

# 철도노반에서 토목섬유의 적용방안에 관한 연구

## Study on Geosynthetics Applplication Methods for Railway Subbase

심재범<sup>1</sup>, 채영수<sup>2</sup>

Jae-bum Shim, Young-su Chae

**Key Words** : Geosynthetics Application(토목섬유의 적용방안), Railway Subbase(철도노반),  
Maintenance and Reinforcement(보수 및 보강), Geosynthetics System(토목섬유 시스템)

### Abstract

Such traditional construction methods as the interchange or improvement of railway subbase maintenance and reinforcement have many problems in the matters of construction period, constructive and economical efficiency aspects.

This paper will describe the alternative railway subbase reinforcement method based on geosynthetics system. It is presently very popular in Germany and Japan. In summary it is to say, that geosynthetics used at fine grained subsoils to a strong improvement of the whole railroad system.

### 1. 서론

우리나라의 철도시설은 1998년 현재 약 3,100 km의 영업연장을 보유하고 있으며, 이중 대부분의 철도망은 일제시대와 1960년대에 건설되어 운영되고 있다. 이로 인해 많은 철도기반시설이 노후화되고 용량이 부족하여 기존 선로의 보수, 보강 및 확장이 불가피한 실정이다. 특히, 연약지반상에 축조된 기존선로에서는 분니 및 동상 등에 의한 노반의 지지력 연약화 문제가 심각히 대두되고 있으므로, 기존선로의 유지관리 측면에서 열차의 운행에 큰 지장을 주지 않으면서 노반의 지지력을 증강할 수 있는 신공법 개발이 시급히 요청되고 있다[1].

지금까지 연약지반상에 구축된 기존 철도노반

의 보수·보강 및 확장시 연약지반을 치환하거나 개량하는 것과 같은 전통적인 공법들이 많이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 공법들은 공기, 시공성 및 경제성 면에서 많은 문제점들을 내포하고 있다.

기존 철도노반의 보수 및 보강시 견어낸 흙들을 쓰레기 집하장으로 운반하거나 재사용하는 것과 치환 및 개량을 위해 양질의 치환재 및 보강재를 공급하고 운반하는 것 등은 많은 비용이 들고 복잡하다. 또한, 연약지반상에 구축된 기존 선로의 확장시에는 제체의 자중 및 열차의 주행에 따라 높은 정적 및 동적하중이 가해지고, 그 결과 노상토의 팽팽현상과 노반의 지지력 부족 현상이 나타나 철도선로가 파괴될 수도 있다. 따라서, 연약지반상에 철도구조물을 시공시에는 경제성 및 복잡한 기술적인 문제점들에 대한 충분한 검토가 필요하다.

현재 독일, 일본 등 외국에서는 1970년대 이래

\*1 정회원, 한국철도대학 시설토목과 부교수

\*2 비회원, 수원대학교 토목공학과 부교수

연약지반상에 축조된 기존선로의 보수·보강 및 확장시 토목섬유(geosynthetics)를 포설하여 철도노반의 지지력을 높이는 보강기법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2][3].

본 논문에서는 현재 기존선로의 보수·보강 및 확장시 경제성, 시공성 및 환경친화성 면에서 크게 각광을 받고 있는 토목섬유 시스템(geosynthetics system)을 활용한 철도노반의 보강기법에 대해 외국의 기준 및 사례를 중심으로 연구, 검토하고자 한다

## 2. 토목섬유(geosynthetics)의 기능 및 특성

철도노반에서는 인장력과 내구성이 뛰어난 부직포(non woven), 지오그리드(geogrid) 및 복합포(geocomposite) 등의 토목섬유가 분리, 필터 및 보강기능 등으로 폭 넓게 사용되고 있다. 지오그리드는 철도노반에서 일반적으로 지지력이 부족한 지반 또는 지지력의 변화가 심한 지반에서 보강이 필요한 경우에는 보강기능으로, 그리고 추가적인 분리 및 필터기능을 갖는 보강재가 필요한 경우에는 지오그리드(geogrid)-부직포(non woven)가 결합된 복합포(geocomposite)의 형태로 사용되어 진다.

기존 철도노반의 보수·보강 및 확장시 토목섬유의 기능 및 적용분야에 대해 독일 국영철도의 "흙구조물 시방서(DS 836)" 개정작업에서는 다음과 같이 규정할 것을 검토하고 있다[3][4].

