

# 영업선상에서 분니 억제를 위한 자갈치환 공법과 토목섬유 보강공법 비교연구

## A Comparison Between the Ballast Replacement Method & Geosynthetics-Reinforced Method for Restraint of Mud Pumping in Service Line

최 찬 용<sup>1\*</sup>      Choi, Chan-Yong  
이 진 옥<sup>2</sup>      Lee, Jin-Wook  
김 대 상<sup>3</sup>      Kim, Dae-Sang

### ABSTRACT

3 years visual inspection has been performed on the railway lines where ballast replacement or geosynthetics-reinforcement had been used to restrain the mud pumping. The result indicates that geosynthetics-reinforcement is more effective than ballast replacement for the long-term mud pumping. In addition, the non-woven geotextile to be used for mud pumping restraint is effective when its weight is 330 N/m<sup>2</sup> or above. Furthermore, the lateral tensile strain under ballast on which wheel load applies ranges from 0.016 to 0.1211% and it's 10 times larger than the lateral tensile strain which ranges from 0.0078 to 0.0385%.

### 요 지

실제 영업선에서 분니가 자주 발생하는 구간을 선정하여 현재 분니 대책공법으로 많이 사용하고 있는 도상자갈치환방법과 토목섬유 보강공법에 대하여 약 3년간 육안조사를 실시하여 분니 발생 여부를 관찰하였다. 토목섬유로 보강된 단면이 도상자갈 치환방법보다 상당히 장기간에 걸쳐 분니를 억제하는 효과와 분니 억제를 위한 토목섬유 부직포의 중량은 최소 330N/m<sup>2</sup> 이상을 만족하는 재료로 선정하여야 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 실제 열차하중이 작용하는 도상자갈 하부(침목하면으로부터 약 35cm)에서의 지오그리드의 횡·종방향 인장변형률(%) 범위는 각 각 0.0078~0.0385%와 0.016~0.1211%으로 종방향 인장변형률이 횡방향 인장변형률보다 약 10배 이상 큰 값을 보였다.

**Keywords :** Geotextile, Railway, Wheel load, Strain, Field test

## 1. 서 론

과거에 시공된 철도노반은 설계당초의 하중과 설계속도 등이 최근 공용 조건과 다르게 적용되어 흙 노반의 경우는 사용 년수의 경과에 따라 도상자갈의 마모에 의한 세립분 발생, 노반면의 지지력 부족에 의한 도상자갈의 관입 등의 현상이 필연적으로 발생하게 된다.

또한 동절기 동결융해와 노반 팽창현상 등에 의해 노반 연약화 현상이 많이 발생하게 된다. 이러한 결과로 인해 반복적인 열차하중에 의해 분니발생, 도상자갈 관입 등의

현상이 도상자갈 침하, 궤도파괴 등으로 이어져 열차주행에 지장을 초래할 뿐만 아니라 열차의 안전운행에 위협을 가하게 된다(이진옥 등, 2005).

열차의 반복적인 통과에 의해 자갈입자의 마모/파쇄가 지속적으로 발생하며, 외부로부터 유입된 불순물이 도상의 공극을 과다하게 채우게 되는 경우, 도상배수를 방해하며 침하 및 궤도틀림 진행속도의 촉진, 도상저항력의 저하를 야기하여 선형정정 작업만으로는 보수를 할 수 없는 상황에 이르게 된다(심재범, 2000; 이진옥 등, 2004; 이진옥과 최찬용, 2005).

1\* 정회원, 책임저자, 한국철도기술연구원, 궤도노반연구팀 선임연구원 (Senior Researcher, Track & Railroad Team, KRRI, E-mail: cychoi@krii.re.kr)  
2 비회원, 한국철도기술연구원, 궤도노반연구팀 팀장 (Senior Researcher, Track & Railroad Team, KRRI)  
3 정회원, 한국철도기술연구원, 궤도노반연구팀 선임연구원 (Senior Researcher, Track & Railroad Team, KRRI)

이 논문에서는 실제 영업선상에서 분니가 지속적으로 발생하여 고질적으로 문제가 되고 있는 지역을 선정하여 기존에 철도 현장에서 분니 대책공법으로 많이 사용하고 있는 자갈치환방법과 이 연구에서 제시하고자 하는 토목섬유로 보강하였을 때 분니 억제효과에 대하여 장기간 육안 조사와 현장계측 결과를 기술하였다. 현장계측은 열차 하중을 측정할 수 있는 윤종과 횡압을 측정하였으며, 노반 상부에 토압과 침묵에서 발생하는 탄성침하량을 측정하였다. 또한, 인장강도의 차이에 따라 설치한 3종류의 지오그리드의 종·횡변형율을 측정하여 실제 열차통과시 지오그리드에 발생하는 변형율을 측정하였다. 이 논문은 주로 육안 조사 결과로서 현장부설이후 약 3년간 4회에 걸쳐 현장 조사를 바탕으로 보강단면별 분니 발생 유무를 기술하였다.

