

콘크리트궤도 개량공사시 노반 보강을 위한 토목섬유의 적용 Application on Geotextiles for the Roadbed Reinforcement of the Concrete Track Rehabilitation

이일화* 장승엽* 한성우** 김용진***
Lee, Il-Wha Jang, Seung-Yup Han, Sung-Wu Kim, Yong-Jin

ABSTRACT

The most important factor is the roadbed bearing capacity at concrete track construction. Particularly, in case of rehabilitation, it is essential to secure the uniform roadbed stiffness to prevent the irregular settlement. In this study, reinforced effect of the geotextiles is investigated which is applied to concrete track rehabilitation. The geotextiles is installed two or three layers as the condition of the ground and structure. The reinforced effect of geotextiles is confirmed by the strain gage attached on the geotextiles surface.

1. 서론

기존 일반철도 영업선의 개량공사 시 충분한 노반의 지지력 확보는 궤도의 내구성 확보에 있어 가장 중요한 요소이다. 특히 콘크리트궤도로 개량할 경우, 궤도의 침하를 방지하기 위한 노반의 균일한 강성 확보는 필수적이다. 콘크리트궤도에서 발생하는 침하문제의 원인은 반복되는 열차의 하중, 이음매의 단차, 국부침하 또는 배수불량에 의한 노반 연약화 등 복합적인 원인으로 발생하며 유지보수 또는 보강이 매우 어렵다. 그래서 콘크리트궤도로 시공될 경우 노반의 추가적인 유지보수가 필요 없도록 충분한 노반의 지지력을 확보할 수 있는 방안을 모색하여야 한다. 본 연구에서는 전라선에서의 280m 슬래브궤도 시험시공시 균일한 노반지지력 확보를 목적으로 적용한 토목섬유의 지지보강효과를 검토하였다. 토목섬유의 부설은 콘크리트궤도의 전 구간 상부노반 상면에 1차로 보강을 하였고, 2차로 암거횡단부, 터널 진출입부, 그리고 자갈궤도에서 콘크리트궤도로 바뀌는 접속부에 2단 보강을 하였다. 그리고 토목섬유의 시공이 지지력 확보에 효과적이지 확인하기 위하여 암거횡단부에 설치된 토목섬유에 스트레인게이지를 50cm간격으로 30개를 부착하여 보강효과를 확인하였다.

2. 현장 지반조사

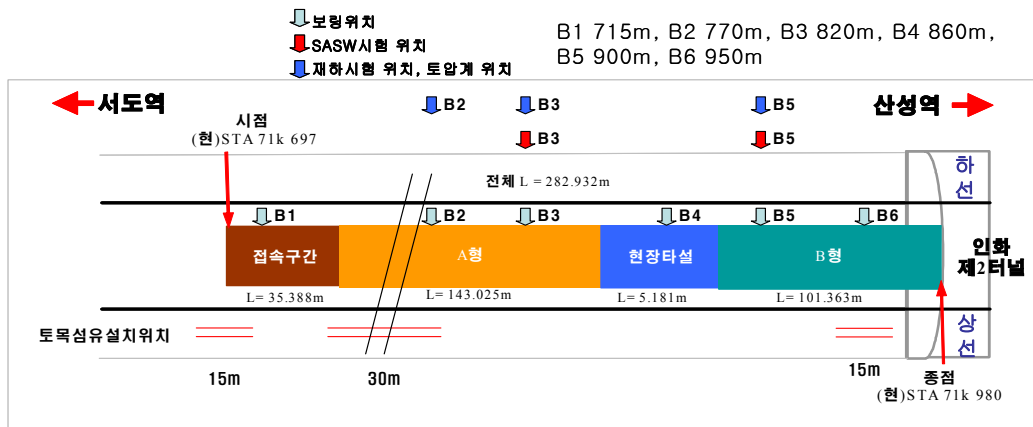


그림 1. 전라선 지반조사 위치 및 토목섬유 매설 위치

* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정희원
 ** 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 연구원, 정희원
 *** 삼보기술단 주임, 정희원

전라선 복선화공사 구간 중 콘크리트레도가 시공될 280m구간의 지반상황을 파악하기 위해 현장 지반 조사를 실시하였다. 그림 1과 같이 콘크리트레도가 부설될 구간을 대상으로 6개소의 시추조사와 표준관입시험, 3개소의 평판재하시험, 2개소의 SASW시험 및 실내시험을 실시하여 제반 지반공학적 특성을 파악·분석하여 합리적이고 경제적인 노반 검토를 실시하였다.