- 노반층 아래의 인접한 흙지지층과의 접촉구역에서 분리 및 필터기능으로는 부직포(non woven)가 우선시 되며,
- 노반층에서 보강기능으로는 지오그리드(geogrid)가, 그리고
- 노반층 아래의 인접한 흙지지층과의 접촉구역에서 추가적인 분리 및 필터기능을 갖는 보강재가 필요한 경우에는 복합포(지오그리드+부직포 결합)를 우선적으로 사용한다.

보강용으로는 비교적 작은 인장변형률과 크리이프경사를 갖는 지오그리드가 우선적으로 사용된다. 보강용과 그리고 추가적인 분리 및 필터기

능을 갖는 보강재로 사용되어지는 토목섬유의 필요한 특성치에 대해 독일 국영철도의 "토목섬유의 기술적인 공급조건(DB AG-TL 918039)"에서는 Table1 및 Table2와 같이 다음과 같이 규정하고 있다[5].

**Table 1 Properties Values of Geogrid Used for Reinforcement**

번호	매 개 변 수	특 성 치
1	토목섬유의 종류	지오그리드(geogrid)
2	주요 양방향의 최대 인장력	≥ 40 kN/m
3	주요 양방향에서 최대 인장력의 등방성	1:1 ~ 1:1.25
4	인장변형률 3%에서 주요 양방향의 인장력	≥ 10 kN/m
5	인장변형률 3%에서 주요 양방향의 인장력의 등방성	1:1 ~ 1:1.25
6	주요 양방향에서 구멍크기의 하한치	구멍크기 ≥ $d_{80} \times 1.67$
7	주요 양방향에서 구멍크기의 상한치	구멍크기 ≤ 40 mm

주)  $d_{80}$  : 원지반 흙의 입경가적곡선에서 통과백분율 80%에 대응하는 입경

## 3. 토목섬유가 철도노반의 지지거동에 미치는 영향

### 3.1 철도노반 두께의 산정 방법

철도건설에서 노반층의 두께는 선로의 종류, 열차속도 그리고 노반층 자체의 변형계수가 일정하다고 가정하는 경우 인접한 원지반의 지지력에 의해 산정되어 진다. 철도노반에 포설된 토목섬유는 이 시스템에서 체체의 자중과 열차하중에 의해 발생된 응력과 변형을 감소시키고, 설치된 재료들의 지지력 특성을 개선하여 장기간 유지할 수 있도록 작용한다[6][7].

우리나라 경부 고속철도의 노반층의 두께는 흙쌓기, 원지반 및 흙막이에서  $K_{30}$ 이  $7 \text{ kg/cm}^2$  이상  $11 \text{ kg/cm}^2$  미만이 되도록 하고, 이에 대한 해당 강화노반층의 두께를 산정하도록 하고 있다[8]. 독일 국영철도의 "흙구조물시방서(DS 836)"에서

는 기존선로의 유지보수시 지반개량층 위에서 DIN 18314 규정에 따라 평판재하시험을 수행하고, 그 결과로부터 산정한 변형계수  $E_{v2}$ 의 값이  $V > 160$  km에서는  $45 \text{ MN/m}^2$  이상, 그리고  $V \leq 160$  km에서는  $20 \text{ MN/m}^2$  이상이 되도록 규정하고 있다[9]. 또한, 독일 도로건설에서는 시공기면위에서 필요한 변형계수의 값은  $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ 이 되도록 요구하고 있다.

**Table 2 Properties Values of Geosynthetics Used for Reinforcement**

번호	매개변수		특성치
1	토목섬유의 종류		복합포 (geocomposite)
2	보강요소	주요 양방향의 최대 인장력	$\geq 40 \text{ kN/m}$
3		주요 양방향에서 최대 인장력의 등방성	1:1~1:1.25
4		인장변형률 3%에서 주요 양방향의 인장력	$\geq 10 \text{ kN}$
5		인장변형률 3%에서 주요 양방향의 인장력의 등방성	1:1~1:1.25
6		주요 양방향에서 구멍크기	$\leq 10 \text{ mm}$
7		분리 및 필터요소	토목섬유의 종류
8		단위면적당 중량	$\geq 250 \text{ g/m}^2$
9	분리 및 필터요소와 보강요소 사이의 결합		평면적이고 이용기간 동안 지속적이어야 함
10	20 kPa 재하시 수직 투수계수 $K_v$		$\geq 5 \times 10^{-9} \text{ m/sec}$
11	20 kPa 재하시 수평 투수계수 $K_h$		$\geq 5 \times 10^{-9} \text{ m/sec}$
12	유효구멍크기 $O_{90,W}$		0.06~0.20 mm

