

## 대형직접전단시험에 의한 뿌리말뚝의 거동 및 보강효과

한중근<sup>1)</sup> · 장신남<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 대림대학 토목과

### Reinforcing Effect and Behaviors of Root-Pile in Heavy-Duty Direct Shear Test

**Han Jung-Geun<sup>1)</sup> and Jang Sin-Nam<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Dept. of Civil Engineering Daelim College

#### ABSTRACT

In recently, using of steel reinforcements by reinforcing materials of the reinforced earth, micro-pile and root-pile etc., is wide-spreading in the stabilizing control of cutting and embankment slopes, but the failure mechanism of reinforced earth as well as the effect of insert angles or types of reinforcement and others are not defined clearly. In this study, therefore heavy-duty direct shear tests were exercised on the reinforced soil and the non-reinforced soil, which was executed for research on the interaction of soil-reinforcement and theirs behavior. The hardness and softness and the standard sands were used for modeling of reinforced soil, the material constants for the computer simulation were estimated from the results of CD-Test.

The effects of reinforcing and of friction increasing on the softness, area ratio of reinforcements is equal, were the better than them of the hardness, as well the reinforcing effects of shear strength without regard to the area ratio is much the same at 10°, insert angle of reinforced bar, differ from them of the existing study. Then, the results of numerical analysis showed that the behavior of reinforcements displayed bending resistance and shear resistance at 15° and 30°, respectively. Also, the state of strain transfer was observed and the behavior of resistance mechanism on reinforcements presented almost the same them of landslides stabilizing pile.

Key words : *root-pile, heavy-duty direct shear test, stabilizing pile, reinforcement*

#### I. 서 론

택지조성이나 고속철도, 고속도로 등을 건설하는 경우 발생하는 절토 및 성토사면 등에 지

반보강을 위하여 지반에 지오그리드, 지오텍스 타일, 로드, 강그리드 등 플라스틱, 철근 및 섬유재와 같은 인장강성을 이용한 재료를 삽입함으로써 지반의 강도를 증진시키는 보강토공법

의 적용사례가 증가되고 있다(Palmeir etc., 1989). 이러한 보강재들은 과거에는 흙 속에 갈대, 밀짚 등을 부설하는 등 경험적인 사용의 틀을 벗어나지 못하였다. 그러나, 나무뿌리는 지반과 강하게 부착되어 지반 및 사면활동의 안정개선에 기여하고 있음은 잘 알려져 있다.

따라서, 나무뿌리역할을 할 수 있는 보강재를 지반속에 삽입하여 지반을 일체화시키므로서 불안정한 자연사면이나 절토 및 성토사면을 안정화시킬수 있다. 특히, 뿌리말뚝을 활동사면에 설치하는 경우 보강재에 대한 보강효과와 파괴발생기구등의 연구는 역지말뚝, 마이크로파일 등의 연구를 포함하여 아직 미흡한 실정이라 할 수 있다(Juran, 1988; 김영신, 1991; 오영석, 1992).

본 연구에서는 활동사면에 뿌리말뚝과 같은 보강재를 설치하여 활동에 저항하고자 할 때 가상활동면과 만나는 보강재의 설치각도 및 종류에 따른 보강효과 및 파괴메카니즘 등을 규명하기 위하여 실내대형직접전단시험을 실시하였다. 또한, 실제 현장에서는 지반의 다양성에 따라 그 거동이 다를 수 있으므로 보강재 설치 지반의 객관성을 높이기 위해 사질토지반을 실험대상으로 선정하였다.

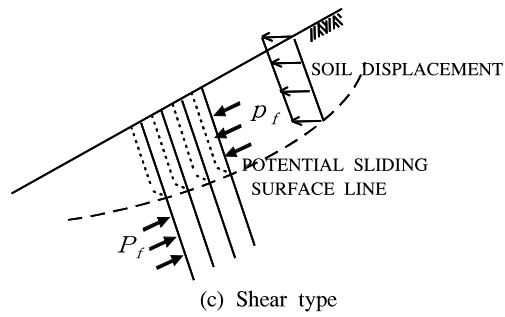


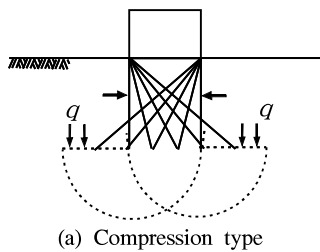
Figure 1. Variable types of reinforced bar

