보강재의 강도만을 고려할 경우 그리드보강재가 상대적으로 낮은 보강효과를 보인다.

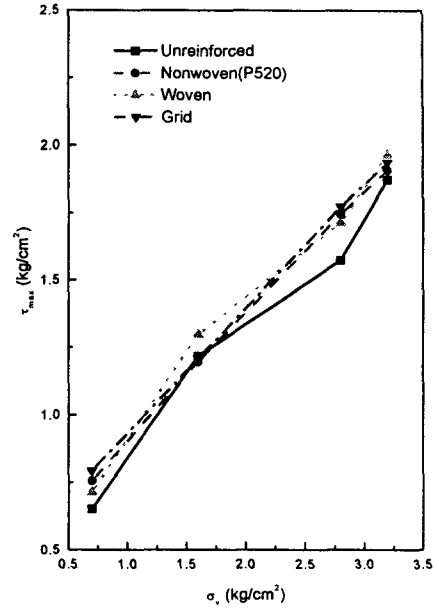


그림 2. 구속압에 따른 전단강도 변화

### 3.3.2 보강재 강성에 따른 보강효과

보강재의 강성에 따른 보강효과를 조사하기 위하여 P520(인장강도=60kg/in)과 P570(인장강도=204kg/in)의 부직포보강재를 이용하여 보강층수 1~4층의 전단시험을 수행하였다. 모든 시험에서 압밀 구속압은 2.8kg/cm²로 일정하게 유지하였으며 그림 3(a)~(d)는 그 결과로서 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