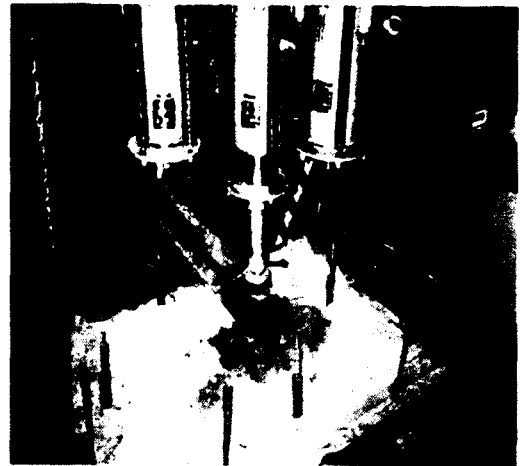
**3.2 실내시험의 기본개념 및 방법**

독일 드레스덴 공대에서는 원지반면위에 포설된 토목섬유가 교통로의 지반 치환층의 필요한 두께에 미치는 영향을 알아보기 위해 다음과 같은 실내시험을 실시하였다. 이러한 시험은 기존 철도노반의 보수·보강 및 확장시 토목섬유의

보강에 의해 야기될 수 있는 전반적인 문제점을 파악하기 위한 방안의 하나로 수행되었다[3].

기본 크기가  $1.7 \times 1.5\text{m}$  되는 하나의 시험상자 안에 지반 변형계수  $E_{v2}$ 가  $10 \text{ MN/m}^2$ 이 되는 원지반층을 모사하여 설치하였다. 모사된 원지반층은 콘크리트와 같은 강성지면의 영향을 배제하기 위해 여러 층으로된 고무판과 그 위에 동상에 예민한 세립토로 된 최소한 10 cm 두께의 토층으로 만들어 졌다. 그 이유로는 이러한 지반은 낮은 지지력과 동상에 대한 불안정성 때문에 빈번히 치환 또는 개량이 요구되기 때문이다.

지반 치환재로서는 도로의 실제 시공에서 우선적으로 사용되고 있는 자갈-쇄석 혼합재를 선택하였다. 모사된 원지반층 위에 설치된 자갈-쇄석 혼합재층은 변형계수의 값  $E_{v2}$ 가  $45 \text{ MN/m}^2$ 에 다다르거나 넘어설 때까지 매층을 10 cm의 두께로 설치하고 다졌다. 시험에 사용된 시험장치는 Fig. 1에서 보여주고 있다.



**Fig. 1 Test Equipment**

이러한 시험의 기본개념하에 토목섬유를 포설하지 않은 기본 시험과 각기 다른 보강재를 포설한 여러가지 시험을 실시하였다. 모든 시험에서 설치 및 다짐조건은 비슷하였다. Table.3에서는 개별적인 시험시의 구조와 그리고 각기 상이한 역

학적인 특성치를 갖는 토목섬유들을 보여주고 있다. 지오그리드는 자갈-쇄석 혼합재층에 포설하였고, 반면에 토목섬유-부직포가 결합된 복합포는 직접 원지반면위에 설치하였다. 그러나 시험 2에서는 설치시 높은 함수비 때문에 일시적으로 공극수압이 나타나고, 이로 인해 시험결과에 현저한 영향이 미칠 것으로 판단되어 시험결과와 평가에서 제외하였다.

자갈-쇄석 혼합재층을 사용하여 실시한 연속시험(시험 1~5) 후에 철도건설에서 사용하는 자연적인 무기질 혼합물(부서지지 않은 모래, 자갈 또는 부서진 자연적인 암석)을[10] 설치하여 시험 6을 실시하였다.

3.3 토목섬유가 철도노반의 두께에 미치는 영향

Fig. 2에서는 모든 시험의 서로 다른 층시스템(layer system)의 평면에서 측정된 변형계수들( $E_{v2}$ )을 나타내고 있다. Fig. 2로부터 층시스템의 지지력과 관련하여 다음과 같은 경향을 유추할 수 있다.