## II. 보강재의 보강메카니즘

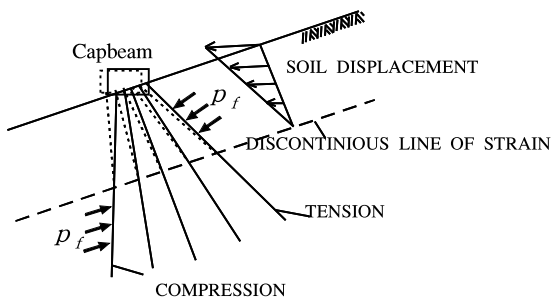
뿌리말뚝이 활동사면에 설치되는 경우 보강재의 성질은 그림 1에서 보는 바와 같이 휨보강재, 전단보강재, 압축보강재로 구분할 수 있으며 활동영역은 보강재의 일체화된 영역으로 작용할 수 있게 된다. 이때 보강재의 강도증분에 대한 이론은 Mohr-Coulomb의 파괴이론이 적용될 수 있다. 보강된 흙의 요소에 하중이 작용하면 보강재에 인장을 유발하고, 이것은 토체에 수평 압축응력으로 작용하게 된다. 이때 발생한 응력  $\Delta\sigma_3$ 는 외적으로 구속응력과 같은 역할을 하게 되고  $\Delta\sigma_3 + \sigma_3 > \sigma_1 K_a$ 로 되어 파괴응력이 증가하게 된다. 따라서, 보강재와 흙 사이에 발생하는 마찰력에 의하여 횡방향 구속응력이 증가하므로 활동지반과 보강재는 서로 영향을 미치게 되어 보강효과를 발휘하게 된다.

### 1. 보강재의 보강효과

뿌리말뚝(Root-pile)은 기존 구조물의 기초를 보수·보강하거나 강화시키는 목적으로 사용되며 뿌리말뚝의 지지력감소 및 부마찰력 문제를 최소화시킬 수 있다. 또한 시공의 간편성, 경제성, 그리고 시공성 등에 기인한 교량하부공의 보수나 사면활동 방지목적으로도 사용되고 있다. 그러나, 현장조건에 맞추어 여러 가지로 변형적용 되고 있지만 이에 대한 역학적구조는 아직 불명확하다 할 수 있다(한중근, 1997). 뿐만 아니라 무리효과, 배치, 간격, 그리고 경사각 등에 관한 기준의 설정도 없으며 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서, 지름이 작고 휨강



(a) Compression type



(b) Bending type

성을 갖는 뿌리말뚝을 이용하여 지반활동에 저항하는 역지기능을 다루기 위하여는 그림 2와 같이 변형률 불연속면에 대한 전단보강재, 변위 불연속면에 대한 전단보강재의 역할로 구분 가능하다. 즉, 가상활동면 상하부의 활동블록과 저항블록의 거동은 보강재의 거동에 영향을 미치며 사면안정에도 영향을 미친다 할 것이다 (Jewell, 1987, 日本土質工學會, 1983)

또한, 보강재가 설치된 지반에서 보강재의 거동은 보강재가 설치된 전체지반의 활동에 대한 안정에 커다란 영향을 미치게 된다. 특히, 보강재가 그림 1(b), 1(c)와 같이 설치되는 경우, 보강재는 인발 및 인장하중을 받게된다. 이때 보강재가 설치된 지반-보강재의 거동은 인발과괴와 인장과괴가 발생할 수 있다. 그러나, 그림 2과 같이 임계과괴면이 결정된 경우, 보강재가 설치되는 상태는 인장과괴만을 고려할 수 있으므로 본 연구에서는 이에 대하여만 고려하게 되므로 지반과 보강재의 일체화된 거동을 고려할 필요가 있다(Matsui etc., 1996)

따라서, 인장과괴에 보강재의 역할은 보강재 자신의 역학적 거동과 주위지반과 관련한 거동으로 구분될 수 있게 된다. 그러므로, 보강재의 지지저항은 보강재가 부담하는 응력에 따라 그 지지저항 메카니즘을 적용하게 된다.