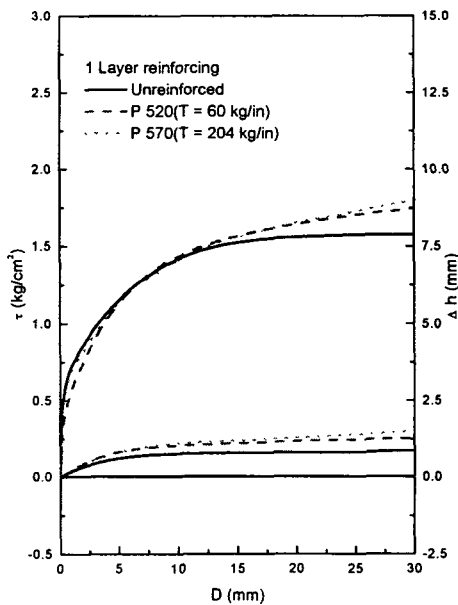


그림 3(a). 부직포 1층 보강

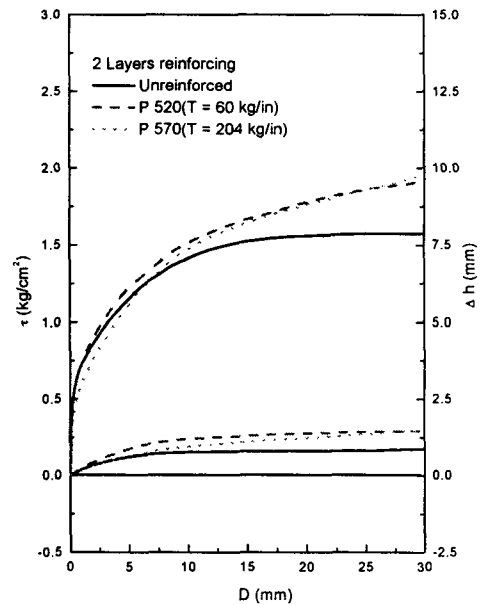


그림 3(b). 부직포 2층 보강

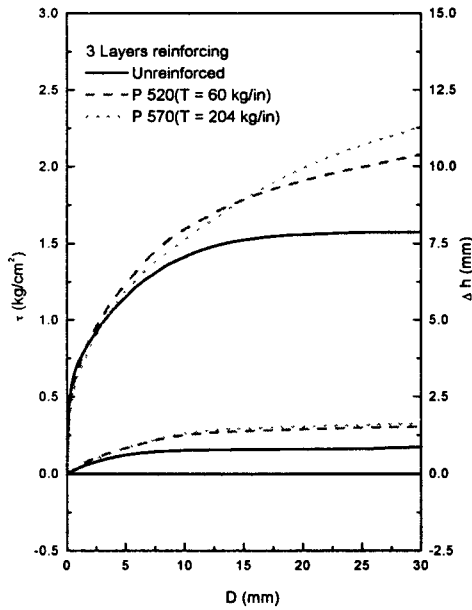


그림 3(c). 부직포 3층 보강

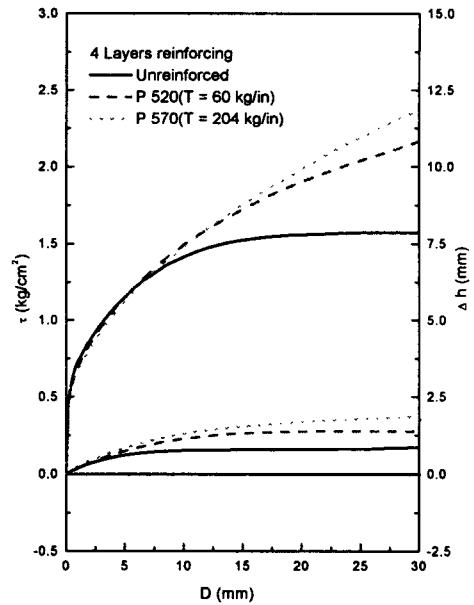


그림 3(d). 부직포 4층 보강

- 1) 1~2층으로 보강한 경우 간격비가 상대적으로 커 보강재의 강성에 따른 보강효과의 차이는 비교적 작게 나타나고 있으나, 3~4층으로 보강한 경우, 보강재의 간격비가 작아짐에 따라 보강재의 인장강성에 따른 보강효과의 차이가 명확하게 드러난다.
- 2) 약 5%의 수평변형까지는 거의 유사한 응력~변위관계를 보이거나 그 이후 변위가 증가함에 따라 보강재의 인장강성이 클수록 전단응력의 증가경향이 크다

### 3.3.3 보강재 특성에 따른 보강효과

보강재의 특성에 따른 보강효과를 조사하기 위하여 면상(부직포, 직포) 및 격자상(그리드)의 보강재를 이용한 보강점성토의 전단시험을 행하였다. 시험의 조건은 압밀구속압을  $2.8\text{kg/cm}^2$ 로 일정하게 유지하고 보강층수는 1~4층으로 하였다. 그림 4(a),(b)는 그 결과를 강도비(R, 보강토의 전단응력/무보강토의 전단응력)와 보강층수(N) 및 간격비(e, 보강재 간격/전단상자의 내부길이)관계로 나타낸 것이며, 그림에서 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

- 1) 그림 4(a)에서 보강층수의 증가에 따라 각 보강재 공히 거의 직선적인 증가추세를 보이거나, 약간 감소 경향을 나타내고 있다. 그 감소추세는 그리드의 경우가 타 보강재에 비하여 현저하다.
- 2) 1, 2층 보강시에는 각 보강재의 차이에 따른 강도비의 차이가 그다지 명확하지 않으나 보강층수의 증가에 따라 보강재 종류간 보강효과의 차이가 두드러지게 나타나고 있다.
- 3) 2층의 부직포보강재에서는 인장강도 및 강성이 클수록 보강효과가 크게 나타나고 있으며, 인장강성이 큰 그리드의 경우 보강효과는 상대적으로 작다.
- 4) 그림 4(b)에서 보강재의 간격비가 감소함에 따라 보강효과는 비선형적으로 급증한다. 그것은 보강재의 간격이 상대적으로 작아짐에 따라서 인접 점성토 구속효과가 증대하기 때문인 것으로 판단된다.

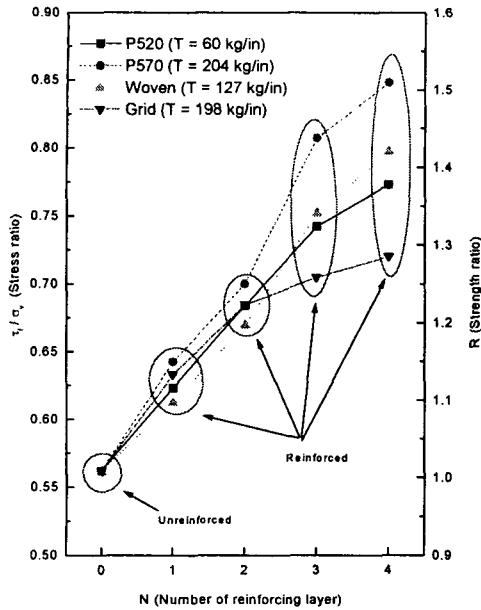


그림 4(a). 보강층수에 따른 보강효과

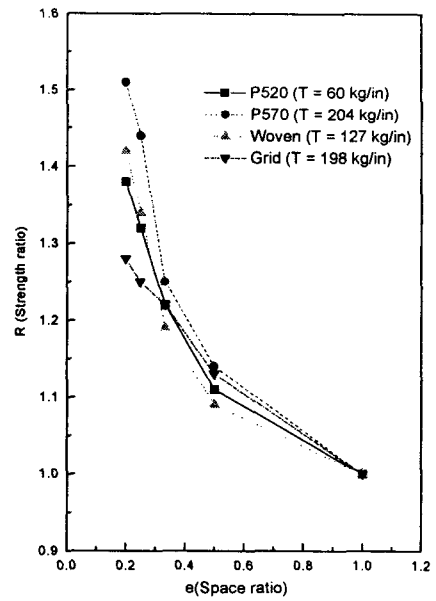


그림 4(b). 간격비에 따른 보강효과

일반적으로 보강재를 삽입하거나 부설하여 유발되는 보강토의 보강효과는 다음의 2가지로 나누어 평가할 수 있다.