- 하나 혹은 두 개의 지오그리드층을 포설한 시험에서는 지오그리드를 사용하지 않은 기본시험에 비해 기본적으로 변형계수  $E_{v2}$  가 증가된 것으로 나타났다.
- 부직포와 결합없이 자갈-쇄석 혼합재층에 설치한 지오그리드(시험 3)와 부직포와 함께 직조된 복합포를 원지반면위에 설치한(시험 4) 경우에는 선택된 시험조건하에서 지지력의 증가와 관련하여 하나의 차이를 확인하였다. 원지반면 위에 부직포와 결합되어 직조된 복합포를 설치한 경우(시험 4)에는 부직포의 성분없이 직조된 지오그리드(시험 3)보다 높은 지지력의 증가를 나타내었다. 이러한 현상은 명백히 부직포의 분리 및 필터작용에 기인된다.
- 지오그리드와 복합포(토목섬유+부직포 결합) 2개층을 설치한 시험(시험 5, 6)의 경우에도 측정된

Table 3 Test Structure for each State

시험번호	시험구조	최대인장도/인장변형률 3%에서의 인장력(kN/m)
1		Geogrid 미사용
2		Geogrid □ 종 20/52 □ 횡 30/75
3		Geogrid □ 종 50/13.6 □ 횡 50/11.4
4		Geocomposite □ 종 50/13.6 □ 횡 50/11.4
5		Geogrid □ 종 20/52 □ 횡 30/75 Geocomposite □ 종 50/13.6 □ 횡 50/11.4
6		Geogrid □ 종 20/52 □ 횡 30/75 Geocomposite □ 종 20/42 □ 횡 30/75

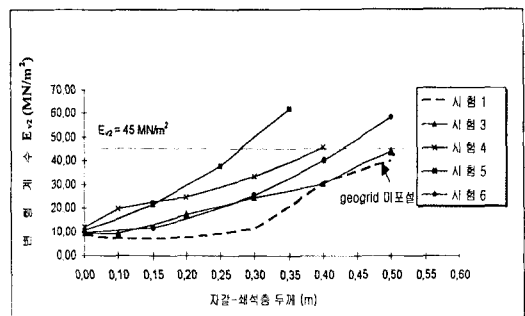


Fig. 2 Effectiveness of Geosynthetics for Bearing Capacity in a Layer System

변형계수들과 최대 인장력들 사이에 뚜렷한 연관관계를 나타내었다. 적은 인장력을 갖는 두개의 지오그리드를 포설한 시험(시험 6)에서 측정된 변형계수  $E_{v2}$  값은 높은 인장력을 갖는 지오그리드를 설치한 시험(시험 5)치의 약 1/2에 불과하였다. 모든 시험중 시험 5에서 가장 높은 인장력의 증가를 나타내었으며, 시험 5와 시험 6에서 나타난 상이한 변형계수의 값들은 서로 다른 특성치를 가진 토목섬유를 사용한 결과이다.

교통로 건설의 층시스템(layer system)에서는 적은 수직변형만을 허용하고 있으므로, 지오그리드에 의한 실제적인 층시스템의 지지력 증강은 설치된 지오그리드가 적은 인장변형률에서 큰 인장력을 나타낼 수 있는 경우에만 기대할 수 있다. 또한, 시험결과로부터 약 10 MN/m<sup>2</sup>의 지지력을 갖는 원지반면 위에 불충분한 강도를 갖는 두 개의 지오그리드층을 설치하는(시험 6) 것이 충분한 강도를 갖는 하나의 지오그리드층을 설치하는(시험 4) 것보다 불리하다는 결론을 내릴 수 있다.

그러나 위에서 언급된 시험결과들은 다만 하나의 경향을 나타내고 있으며, 이러한 현상은 실제적으로는 현장시험에 의해 증명되어야 한다.

#### 4. 기존 선로에서 토목섬유를 활용한 철도노반의 보강 효과

##### 4.1 기존 선로의 개요

제 2차 세계대전 이후 당시 2차선 선로로 운영되던 뮌헨-베를린간의 장거리 노선 Probstzella-Hochstadt/M 간의 선로중 광범위한 구간이 폐쇄되었으며, 그 결과 이 구간에서는 현재까지 다만 1차선 선로만 운영되고 있다.

그러나 1990년 10월 동서독 통일이후 소위 말하는 "간격 없애는 프로그램(Lueckenschlussprogramm)"에 의해 이 노선을 다시 2차선 선로로 복구하기로 결정하였다[7].

