

# 부착형 지오키드 보강토체의 보강효과 Reinforced Effect of Earth Body Reinforced by Attachment-type Geogrid

고태훈\*  
Koh, Tae-Hoon

이성혁\*\*  
Lee, Sung-Hyuck

황선근\*\*\*  
Hwang, Seon-Keun

이진욱\*\*\*\*  
Lee, Jin-Wook

## ABSTRACT

The objective of this study is to suggest the optimal method for reinforced earth retaining wall through the appropriate selection of reinforcing materials, development of design criteria. Thus, the efficient land utilization and securing safety in the train operation in service lines could be achieved. For this goal, a large scale shear laboratory test was carried out to evaluate the reinforced effect of earth body reinforced by attachment-type geogrid.

### 1. 서론

최근 기존선의 고속화 및 고속전철 운행에 대비한 선형개량 작업이 추진되고 있어 레일 기준면 상승에 의한 노반 어깨 부족으로 보선업무에 지장을 초래하게 되어 열차의 안전운행 상 지장 요인으로 대두되고 있는 실정이다. 선진외국의 경우는 이러한 문제점을 해결하기 위해 보강토공법을 적극적으로 도입하고 연구개발을 통해 보급, 발전하고 있는 추세에 있다. 하지만 국내 철도분야에서의 적용은 전무한 실정이며, 특히 우리나라는 국토가 협소하여 철도연변의 대부분이 논, 밭 또는 시가지에 접해 있어 재래 성토공법을 적용할 경우, 비탈구배로 인해 공사비의 상당 부분이 용지 매수비용 등에 소요되어 비경제적이며, 기존 성토 주변으로 도로 등이 건설되어 있는 경우에는 공사시공이 불가능한 경우도 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는, 철도노반확폭에 있어서의 제반 문제점들을 도출하여 실제 현장으로 체계적이고 합리적인 적용을 도모하기 위한 기초연구로서 실제 현장조건을 모사한 지오키드 보강토체의 보강효과를 고찰하였다.

### 2. 대형전단시험

본 연구에서는 수직력 재하에 따른 보강토체의 전단저항 보강효과를 산정하고자 대형전단시험을 수행하였다. 그림 1은 대형전단시험의 개략도로서 가상활동면을 중심으로 임의의 보강토체의 활동영역과 저항영역을 모사할 수 있도록 이동부(Mobile Half)와 고정부(Stationary Half)로 구분하였다. 또한 실제 현장상태를 재현할 수 있도록 임의의 토피고를 수직력(0.3, 0.6, 0.9kg/cm<sup>2</sup>)으로 제어하였다.

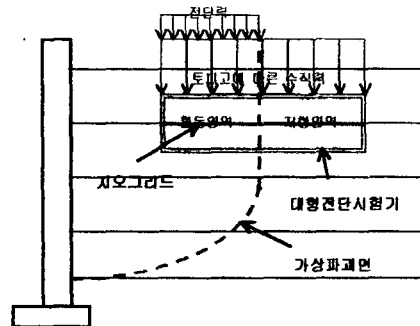


그림 1 대형전단시험의 개요도

\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 주임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정회원

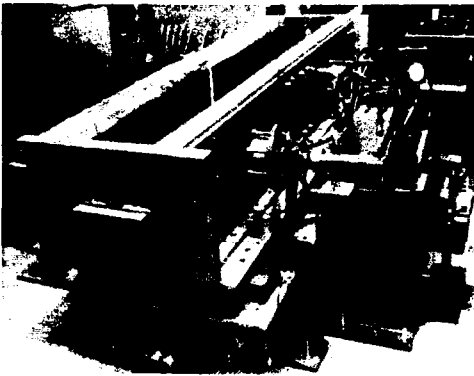
\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 책임연구원, 정회원

