

운행선상의 연약노반 시험부설구간에서의 장기계측을 통한 거동 특성

Characteristics of Behavior of the Soft Roadbed through Long-Term Instrumentation on the Field Test

이진욱*
Jin-Wook Lee,

최완용*
Chan-Yong Choi,

이성혁**
Sung-Hyok Lee,

이창열***
Chang-Youl Lee,

ABSTRACT

As one of reinforcing methods for soft roadbed, the problems that mud-pumping and settlement occurred by soft roadbed, were investigated, evaluated and analyzed through installing relatively economical and efficient geosynthetics on the selected track-bed for testing.

Mock-beang to Dong-ryang on the filed testing sections in the Chung-buk lines were selected as investigating the state of track and prepared field after selecting three of 1,700 spots which often make mud-pumping and requiring maintenance for that. Long curved line radiuses(R) of Mock-beang to Dong-ryang are 500m that were installed with 4 types of geosynthetics layers and one ballast layer. Installed testing cross-section is 200m totally with 40 m between places.

Strength of prepared roadbed was measured to investigate the state of roadbed and track with constructing(installing) field testing sections and physical properties of roadbed soils were evaluated and analyzed. Also, mud-pumping, settlement of elastic or plastic sleeper, failure of track, wheel-loads, transverse and earth pressures were measured after installing field testing sections.

1. 서 론

기존철도 및 고속철도에서 노반의 역할은 열차의 주행안전성 확보 및 궤도상부로부터 전달된 하중을 하부지반으로 적절히 분산하는 기능을 수행하게 된다. 현재 노반재료로서는 양질의 흙을 사용하여 노반을 건설하고 있으나, 기존 노반의 대부분은 준공된 지 상당한 시일이 경과되어 설계 당시의 하중조건, 노반조건이 매우 다르게 변화되어 선로유지 및 보수비용이 증대되고 있으며, 열차 운행상의 안전확보에 상당한 지장을 초래하고 있는 실정이다. 일반적으로 흙노반 궤도구조에 있어서 도상 발라스트가 노반에 관입됨에 따른 선로의 침하나 노반자체의 연약화에 따른 압축침하 및 도상 발라스트로 향한 이토화된 노반흙이 분출되어 궤도보수에 상당한 노력을 기울이고 있는 실정이다.

이러한 분니방지 대책공법중에서 시공성과 효율성이 뛰어난 것으로 판단되는 토목섬유 보강에 대한 실제 열차주행시의 노반의 침하량, 진동특성, 궤도침하특성, 토압 분산효과 및 분니억제효과 등을 현장부설시험을 추진하였다. 현장부설구간은 분니다발 지역이면서 분니와 관련한 유지보수작업이 많은 개소 약 1,700개소 중에서 3개 현장을 선정 후 정밀조사를 통해 선로상태, 현장 접근성 등을 고려하여 총복선 목재~동량 구간을 선정하였다. 노반과 궤도의 상태를 파악하기 위하여 현장시공시 노반강성평가를 실시하였으며, 현장노반토의 공학적 특성을 검토하였다. 또한, 현장부설 후에는 분니발생여부와 침하의 탄·소성 침하량, 궤도틀림, 윤중과 횡압 및 토압을 측정하였다.

*: 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Engineering Research Dept., KRRI.

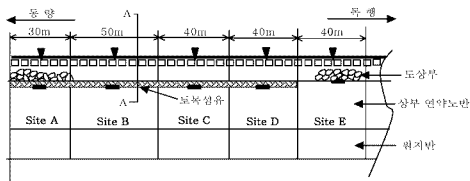
** : 한국철도기술연구원 도시철도보존화사업단, Senior Researcher, Civil Engineering Research Dept., KRRI.

***: (주) 가연테크, 기술영업부 차장, Deputy General Manager, GA YEON Tech Co.

2. 현장개요

현장부설 시험은 매년 1회의 크리닝 작업과 빈번한 자갈치기 작업에도 불구하고 지속적으로 분수가 발생하는 지역인 목행-동량 구간으로 선정하였다. 목행-동량구간은 300m~400m의 긴 곡선 구간으로, 곡선반경은 500m이며, 분수의 원인으로는 선로주변 토결의 상태가 많은 양의 실트질을 포함하고 있어 노반의 강성이 상당히 약한 상태인 것으로 판단되며, 이 지역의 분수상태는 매우 심한 상태로, 우기때에는 도상자갈치기를 한 후 1~2달 후에 또다시 분수가 발생하는 문제지역으로 조사되었다.