건설조처로는 독일 국영철도의 "흙구조물 시방서(DS836)"에 따라 속도가 160 km/h보다 적은

철도구간(동상지역Ⅲ)으로 규정하였다. 이로 인해 동상에 안정한 노반의 최소두께는 0.3 m에 달하여야 하고, 원지반면 위에서 변형계수  $E_{v2}$ 는 20 MN/m<sup>2</sup> 이상이 되지 않으면 안된다.

철도선로의 지반조사 결과는 다음과 같다.

- 자갈 도상층의 두께는 대부분 약 0.5~0.6 m에 달하고, 밑부분에서는 심하게 더럽혀져 있었다.
- 자갈 도상층 아래에는 부분적으로 점토질을 함유한 자갈모래층으로 이루어진 0.2~0.3 m 두께의 노반보호층이 있었다. 그러나 대부분의 선로 구간에서는 이러한 노반보호층이 설치되어 있지 않았으며, 도상 자갈층이 직접 원지반면 위에 설치되어 있었다.
- 철도선로가 여러번 하천의 계곡(Main강, Rodach) 가장자리를 지나가는 Hochstadt/M-Foertschendorf 사이의 지형과 거의 같은 구간에서는, 기초지반은 대체로 미세입자의 퇴적물(계곡경사로부터 흘러내려온 실트)로 이루어져 있었다.

이 구간의 지반에 대해 평판재하시험을 실시한 결과 변형계수는 5~20 MN/m<sup>2</sup>에 달하는 것으로 나타났다.

##### 4.2 노반의 측정 및 지반개량방법

이미 4.1항에서 언급한 바와 같이 Hochstadt/M-Foertschendorf 사이의 선로구간에서는 노반층의 최소두께가 0.3 m가 되도록 건설하여야 하고, 원지반면위의 변형계수의 값이 요구되는 20 MN/m<sup>2</sup> 이상이 되도록 원지반면 하부구조의 실트질 흙으로 된 부분을 개량하지 않으면 안된다.

이에 따라 동상보호층의 두께 0.3 m, 그리고 노반보호층의 두께 0.2 m로 이루어진 총 0.5 m의 노반층을 건설하기로 결정하였다. 선로 운영상의 이유로 인해 건설에 필요한 치환재를 기존선로를 넘어 직접 시공장소까지 옮기는 것은 불가능하였다. 시공시 화물자동차마다 도로위를 통과하여 건설되는 철도 예정선로까지 치환재를 운송하여야만 한다. 따라서, 제한된 진입로 및 출구 가능성 때문에 예정선로에 약 1 km 길이의 건설공사구간이 예정되었으며, 그 결과 기존선의 운영

에는 아무런 지장이 없게 되었다.

건설공정을 살펴보면 먼저 굴삭기로 지반을 굴착하고, 그 위에 0.3 m 두께의 동상보호층을 건설하여 공사구간 끝까지 설치한다. 그러나, 원지반면/노반의 지지력이 작을 경우 동상보호층은 축하중 10 ton을 갖는 화물자동차의 계속되는 통행으로 인해 장기적으로는 안정성이 보장되지 못할 것으로 예측하였다.

따라서, 동상보호층의 지지력을 추가적인 지반개량 또는 토목섬유(부직포, 지오그리드)의 포설에 의해 증가시키기로 결정하였다. 이 경우 운영 중인 기존 선로에 비용이 많이 드는 안전조치의 설치를 피하기 위해, 가능하면 굴착깊이를 줄일 수 있도록 지반개량의 두께를 산정하여야 한다. 또한, 다른 한편으로는 지반개량층 아래에 있는 원지반면위에는 시공기면의 좁은 폭 때문에 실제적으로는 항상 같은 궤적을 주행하게 될지도 모르는 공사차량으로 인해 야기되는 변형이 생기지 않도록 하지 않으면 안된다.

추가적인 지반개량의 최소두께를 산정하고, 동시에 하나의 충분히 안정된 공사도로를 보장하기 위해 하나의 시험구간을 설치하였다.

지반개량을 위한 대안으로는 양질의 치환재를 이용한 원지반면/노반의 개량방안을 검토하였다.

