

# 노반 토구조물로서의 이용을 위한 새로운 단섬유 복합보강토 옹벽구조 개발

## Development of Short-fiber Composite Reinforced Retaining Wall for Railroad Soil Structure

박영곤\*      박태순\*\*      장병욱\*\*\*      이영제\*\*\*\*  
Park, Young-Kon   Park, Tae-Soon   Chang, Pyoung-Wuck   Lee, Young-Je

### ABSTRACT

The development of both economical and consistent structure is strongly required for the whole reorganization of the railway network in Korea. Retaining wall is one of the major structures in the vicinity of the railway, which needs improving its external appearance and stability. Therefore, this study presents a new type of retaining wall, so called short-fiber composite reinforced retaining wall, as an alternative of retaining walls, which can be used for constructing the slope and roadbed soil structures. The results from real-scale test and dynamic numerical analysis for developed new one, which helps both the improvement of the external appearance and also the optimum use of the limited space near the railway, show excellent performance. On the basis of these results, it is judged that short-fiber composite reinforced retaining wall has the advantages of choosing the front wall freely and having a chance to use any low quality soil as backfill.

### 1. 서 론

경제발전에 따른 지역간 인적, 물적 수송량은 날로 증가하고 있다. 현재 우리나라의 도로는 차량의 증가, 도로건설의 한계상태 등으로 새로운 교통수단이 요구되고 있으며 이에 따라 철도의 역할이 다시 중요시되고 있다. 이러한 중요한 국가적인 요구사항에 발맞추어 철도 분야에서는 기존선 고속화, 고속철도 개통, 차세대 열차 개발 등에 박차를 가하고 있으며 신선 건설로 협소한 국토를 효율적으로 활용할 수 있도록 철도 기반시설을 확충해 가고 있다.

본 연구는 철도 기반시설의 하나인 노반 토구조물의 안정성 향상과 더불어 외관 향상을 위한 기반시설 개선연구로서 보강토 옹벽을 철도 연변 또는 하부 구조물로 도입하기 위한 연구이다.

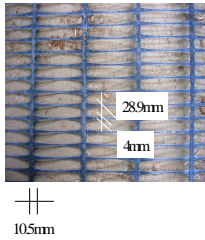
그동안 보강토 옹벽을 포함한 옹벽구조물은 진동에 약한 것으로 인식되어 실제 도로 및 철도의 영구 구조물로 적용하는 데에 한계가 있었지만 배면토체에 단섬유 보강매트릭스를 적용한 새로운 옹벽구조물의 실험형 시험과 결과분석을 통해 이러한 우려를 불식시키고, 노반토구조물로서 향후 이용 가능한 새로운 형태의 옹벽구조를 제시하고자 한다.

\* 한국철도기술연구원 선임연구원  
\*\* 서울산업대학교 토목공학과 교수  
\*\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 교수  
\*\*\*\* (주)에이브이티 대표이사

## 2. 실험형 시험 및 수치해석

### 2.1 구성품

시험에 사용된 구성품은 임시벽체 구축을 위한 블록, 단섬유와 지오그리드 보강재, 흙시료이다. 블록은 프리캐스트 콘크리트 블록으로서 상·하단 블록이 연결핀에 의하여 결속되는 구조이며, 보강재로 폴리프로필렌 재질의 길이가 60mm인 망사인 단섬유와 고강도섬유인 폴리에스테르 재질의 지오그리드를 사용하였다(그림 1 참조). 또한, 단섬유 보강토 구성에 사용된 흙시료와 일반 흙시료의 물리적인 특성은 도표 1과 같다.