시험단면은 크게 5개 단면으로, 토목섬유 4종류에 따른 4단면과 토목섬유를 부설하지 않은 도상경환 단면으로 구성되어진다. 부설단면 당 단면 당 40m로 설정하여 총 200m에 부설하였다. <그림 1>은 시험부설단면 개략도를 나타내었다.



<그림 1> 현장부설 단면 개략도

3. 현장부설시험

3.1 노반재료의 물리적 특성

부설시험 현장토의 노반 흙을 채취하여 노반재료로서 적합조건에 부합하는지를 실내시험 및 현장시험을 수행하였다. 실내시험은 입도시험, 비중시험, 액소성한계시험을 수행하였으며, 시험결과는 <표 1>에 나타내었다. <표 1>에서와 같이 통일분류법에 의해 대부분의 노반토가 분수가 발생하기 쉬운 소성성이 낮은 점토인 CL로 판명되었다.

<표 1> 현장부설시험구간내 현장토의 실내시험결과

현장부설단면	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E	철도설계기준(도공편)
비중(Gs)	2.63	2.64	2.72	2.71	2.70	-
액성한계(LL)	36.6	33.1	30.6	27.8	31.7	35이하
소성한계(PL)	25	25	20.4	20.7	21.6	-
소성지수(PI)	11.6	8.1	10.2	7.1	10.0	10이하
흙의 분류 (USCS)	CL	CL	CL	CL	CL	

3.2 토목섬유 물성치

현장에 부설된 토목섬유는 4 가지로 그리드와 부직포로 포설하는 경우와 지오폴리머지로 포설하는 방법 두 가지로 각 현장 Site 별로 포설하였다. 각 단면에 포설된 토목섬유는 부직포와 그

리드의 인장강도에 따라 구분하였으며, 포설방법은 Site A, B, C 모두 노반 바로위에 부직포를 포설하고 부직포 상단에 그리드를 포설하는 방법으로 시공하였다. 또한, Site D는 지오폴프로직트를 보강재로 포설하여 시공하였다. <표 2>는 포설된 토목섬유의 물성치를 각각 나타내었다.

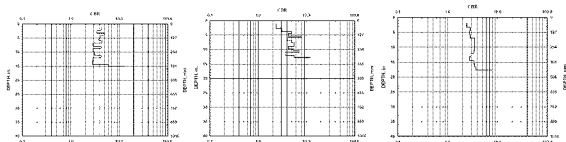
<표 2> 현장부설된 토목섬유의 물성치

항 목	물 성 치			
	Site A	Site B	Site C	Site D
재 질	폴리프로필렌	폴리프로필렌	폴리프로필렌	지오폴프로직트
인장강도(t/m)	3	4	4	6/4
중량(kg/m ²)	0.45	0.45	0.53	-
신장시 2% 신장시(길이/횡)	11/13	14/14	14/14	-
인장강도 5% 신장시(길이/횡)	15/15	28/28	28/28	-
주요 양방향 구멍크기(mm)	29.7	33	33	-
신 륜(%) (길이/횡)	12/-	-	11/10	-
용도	연약지반	연약지반	연약지반	-
	보강용	보강용	보강용	-
중량(g/m ²)	250	300	350	1.1
인장강도(kg)	45	65	80	-
인장신도(%)	50	50	50	11
부수계수(cm/sec)	3.9×10^{-4}	3.5×10^{-4}	3.0×10^{-4}	수직 2.4×10^{-4} 수평 1.9×10^{-5}
두께(mm)	2.0	2.5	3.0	-
유효구멍크기(mm)	0.2	0.15	0.12	0.2

3.3 현장부설단면의 노상지지력

현장의 지반강성도를 파악하기 위하여 동적관입시험(DCP)을 실시하였다. 간이 동적관입시험은 해머를 50cm높이에서 자유낙하시키고 원위치 상태 흙의 관입저항을 측정하는 시험으로 지반 표층부의 조사 등 간이 사운딩 기구의 하나로 폭넓게 사용되고 있다.

