

토목섬유로 보강된 철도노반의 설계기법

A Design Method of Reinforced Railway Roadbed by Geosynthetics

심재범*
Shim, Jae-Bum

채영수**
Chae, Young-Su

ABSTRACT

The design method of Geosynthetics reinforced Railway Roadbed that was developed in Germany in 1997 is presently putting into practice. This method insists that Railway Roadbed Thickness has to be measured by Frost and Bearing Capacity. The Maximum Value from the above two measurements is the necessary Railway Roadbed Thickness.

This design method has many kinds of advantage in economic, constructive aspect, and environmentalism.

Recently a few Korean experts actively have researched on this area, but their results are not enough for proper design method. I hope more complete study on this area will be progressed.

1. 서론

교통로의 원지반면위에 수평으로 그리고 평면적으로 포설된 토목섬유에 의해 여러층으로 구축된 노반의 지지력이 증강되어 질 수 있는가에 대한 목표설정은 이미 오래전부터 추구되어 왔다. 이러한 목표설정의 실현을 위해 독일에서는 1970년대에 구동독 국영철도의 현장시험 노선상에서 12년 이상 부직포를 사용한 구간과 사용하지 않은 구간에서 지지력의 거동상태에 대한 체계적인 측정이 이루어졌다. 그리고 이들 결과들을 바탕으로 하나의 기존 철도노선의 개량후의 상태로 모방되어진 실제와 거의 유사한 조건들 하에서 원래의 축적에 맞게 실내모형실험을 실시하였으며, 그 결과 1997년 토목섬유를 활용한 철도노반 보강의 설계기법을 제안하기에 이르렀다. 아래에서는 이 설계기법에 대해 간략히 소개하고자 한다.

이 제안은 다만 기존 철도구간의 유지보수시 보강되지 않은 여러 층으로 구축된 철도노반시스템의 지지력을 증가시키는데 그 목적이 있으며, 신설구간의 노반의 보강은 현재 관례화 되지 못하였다.

* 한국철도대학 교수, 정회원

보강되지 않은 노반층은 원지반면과 노반층 사이에 평면적으로 포설된 토목섬유에 의해 보강되어 진다. 열차의 주행에 의해 야기되어지는 교통하중에 따라 포설된 토목섬유들에서는 인장력들이 발생되며, 이러한 인장력들에 의해 교통하중이 보다 잘 분포되어지고 그리고 원지반층에 지역적으로 적은 응력들이 작용하게 된다.

철도구간의 노반층은 기본적으로 동상 및 지지력에 대해 측정되어야 하고, 양 측정치로부터 얻어진 최대값이 철도노반의 필요한 두께이다. 동상에 대한 측정기준들은 이미 알려져 있고 그리고 이 기준들을 그대로 인용할 수 있으나, 보강된 노반의 측정에 대한 문제점들은 아직까지 완전히 해결되지 못하였다.

철도구간의 노반층의 보강을 위해 제시된 제안들은 기본적으로 독일 국유철도(DB AG)의 시방서(DS 836)에 맞추어 졌다. 이 제시된 제안은 또한 앞에서 언급된 시방서의 수정보완서에서 수록이 기대되어 지는 몇 개의 새로운 제안 내용들을 포함하고 있다.

이 제시된 제안에서 주어진 변형계수들은 더 이상 감소되어서는 안되고, 그리고 직접 보강을 위해 적용되어질 수 있다.

2. 기본개념

다층구조를 갖는 철도노반시스템의 기본개념은 다음과 같다.