Tensile strength: 50 tf/m  
Extension rate: 12%  
Rib no. for 1 m: 41.2

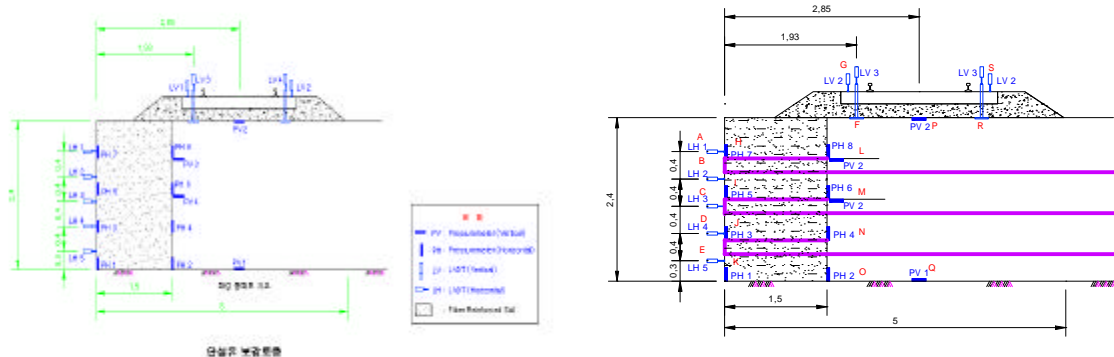
도표 1. 단섬유 보강토와 일반 흙의 기본물성

Type	Specific gravity	LL (%)	PL (%)	USCS	OMC (%)	$\gamma_{d_{max}}$ ( $t/m^3$ )	Water content (%)
Soil for mixing with fiber	2.75	N.P	N.P	SM	23.0	1.61	25.7
Soil	2.70	23.9	22.4	SM	11.2	1.98	11.3

그림 1. 지오그리드의 크기 및 특성

### 2.2 실험형시험

본 연구에서는 단섬유 보강토와 지오그리드 복합보강토를 옹벽 배면토체로 각각 사용하여 실험크기의 옹벽구조물을 축조하고, 축조된 구조물에 열차 운행을 고려한 열차모의하중을 재하하여 전면벽체 부분의 흙의 변형특성, 토압분포를 평가하고, 보강토체 내부의 토압 특성을 고찰하였다.



(a) 단섬유 보강된 경우

(b) 단섬유 및 지오그리드 복합보강된 경우

그림 2. 실험형시험 단면도

단섬유 보강토체는 적절한 섬유혼합비를 가진 단섬유와 적절한 함수비를 가진 현장토(200번체 통과량이 40% 이하)를 혼합하여 보강토벽의 전면부분에 일정높이로 다짐하여 구축하였고, 단섬유 보강토체의 폭은 사전검토를 통해 1.5m를 사용하였다. 지오그리드는 인발에 충분히 저항할 수 있는 길이로 포설하였고, 단섬유 보강토체를 지나 다짐높이만큼 감아올린 후 단섬유 보강토체만큼 확장·포설하였다. 노반 단면 조성 중에 실시한 들밀도 시험에서 단섬유 보강토 구간은 로울러로 왕복 6회(무진동) 다짐시 다짐도가 90%의 값을 나타내었고 일반토 구간은 마찬가지로 조건에서 다짐도가 95%이상의 값을 나타내었다. 그림 2는 실험형시험 단면도를 보여준다.

#### 2.2.1 하중조건

시험하중은 설계속도 200km/h를 기준으로 한 LS22하중이 적용되었으며 직선부 장대레일을 기준으로 산정하였다. 또한 열차모의하중은 설계윤증과 현재 경부선 국철의 약 1년 6개월간의 통과톤수를 고려한 재하

주파수 및 재하횟수에 해당하는 하중을 산출, 재하 하였다.

### 2.2.2 하중재하장치 및 모형토조

실대형시험은 종합 궤도노반시험장비(그림 3 참조)를 이용하여 수행하였고 실대형시험에 사용된 토조의 크기는 길이 22m, 폭 5m, 깊이 3m이다.