## 2. 토목섬유를 이용한 보강공법 연구 동향

토목섬유는 1970년대 북아메리카 철도에서 궤도를 지지하고 있는 원지반의 침하와 지지력 문제를 해결하기 위하여 최초로 적용하였으며, 이후 1980년대 캐나다에서 토목섬유에 대한 설계방법과 기준 등 연구를 통해 철도에 적용하였다(심재범, 2000).

Raymond(1985)는 처음으로 시방기준을 제시하였으며, 이후 많은 현장계측을 통해 부직포의 중량, 신장율, 인장강도, 필터의 유효구멍크기, 편칭강도 등의 시방기준을 제시하여 현재 약 18년간 부분적으로 수정보완 되었지만 기본적인 시방기준으로 활용되고 있다. 표 1은 미공병단에서 제시한 철도건설시 사용되는 지오텍스타일의 최소요구조건을 나타내었다.

Hillig와 Lieberenz(1995)는 독일 국영철도에 기존선로에 부직포를 설치한 구간과 설치하지 않는 구간에 대하여 현장계측을 통해 지지력 개선효과를 규명하였다. 뮌헨~

베를린간의 기존선로 확장공사 구간에 토목섬유로 보강하여 조립토 지반에서는 지오그리드를 사용하여 지반개량층의 두께를 저감시키며, 연약한 점성토지반에서는 지오그리드와 부직포를 동시에 포설하여 치환층 두께를 약 1/3 정도까지 감소하였다고 보고하였다.

## 3. 현장시험구간 선정 및 일반사항

### 3.1 현장시험구간 선정

현장시험구간은 철도청(現 한국철도공사)에서 보유하고 있는 분니현황 자료(1995년~2002년)를 바탕으로 분니가 고질적으로 발생하여 유지보수를 지속적으로 하고 있는 현장으로 현장 접근성과 시공성 등을 고려하여 충북선 OO-OO간 89km 전후(상선)지점을 현장시험구간으로 선정하였다.

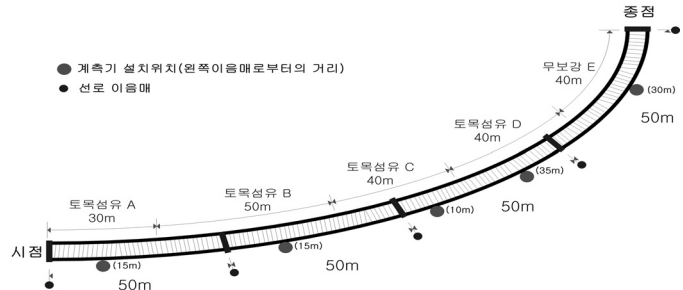
그림 1(a), (b)은 현장시험구간으로서 토목섬유 4종류로 보강된 구간(Site A~E)과 도상치환구간(Site E)으로 하여 각각 40m씩 총 200m의 현장부설구간으로 선정하였다. Site E는 도상치환구간으로서 현재 철도 현장에서 가장 많이 활용하고 있는 보수공법 중에 하나이다.

표 1. 철도건설에서 사용되는 지오텍스타일의 최소기준 (U.S Army, 1995)

물성	최소 요구사항	시험방법
중량, N/m <sup>2</sup>	330	ASTM D 3776
구조	부직포	-
그래브 인장강도, lb	350	ASTM D 4632
인장변형율, %	20	ASTM D 4632
편칭강도, lb	185	ASTM D 4833
유효구멍크기, mm	<0.22 (No. 70 Sieve)	ASTM D 4751
투수계수, cm/sec	0.1	ASTM D 4491
봉합강도, lb	350	ASTM D 1683



(a) 현장전경



(b) 현장시험구간 평면도

그림 1. 현장부설시험구간 전경 및 평면도

### 3.2 시험장비 및 계측기 제원

현장부설구간에서 측정된 계측 항목은 레일에서 윤중과 횡압, 침목의 변위, 노반상부에서의 토압을 측정하였다. 또한, 토목섬유로 부설된 단면에서의 지오그리드 종·횡변형율을 측정하였으며, 그림 2는 현장에 매설된 계측기와 위치를 나타냈다. 각 측정지점을 통과하는 각 차량의 작용을 파악하기 위한 윤중과 횡압은 침목 중심에서 각 100mm 떨어진 위치에서 중립축에 45°의 각도를 가지고 내외 8방향으로 스트레인게이지를 부착하여 단면 휨의 영향을 배제하여 전단력을 측정하는 방식으로 측정하였다. 토압계는 토목섬유가 설치된 아래 부분에 최대용량 200kPa로서 스트레인 타입의 토압계를 사용하였다. 변위계는 침목부분에 설치하여 침목의 탄성변위와 소성변위를 동시에 계측하였다.