- 1) 흙과 보강재로 이루어진 단위 보강층에서의 보강효과 :  $R_1 = f(I, D)$  (1)
- 2) 단위 보강층의 집합체로서의 보강토체로서의 보강효과 :  $R_2 = g(\Sigma I_i, \Sigma \beta_i \cdot D_i)$  (2)

(1)식에서  $I$ 는 구속응력이 증가되지 않는 상태하에서의 보강재 상호간의 상호작용효과를,  $D$ 는 구속응력의 변화에 따른 효과를 나타낸다. (2)식에서  $\Sigma \beta_i \cdot D_i$ 는 일개층의 보강재가 타층 보강재의 영향으로 상승구속효과(단, 일정층수 이상에서는 중첩효과로 인해 감소하는 경향을 보인다.)를 나타낸다. 그러나 점성토 보강의 경우 위와 같은 구속효과와 상쇄되는 부정적 효과가 나타날 수 있는데 간극수압의 발생으로 인한 부의 구속효과로 표현할 수 있다. 즉, 식(2)는 아래의 (3)식으로 표현이 가능하다.

$$R_3 = h(\Sigma I_i, \Sigma \beta_i \cdot D_i, -\Sigma \alpha_i \cdot D_i) \quad (3)$$

만약 식(3)에서의 +구속효과와 -구속효과가 서로 상쇄된다면 복수층으로 구성된 보강점성토의 보강효과는 보강층수의 증가에 따라 직선적으로 증가하는 것으로 된다.

복수층의 보강재에 대하여는 식(4)로 나타낼 수 있다(김유성, 이재열 1998, 송성원 1999).

$$\tau_{ext} = \frac{\Sigma P_{Ri} \cdot \sin \theta_i}{\Sigma A_s} + \frac{\Sigma P_{Ri} \cdot \cos \theta_i}{\Sigma A_s} \cdot \tan \phi \quad (4)$$

$\phi = 25^\circ$  일 경우의  $\tau_{ext}$ 를 계산한 값과 실험치와 비교한 것이 그림5이다. 그림으로부터 각각의 보강

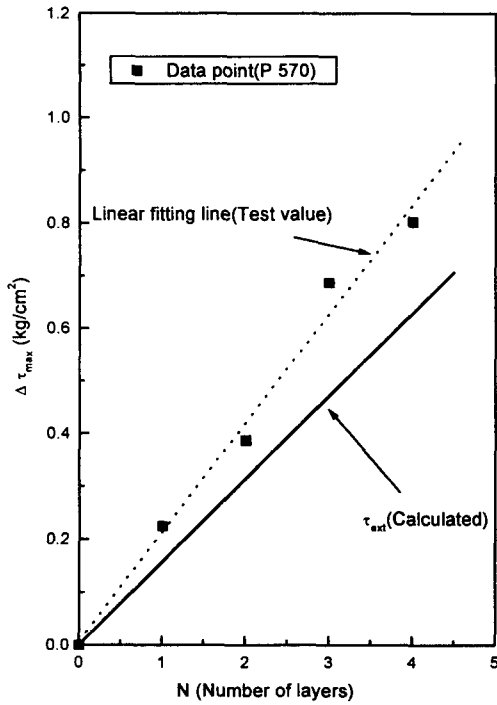


그림 5(a). 이론적 계산값과 실험값의 비교(부직포)

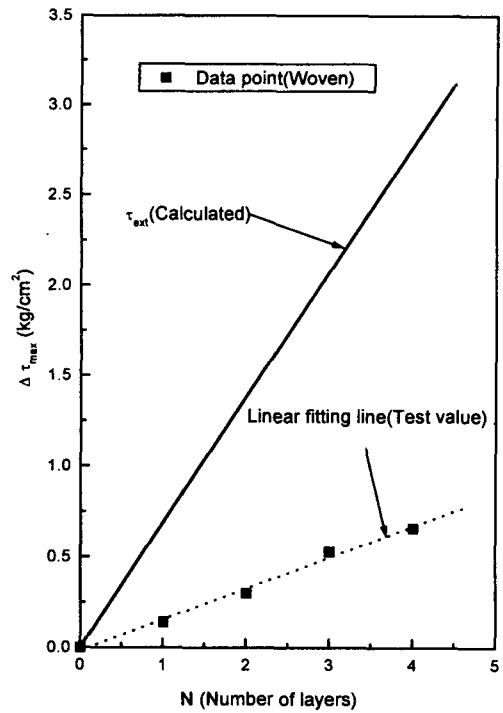


그림 5(b). 이론적 계산값과 실험값의 비교(직포)