그림 3. 종합 궤도노반시험장비



그림 4. 벽체전면 변위측정

### 2.2.3 시험방법 및 수치해석

반복하중 재하에 따른 전면벽체와 배면토체 내에서의 수평·수직토압을 측정하기 위해 토압계( $2 \text{ kgf/cm}^2$ )를 사용하였고, 벽체의 수평변위를 측정하기 위해 스트레인게이지 타입의 최대 50mm센서(Tokyo Sokki사 제품)를 사용하였다(그림 4 참조). 노반부에서의 탄·소성침하량을 측정하기 위해 침하판(직경 30cm)을 설치한 후 강봉을 설치하고 변위를 측정하였다.

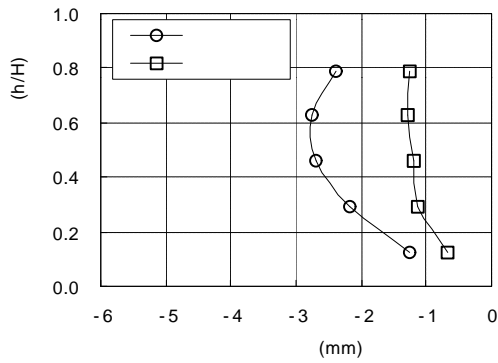
실대형 시험은 그림 2와 같이 단섬유보강토체(1.5m)만 있는 경우와 단섬유보강토체(1.5m)에 지오그리드를 매설한 경우 두가지 경우에 대해 이루어졌다. 열차모의하중 재하는 시험수행 전·후 단계에 정재하시험을 수행하였으며, 정하중은 설계윤중 14.3tonf까지 단계마다 3tonf씩 증가시키며 재하하였고, 정재하시험이 종료된 후 열차모의하중 시험을 수행하였다. 이때 열차모의하중 시험은 설계윤중 14.3tonf, 그리고 현재 경부선의 통과톤수를 고려한 가진주파수 5Hz, 재하횟수 100만회(약 1년 6개월 상당)를 하중조건으로 초기 재하횟수 10,000회까지는 데이터취득 간격을 500회, 재하횟수 20,000회부터는 20,000회로 하였다. 본 연구의 동적수치해석은 네덜란드 Delft 공과대학에서 개발된 PLAXIS를 사용하였다.

## 3. 시험 결과 및 분석

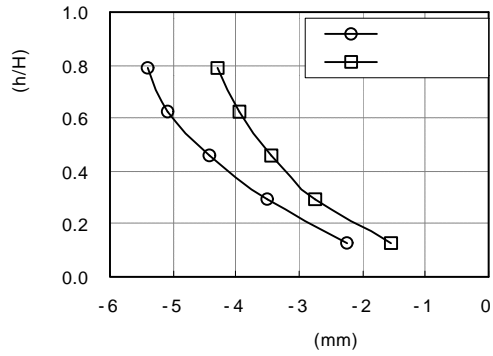
실대형 시험을 통해 측정된 수평변위, 수평토압, 수직변위 및 수직토압을 동적수치해석을 통해서 산출된 수평변위, 수평응력, 수직변위 및 수직응력과 비교분석함으로써, 수치해석의 신뢰성을 확보하고, 보강토 옹벽의 실제 거동과 수치해석상의 거동 특성을 파악하였다.

### 3.1. 수평변위의 비교분석

그림 5a는 실대형 시험에서 모사반복 열차하중 재하 최종단계인 1,000,000회에서의 결과이며, 그림 5b는 동적 수치해석 결과이다. 그림 5a에서 수평변위는 약 0.6H에서 최대값을 보였다. 그림 5b의 수치해석에 의한 수평변위는 실대형 시험결과와는 약간 다른 경향을 나타내었는데, 정규옹벽의 높이 0.8H에서 최대 수평변위가 나타나고 있으며, 0.13H위치에서 가장 작은 수평변위가 나타났다. 대체로 실대형 시험은 단섬유 보강된 경우도 3mm를 넘지 않지만 수치해석 결과는 5mm를 넘어 수치해석에 의한 값이 과대평가되고 있음을 알 수 있었고, 시험 및 수치해석 양자 모두 단섬유 복합보강토 옹벽의 경우가 단섬유 보강된 옹벽의 경우보다 수평변위를 크게 억제시켜 큰 성능을 발휘하는 것으로 나타났다.