\*\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정회원

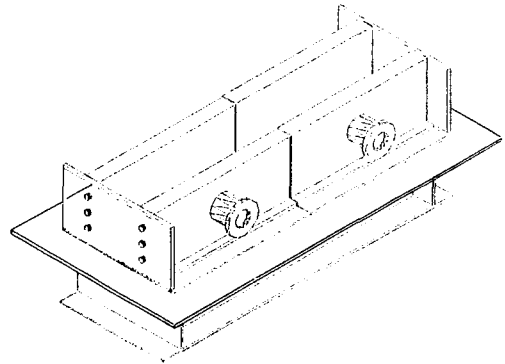
## 2.1 대형전단시험기

전단상자는 240cm×40cm×40cm(길이×높이×폭)의 규격으로 제작되었고 전단박스의 좌·우측부는 양분되어 우측은 고정, 좌측은 이동부로 직선왕복운동만이 가능한 베어링레일을 설치하여 전단력을 제어하였다. 또한 전단상자 좌·우측 전면벽체 중앙부에 피스톤을 각각 설치하여 수직력을 재하할 수 있도록 제작하였으며, 또한 전단과정에 있어서 전단면에서의 토사유실을 방지하기 위하여 전단박스의 연직방향으로 Vertical Wing을 전단면 양단에 장착하였다. 토체와 전단상자 내벽과의 마찰은 전단거동에 중요한 영향요소이므로, 샌드페이퍼 마찰시험을 통해, # 24 샌드페이퍼로 모형지반의 내부마찰각과 유사한 벽면마찰조건을 형성하였으며, 평면변형을 조건을 모사하기 위하여 전단상자의 상·하부는 스테인레스판을 설치하였다.

전단력 재하는 유압잭을 이용하였으며, Load Cell(용량 10ton)과 LVDT(용량 300mm)를 사용하여 전단력과 전단변위를 각각 측정하였다. 지반조성을 위한 강사기(폭×길이×높이 = 70cm × 40cm × 120cm)는 바닥면에 롤러를 부착하여 이동강사가 가능하도록 하였다.



(a) 사진



(b) 조감도

그림 2 대형전단시험기

## 2.2 시료토 및 보강재의 특성

지오그리드는 합성고분자 재료의 인장부재를 격자형태로 구성한 평면구조의 토목섬유제품으로 제조방법에 따라 일체형(연신형) 지오그리드와 결합형(직포형, 부착형) 지오그리드로 구분되는데, 본 연구에서는 국내에 도입되어 있는 부착형 지오그리드를 대상으로 전단시험을 수행하였다. 시험에 사용된 보강재, 시료토의 특성과 시험변수를 정리하면 표 1 ~ 3과 같다.

표 1 지오그리드 특성(단위 : mm)

보강재 종류	(a) EK60	(b) EK90
QC강도(kN/m)	60.0	90.0
재질	폴리에스테르 (PET)	폴리에스테르 (PET)

표 2 시료토의 물리·역학적 특성

비중	입경		건조밀도 (tf/m <sup>3</sup> )		상대밀도 (%)	내부마찰각 (°)	점착력 (kg/cm <sup>2</sup> )	통일분류
	Gs	Cu	Cg	T <sub>d max</sub>				
2.61	1.90	0.97	1.682	1.462	75.4	39	0	SP

표 3 시험변수

전단각	보강 조건	무보강	EK60	EK90
	0.3kgf/cm <sup>2</sup>	Unreinforced_0.3	EK60_0.3	EK90_0.3
	0.9kgf/cm <sup>2</sup>	Unreinforced_0.9	EK60_0.9	EK90_0.9
	2.0kgf/cm <sup>2</sup>	Unreinforced_2.0	EK60_2.0	EK90_2.0

### 2.4 시험순서

보강재의 인장특성을 고찰하기 위해 보강재에 스트레인게이지를 일정한 간격으로 부착한 후, 전단상자의 전단면에 수직이 되도록 전단상자에 보강재를 설치하고 일정한 높이에서 강사를 수행하여 균질한 지반을 조성한다. 모형지반 조성 후, 상부에 구속압이 가해지지 않도록 주의하여 상판을 덮고 볼트를 체결한 후, 전단상자 전면벽체의 좌·우측부의 중앙에 설치된 수직력 재하장치의 피스톤을 통하여 수직력을 재하하고, 1mm/min의 일정한 속도로 유압액을 이용하여 전단력을 재하한다. 전단변위와 그에 따른 전단력은 UPC를 사용하여 매분마다 측정하였다.

### 3. 시험결과 및 고찰

본 연구에서는 활동면 주변에서의 보강재에 의한 저항특성을 고찰하기 위해 무보강토체와 보강토체에 대해서 임의의 수직압을 재하한 상태에서 가상활동면(본 실험에서는 수평면과 90°의 각을 이루는 활동면) 주변의 활동영역과 저항영역에서의 전단거동을 분석하였다.