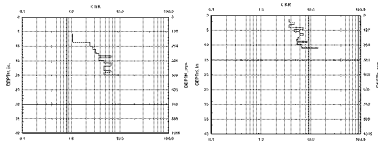
<그림 2>는 현장부설시험단면 5개소에 대한 각 사이트별 노상지지력값을 나타내었다. <그림 2>에서와 같이 CBR값이 평균 4~5%의 값을 나타내고 있다. 일반적으로 설내시험에서 다짐도 95%로 양호한 시공한 단면의 경우에는 CBR 값이 8~9%정도를 나타내었다.



(a) Site A 단면

(b) Site B 단면

(c) Site C 단면



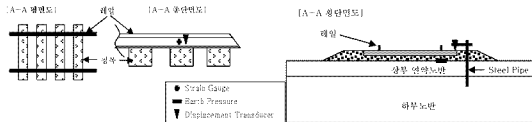
(d) Site D 단면

(e) Site E 단면

<그림 2> 동적관입시험 결과

3.4 계측기 종류 및 배설방법

현장부설시험의 주목적인 연약노반상에서 토목섬유의 보강효과에 대한 취약 적용성 및 성능 평가를 위하여 토목섬유의 인장강도, 침투면에서의 탄·소성변위, 토압 등을 측정하기 위하여 스트레인게이지, 변위계, 토압계를 설치하였다. <그림 3>에는 배설된 계측기의 평면도와 횡단면도, 횡단면도를 각각 나타내었다.



<그림 3> 시험단면 평면도 및 횡단면도

<그림 3>에서와 같이 레일면에 스트레인게이지를 부착하여 윤종과 횡저항력을 측정하였으며, 레일 직하 토목섬유 하단에 토압계를 설치하여 열차하중에 따른 토압을 측정하였다. 또한, 토목섬유의 인장변형율을 측정하기 위하여 토목섬유에 스트레인 게이지를 부착하여 열차하중에 따른 변화정도를 측정하였다. 침하량은 소성침하량과 탄성침하량을 계측하였다.

4. 현장설�험결과 및 분석

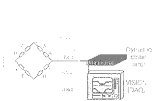
4.1 윤종측정

지상에 대한 윤종 측정은 측정구간을 통과하는 각 차량의 작용력의 크기변화량을 알 수 있다. 침목 간 중심에서 각 100mm 떨어진 위치의 중심축 45°의 각도를 가지고 8방향으로 스트레인게이지를 부착하였다. <그림 4>에서와 같이 결선하여 단면 힘의 영향을 배제하고 전단변형을 측정하였다. 이 상태에서 내력형의 윤종 검정기를 이용하여 40KN 까지 재하하고 윤종을 검정하였다.

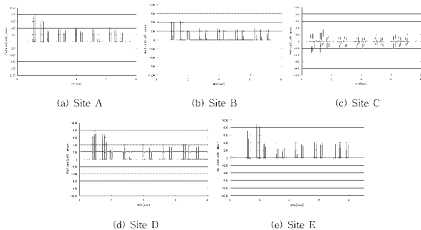
<그림 6>은 각 단면별 여객연차에 따른 윤종 변화를 나타내었다. <그림 6>에서와 같이 기관차 부분에서 가장 큰 윤종이 발생하는 것을 볼 수 있으며, 모든 시험단면에서 레일 변형율이 900% 변형율이 측정되었으며, 흩노반의 경우가 다른 단면보다 다소 크게 측정되고 있는 것을 알 수 있다. 이는 노반과 궤도가 시공직후 양호한 상태이기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 4> 윤증계이지 부착시스템