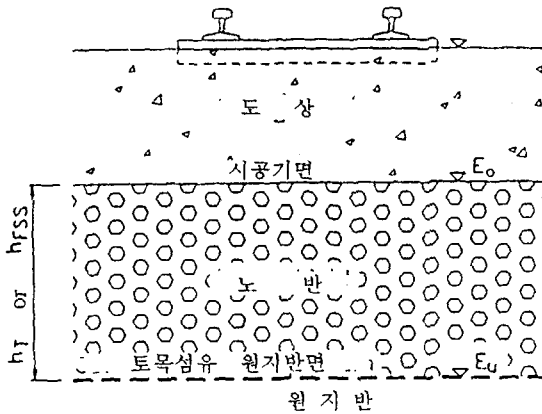


그림 1 기본개념

필요한 노반층의 두께 h_T : 지지층의 지지력에 필요한 두께에 대한 측정결과

노반층 : 원지반과 상부구조사이에 놓여있고 토목섬유에 의해 보강되어질 수 있는 흙 또는 인공적인 무기질이 혼합된 흙으로 구축된 층

동상보호층(FSS) : 동상에 안전한 흙으로 구축된 층

필요한 동상보호층의 두께 h_{FSS} : 동상에 안전한 흙들로 축조된 필요한 지지력층을 포함한 도상 보호층의 총 두께에 대한 측정결과(도상 제외)

원지반 : 자연적으로 인접한 원지반

시공기면 : 노반층의 상부경계면

원지반면 : 자연적으로 인접하였거나 또는 개량된 원지반의 상부 경계면

변형계수 E_u : 원지반면 위에서 DIN18134에 따라 평판재하시험을 통해 얻어진 변형계수

변형계수 E_o : 시공기면 위에서 DIN18134에 따라 평판재하시험을 통해 얻어진 변형계수

3. 기술개발 상태

철도구간의 보강된 노반층의 측정을 위한 이론적인 방정식은 아직까지 알려져 있지 않다. 현 상태에서는 다만 시험노선에서의 측정치들에 대한 평가, 큰 규모의 실내시험과 그리고 보강된 노반층을 활용한 실제적인 경험들에 근거를 둔 하나의 경험적인 측정방법을 추천할 수 있다.

이러한 조사들로부터 등가인자(等價因子)들이 개발되었으며, 이 등가인자들의 도움으로 보강되지 않은 노반층에 대해 보강된 노반층의 감소된 두께를 다층이론에 따른 변형계수 E_u 에 의해 계산할 수 있게 되었다.

4. 변형계수

철도선로의 노반층의 필요한 두께를 측정하기 위해서는 변형계수 E_o 및 E_u 가 알려져야 한다.

4.1 원지반의 변형계수

실제와 가까운 원지반면의 변형계수 E_u 를 알아내는 것은 지지력 기준에 따른 노반층의 필요한 두께를 측정하는데 매우 중요한 전제조건이다. 변형계수 E_u 는 일반적으로 점성토의 경우에는 가능한 한 가장 작은 지지력을 나타내는 시기(년 초의 지지력)에 조사되어진 원지반면위의 E_{V2} 의 값이다. 가장 지지력이 작은 시기 이외의 기간에 측정할 경우에는 가능한 지지력의 감소를 평가하지 않으면 안된다.

위에서의 결정은 변형계수 E_u 가 항상 크기가 같지 않으며, 날씨계수 특히, 동상에 의해 계절적인 편차의 지배를 받고 있고, 그리고 일반적으로 년 초의 해빙기 동안에 그들의 최소값을 나타내고 있다는 데에 근거를 두고 있다. 만일 변형계수 E_u 를 지지력이 최소가 되는 시기 이외의 기간에 측정하게 되고 그리고 하나의 가능한 지지력의 감소를 평가할 수 없다면, 변형계수 E_u 를 소위 하나의 산정계수 E_H 와 동일시하는 것을 제시하고 있다.

산정계수 E_H 는 아마도 일년주기에서 변형계수 E_u 의 가장 작은 값을 나타내고 있으며, 그리고 무엇보다도 도로에서 수년간의 체계적인 측정을 통해 산정하였다. 이 값은 근사적으로 흙분류와 그리고 수문학적인 상태들과 관련된 표 1로부터 얻을 수 있다.

이 경우 수문학적인 case는 다음과 같이 정의된다.