#### 3.1 전단응력-전단변형 특성

그림 3 (a)의 무보강토에 대한 전단응력-전단변형 관계를 살펴보면, 모든 수직력에 대해서 대략 3~5%의 전단변형률에서 뚜렷한 최대전단응력을 보이고 있으며 수직력의 증가에 따라 보다 큰 최대강도를 나타내고 있다.

그림 3 (b), (c) 보강토의 경우, 무보강토의 최대전단응력이 발현되는 대역과 유사한 변형률대역에서 초기 선형구간에 이은 이차적인 선형구간이 발생하는 것을 알 수 있는데, 초기 선형구간은 흙의 저항, 그 이후의 이차적인 선형구간은 보강재의 저항(수동, 마찰)에 기인한다.

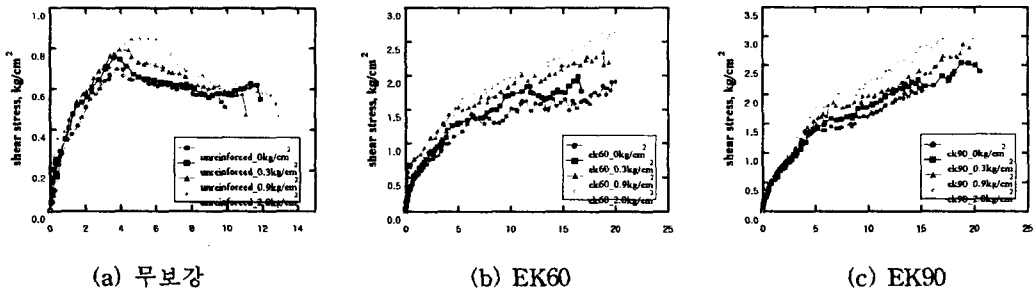


그림 3 전단응력-전단변형 관계

#### 3.2 전단영역에서의 지오그리드 인장변형을

전단이 진행됨에 따라 보강토체의 저항영역에 해당하는 전단상자의 고정부의 전단영역(Shear

Band)내에서 발생하는 지오그리드의 인장변형율을 수직력에 대해 그림 4에 나타냈다. 그림에 보인 바와 같이, 전단영역내의 지오그리드에 발생한 인장변형율은 전체적으로 수직력이 증가함에 따라 지수함수의 형태로 증가하는 것을 알 수 있다.

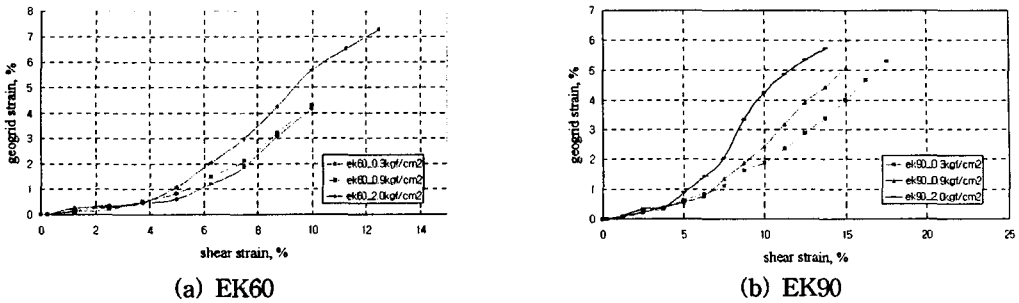


그림 4 전단영역(Shear Band)내 지오그리드 인장변형율-전단변형율 관계

### 3.3 보강토체의 전단용력-구속압 특성

구속압에 대한 전단용력(15~20% 변형율 대역에서의 최대값)의 관계는 그림 5와 같다. 그림에 보인 바와 같이, 무보강토체와 보강토체 모두 걸보기점착력이 발생한 것을 알 수 있으며, 특히 보강토체의 경우, 지오그리드의 인장강성에 따른 걸보기점착력과 마찰각의 증가를 확인할 수 있었다.

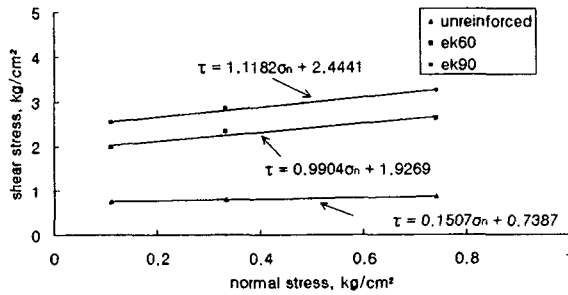


그림 5 전단용력-구속압 관계

### 3.4 보강토체의 보강효과

河村隆(1998)는 지오그리드 보강토의 보강효과를 실험적으로 검토하여 전단강도로 그림 6과 같이 나타냈다.