2.1 시추조사 및 표준관입시험

콘크리트레도가 시공 계획된 위치에 대하여 6개소의 시추조사와 표준관입시험을 실시하였다. 지층 구성 상태는 지표에서부터 매립토층, 퇴적토층, 풍화토층, 풍화암 및 연암의 순으로 분포하고 있다. 매립토층은 지표면으로부터 0.8~4.0m의 두께로 분포하고 있으며, 토성은 자갈섞인 실트질 모래(SM)로 구성되어 있고, B-2지점의 0.7~1.5m 구간에서는 직경 40~100mm내외의 모래섞인 사석층이 확인되었다. 그리고 표준관입시험에 의한 N치는 5/30~34/30(회/cm)정도로 느슨~조밀한 상태의 상대밀도를 나타내고 있어 콘크리트레도용 노반으로는 지지력이 다소 부족한 상태였다.

2.2 지지력시험

지지력시험은 기초가 설치될 지반을 대상으로 직접 하중을 가하여 허용지지력 및 예상침하량을 분석하기 위해 실시하였다. 지지력시험은 평판재하시험(K_{30} , EV_2)을 수행하였으며, 시험결과는 표 1과 같다.

표 1. 지지력시험 결과

위치	구분	$K_{30}(kgf/cm^3)$		$E_{v2}(MPa)$		
		측정치	참고서	측정치	기준치 (신설선)	기준치 (기존선)
PBT1(B2)	상부노반	6.4	7.0	35.3	60	45
	동상방지층	13.6	11.0	65.6	100	60
PBT2(B3)	상부노반	9.6	7.0	23.0	60	45
	동상방지층	11.2	11.0	57.4	100	60
PBT3(B5)	상부노반	1.44	7.0	19.1	60	45
	동상방지층	4.0	11.0	51.0	100	60

2.3 SASW 시험

SASW시험은 유효응력이 전달되는 영역(약 3m)까지의 연속적인 지지계수를 평가하기 위하여 실시하였다. 시험은 콘크리트레도가 부설될 지점 두 개소(B-3, B-5)를 선정하여 SASW시험을 실시하였다. 그림 2와 그림 3은 시험결과 그래프로써 지표면에서 3~4m깊이까지의 지반강성을 나타낸 그림으로서 B-3는 평균 100m/sec이상의 전단파속도를 가지고 있고 B-5는 평균 120m/sec이상으로서 연약노반은 아니지만 노반의 지지력은 다소 부족할 것으로 판단되었다.