① Case 1 : 추가적인 침투가 없는 경우

물은 방해 없이 흐르고 시공기면은 손상되지 않는다. 레일의 위쪽가장자리 아래 1.5m까지의 범위에서는 년 초에도 추가적인 침투를 계산할 필요가 있다($I_c \geq 1.0$).

② Case 2 : 일시적인 침투

물이 잘 배수되지 않는 배수도가 불량한 상태이다. 레일의 위쪽 가장자리 아래 1.5m까지의 범위에서는 년 초에 때때로 물이 침투되어 있는 것을 계산하여야 한다($0.75 < I_c < 1.0$).

③ Case 3 : 상시적인 침투

홀러드는 물이 배수되지 않는다. 배수로가 없거나 또는 비탈면으로부터 항상 외부 물이 홀러드는 경우이다. 레일 위쪽 가장자리 아래 1.5m까지의 범위에서는 항상 물이 침투되어 있는 것을 계산하여야 한다($I_c < 0.75$).

수문학적인 중간단계는 전문가로부터 확인되어질 수 있다.

표 1. 각기 상이한 수문학적인 경우들의 산정계수 E_H

DIN 18196에 따른 흙분류	입자함수량 $d < 0.1mm$ or. w_L	E_H in MN/m ² Case 1	E_H in MN/m ² Case 1/2	E_H in MN/m ² Case 2	E_H in MN/m ² Case 2/3	E_H in MN/m ² Case 3
GU	10 to 20%	60	45	30	25	20
SU	10 to 20%	50	35	25	22.5	20
SE		-	-	-	-	20
GU, GT, SU, ST	20 to 30%	40	30	20	17.5	15
GU, GT, SU, ST	> 30%	30	20	15	10	10
UL, TL	$w_L < 0.35$	25	20	15	10	10
UM, TM, UA	$w_L = 0.35$ to 0.50	25	20	15	12.5	10
TA	$w_L > 0.35$	20	17.5	15	12.5	10

- 주 : ① GU : 자갈 + 실트, Gt : 자갈 + 점토
 ② SE : 잘 혼합된 모래, SU : 모래 + 실트, ST : 모래 + 점토
 ③ UL : 실트(소성한계 < 35%), UM : 실트(소성한계 > 35%)
 ④ TL : 점토(소성한계 < 35%), TM : 실트(소성한계 > 35%)
 TA : 점토(소성한계 > 50%)

4.2 시공기면에 필요한 변형계수

기존철도선로의 유지보수를 위해 시공기면위에서 필요한 변형계수들 및 다짐도는 아래 표2에 나타나 있다.

표 2. 기존철도선로에서 유지보수를 위한 변형계수 E_o 와 다짐도 D_{pr}

속 도	변형계수 E_o [MN/m ²]	다짐도 D_{pr} [-]
$V > 160km/h$	≥ 80	≥ 0.97
$V \leq 160km/h$	≥ 50	≥ 0.95

5. 토목섬유의 보강

보강용으로는 다만 스트립 인장시험에서 신장율이 3%이고 철도의 종방향 및 횡방향에 대해 최소 인장력 10KN/m를 나타내는 토목섬유들이 사용되어야 한다.

보강용 재료로 지오그리드가 사용되는 경우에는 지오그리드를 둘러싸고 있는 성토 흙과의 실제적인 결합을 위해 지오그리드의 구멍크기는 흙의 입도분포에 맞추어져야 한다.

위의 조건을 유지하기 위해 다음과 같은 기준이 제시되어 진다. : $0.6 \ell_w \geq d_{(80)}$

여기서 ℓ_w 은 지오그리드의 구멍크기의 최소치이고 그리고 $d_{(80)}$ 은 지오그리드를 둘러싸고 있는 성토흙의 통과백분율의 80%에 해당하는 입경이며, 이 경우 가장 큰 입경이 결정적이 된다. 이러한 조건은 개개의 입자가 지오그리드의 유효구멍크기를 통과할 수 있다는 확률에 근거를 두고 있다.