이러한 센서들을 모두 데이터 로거(EDX-1500)를 통해 1kHz의 샘플링으로 데이터를 수집하여 분석하였다.

### 3.3 토목섬유 물성치

현장에 부설된 토목섬유는 토목섬유의 인장강도와 포설방법 등에 따라 4개의 단면으로 구분하였다. 일반적으로 분리기능과 필터기능을 가지는 부직포와 보강기능을 할 수 있는 지오그리드로 보강하였다. 보강단면 Site A, B, C는 노반상부에 부직포를 먼저 설치한 후 지오그리드를 부직포위에 포설하였다. 보강단면 Site D는 지오폼포지

트로 공장에서 지오그리드와 부직포를 일체화시킨 기성제품을 사용하였다. 표 2는 현장에 부설된 토목섬유의 물성값을 정리하였다.

### 3.4 노반재료의 물리적 특성 및 강성평가

현장 실험구간 상부노반의 지지력 특성과 지반상태를 알아 보기위하여 기존에 설치되어져 있던 레일, 침목, 도상자갈을 제거한 후 노반토를 채취하여 실내시험과 현장시험을 실시하였다. 실내시험은 입도시험, 비중시험, 액·소성한계시험을 수행하였다. 입도분포 시험결과 최대입경은 25mm이하이나 200번체 통과율이 70%이상으로 다량의 세립분을 포함하고 있었으며 액·소성한계시험결과 대체로 소성지수가 10이상의 결과를 나타내므로 본 현장의 지반은 철도설계기준 노반편에 명시된 철도노반재료의 조건을 만족하지 못하는 것으로 판단되었다. 표 3은 현장부설구간의 위치별 기본물성결과를 요약하였다.

현장의 지반강성도를 파악하기 위하여 간이 사운드링 기구의 하나로 많이 사용되고 있는 간이 동적콘관입시험(DCP)을 실시하였다. 그림 3은 현장부설 시험단면 5개소에 대한 각 사이트별 DCP시험결과를 노반깊이별 CBR값으로 환산하여 나타내었다. 그림 3에서와 같이 현장에서 측정된 CBR값은 평균 4~5%의 값으로 실내에서 상대다짐도(D<sub>r</sub>) 95%로 다져진 양호한 지반의 CBR값 8~9% 정도 측정된 결과와 비교할 때 현장의 지반강성도가 상대적으로 매우 약하다는 것을 알 수 있다.

표 2. 토목섬유 물성치

	항 목	물 성 치				
		Site A	Site B	Site C	Site D	
지오 그리드	재질	폴리프로필렌	폴리프로필렌	폴리프로필렌	지오폼포지트	
	인장강도(kN/m)	30	40	40		
	중량(N/m <sup>2</sup> )	4.5	4.5	5.3		
	신장시 인장강도 (kN/m)	2%(길이/횡)	110/130	140/140	140/140	
		5%(길이/횡)	150/150	280/280	280/280	
	양방향 구멍크기(mm)	29.7	33	33		
인장변형율%(길이/횡)	12/-	-	11/10			
부직포 Site A Site B Site C / 지오폼포지트 Site D	중량(N/m <sup>2</sup> )	250	300	350	1100	
	인장강도(N)	450	650	800	60kN/m	
	인장변형율(%)	50	50	50	11	
	수직 투수계수(cm/sec)	3.9×10 <sup>-1</sup>	3.5×10 <sup>-1</sup>	3.0×10 <sup>-1</sup>	수직 2.4×10 <sup>-1</sup> 수평 1.9×10 <sup>-5</sup>	
지오폼포지트 Site D	두께(mm)	2.0	2.5	3.0	-	
	유효구멍크기(mm)	0.2	0.15	0.12	0.2	