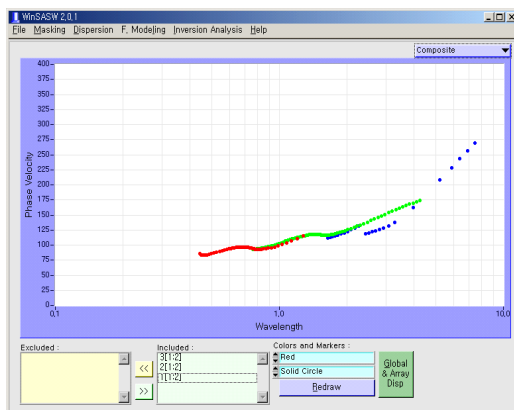


그림 2. B-3지점의 SASW시험 결과

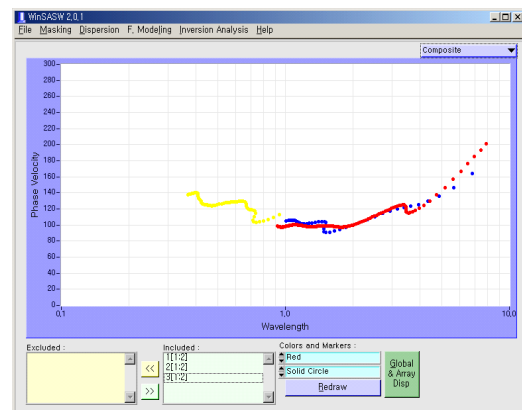


그림 3. B-5지점의 SASW시험 결과

3. 토목섬유 보강설계

콘크리트케도가 부설될 구간의 노반의 구성 상태와 지층구조를 현장조사 및 현장시험(표준관입시험, 평판재하시험, E_{v2} 시험, SASW시험)을 통하여 알아보았다. 노반조사 결과, 매립토층(심도~2m구간)의 관입저항치가 낮게 나타났고, 평판재하시험 및 E_{v2} 측정 결과도 다소 낮은 것으로 조사되었다. 그러므로 콘크리트케도를 지지하는 노반의 지지력을 확보가 중요한 문제로 대두되고 있다. 따라서, 지지력을 확보하는 방안으로는 치환, 다짐, 고결 등 여러 가지 방법이 있지만, 공기와 시공조건을 감안하여 토목섬유를 적용하는 방안을 모색하여 보았다. 토목섬유는 지반보강용으로 인장강도가 크고, 크리프 등을 고려한 장기적인 인장강도가 확보될 수 있는 재료로 일반철도 자갈도상궤도에서 적용하여 그 효과를 검증하였다. 채용한 토목섬유는 지오그리드(Biaxial polypropylene geogrid)이다. 본 시공현장에서 노반 지지력을 확보하기 위하여 콘크리트케도의 전 구간 상부노반 상면에 토목섬유 보강을 1차적으로 실시하였다. 그리고 암거횡단부, 터널접속부, 자갈궤도-슬래브궤도로 전환되는 접속부에 2차로 토목섬유를 시공하여 보강을 하였다.

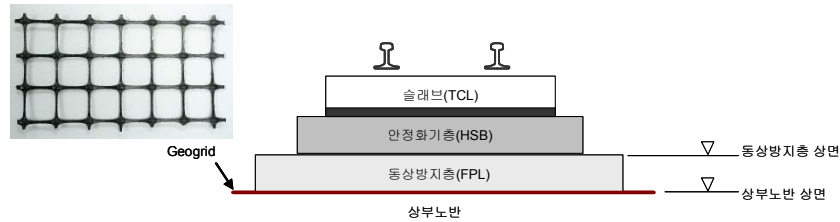


그림 4. 지오그리드 1차 설치 위치

3.1 암거횡단부

시험시공 구간중 궤도 하부에 그림 5와 같이 암거(culvert)가 횡단하고 있다. 암거가 횡단하고 있는 부근의 노반 조사를 실시한 결과, 암거 위치에서의 관입저항치가 매우 낮게 나타났다. 따라서, 암거의 좌우 측면에서의 부등침하로 인한 궤도틀림이 발생할 가능성이 높게 나타날 것으로 추측되었다. 그래서 노반의 지지력을 확보하기 위하여 HSB층 하부에 길이 약 27m, 두께 350mm, RC-slab(2단 철근보강)로 보강슬래브를 설치하고, 부수적으로 상부노반 상면과 동상방지층 중간층에 약 30m가량의 토목섬유(Biaxial polypropylene geogrid)로 3단 보강을 실시하였다.