보강은 일반적으로 노반과 원지반면 사이에 포설되는데, 이는 토목섬유의 추가적인 분리 및 필터 작용을 동시에 고려하여 설치되는 것이다. 다만 노반층의 필요한 두께가 40cm이상인 경우에는 노반층을 두 개의 층으로 구축할 것을 추천하며, 두 개의 층사이에 보강층을 포설하고 그리고 이 경우 지오그리드가 우선적으로 고려된다.

추가적인 분리 및 보강기능을 갖는 토목섬유 및 지오그리드에 대한 특성치들은 독일 국유철도의 "기술적인 토목섬유 공급조건들(DB AG 918039)"을 엄수하여야 한다.

6. 필요한 노반두께의 측정

보강된 노반층의 필요한 두께는 지지력 및 동상에 대한 각각의 측정에 의하여 결정되며, 그 결과 산정된 큰 노반층의 두께가 필요한 두께이다.

6.1 동상에 대한 측정

동상보호층의 최소두께 h_{fss} 는 동상작용지역(I, II 또는 III)과 관련된 표 3에 따라 산정되어 지며, 독일 국유철도의 노선망을 위한 동상작용지역의 구분은 시방서(DS 836)에서 인용하였다.

표 3. 동상작용지역 및 사용된 토목섬유와 관련된 필요한 동상보호층의 두께 h_{fss}

속 도	동 상 작 용 지 역					
	I		II		III	
	A	B	A	B	A	B
$V > 160\text{km/h}$	30	20	40	30	50	40
$V \geq 160\text{km/h}$	20	20	25	20	30	20

주 : A - 토목섬유 비보강

B - 추가적인 분리 및 필터기능을 갖는 토목섬유

6.2 지지력에 대한 측정

보강 및 비 보강된 노반층의 필요한 두께 h_r 는 그림 2로부터 측정할 수 있다. 산정된 두께는 순 5cm에서 반올림하여야 한다.

산정도표는 다만 다음과 같은 조건들 하에서 유효하다.

- 기존노선의 유지보수
- 4항에 따른 요구조건들을 갖는 토목섬유를 사용한 보강
- 노반층의 최소두께가 0.2m이하인 경우
- 원지반면의 변형계수들이 $10 \leq E_u \leq 30\text{MN/m}^2$ 인 경우

원지반면의 변형계수 E_u 의 값들이 10MN/m^2 이하인 경우에는 원지반의 개량을 위한 특별한 대책이 요구되고, 원지반면의 변형계수 E_u 의 값들이 30MN/m^2 이상인 경우에는 보강의 효과가 미미하고 그리고 그들의 보강이 더 이상 효과적이지 못하다.

만일 원지반면에서 작은 지지력을 갖는 지역적으로 제한된 약한 부분이 있는 경우에도 또한 토목 섬유가 사용되어 진다. 이 경우 추가적으로 포설된 토목섬유는 지역적으로 제한된 약한 부분을 연결시키고 그리고 시공기면의 지지력을 동질화하게 한다. 비 보강된 노반층은 이로 인해 변화되지 않는다.