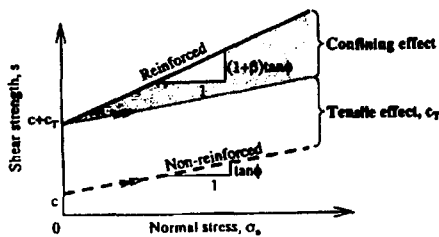


그림 6 보강토의 보강효과(전단용력-구속압 관계)

그림에서 보인 바와 같이,

무보강토의 전단강도 :

$$s_0 = c + \sigma_n \cdot \tan \phi \quad (\text{식 1})$$

여기에서,  $c$  : 점착력,  $\sigma_n$  : 활동면상의 수직응력

$\phi$  : 내부마찰각

보강토의 전단강도 :

$$s_R = c + c_T + (1 + \beta)\sigma_n \tan \phi \quad (\text{식 2})$$

$$s_R = c + \sigma_n \tan \phi + c_T + \beta \sigma_n \tan \phi \quad (\text{식 3})$$

여기에서,  $c$  : 점착력,  $\sigma_n$  : 활동면상의 수직응력,  $\phi$  : 내부마찰각,  $\beta$  : 구속효과 매개변수

$c_T$  : 인장력에 기인한 보강효과로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$c_T = \frac{T}{A} (\cos \theta + \sin \theta \cdot \tan \phi) \quad (\text{식 4})$$

여기에서,  $T$  : 지오그리드 인장력,  $A'$  : 활동면 면적,  $\theta$  : 지오그리드와 활동면이 이루는 각도

$$\text{식 3을 다시 쓰면, } s_R = s_0 + \Delta s_R \quad (\text{식 5})$$

$$\text{여기에서, } \Delta s_R = c_T + \beta \sigma_n \tan \phi \quad (\text{식 6})$$

과 같이 두 항으로 분리되어 즉, 흙의 전단강도( $S_0$ )와 보강재에 의한 전단강도 증가항( $\Delta s_R$ )으로 정량화할 수 있다.

또한 식 6의  $\beta \sigma_n \tan \phi$ 의 항은 구속효과로서 보강재를 흙속에 부설함으로써 흙의 자유변형을 구속하고 활동면상의 겉보기 구속압( $\beta \sigma_n$ )을 증가시켜 그 결과 토체의 강도가 증가하는 효과이다.  $\beta$ 는 구속효과 발현의 정도를 나타내고 있으며, 구속효과 매개변수라 일컫는다.

따라서 각 구속압에 따른 지오그리드에 발생한 인장력에 기인한 보강효과( $C_T$ )와 구속효과( $\beta \sigma_n \tan \phi$ )를 산정한 후, 최종적으로 무보강토에 대한 보강토의 전단강도 증가율을 산정하였다.

표 4에서 알 수 있듯이, 동일한 흙의 마찰특성과 유사한 EK60, EK90 보강재의 형상으로 인해 구속효과 매개변수( $\beta$ )는 모두 근사한 값을 나타냈으며, 이러한 특성은 보강토의 전단강도증가량과 구속압의 선형관계(그림 7 참조)를 고려할 때 거의 동일한 기울기로서 나타나게 된다. 따라서 EK60, EK90 지오그리드를 사용한 보강토의 전단강도 증가( $\Delta s_R$ )는 주로 인장력에 의한 보강효과( $C_T$ )에 기인하는 것을 알 수 있다.