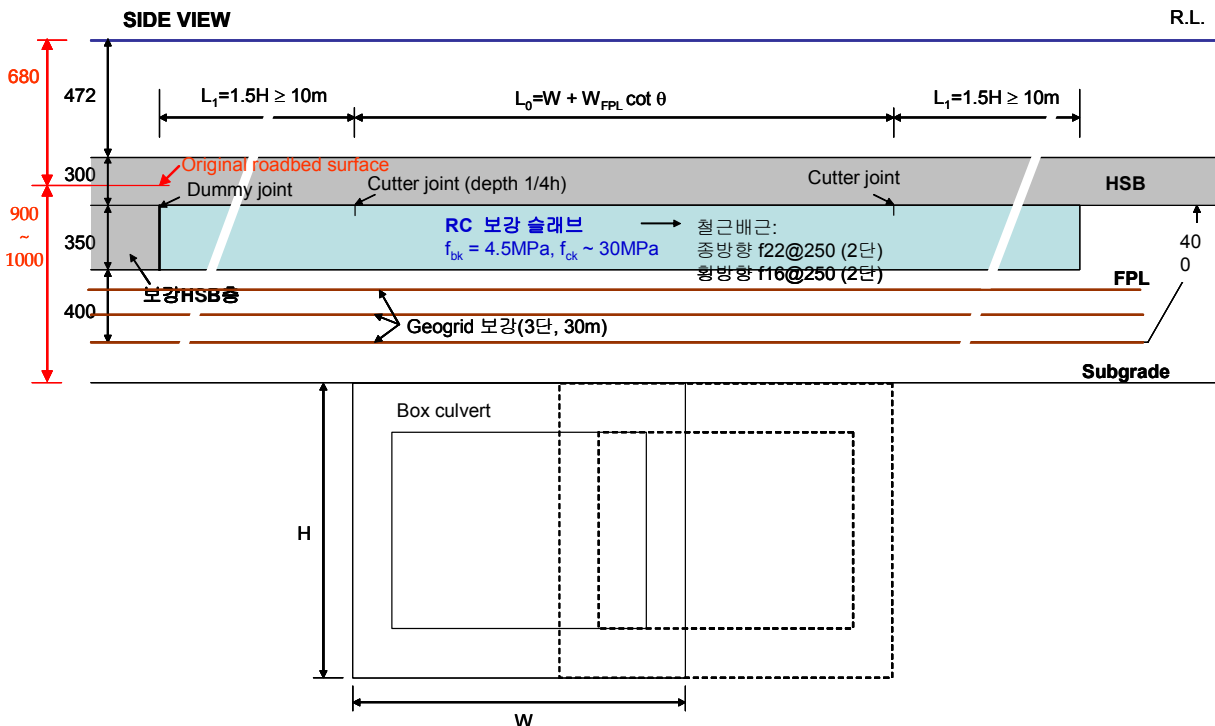


그림 5. 지오그리드 2차 설치 위치 및 게이지 부착 위치

3.2 터널 접속부

터널 접속부는 터널 끝에서부터 17m위치까지만 콘크리트 인버터층이 부설되어 있으며 터널 진출입부로부터 지하수가 배수되는 상황이다. 따라서 콘크리트 인버터 단부에서 노반의 침하가 발생할 것으로 판단되어 터널 진출입부도 노반 보강을 추가적으로 실시하였다. 터널의 인버터 단부에서 10m길이의 2중 HSB층을 350mm두께로 설치하고, 2단 HSB층 하부와 동상방지층 중간층에 토목섬유(Biaxial polypropylene geogrid)를 그림 6과 같이 2단으로 약 15m가량 보강하였다.

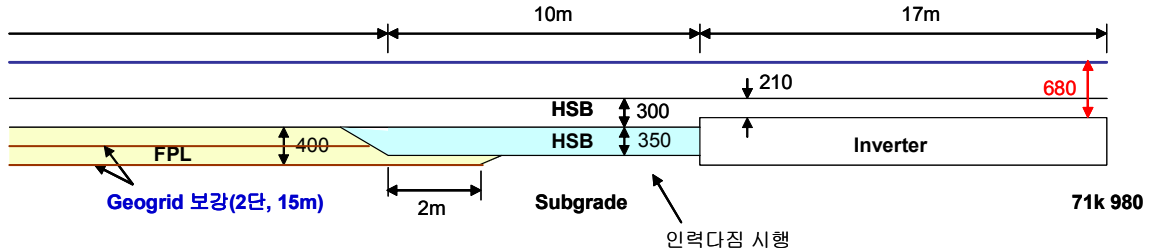


그림 6. 터널 진출입부의 지오그리드 2차 보강

3.3 자갈케도-슬래브케도 접속부

콘크리트케도 끝단은 자갈케도와 접속하여야 하는 구간으로 추가적인 보강이 요구되었다. 이 접속부는 중요 취약부로서 당초 접속부의 설계가 이루어졌으나, 현장 노반조사 결과, 노반의 지지력이 기준치 이하로 나타나고 있어 추가적인 보강대책이 필요하다고 판단된다. 그래서 자갈케도-슬래브케도의 접속부는 기존 접속부의 설계에 추가적으로 다른 구간의 보강방법과 같이 상부노반 상면과 동상방지층 중간층에 토목섬유(Biaxial polypropylene geogrid)를 그림 7과 같이 15m가량 2단 보강으로 실시하였다.