2. 직접전단시험에 의한 보강재의 보강효과

직접전단시험에 의한 보강재의 보강효과는 모래의 전단강도시험에 의하여 비교·연구되어 왔다. Jewell(1987)은 보강재의 배치방법에 따라 보강효과에 미치는 영향을 연구하였다(그림 3 참조). 또한, 보강재 삽입각도가 30°에서 최대 효과를 보이며 Mohr의 변형률에서 최소주변형률의 방향과 일치하였을 때 인장보강재로서 보강효과가 크고 신장도 압축도 없는 방향인 0신장방향에 보강재를 일치시켰을 때 보강효과가 거의 나타나지 않는다고 하였다. Palmeira (1989)는 대형전단시험에서 전단중 응력분포를 측정 한 결과 보강재가 최소주변형률의 방향과 일치할 때 보강효과가 가장 크며 신장도 수축도 없는 방향에서는 보강효과가 없다고 하였다. 또한, Tatsuoka는 모래지반의 보강효과는 보강재 개수에 대하여 일정한계까지 비례한다고 하였다. 즉, 보강재의 보강효과는 입도분포, 입자형태 등 지반요소와 보강재의 길이 직경, 인장강도, 탄성계수, 마찰계수 등의 내적요소와 다짐도 등 복합요소 등에 영향을 받음을 알 수 있다.

뿌리말뚝을 이용하여 사면의 가상활동을 억지하고자 하는 경우 보강되는 보강재는 어느정

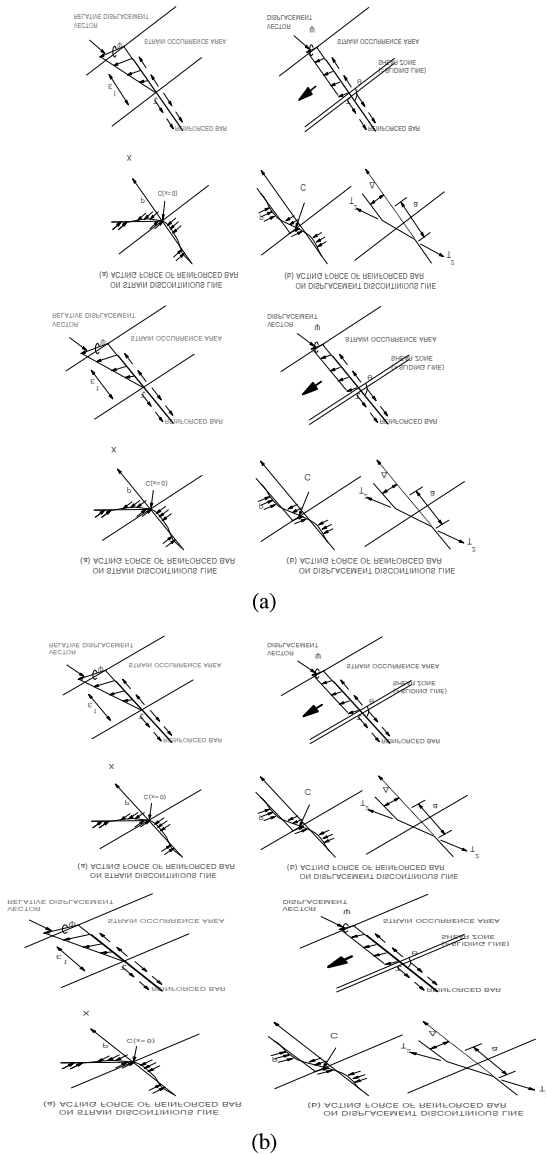


Figure 2. The acting force of reinforced bar at strain occurrence area

도 강성을 갖고 있어야 하며 그림 2에서 보는 바와 같이 보강재 설치상태에 따라 인장보강재, 압축보강재, 전단보강재로 작용하며 일체거동을 하게 된다. 따라서, 뿌리말뚝의 거동은 사면활동을 위한 보강대책의 하나인 억지말뚝의 보강메카니즘이 적용가능하며 그림 1에서와 같은 저항기구를 갖게 된다.

한편, 억지말뚝, 소구경말뚝 혹은 뿌리말뚝에 대한 사면활동억지효과는 현장실험 등의 적용 사례가 다수 보고된 바 있다(홍원표 등, 1995; 한중근, 1997). 그러나, 파괴발생기구(휨과파괴나 전단파괴)에 대하여는 확실히 규명되어 있지 못하다

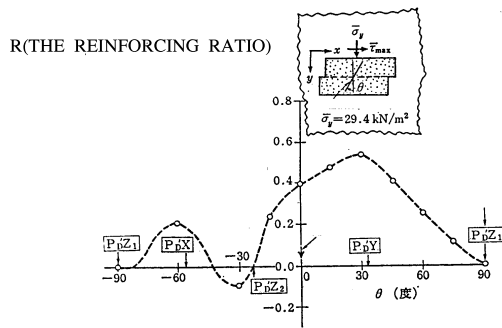


Figure 3. The relationship of reinforcing effect and insert angle on he reinforced bar by direct shear test(Jewell, 1987)