재에 대한 +보강효과와 -보강효과와 정성적인 비교는 가능하다. 즉, 그림5(a)의 부직포의 경우 추가적인 +보강효과가 -보강효과보다 크게 나타남을 볼 수 있는 반면, 그림5(b), (c)의 직포와 그리드의 경우는 -보강효과가 +보강효과보다 훨씬 크게되어 결과적으로 인장강도가 크다고 하더라도 인장강도가 작은 부직포에 비해 보강효과가 크게 감소한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 점성토보강의 경우 보강재의 강성과 강도가 보강효과를 유발하는 유일한 주요 요인이 아닌 것은 명백하다고 할 수 있고, 특히 함수비가 큰 현장발생 점성토를 유용하여 보강토공법에 의한 보강토벽을 구축하고자 하는 경우 성토중 및 완성후 하중에 의한 간극수압이 발생할 가능성이 높으므로 강성이 크고 투수성이 큰 평면상의 보강재를 사용하는 것이 유리하다고 결론지을 수 있다.

#### 4. 결론

무보강점성토 및 3종의 지오텍스타일 보강점성토에 대한 전단시험의 비교 분석결과는 다음과 같다.

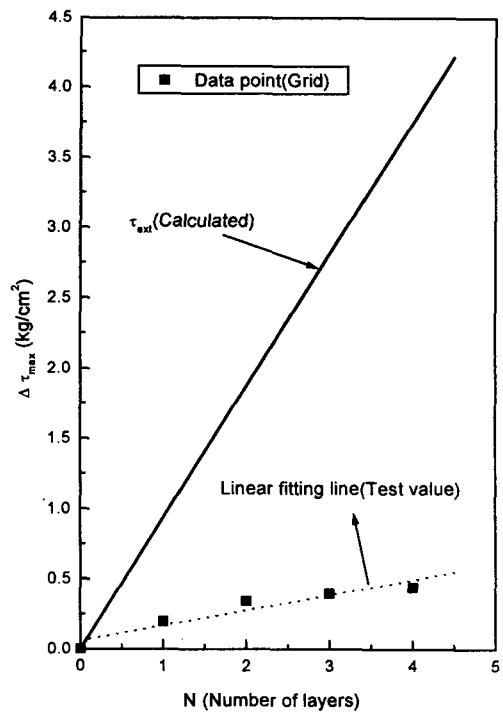


그림 5(c). 이론적 계산값과 실험값의 비교(그리드)

- (1) 압밀구속압의 증가에 따라 무보강점성토 및 각각의 보강재로 보강된 점성토 공히 전단응력의 증가를 보이며, 보강점성토의 강도파라메타의 증가는 점착력 성분의 증가로 나타나고, 마찰성분의 증가는 미소한 것으로 조사되었다.
- (2) 보강층수의 증가에 따라 보강재에 의한 토체의 구속력이 커지게 되어 층수에 비례하여 전단응력이 증가함을 보이나, 각 보강재의 특성에 따라 전단응력의 증가경향은 크게 다르다. 다만, 그러한 보강효과는 어느 간격비 이하에서는 오히려 증가경향이 둔화한다.
- (3) 동종의 보강재를 사용한 경우 보다 큰 인장강도를 갖는 보강재를 사용한 경우가 토체의 변형을 보다 억제하여 더 큰 보강효과를 기대할 수 있다.
- (4) 격자상의 그리드보강재 및 배수기능이 상대적으로 작은 면상의 보강재를 사용시 배수기능의 면상의 보강재에 비하여 상대적으로 부의 보강효과가 크게되어 보강효과가 두드러지게 저하한다.
- (5) 이상과 같은 결과로부터 점성토의 보강에는 그리드나 직포 보다는 부직포보강재와 같은 면상의 보강재 또는 이들 보강재를 조합한 복합보강재를 이용하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김유성, 이재열(1998), “부직포 보강 점성토의 보강효과에 관한 기초적 연구”, 한국지반공학회지, 제 14권, 제 4호, pp.61~75.
2. 송성원(1999), “토목섬유보강 점성토의 보강효과에 관한 연구”, 전북대학교 석사학위논문.
3. Jewell, R. A. and Wroth, C. P.(1987), “Direct shear tests on reinforced sand”, Geot. Vol.37, No.3, ASTM, Philadelphia, pp.112~119.