### 4.3 현장 시험구간의 설치 및 시험 결과

시험구간은 지지력과 관련하여 가장 불리한 지반이 존재하는 25.000~25.200 km의 Stockheim-Foertschen 건설공사구간에 설치하였으며, 평판재하시험 결과 이 구간의 지반변형계수  $E_{v2}$ 는 5~17 MN/m<sup>2</sup>에 달하였다. 시험구간은 6개 구역으로 나누었고 그리고 우선 1구역에서 4번째 구역까지 시험을 실시하였다. 그 다음 5번째 및 6번째 시험구역을 설치하고 시험을 실시하였다. 시험방법으로는 축하중 10 ton을 갖는 적재된 삼륜화물차가 40번까지 통행하는 방법으로 결정하였다. 노반층으로는 동상보호재료, 자갈-쇄석 혼합재, 부직포로는 열융합으로 고착된 부직포(T-2000), 그리고 지오그리드는 교차점이 견고하고 인장력이

있는 지오그리드(Tensar SS25)를 설치하였다. 노반층은 매번 충분히 다졌다.

#### (1) 시험구역 1 - 지오그리드와 부직포를 포설하지 않는 0.4 m의 지지층(Fig. 3 참조)

이미 10번의 통행 후 차선이 가늘고 길쭉하게 깊게 패였고 이들 사이에 아치모양이 형성되었다. 연약점성토 지반이 자갈층을 통해 위로 뚫고 나왔으며, 시험구역은 통행이 불가능하게 되었다.



Fig. 3 Test Field 1

#### (2) 시험구역 2 - 부직포를 포설한 0.4 m의 지지층(Fig. 4 참조)

약 20번의 통행후 0.3 m의 깊이까지 차선이 깊게 패였다. 부직포는 연약지반의 차선들 사이에서 둥근 쿠션모양으로 위로 뚫고 나왔고, 그리고 찢어졌다.

#### (3) 시험구역 3 - 지오그리드를 포설한 0.4 m의 지지층(Fig. 5 참조)

약 40번의 통행후 0.3 m의 깊이까지 차선이 깊게 패였으며, 지오그리드는 연약지반의 차선들 사이에서 시공기면까지 뚫고 나왔다.

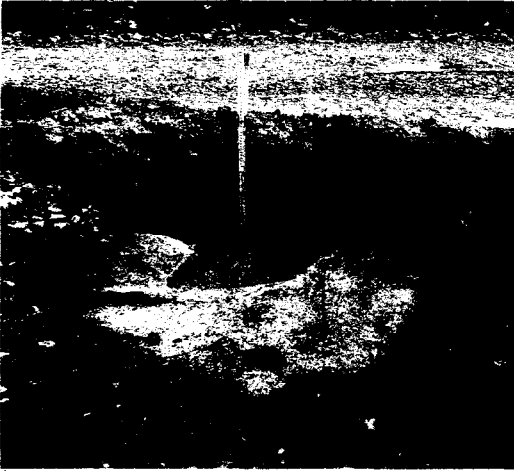


Fig. 4 Test Field 2



Fig. 6 Test Field 4



Fig. 5 Test Field 3

(4) 시험구역 4 - 부직포 및 지오그리드를 포설한 0.4 m의 지지층(Fig. 6 참조)

약 40번의 통행후 0.1 m의 깊이까지 차선이 패였고, 원지반의 흙들은 시공기면까지 뚫고 나오지 않았으며, 차선들 사이에서는 약간의 아치모양이 형성되었다. 그러나, 원지반의 변형이 더 많은 통행 후에는 심화되고, 그리고 궁극적으로는 하나의 피해가 가는 범위까지 발생될지 모르는 불안감이 야기되었다.

(5) 시험구역 5 - 부직포 및 지오그리드를 포설하지 않은 0.6 m의 지지층

40번의 통행 후 0.5 m의 깊이까지 차선이 가늘고 길쭉하게 패였으며, 원지반은 차선들 사이에서 아치 모양을 나타내었다.

(6) 시험구역 6 - 부직포 및 지오그리드를 포설한 0.6 m의 지지층

40번의 통행후와 그리고 계속된 더 많은 통행후에도 시공기면 위에서 차선이 패이지 않았다. 시공기면에서는 적재된 화물차가 통행하는 순간에 시공기면에서 균열을 형성하는 약간의 탄성적인 변형이 발생하긴 하였으나 지속적인 변형으로 발전되지는 않았다.

Table 4에서는 위에서 언급한 시험구역들의 구조 및 시험결과들을 나타내고 있다.