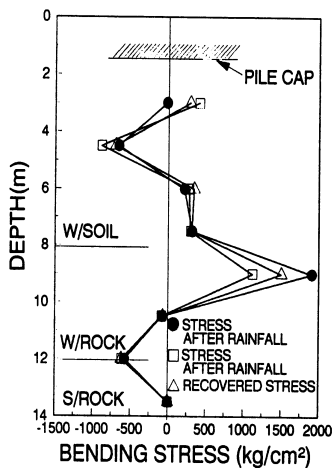


Figure 4. Bending stresses of the pile(한중근, 1997)

먼저, 억지말뚝을 이용한 사면억지말뚝의 현장실험에 의한 보강효과 및 거동은 그림 4에서 보는 바와 같이 사면내에 설치된 억지말뚝의 저항효과는 강우시 지반의 강도저하로 사면이 활동을 시작하는 경우 보강재의 거동을 나타낸 것이다. 즉, 상부 풍화토층 내의 정의 모멘트발생은 강우시 정의 휨응력의 값 변화이며 지반의 반력이 작용하는 하부에서는 강우시 부의 휨응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 강우시 지표부근 토사의 단위체적중량의 증가로 인하여 풍화암층 상부의 소성변형지반이 측방으로 변형하게 되고 측방도압이 억지말뚝에 작용하여 말뚝에는 휨응력이 증가함을 나타낸 것이다(한중근, 1997).

따라서, 가상활동면에 대한 보강재의 보강효과 및 억지효과 그리고 파괴발생기구는 그림 1에서와 같이 휨저항 및 전단저항의 효과에 따라 달라질 수 있게 되므로 이를 규명하기 위하여 강성 및 연성보강재를 삽입한 지반의 모형에 대한 대형직접전단시험을 실시하였으며 실험방법 및 결과는 다음과 같다.

### III. 보강토의 직접전단시험 및 보강효과

#### 1. 실험방법 및 사용재료

일반적인 NGI형 직접전단시험의 경우 공시체가 작아 단면의 영향을 크게 받으며 내부마찰각이 비교적 크게 측정되는 경향이 있다. 따라서, 시험기에 의한 응력집중 현상 등의 영향을 배제하기 위하여 본 실험에서는 대형직접전단시험을 채택하였으며 300 × 300 × 180mm인 전단상자로 제작하였다. 또한, 뿌리말뚝의 보강효과를 조사하기 위하여 사용되는 보강재는 강성알미늄봉 φ3.5mm × 168mm과 연성구리봉 φ1.5mm × 168mm(스트립제 포함)을 사용하였다. 또한, 뿌리말뚝 및 소구경말뚝이 지반에 설치되는 경우 그라우팅에 의해 지반과의 마찰력을 향상시키므로 보강재 옆면을 에폭시로 바른후 모래를 입혀 알미늄봉과 구리봉의 면적비가 같게 하였으며 모래지반과 보강재와의 마찰력을 증대시켰다. 또한, 보강재의 거동과악을

위하여 변형률 게이지를 부착·설치하였다.

한편, 모래는 건조상태의 주문진표준사를 사용하였으며 물리적 성질은 표 1에서 보는 바와 같다.

지반의 보강효과를 고려하기 위하여 모래를 균일한 밀도를 유지토록 40cm높이에서 일정하게 자유낙하시켜 상대밀도  $D_r = 51\%$ 의 중간정도를 유지토록 하였다. 이는 현장상태에서 보강재의 설치상태에 따른 선단상태가 회전구속 및 힌지상태가 되도록 한 것이다. 또한, 전단시험은 수직응력을 재하후 1mm/min재하속도를 유지하는 변위제어 방법을 채택하였다. 뿌리말뚝(또는 소구경말뚝)의 경우 여러개의 보강재가 일정간격 혹은 망상형으로 설치되므로 본 시험을 위하여 보강재 3단 3열로 연직방향에 대하여 삽입각도를 연직(90°), 연직에서 시계방향으로 10°, 15°로 설치하여 직접전단시험을 실시하였다. 보강재가 설치된 상태의 전단시험기는 그림 5에서 보는 바와 같다.