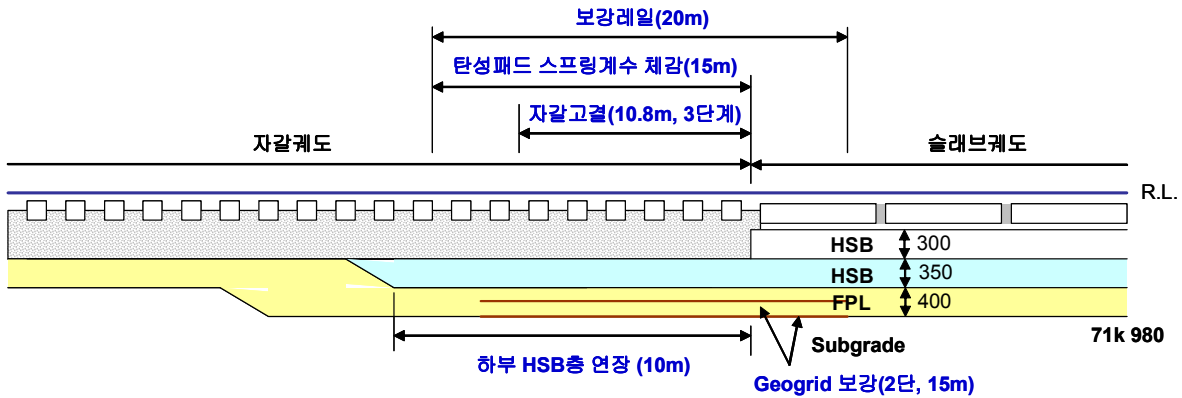


그림 7. 자갈케도-슬래브케도 접속부의 지오그리드 2차 보강

4. 보강 효과 검토 및 해석 결과

콘크리트케도를 지지하고 있는 노반의 지지력이 부족하여 토목섬유를 2차에 걸쳐 시공하였다. 노반에 토목섬유의 부설이 지지력의 확보에 효과적인지를 검토하기 위하여 그림 5와 같이 암거횡단부에 지오그리드를 2단 보강을 하기 전에 지오그리드 표면에 열차의 진행방향과 동일하게 스트레인게이지를 50cm간격으로 30개를 부착하였다. 그림 8은 지오그리드에 부착된 스트레인게이지의 부착도를 나타낸 것이다. 암거횡단부에 매설될 지오그리드는 총연장 30m 중 절반만 스트레인게이지를 부착하여 암거가 횡단하는 부분이 걸치게 위치를 잡고, 열차통과시 콘크리트케도 하부의 물성이 다른 두 매질에 의해 지오그리드의 인장응력이 어떻게 작용하는지를 검토하였다.