(a) 실험결과

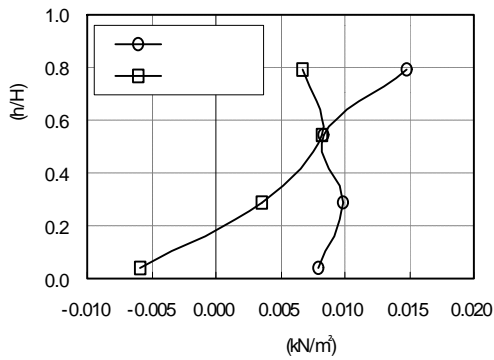


(b) 수치해석 결과

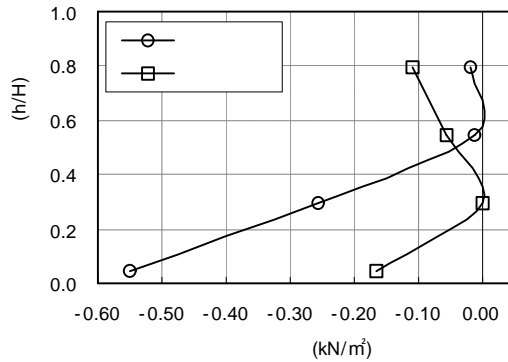
그림 5. 옹벽 전면에서의 수평변위 비교

### 3.2 수평응력의 비교분석

그림 6a는 실험결과에 의해 측정된 수평토압 분포를 보여주고 있다. 0.8H에서 단섬유 보강된 옹벽의 경우가 복합보강토 옹벽의 경우보다 큰 수평토압을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 양자 모두 0.55H에서는 비슷한 수평토압을 나타내었고, 0.3H에서는 복합보강토 옹벽의 수평토압이 단섬유 보강 옹벽보다 월등히 줄어드는 것을 볼 수 있으며, 약 0.2H 위치에서는 수평토압이 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. 또한 옹벽의 하단에서는 수동토압이 발생하였다. 그림 6b는 동적수치해석의 수행에 의해 산출된 수평응력을 나타낸 것이다. 전체적으로 옹벽 배면에서의 수평응력은 작은 값을 나타내었고, 0.8H에서는 복합보강토 옹벽이 단섬유 보강토 옹벽에 비하여 약간 큰 수평응력을 나타내었지만 옹벽 저면으로 갈수록 단섬유 보강토 옹벽에 비하여 월등히 작은 수평응력을 나타내었다.



(a) 실험결과



(b) 수치해석 결과

그림 6. 옹벽배면에서의 수평토압 비교

### 3.3 수직변위의 비교분석

도표 2는 실험결과 및 수치해석에 의한 수직변위 결과를 비교한 것이다. 수직변위의 측정 위치는 벽체 배면으로 1.95m(F)와 3.8m(R)이다(그림 2b 참조). 수직변위의 측정결과 실험의 경우 복합보강토 옹벽은 1.01mm의 부등침하량을 나타내는 반면 단섬유 보강토 옹벽은 4.72mm의 부등침하량을 보였다. 이는 보강토 옹벽의 길이에 대한 부등침하량의 비율 1%(2.4m 길이의 옹벽의 경우 2.4cm)이내에 드는 것을 알 수 있으며, 복합보강토 옹벽의 경우가 단섬유 보강토 옹벽에 비하여 부등 침하에 대해 4.66배 안정하다는 것을 알 수 있다. 수치해석 결과를 보면 복합보강토 옹벽은 1.03mm의 부등침하량을 나타내었고, 단섬유 보강토 옹벽은 1.44mm의 부등침하량을 나타내었다. 보강토 옹벽의 길이에 대한 부

등침하량의 비율이 1% 이내에 드는 것을 알 수 있으며, 부등침하에 대해 복합보강토 옹벽의 경우가 단점유 보강토 옹벽에 비해 약 1.4배 안정하다는 것을 알 수 있다.