Table 1. Characteristics of the sample

Gs	Grain size			Void ratio		$\phi$
	$D_{10}$	$D_{30}$	$D_{60}$	( $e_{max}$ )	( $e_{min}$ )	
2.64	0.45	0.52	0.64	0.899	0.561	31.70

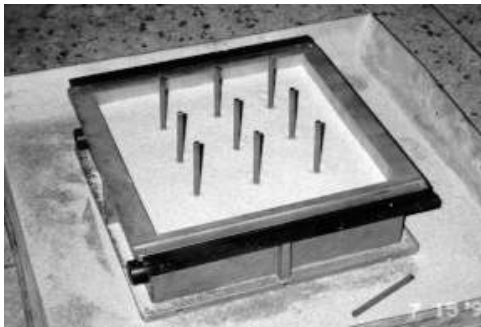


Figure 5. The figure of shear box inserted reinforcements

2. 강성 및 면적비에 따른 보강효과

Jewell은 보강재 삽입각의 보강효과는 30°에서 최대가 나타난다고 하였으며, 보강효과에

미치는 영향을 전단시험을 통해 보강재에 작용하는 연직응력과 보강재 표면적, 마찰각에 따라 변화하며 식(1)~식(3) 과 같이 제안한 바 있다(Gray, 1978). Bang은 배치각도와 벽면의 최대수평관계를 고려하여 15°~20°에서 최소수평 변위를 얻을 수 있다고 하였다. 또한, 龍岡은 45°에서 최대보강효과를 갖으며 이때 최소변형률발생과 일치한다고 하였다. 한편, 연성인 보강재를 사용하는 경우 Gray는 60°일 때 최대 전단강도가 발생한다고 하였다. 이와 같이 보강재의 삽입각도 및 종류에 따른 보강효과는 여러가지 이견이 나타나고 있으나 강성보강재의 경우 대체로 30°에서 최대보강효과가 나타난다고 보고한 바 있다(Goodmann etc., 1972).

Jewell이 제시한 식(1)~식(3)을 이용하여 모형실험에 사용한 모래지반의 강도를 추정하며 약 28. 에서 최대보강효과가 나타나는 것으로 예상되며 삽입각도별 실험결과는 표 2와 같다. 단 모래의 다이러턴시는 무시하였다.

$$\tau_f = \sigma' \tan \phi + \Delta \tau_{rein}$$

(1)

$$\Delta \tau_{rein} = \sigma_{\theta} A_R \tan \delta (\cos \theta \tan \phi + \sin \theta)$$

(2)

$$\sigma_{\theta} = \sigma_y [(1 + \sin \phi_{ps} \sin(\phi_{ps} + 2\theta)) / (\cos^2 \phi_{ps})]$$

(3)

보강재의 삽입각도 및 강성에 따른 보강재의 보강효과를 검토하면 다음과 같다.

먼저, 보강재를 삽입하지 않은 경우와 보강재를 연직방향으로 삽입한 경우 응력과 변형률의 관계를 도시하면 그림 6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 원지반 상태에서는 최대응력점에서 항복하는 일반적인 시험결과를 보이고 있으나 보강재를 삽입한 경우 항복점은 원지반 상태의 약 1.2 ~ 1.6배 보강효과를 보이고 있다. 보강재의 보강효과는 일반적으로 강성이 클수록 효과가 큰 것으로 알려져 있으나 강성 그 자체가 변위에 저항하게 되므로 그림에서 보는 바와 같이 최대응력 이후에는 현저한 감

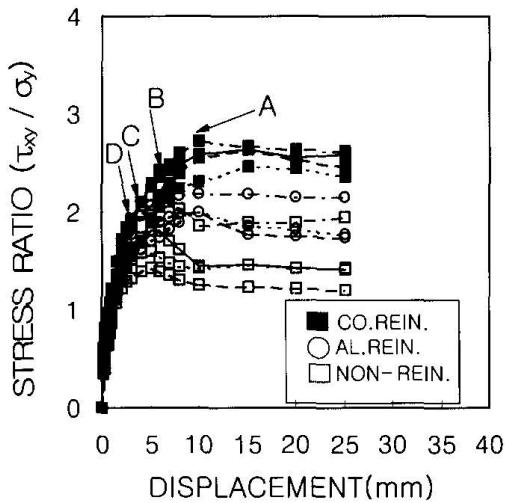


Figure 6. Results of direct shear test with vertical reinforcements and non-reinforced soil