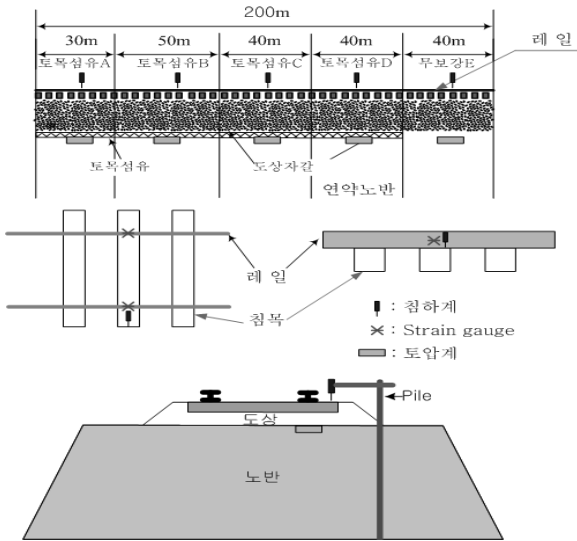


그림 2. 현장에 매설된 계측기

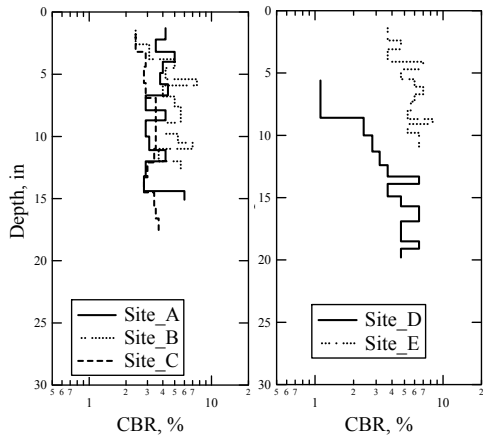


그림 3. 각 단면별 DCP시험결과

표 3. 현장부설구간에서의 노반토의 물리적 특성

현장부설 단면	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E
비중 ( $G_s$ )	2.63	2.64	2.72	2.71	2.70
액성한계	36.6	33.1	30.6	27.8	31.7
소성한계	25	25	20.4	20.7	21.6
소성지수	11.6	8.1	10.2	7.1	10.0
흙의 분류 (USCS)	CL	CL	CL	CL	CL

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 현장답사를 통한 육안조사

사진 1~사진 4는 현장답사를 통해 단면별 분니 발생 유무 사진이다. 2004년 6월 현장조성이후 육안조사는 약 10개월 이후인 2005년 4월(1차), 10월(2차), 2006년 11월(3차)조사 이후 최근 2007년 8월(4차)에 약 현장시공이후 3년 동안에 총 4차에 걸쳐 현장조사를 실시하였다.

부직포(중량  $250N/m^2$ )와 A지오그리드를 설치한 Site A

의 경우에는 지반상태가 다른 구간에 비해 지하수위가 부직포와 지오그리드 위에 약 2cm 정도에 위치하고 있어 전반적으로 노면에 물이 많은 구간으로 지반 상태가 매우 불리한 여건을 가지고 있다. Site A구간은 시공이후 1차 현장조사 시점까지는 분니가 부직포를 통과하지 못하고 지하수로 인한 현탁액에 의해 일부 분니와 비슷한 상태로 조사되었으나 분니는 발생하지 않았다. 이후 2005년 10월 2차 조사에서는 1차 조사와 달리 분니가 부직포를 통과하여 분니가 발생하였다. 이후 3차 조사와 4차 조사에도 분니가 지속적으로 상승하여 최종적으로 침목 하단 약 10cm 까지 분니가 올라오고 있는 것을 관찰할 수 있었다.

부직포(중량  $300N/m^2$ )와 B지오그리드를 설치한 Site B에서는 최초 1차 조사 결과 노반 분니는 전혀 발생하지 않았으며, 다만 도상파쇄에 의한 도상 분니는 일부 발생하였다. 부직포와 지오그리드의 상태는 매우 양호하였으며, 노반으로의 도상관입도 발견되지 않았다. 2차 조사에도 1차 조사와 같이 노반 분니는 전혀 발생하고 있지 않았다. 그러나, 3차 조사시점부터 일부 부직포위로 분니가 발생하기 시작하였으나 토목섬유의 상태는 양호하였다. 3차 시점까지는 토목섬유 보강효과가 충분히 발휘하고 있는 것으로 판단된다. 이후 4차 조사에서는 분니가 토목섬유를 통과하여 토목섬유가 설치된 지점까지 분니가 올라오고 있는 것을 확인할 수 있었다.

Site A와 Site B는 미국공병단에서 철도 노반보강용으로 기준하고 있는  $330N/m^2$ 보다 작은 중량으로 두께가 얇은 것이 특징이다. 미국공병단에서 제시하고 있는 중량보다 작은 규격을 사용하여 내구성이 저하되어 분니가 발생한 것으로 판단된다.