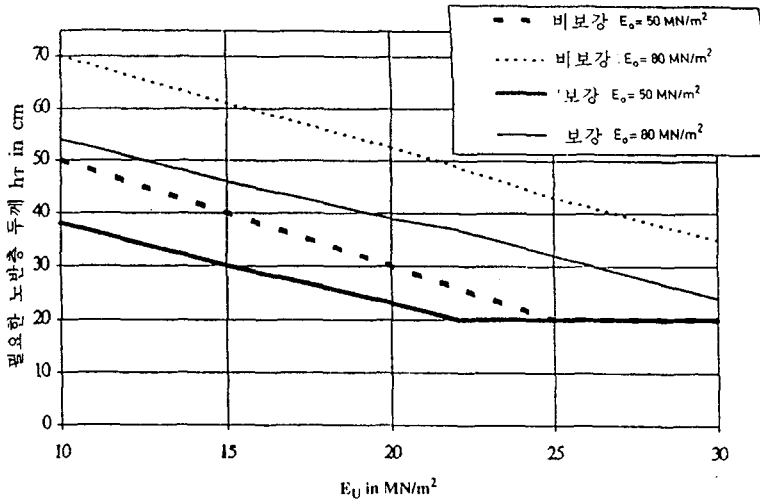


그림 2. 측정도표

7. 결론

철도선로의 원지반면위에 포설된 토목섬유에 의해 여러 층으로 축조된 철도노반시스템의 지지력의 증가에 대한 연구가 독일에서는 이미 1970년대 이래 수행되어져 왔다. 그 결과 1997년에는 기존철도구간의 유지보수시 토목섬유를 사용하여 여러 층으로 구축된 철도노반시스템의 노반층의 감소된 두께를 다층이론에 따른 변형계수 E_u 에 의해 산정할 수 있는 설계기법을 제안하기에 이르렀다. 철도구간의 노반층의 두께는 기본적으로 동상 및 지지력에 대해 측정되어져야 하고, 양 측정치로부터 얻어진 최대값이 철도노반의 필요한 두께이다.

위에서 언급한 바와 같이 독일에서는 토목섬유를 활용하여 노반층의 필요한 두께를 감소시킬 수 있는 자국에 필요한 설계기법들을 개발하여 거의 실용화 단계에 이르렀고, 이와 같은 설계기법은 경제성, 시공성 및 환경친화적인 면에서 여러 가지 장점들을 갖고 있다.

우리 나라에서도 최근 일부 전문가에 의해 철도노반의 지지력 제고 차원에서 토목섬유로 보강된 철도노반에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직까지 우리 실정에 적합한 설계기법을 제시하기에는 미흡한 시정이다.

따라서 앞으로 여러 가지 토목섬유를 활용한 철도노반 보강에 대한 연구가 지지력 제고 차원에서뿐만 아니라 동상보호층 기능에 대해서도 활발히 이루어져, 우리 나라에 적합한 토목섬유로 보강된 철도노반에 대한 설계기법이 개발되기를 바란다.

참고문헌

1. 신은철, 심재범외 7명(1999년),“지오그리드를 활용한 철도노반강화에 관한 연구”
시립인천대학교. 공학연구소
2. 심재범(1998년),“철도건설시 토목섬유의 활용방안”, '98년도 토목섬유 학술발표회 논문집,
pp. 1 ~ 22
3. 심재범, 채영수(1999),“동적하중하의 철도노반에서 토목섬유의 보강효과”,
'99년도 토목섬유 기술세미나 pp. 63 ~ 76
4. 조삼덕, 김진만의 5명(1999년),“Geocell System을 이용한 연약지반상 고속철도 노반강화기법”,
한국건설기술연구원
5. DB AG-TL 918309 : “ Technische Lieferbedingungen Geokunststoffe”, DB AG
6. DS 836 der DB AG(1985년),“Vorschrift fuer Erdbauwerk”
7. “Tragschichten von Eisenbahnstrecken”(1997년), Empfehlungen fuer Bewehrungen aus
Geokunststoffen, Deutxche Geosellschaft fuer Geotechnik(DGGT), pp. 22 ~29
8. Goebel, Lieberenz, Weisemann(1993), “Dauerbelastungsversuche mit Kunststoffbewehrten
Tragschichten im Eisenbahnbau”, Geotechnik, Sonderheft, DGGG e.V. Essen
9. Goebel, Lieberenz, Weisemann(1993), “Vorschlaege zur Bemessung des Kunststoffbewehrten
Tragsystems von Eisenbahnstrecken auf Frost und Tragfaehigkeit”. Geotechnik, Sonderheft,
DGGG e.V. Essen
10. Stunck, k.u.a.(1967),“Tragfaehigkeitsschwankungen der Strassen”, Sonderreihe des Information-
sheftes Das Strassen, Heft 9.