Table 2. Reinforcing effect of reinforcement strength

Division	$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi^\circ$	$\theta$	$\Delta\tau_{Rein}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Copper (1.5mm × 16.8mm, fiction)	0.0584	42°31'45''	90	0.9584
	0.0234	43°54'53''	15	1.1824
	0.0467	45°29'44''	10	1.2047
Aluminium (3.5mm × 16.8mm)	0.2472	37°33'20''	90	1.0002
	0.1676	42°26'43''	15	1.2956
	0.209	41°56'17''	10	1.238
Copper (strip, non-friction)	0.045	38°26'26''	90	0.825
	0.0756	30°25'05''	15	0.892
	0.0305	40°14'37''	10	1.0305

또한, 보강재의 단면비가 동일한 경우 응력-변형률 관계를 도시하면 그림 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 연성보강재가 강성보강재보다 보강효과가 크게 나타나고 있으며 유사점착력보다 마찰력증가효과가 크게 나타났다. 이는 두 보강재는 강도차이가 있으나 연성보강재의 경우 잔류강도가 연속성이 상당간 지속되기 때문일 것이다

이러한 결과는 시공성을 고려하여 볼 때 도심지굴착 등 협소하거나 여건이 불비한 장소 등에 뿌리말뚝(또는 소구경말뚝)으로 설치되는 보강재의 활용성을 높이는 결과라 볼 수 있다.

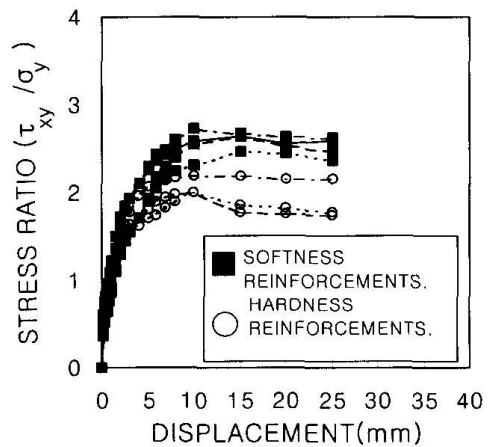


Figure 7. Results of direct shear tests with reinforcements of the same area ratio

### 3. 보강재의 마찰력에 따른 보강효과

재질이 같으나 표면마찰이 다른 보강재의 보강효과를 비교하여 보기 위해 표 2에서 보는 바와 같이 연성구리보강재를 마찰이 있는 경우와 마찰이 없는 경우(구리스트립재)에 대하여 직접전단시험을 실시하였다. 표에서 보는 바와 같이 마찰이 없는 보강재의 경우 유사점착력 및 마찰력의 증가효과가 동시에 발생하였지만 마찰이 있는 보강재의 경우는 마찰력의 증가효과가 크게 발생하고 있다. 또한, 연성보강재의 경우 삽입각도가 30°로 가까이 갈수록 크게 나타날 것이라는 기존연구결과와는 다르게 면적비와 관계없이 10°에서 전단강도효과가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

### IV. 보강재의 거동

지반에 삽입된 보강재의 거동분석을 위하여 변형률계이지가 부착된 연직알미늄봉을 설치한 경우 직접전단시험을 실시하였으며 시험후 변형된 보강재의 모습은 그림 8과 같다. 보강재의 변위발생량을 전단변위에 대한 보강재의 변위증분 ( $\Delta x / \Delta \delta$ ) 보강재의 길이에 대한 연직변위량의 비 ( $\Delta y / l$ ) 의 비로 나타내면 그림 9와 같이 표시할 수 있다. 최종변위제어량 24mm인 경우 경사변위각은 평균 33.34°,  $\Delta x / \Delta \delta = 3 \sim 3.5$ mm로 전보강재길이에 대하여 12.5~14.6% 그리고 보강재의 평균 연직변위량  $\Delta y / l$ 는 21.3%로 1.789

mm의 변형량을 보였다. 이때 보강재에 발생된 변형률 변화도는 그림 10 및 그림 11과 같다. 그림 10은 연직보강재에 부착된 변형률게이지로부터 측정된 축력을 도시한 것이다. 보강재 중심부근을 제외한 상·하부의 거동은 인장 및 압축 축 방향으로 증가현상을 보임을 알 수 있다.