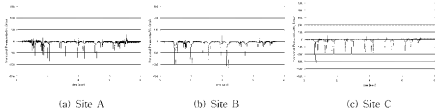
<그림 5> 횡압 측정계이지 부착시스템

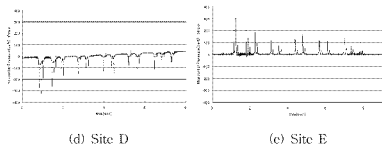


<그림 6> 각 단면별 이력열차 운행시 윤증 변화

4.3 횡압측정

횡압측정은 <그림 5>에서와 같은 결손 부착시스템을 통해 레일면에 부착하였으며, 실제 시험구간이 곡선구간이 많기 때문에 횡저항력을 측정하였다. <그림 7>은 이계 열차운행에 따른 횡압을 측정 한 결과이다. <그림 7>에서와 같이 횡압측정치는 Site A, Site B 구간에 비하여 Site C, Site D, Site E 구간에서의 횡압의 크기가 상대적으로 크게 측정된 것을 알 수 있다. 이는 시정방향 Site A, Site B에 비해 풍경방향 Site C, Site D, Site E에서의 곡률 및 킨트에 기인하는 것으로 판단된다.



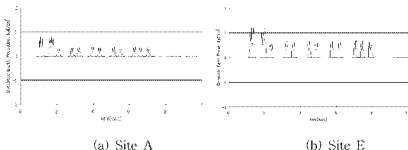


(d) Site D (e) Site E

<그림 7> 각 단면별 여객열차 운행시 횡압 변화

4.4 연직토압측정

<그림 8>에서와 같이 노반상부에서 발생하는 연직토압을 살펴보면 지오그리드로 보강된 구간에서는 1.0kgf/cm^2 이하의 토압이 발생하였으나, 무보강 단면에서 측정된 토압은 1.3kgf/cm^2 의 토압이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 열차 하중에 의한 지오그리드의 하중저감 효과에 기인하는 것이라 판단된다.



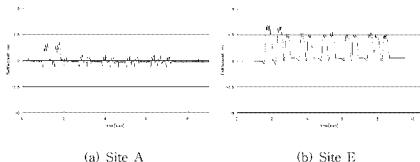
(a) Site A

(b) Site E

<그림 8> Site A와 Site E 구간에서의 운행시 토압 변화

4.5 침하 측정

<그림 9> 열차 통과후중에 따른 소성침하량은 전 구간에 걸쳐 매우 미미하게 측정되었으며, 열차통과에 따른 탄성침하량은 지오그리드 보강구간에서 무보강 구간에 비해 상대적으로 작게 측정되었으며, 이는 지오그리드에서의 인장력 발현에서 기인하는 것으로 판단된다. 또한, 전 구간에서의 탄성침하량은 철도설계 허용탄성침하량(25mm) 이하의 값을 나타내는 것을 알 수 있다.



(a) Site A

(b) Site E

<그림 9> Site A와 Site E 구간에서의 운행시 토압 변화

5. 결론

본 논문에서는 연약노반 실 현장부설시험구간에서 여객열차가 통과(1회)할 때 계측자료를 분석하였기 때문에 연약노반 보강공법으로 사용된 토목섬유의 성능평가 및 내구성능에 대하여 판단하는 데는 어려움이 있으나, 향후 장기계측을 통해 연약노반에 토목섬유로 보강된 지반의 내구성 평가를 실시할 예정이다.

현재까지 측정된 결과를 종합해 볼 때 토목섬유로 보강된 단면에서 토압과 침하가 적게 발생하고 있는 것을 볼 수 있으며, 궤도상태가 양호한 시공식후의 계측결과이기 때문에 침하량의 경우 허용단성침하량 2.5mm 이내로 측정되었다.

감사의 글

본 연구는 「철도기술연구개발사업」의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 실 현장부설시험에 도움을 주신 삼양사, 메카모아, 특수자재, (주)동운 관계자 여러분께 진심으로 감사말씀 드립니다.

참고문헌

1. 심계범, “토목섬유 시스템을 활용한 철도노반의 보강효과 및 설계기법 개발에 관한 연구” 2000. 12.
2. Coenraad Esveld, 서사범 역, “최신 철도선로”, 열과알, 2003. 5.
3. 伊能忠敏, “鐵道路盤の噴泥現象の解明とその防止對策”, 鐵道技術研究報告, No. 1252(施設編 546号), 1983年 11月.
4. 運輸省 鐵道局, “鐵道構造物等設計標準・同解説 土構造物”, 鐵道總合技術研究所, 1992. 10.