부직포(중량  $350N/m^2$ )와 C지오그리드를 설치한 Site C의 경우에는 1차 조사부터 2007년 8월에 조사한 4차 시점까지도 분니는 발생하지 않고 노반상태와 부직포, 지오그리드 상태가 모두 매우 양호한 것으로 관찰되었다. 다른 구간과 달리 Site C의 부직포는 미국공병단에서 제시하고 있는 기준에 만족하는 제품이다.

특히, Site C의 경우에는 곡률반경이 크기 때문에 횡압과 운중의 변화가 가장 큰 구간으로 일부 계측에서는 교번하중이 발생하여 하중의 변화가 매우 심한 구간이다. 이러한 불리한 조건에서도 분니가 발생하지 않은 것을 볼 때 부직포의 중량에 따른 두께가 철도 보강용 토목섬유에서 매우 중요한 설계인자라고 판단된다.

Site D는 지오펜포지트를 설치한 개소로서 부직포와 지

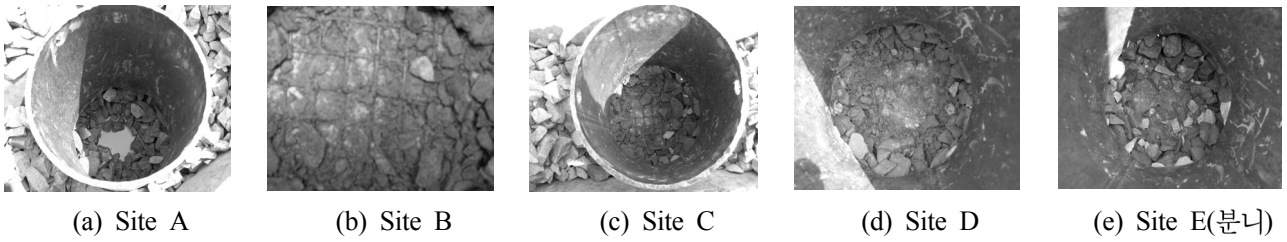


사진 1. 각 위치별 육안조사(1차 조사, 2005. 4)

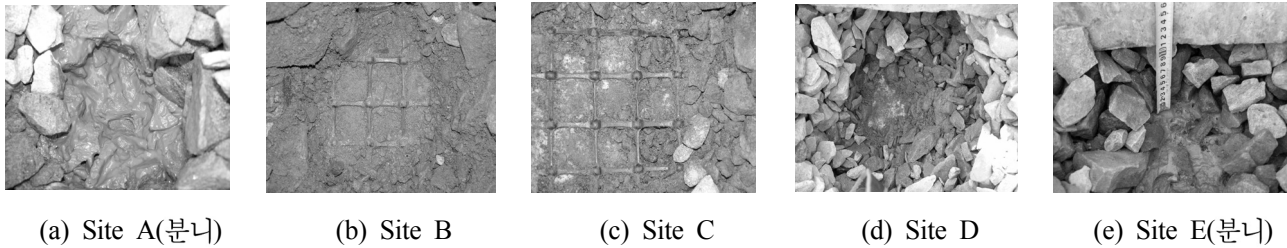


사진 2. 각 위치별 육안조사(2차 조사, 2005. 10)

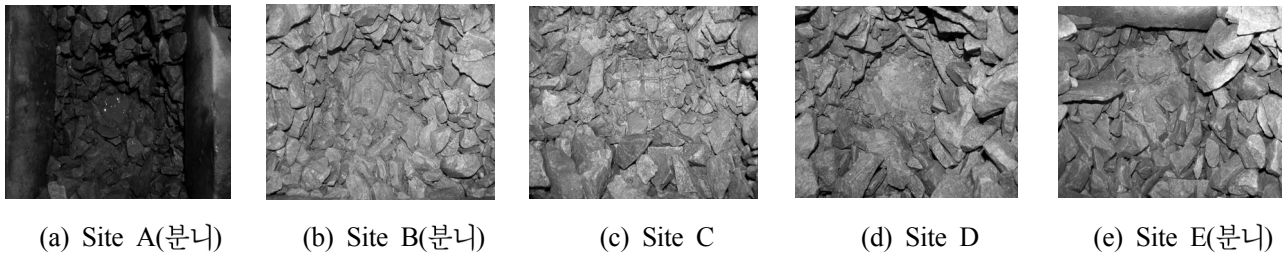


사진 3. 각 위치별 육안조사(3차 조사, 2006. 11)