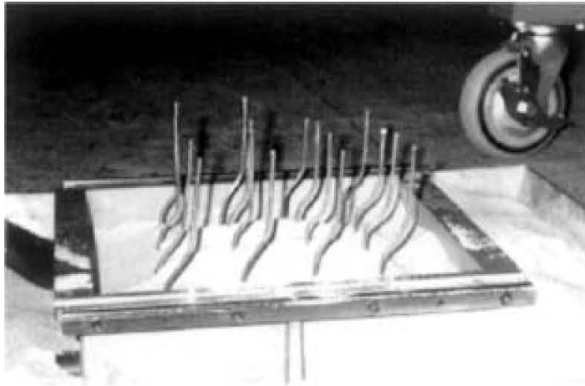


Figure 8. The figure of deformed reinforcements after shear tests

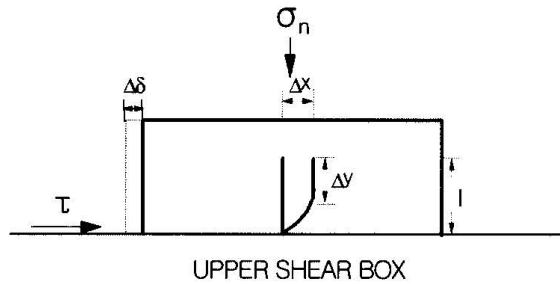


Figure 9. Shear stress developed on the reinforcements during shear

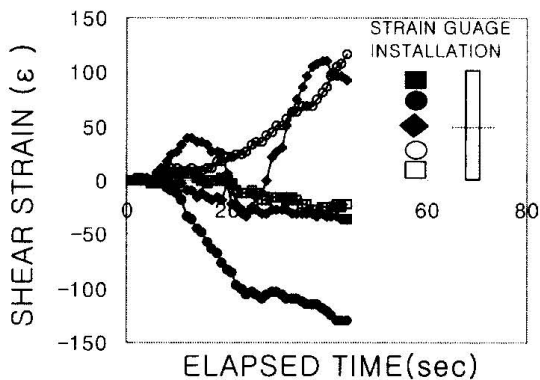


Figure 10. Distributions of shear stress developed at reinforcement during shear

한편, 그림 6에서와 같이 응력수준이 각각 파괴시(A점), 96%(B점), 86%(C점) 그리고 76%(D점)인 경우에 대한 보강재의 응력변화를 변

위제어 순서에 따라 도시하면 그림 11과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 활동면 상부에서와 활동면 하부에서의 휨 응력의 역전현상이 발생하며 역지말뚝의 현장실험결과와 마찬가지로 지반반력부 및 활동부에서의 보강재의 거동은 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 뿌리말뚝(또는 소구경말뚝)과 같은 직경이 작고 강성을 지닌 보강재를 이용한 사면안정대책의 저항기구는 사면안정용 역지말뚝의 거동과 동일한 거동을 보인다고 할 수 있다.

다만, 현장실험결과와는 역지말뚝의 선단이 힌지상태, 직접전단시의 보강재의 선단은 힌지 또는 자유상태의 중간정도로 고려될 수 있으므로 전단면 하부에서의 응력변화는 약간 차이를 보이고 있다.

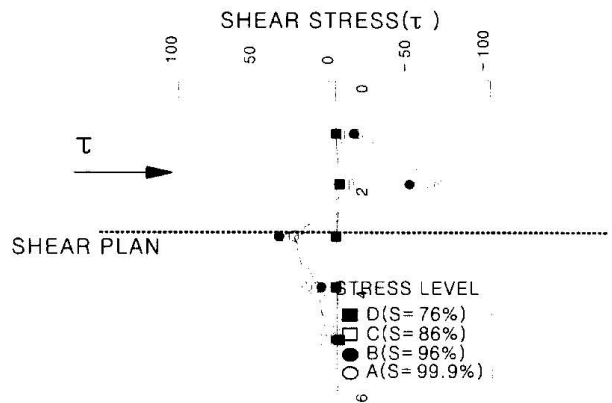


Figure 11. Distributions of shear stress developed at reinforcement during shear

## V. 결 론

절·성토사면의 안정이나 도심지와 같이 열악한 제한지역에 보강 대책공으로 많이 사용되는 뿌리말뚝 및 소구경말뚝의 보강기구 및 지반과 보강재의 거동등을 조사하기 위하여 보강재가 삽입된 경우와 삽입되지 않은 경우에 대한 실내 대형직접전단시험을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 보강재의 강성에 따른 보강효과는 강성 그 자체가 변위에 저항하게 되므로 최대응력 이후에는 현저한 감소치를 나타내게 되지만 보강재의 면적비가 동일할 경우 연성보강재가 강성보강재 보다 보강효과가 크며 유사점착력보다 마

강재 보다 보강효과가 크며 유사점착력보다 마찰력증가효과가 크게 나타났다. 이는 연성보강재의 잔류강도 연속성에 기인되는 것으로 사료된다.