도표 2. 수직변위 비교

대상 \ 구분	실대형 시험 결과		수치해석 결과	
	복합 보강토 옹벽	단점유 보강토 옹벽	복합 보강토 옹벽	단점유 보강토 옹벽
F위치에서의 수직변위(mm)	5.78	7.59	5.09	4.82
R위치에서의 수직변위(mm)	4.77	2.87	4.06	3.38
부등침하량(mm)	1.01	4.72	1.03	1.44

### 3.4 수직응력의 비교분석

도표 3은 실대형 시험에 의해 측정된 수직토압과 수치해석의 수행에 의해 산출된 수직응력을 비교한 것이다. 비교대상 위치는 옹벽 하단으로부터 1.2m, 옹벽 배면으로부터 1.5m 떨어진 위치(M)이다. 측정된 수직토압과 수치해석에 의해 산출된 수직응력을 비교해 보면, 양자 모두 복합보강토 옹벽이 단점유 보강토 옹벽에 비하여 아주 작은 값을 보였다.

도표 3. 실대형 시험의 수직토압과 수치해석의 수직응력의 비교

구분	복합보강토 옹벽	단점유 보강토 옹벽
실대형 시험의 수직토압(kN/m <sup>2</sup> )	0.047	0.071
수치해석의 수직응력(kN/m <sup>2</sup> )	54.7	63.4

## 4. 요약 및 결론

본 연구는 새로운 보강토 옹벽구조인 단점유 복합보강토 옹벽의 성능을 평가하고 노반구조물로서 충분히 이용가능함을 보이기 위한 것으로, 이를 위해 단점유 보강토 옹벽과 단점유와 지오그리드를 복합 적용한 보강토 옹벽을 실대형 시험을 통해 구축·계측하고, 그 결과를 동적수치해석을 통해 분석하였다.

실대형 시험 및 수치해석 결과, 단점유 복합보강토 옹벽은 노반에 작용하는 열차모의하중에 대해 매우 우수한 성능을 보임을 직·간접적으로 확인할 수 있었다. 본 연구에서 최종 제시한 단점유 복합보강토 옹벽은 소정의 폭으로 다짐된 단점유 보강토체를 벽면부분에 배치하기 때문에 간소화된 전면벽, 그리고 높은 미관을 가진 전면벽을 자유로이 선택할 수 있는 장점이 있고, 또한 단점유 보강에 의해 현장토 선택에 있어 보다 유연한 특징을 가질 것으로 예상된다.

### 감사의 글

본 연구는 산학연 공동연구개발사업의 일환으로 건교부의 연구지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 건교부(2003), "배면토체에 단섬유 보강 매트릭스를 적용한 철도 보강옹벽 공법 개발", 2001년 산학연 공동연구개발사업 최종보고서.
2. 박영곤, 장병욱(2000), "재성형된 단섬유 보강점토의 구성과 보강 효과", 한국지반공학회논문집, 16(6), pp.87-95.
3. 박영곤, Fumio Tatsuoka(2001), "Effects of various stress histories including creep loading on strength of a geogrid", 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp.441-444.
4. 박영곤(2003), "단섬유 보강토공법", 한국토목섬유학회지, Vol.2, No.2, pp.16-26
5. Chang, P.W., K.S. Cha, T.S. Park and Y.K. Park (2003), "Shear strength characteristics of composite reinforced soils", Proceedings of the 12th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (12ARC)