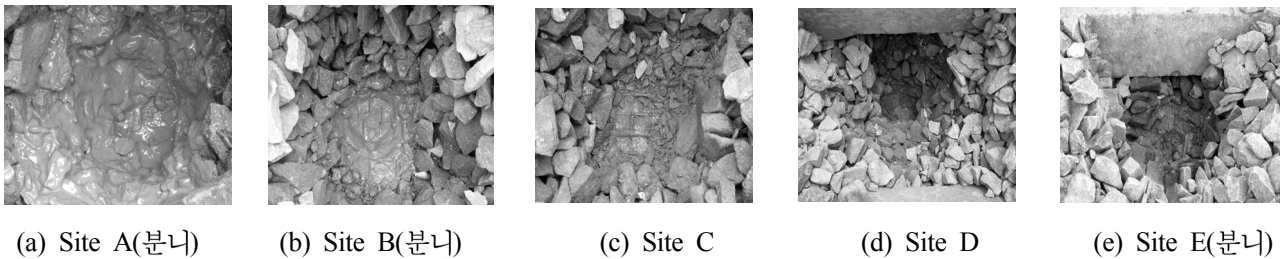


사진 4. 각 위치별 육안조사(3차 조사, 2007. 8)

오그리드를 미리 제작 단계에서 제품을 미리 부착하여 일체화한 제품이다. Site C에서와 같이 1차 조사와 2차, 3차, 4차 조사 시점까지 노반 분리가 발생하지 않은 매우 양호한 상태를 보여주고 있으며 지오킴포지트의 상태도 상당히 양호하여 손상을 받은 부분은 발견하지 못하였다.

토목섬유로 보강하지 않고 도상자갈을 새로운 자갈로 약 30cm 치환하여 보강한 Site E의 경우에는 1차 조사 시점에서부터 노반분리가 발생하였다. 1차 측정시에는 노반 분리가 침목하면으로부터 약 17cm 정도까지 발생한 상태로서 시일이 경과함에 따라 점차적으로 노반분리가 상승하여 4차 조사시점에서는 침목하면 아래까지 분리가 발생하여 매우 연약한 상태로 진행되고 있었다. 4차 조사시에

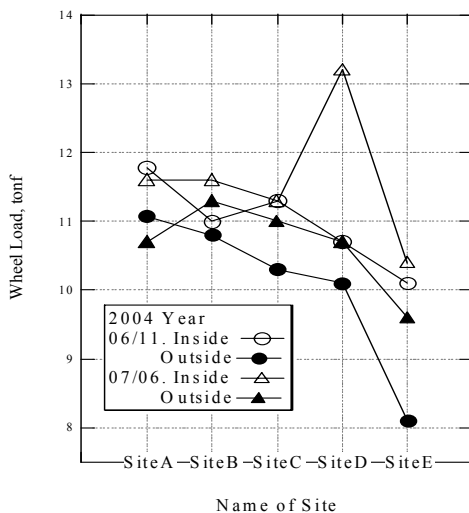
는 도상자갈이 분리에 완전히 덮여 있었으며, 도상자갈의 모든 공극에 채워져 있는 상태였다. 또한, Site E 구간의 분리 진행도를 보면, 도상자갈 두께를 30cm로 하였을 때 10개월 이후에는 분리가 침목하단으로부터 약 17cm까지 50%의 분리 진행을 보이고 있었으며, 이후 2차, 3차, 4차 시일이 경과함에 따라 11cm, 6cm, 4cm, 2cm로 점차적으로 치환된 도상 자갈두께를 모두 분리로 채워지고 있는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현장조사를 바탕으로 현재 국내 일반철도에서 대표적으로 많이 사용하고 있는 도상자갈 치환방법은 보수이후 약 10개월 이후에는 또 다시 분리가 발생되어 유지보수가 재차 필요한 방법인 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 장기적인 측면에서 볼 때 분리가 지속적

으로 발생하고 유지보수에 어려움이 있는 개소에서는 적절한 토목섬유를 사용할 경우에는 유지보수 주기를 획기적으로 증가시킬 수 있는 방법으로 판단된다.

### 4.2 현장구간에서의 차량의 작용력 범위

열차하중에 의한 구간별 하중크기와 발생하는 하중차이를 정량화하기 위하여 단면별 윤중, 횡압, 토압 등을 측정하였다. 그러나, 시일이 경과함에 따라 계측기가 외부에 장기간 노출되어 망실되는 계측기가 상당부분 발생하여 장기적인 측정은 불가하였다. 최대 윤중은 내측부가 외측부보다 크게 발생하였으며, 이러한 이유는 곡선통과시의 차량에는 곡선반경, 캔트 및 속도에 의존한 원심력이 작용하여 발생된 것으로 판단된다. 일반적으로 주행속도가 균형속도 이하(캔트초과)의 경우에는 바깥레일 윤중은 정지윤중보다도 작아지고, 균형속도이상(캔트부족)의 경우에는 역으로 커진다고 보고하고 있다.