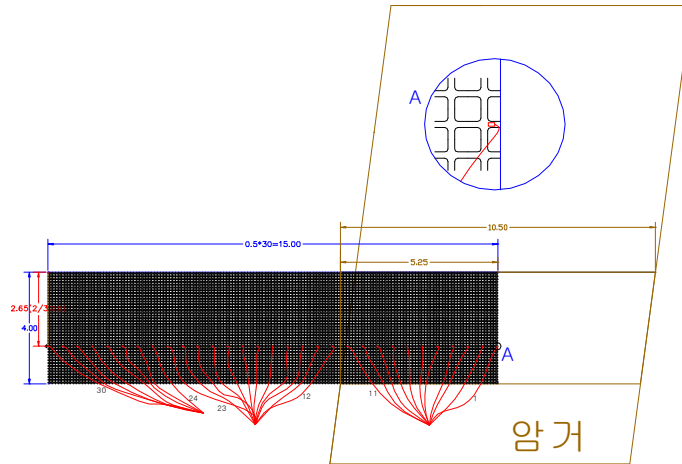


그림 8. 암거횡단부에 부착시킨 스트레인게이지

그림 9는 암거부와 연속부의 경계지점에 설치한 스트레인게이지로부터 획득한 인장변형율로서 최대 $3 \times 10^{-2} \mu\epsilon$ 의 값을 나타내었으며, 그림 10은 연속부에서 획득한 인장변형율로 $2.5 \times 10^{-4} \mu\epsilon$ 의 값을 나타내었다. 그림 11은 각 위치에서의 변형율 크기를 비교한 그림으로서 1번 위치(그림 9)에서의 발생량은 일반자갈도상레도 직하에 설치된 토목섬유에서 발생하는 변형율 크기와 유사하다. 암거 접속부에서 인장력의 발생거리가 넓지 않은 것으로 파악되었으며, 보강슬래브를 설치하였지만, 노반에 전달되는 하중은 다소 차이가 있는 것으로 판단된다.

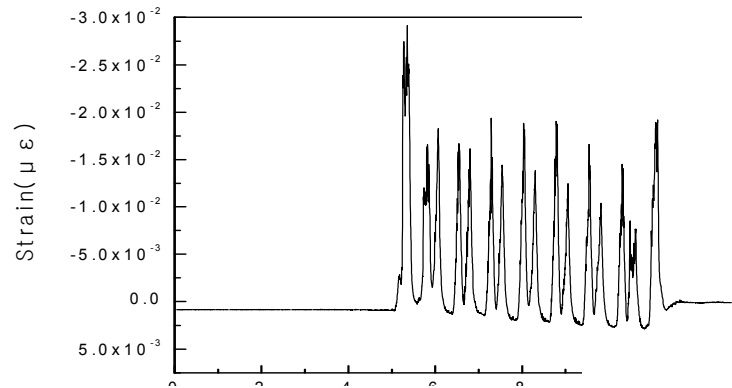


그림 9. 암거 접속부에서의 변형율

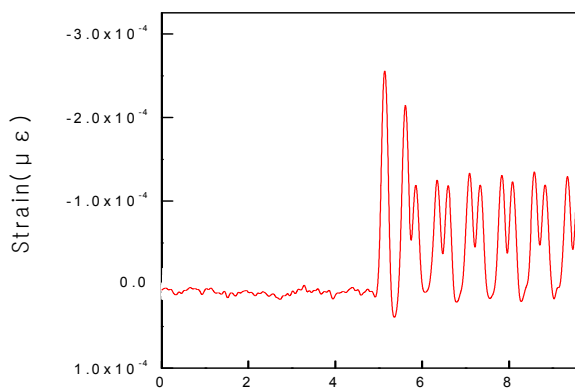


그림 10. 암거 연속부에서의 변형율

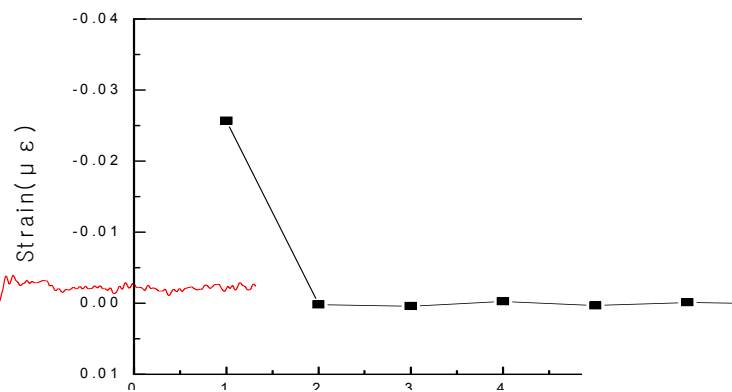


그림 11. 위치별 변형율의 변화

5. 결론

본 연구에서는 기존 자갈도상레도를 콘크리트레도로 개량함에 있어 균일한 노반지지력 확보를 목적으로 지반 및 구조물 조건에 따라 다양한 토목섬유 보강설계를 하였으며, 보강효과를 검토하였다. 검토 결과, 접속부의 경우, 보강슬래브 등의 별도 보강설계가 포함되었지만, 노반에 설치된 토목섬유에서도 자갈도상레도 보강용으로 시공된 토목섬유 만큼의 인장보강효과가 발생하는 것으로 파악되었다.

참고 문헌

1. 도시철도 표준화 연구개발사업(도시철도 선로시스템 표준화)(2006), 한국철도기술연구원