#### 4.4 토목섬유를 활용한 철도 노반의 보강 효과

시험구역 5에서 나타난 것과 같이 시험구역 5가 지속되는 작용하중하에서 시험구역 6과 같은 안정성에 도달하기 위해서는 아마도 약 0.3 m가 증가된 0.9 m 깊이의 지반치환을 하지 않으면 안된다. 이번에 검토한 시험구간의 경우에는

**Table 4 Structure of Test Fields and Test Results**

시험구역	노반층 (m)	지오그리드	부직포	통행수	효과	변형계수 $E_{v2}$ (MN/m <sup>2</sup> )	
- 원지반 DIN18196에 따른 분류 TL, TM, TA - Consistency 연약-견고 $I_c=0.4\sim0.9$ - 변형계수 $E_{v2}=5\sim17$ MN/m <sup>2</sup>	1	0.4		10	과파됨, 통행불가	26	
	2	0.4		+	20	0.3m깊이까지 패임. 직포+흙은 시공기면까지 뚫고 올라감. 직포 찢어짐	29
	3	0.4	+		40	0.2m깊이까지 패임. 지오그리드 + 흙은 지오그리드와 함께 시공기면까지 뚫고 올라감	52
	4	0.4	+	+	40	0.1m까지 패임. 지오그리드/부직포+흙은 시공기면까지 뚫고 올라가지 않음. 원지반면위 변형 발생	38
	5	0.6			40	0.2m까지 패임. 흙은 시공기면까지 뚫고 올라가지 않음. 원지반면위 변형 발생	55
	6	0.6	+	+	40	차선은 패이지 않음. 시공기면 및 원지반 면위에 지속되는 변형 발생치 않음.	90~120

주) TL : 점토(소성한계 < 35%), TM : 실트(소성한계 > 35%)  
TA : 점토(소성한계 > 50%)

부직포와 지오그리드를 활용한 보강방안에 의해 기존선로의 안정성을 확보함과 동시에 지반치환 깊이를 약 1/3까지 감소시킬 수 있다고 예상하였다. 또한, 연약하고 그리고 대부분 소성적인 흙으로 형성된 지반의 경우에는 부직포와 지오그리드의 활용이 최선의 방법이라고 할 수 있으

며, 이것은 부직포가 연약한 원지반의 흙들이 지반치환층을 뚫고 올라오는 것을 분명히 방지하고, 그 결과 원지반면에서의 침하와 부등침하를 최소화하기 때문이다.

따라서, 연약-견고하고 미세입자와 점토질로 형성된 계곡 실트지반인 지형과 비슷한 구간에서는 일반적으로 최선의 조치로서 시험구역 6의 보강방법을 예측하였다. 지반조사의 결과에 따라 원지반면과 노반과의 보다 나은 상태를 기대하였던 구간에서는, 지반개량 깊이와 그리고 부직포 및 지오그리드의 설치가 굴착과 관련하여 예상한 상황과 잘 일치하였다. 혼합된 입자 혹은 조립토로된 제방 위와 같은 일부구역에서는 0.5 m 두께의 노반층 아래에 다만 부직포 또는 지오그리드를 포설하고, 그리고 또다른 구역에서는 다만 0.1 m, 0.2 m 혹은 0.3 m 두께의 지반 개량층을 설치하는 것과 같은 방법으로, 지반개량의 두께를 감소시킬 수 있었다.

총 42 km의 전 건설구간에서(전체길이 53 km의 경우) 선로측정열차의 '93~'95년도 연차계획의 일환으로 실시한 검사 및 상태측정 결과에 따르면 침묵 및 레일 B70W/UIC 60(0~28 km)과 B70W S54(28~53 km)은 양호한 상태의 숫자를 나타내었다. 노반에서는 2년이 지난후에도 별다른 변형이 나타나지 않은 것으로 확인되었다.

지오그리드와 부직포를 이용하여 현장시험 및 계측을 통해 철도노반의 보강효과를 시험한 결과 다음과 같이 많은 비용을 절약할 수 있었다.

- 선로측에서 중앙 고정대책에 따른 비용
- 운영 장애에 따른 높은 비용
- 기존선로의 유지보수 비용
- 추가적으로 높은 인건비 및 안전비용
- 지반치환두께의 약 1/3 절약 등

따라서, 지오그리드와 부직포를 이용한 보강기법은 기존선로의 보수·보강 및 확장시 매우 경제적이고 공기면에서도 많은 장점을 갖고 있다.