표 4 보강효과

조건	구속압	무보강토의 전단강도 ( $S_0$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	인장력에 기인한 보강효과 ( $C_T$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	구속효과 매개변수 ( $\beta$ )	구속압 ( $\sigma_n$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	겉보기구속압 ( $\beta \cdot \sigma_n$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	구속효과 ( $\beta \cdot \sigma_n \cdot \tan \phi$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	전단강도 증가량 ( $\Delta s_R$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )	전단강도 증가율 (%)
EK60	0.755	0.755	1.20	2.8	0.111	0.311	0.047	1.247	165.1
	0.789				0.334	0.934	0.141	1.341	169.9
	0.850				0.741	2.076	0.313	1.513	177.9
EK90	0.755	0.755	1.73	2.98	0.111	0.331	0.050	1.780	235.6
	0.789				0.334	0.994	0.150	1.880	238.3
	0.850				0.741	2.209	0.333	2.063	242.6

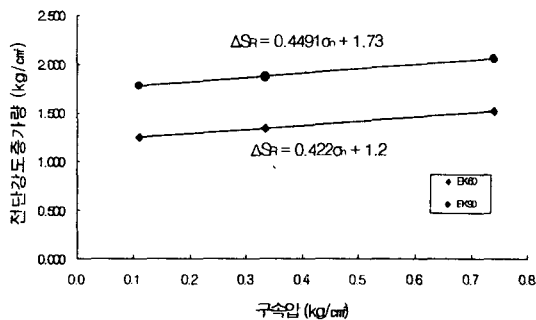


그림 7 전단강도 증가량-구속압 관계

또한 지오그리드 형상이 이러한 인장력에 기인한 보강효과( $C_T$ )와 구속효과 매개변수( $\beta$ )에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아보고자, 다음 식 7과 같이 지오그리드의 형상을 체적비의 함수로 나타내었는데, 여기에서, 체적비는 보강토체내 흙의 체적에 대한 지오그리드의 체적비(Geogrid Volume Ratio, GVR)를 의미한다.

$$\text{지오그리드의 체적비}(GVR) = \frac{\text{지오그리드의 체적}}{\text{흙의 체적}} \quad (\text{식 7})$$

각 보강재의 체적비에 따른 보강토체의 전단강도 증가요인과의 관계를 고찰한 결과, 그림 8에 보인 바와 같이 구속효과 매개변수( $\beta$ )에 비해 인장력에 기인한 보강효과( $C_T$ )가 지오그리드의 체적비의 변화에 민감한 응답특성을 보이고 있는 것을 알 수 있었다.

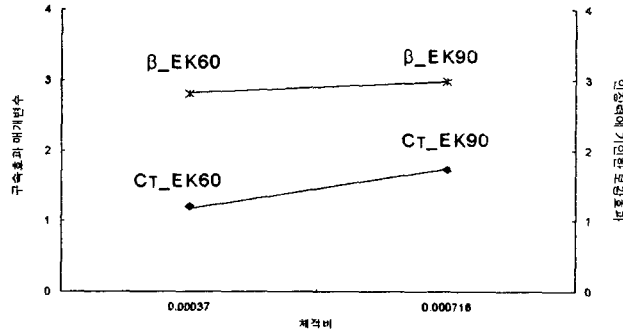


그림 8 지오그리드 체적비 변화에 따른 보강토체 전단강도 증가요인의 응답특성

## 5. 결론

본 연구에서 제안한 대형전단시험을 수행하여 보강토체의 보강효과를 정량화하고 그러한 보강 효과의 기여요인을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전단응력과 전단변형의 관계에서 무보강토의 최대전단응력이 발휘되는 대역과 유사한 변형율대역(3~5%)에서 초기 선형구간에 이은 이차적인 선형구간이 발생하는 것을 알 수 있는데, 초기 선형구간은 흙의 저항, 그 이후의 이차적인 선형구간은 보강재의 저항(수동, 마찰)에 기인한다.
- 2) 전단영역내 지오그리드에 발생한 인장변형율은 전체적으로 수직력이 증가함에 따라 지수함수의 형태로 증가하는 것을 알 수 있다.
- 3) EK60, EK90 지오그리드의 인장강성에 따른 보강토체의 겉보기점착력과 마찰각의 증가를 확인하였으며, 이러한 전단강도 증가는 지오그리드 체적비의 변화에 민감한 응답특성을 보이는 인장력에 의한 보강효과( $C_T$ )에 기인한다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 한국철도기술연구원 (2001) "토구조물 최적설계 기술분야 -기존선 노반확폭을 위한 보강성토공법에 관한 연구", pp. 124~145
2. 河村隆, 落合英俊, 平井貴雄 (1998) "ジオグリッド補強土の拘束効果と補強材形状について", 第13回ジオシンセティックスシンポジウム発表論文集, pp. 305~315
3. 阿部 裕, 北本幸義, "ジオグリッド補強盛土の挙動と安定解析", 土質工學會論文報告集, Vol. 30, No. 3, pp. 185-196, 1990.