그림 4는 각 측정위치에서의 차량운동에 따른 윤중과 횡압 측정 결과이다. 일반적으로 윤중은 정적윤중인 110kN보다 다소 크게 계측되었으며, 측정기간동안에 최대 130kN 이내로 내측보다 외측이 크게 발생하였다. 횡압의 경우에는 10~40kN 범위로 Site C와 D, E가 크게 발생하였다. 윤중과 횡압결과를 볼 때 무 보강 단면의 경우 윤중은 작게 계측되고 횡압이 크게 발생된 이유는 Site E 단면에서 궤도부의 탄성력과 도상자갈의 체결력이 다른 구간보다 작게 발생하여 윤중값은 작게 나오며, 횡압은 상대적으로 크게 발생한 것으로 판단된다. 이러한 구간에서는 일반적으로 열차하중에 의해 상하 진동이 크게 발생하는 구간이라고 볼 수 있다.



### 4.3 지오그리드의 인장 변형률

앞서 언급한바와 같이 영업선상에서 열차하중이 통과할 때 지오그리드로 발생하는 변형률의 크기를 보기 위하여 지오그리드에 종방향, 횡방향 인장변형을 측정하였다. 그림 5는 지오그리드에 종·횡방향 스트레인게이지 부착된 개요도를 나타내었다. 그림 5에서와 같이 종방향은 열차 진행방향과 수직인 방향으로 부착하였으며, 횡 방향은 열차 진행방향과 직각으로 부착하였다.

표 4는 단면별 지오그리드의 종·횡방향 인장변형률(%)을 계측일별로 나타내었다. 지오그리드의 인장변형률은 측정이 약 3달까지만 계측이 가능하였기 때문에 장기적으로는 측정할 수 없었다.

그림 6은 단면별 횡·종방향에서 측정된 인장변형률(%)이다. 전반적으로 시일이 경과함에 따라 지오그리드의 인장변형률(%)이 점차적으로 커지고 있는 것을 알 수 있었으며, 열차 진행방향인 횡 방향에서 측정된 인장변형률보다 열차 진행 수직방향인 종방향에서 측정된 인장변형률이 크게 측정되었다.

실제 열차통과시 도상자갈 하단부에 위치한 지오그리

표 4. 지오그리드의 인장변형률(%)

단면		6/17	7/6	11/27
Site A	횡방향	0.0078	0.0139	-
	종방향	0.0319	0.016	0.0382
Site B	횡방향	0.0259	0.0251	0.0167
	종방향	0.0342	0.0615	0.2013
Site C	횡방향	0.0314	0.0366	0.0385
	종방향	0.0832	0.0768	0.1211