**5. 결론**

현재 우리나라의 많은 철도기반시설이 노후화



되고 용량이 부족하여 기존선로의 보수·보강 및 확장이 불가피한 실정이다. 특히, 연약지반상에 구축된 철도노반의 보수·보강 및 확장시 지반의 치환 및 개량과 같은 전통적인 공법들은 공기, 시공성 및 경제성면에서 많은 문제점들을 내포하고 있다.

따라서, 본문에서는 이에대한 대안으로 현재 외국에서 활발히 연구가 진행중인 토목섬유 시스템(geosynthetics system)을 이용한 기존 철도노반의 보강기법에 대해 외국의 기준 및 사례들을 중심으로 연구·검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 주요 기능 및 적용방법

- 지오그리드는 기존 철도노반에서 지지력이 부족한 지반 또는 지지력의 변화가 심한 지반에서 보강이 필요한 경우에는 보강기능으로, 그리고 추가적인 분리 및 필터기능을 갖는 보강재가 필요한 경우에는 복합포(지오그리드+부직포 결합)의 형태로 사용되어 진다.

(2) 지오그리드, 복합포(지오그리드+부직포)를 사용한 실내시험

- 하나 혹은 두 개의 지오그리드층을 포설한 시험에서는 지오그리드를 사용하지 않는 시험에 비해 기본적으로 지지력계수(변형계수)  $E_{v2}$ 가 증가된 것으로 나타났다.

- 지오그리드를 자갈-쇄석 혼합층에 설치한 시험과 복합포(지오그리드+부직포)를 원지반면위에 포설한 시험에서는 부직포의 분리 및 필터작용에 의해 복합포를 사용한 시험에서 보다 높은 지지력의 증가를 나타내었다.

- 지오그리드와 복합포(지오그리드+부직포)를 동시에 포설한 시험에서는 적은 인장변형률에서 큰 인장력을 나타내는 지오그리드를 사용한 시험에서 더 큰 지지력의 증가를 나타내었다.

(3) 지오그리드와 부직포를 사용한 현장시험(기존 철도노반의 확장시)

- 조립토 지반에서는 지오그리드를 사용하여 지반 개량층의 두께를 감소시킬 수 있었다.

- 연약한 점성토 지반에서는 지오그리드와 부직포를 함께 포설하여 지반치환의 두께를 약 1/3

감소시킬 수 있었다.

- 지오그리드와 부직포를 사용한 보강기법은 선로축 중앙고정 대책 공법에 따른 비용, 운전장애에 따른 비용, 기존선로의 유지보수 비용, 추가적으로 높은 인건비 및 안정비용, 지반치환 두께의 약 1/3 절약 등과 같은 많은 비용을 절감할 수 있었다.

위에서 언급한 바와 같이 철도노반의 보수·보강 및 확장시 토목섬유 시스템(geosynthetics system)은 매우 경제적이고, 시공이 용이하며, 환경 친화적인 공법이므로, 향후 우리나라의 기존 철도노반의 보수·보강 및 확장시 이러한 공법적용에 대해 진지한 연구와 검토가 이루어지길 바란다.

참고문헌

1. 신민호, 황선근 외 : "철도노반재로서의 고로슬래그의 활용화 방안 연구", 한국철도기술연구원, 1998.
2. 심재범 : "토목섬유를 이용한 철도노반의 보강에 관한 연구", 한국철도대학 논문집, 1999.
3. C.Goebel, K.Lieberenz, "Beeinflussung der Tragverhaltens von Schichtsystemen durch Geokunststoff", Kunststoffe in der Geotechnik, K-GEO 95, Muenchen.
4. 심재범 : "유럽의 철도노반 설계기준 및 연약노반 보강방법", 한국철도기술연구원 국내외 전문가 초청세미나, 1999. 11.
5. Technische Lieferbedingungen "Geokunststoffe der DBAG(TL 918-39)", 1997.
6. Fokke Saathoff, "Ueberbauung von Schlammteichen", BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & KG, 1999. 4.
7. J Seiler, "Versuche und praktische Erfahrungen mit gestreckten und gewebten Geogittern auf der Strecke Hochstadt/M.-Probstzella der Fernbahn Muenchen-Berlin", Kunststoffe in der Geotechnik, K-GEO 95, Muenchen.
8. "고속철도 핸드북", 한국고속철도 건설공단, 1993. 2.
9. DS 836 der DBAG, "Vorschrift fuer Erdbauwerke", 1985.
10. Technische Lieferbedingungen "Korngemische fuer Tragschichten" der DBAG (TL 918-62), 1997.