2) 재질이 같고 마찰이 다른 보강재의 경우 마찰이 없는 보강재의 경우 유사점착력 및 마찰력의 증가효과가 동시에 발생하지만 마찰이 있는 경우는 마찰력의 증가효과가 크게 발생하게 된다. 또한, 연성보강재의 경우 삽입각도가 30°로 가까이 갈수록 크게 나타날 것이라는 기존연구결과와는 다르게 면적비와 관계없이 10°에서 전단강도효과가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3) 최종변위제어량 24mm에 대한 연직보강재의 경사변위각은 평균 33.34°,  $\Delta x/\Delta \delta = 3 \sim 3.5$ mm로 전보강재길이에 대하여 12.5~14.6% 그리고 보강재의 평균연직변위량  $\Delta y/l$ 는 21.3%로 1.789 mm의 변형량을 보였다.

4) 뿌리말뚝(또는 소구경말뚝)과 같이 직경이 작고 강성을 지닌 보강재를 이용한 사면안정대책의 저항기구는 억지말뚝거동기구와 동일한 거동을 보인다 할 수 있다.

상기와 같은 결과를 이용하여 사면의 억지대책공으로 뿌리말뚝과 같이 지름이 작고 강성을 지닌 보강재가 사용되는 경우 보강효과 및 보강에 따른 지반의 변형을 전이과정 등을 확인할 수 있었다. 또한, 보강재의 삽입각도 등 보강재의 재요소에 따른 수치해석 등이 수행되고 실내시험 및 현장시험이 동시에 이루어진다면 보다 명확한 메카니즘을 규명할 수 있을 것으로 사료된다.

## 인 용 문 헌

Donald, H., A.M. Gray and H. Ohashi. 1983. Mechanical of Fiber Reinforcement in Sand. Jour. of Geotech, l Engrg. Div. ASCE. 109(3).  
Goodmann, R.E., and T. Dubois. 1972. Duplication of Dilatancy in analysis in Jointed Rocks. Jour. Geotech. Engrg. Div. ASCE. 98(4) :

399- 422.  
Gray, G.H. 1978. Role of Woody Vegetation in Reinforcing soils and Stabilizing Slopes. Proc. Symp. Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques. NSWIT/NSW Univ. : 253-306.  
Jewell, R.A. and C.P. Wroth. 1987. Direct shear tests on Reinforced Sand. Geotechnique 37(1) : 53-68.  
Juran, I., A. Guermaz, C.L. Chen and M.H. Ider. 1988. Modelling and Simulation of Load Transfer in Reinforced Soils : Part1. Int. Jour. for Num. Analy. Meth., in Geome. 12 : 141-155.  
Juran, I., H.M. Ider and K. Farrag. 1990. Strain Compatibility Analysis for Geosynthetics Reinforced Soil Walls. Jour. of Geotech. Engng. Div. ASCE. 116(2) : 312-329.  
Lizzi, F. 1982. The Root Pile -A state-of- the art-report. Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques. Bangkok.  
Matsui, T., K.C. San, Y. Nabeshima and N.U. Amin. 1996. Bearing Mechanism of Seel Grid Reinforcement in Pullout Test. Proc. of the Intl. Symp. on Erath Reinforcement. IS-Kyushu : 101-105.  
Palmeira, E.M. and G.W.E. Milligan. 1989. Large Scale Direct shear Tests on Reinforced Soil. Soils and Foundations, 29(1) : 18-30.  
日本土質工學會. 1983. 補強土工法. 土質基礎工學ライブラリ-29.  
김영신. 1991. 비닐조각이 석인 모래의 전단특성. 명지대 석사학위논문.  
오영석. 1992. 섬유보강 모래의 전단강도특성. 명지대 석사학위논문.  
한중근. 1997. 억지말뚝을 이용한 사면의 안정해석 및 설계. 중앙대학교 박사학위논문.  
홍원표 · 한중근 · 이문구. 1995. 억지말뚝으로 보강된 절개사면의 거동. 한국지반공학회지. 1194):111-124.