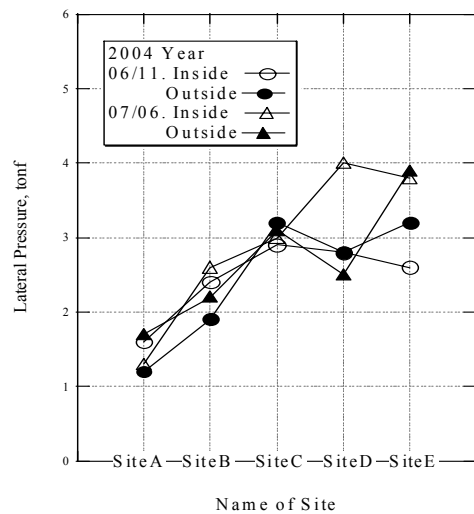


그림 4. 단면별 윤중, 횡압크기

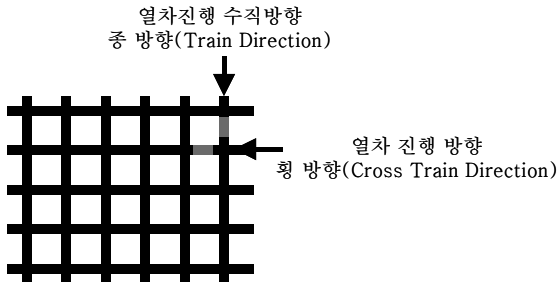


그림 5. 스트레인게이지 부착 개요도

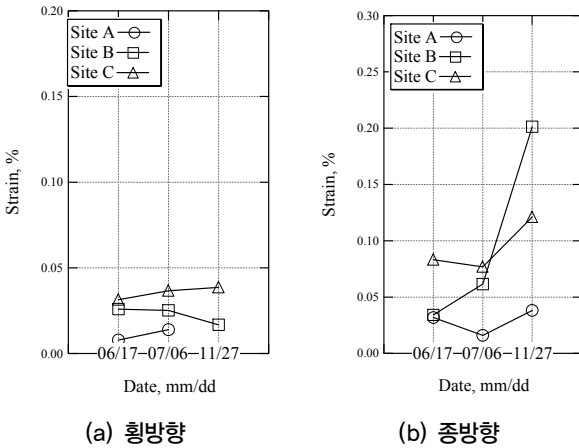


그림 6. 지오그리드 횡, 종방향 변형률

드의 횡방향 인장변형률은 Site A, Site B, Site C 순으로 크게 측정되었으며 측정된 범위는 약 0.0078~0.0385%이다.

종방향 인장변형률은 초기에 측정된 경우에는 Site A, B, C 순으로 횡방향 인장변형률이 거의 유사한 결과를 보이다가 시일이 경과함에 따라 최종 측정값은 Site B가 가장 큰 값이 보였다. 전체적으로 종방향 인장변형률은 약 0.016~0.1211%로 횡방향 인장변형률보다 10배 이상 큰 값을 보였다.

## 5. 결론

국내 철도현장에서 고질적으로 문제가 되고 있는 분니 개소에 대하여 기존에 많이 사용하고 있는 도상자갈 치환공법과 토목섬유 보강공법에 대하여 현장부설시험을 실시하여 시일이 경과함에 따라 분니 발생여부를 육안조사를 통해 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1. 국내에서 분니 대책공법으로 많이 사용하고 있는 도상자갈 치환공법은 영구적인 공법이기 보다는 임시방편적으로 수행할 수 있는 분니대책공법으로 현장시험결과 약 10개월 이후에는 최초 도상자갈두께(침목하단으

로부터 약 33cm)의 약 50%까지 침목하단의 17cm까지 분니가 발생하였다. 보강 이후, 약 3년이 경과된 시점에서 도상자갈층은 노반 분니와 뒤엉켜져 있어 배수기능 및 도상자갈의 탄성기능 저하 등이 발생하고 있다.

2. 철도용 분니억제를 위한 부직포의 중량은 최소 330N/m<sup>2</sup> 이상의 중량을 가지는 부직포를 사용하여야 내구성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
3. 부직포 중량 350N/m<sup>2</sup>으로 시공된 Site C와 D의 경우에는 3년이 경과된 시점까지 노반분니가 발생하고 있지 않고 있어 동일한 현장조건과 열차하중 조건일 때 기존에 사용하고 있는 도상자갈 치환공법보다 장기적으로 매우 우수한 공법이다.
4. 실제 열차하중이 작용하는 도상자갈 하부(침목하면으로부터 약 35cm)에서의 지오그리드의 횡·종방향 인장변형률(%) 범위는 각 0.0078~0.0385%와 0.016~0.1211%으로 종방향 인장변형률이 횡방향 인장변형률보다 약 10배 이상 큰 값을 보였다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

1. 심재범 (2000), 토목섬유 시스템을 활용한 철도노반의 보강효과 및 설계기법 개발에 관한 연구, 수원대학교 박사학위논문.
2. 이진욱, 최찬용 (2005), “토목섬유를 활용한 철도연락노반에서의 보강효과, 2005년도 한국지반공학회 분학술발표회”, pp.1546-1553.
3. 이진욱, 최찬용, 이성혁, 이창렬 (2004), “운행선상의 연락노반 시험부설구간에서의 장기계측을 통한 거동 특성”, 한국철도학회 추계학술발표대회, pp.191-197.
4. ASTM D1683-07 Standard Test Method for Failure in Sewn Seams of Woven Apparel Fabrics.
5. ASTM D3776-07 Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric.
6. ASTM D4491 Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity.
7. ASTM D4632 Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles.
8. ASTM D4751 Standard Test Method for Determining Appa-

- rent Opening Size of a Geotextile.
9. ASTM D4833 Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products.
  10. Department of the Army & the Air Force (1995), *Engineering Use of Geotextile*, TM5-881-8/AFJMAN 32-1030.
  11. Hillig, J and K. Lieberenz (1995), "Long-term behaviour of geotextile systems in railway track formation", *Proc. of the 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, pp.252-258.
  12. Raymond, G.P. (1985), *Research on railroad ballast specification and evaluation*, Transportation Research Record 1006, TRB, pp.1-8.

(논문접수일 2007. 11. 5, 심사완료일 2007. 11. 29)