

원형토조 시험을 통한 반복하중에 따른 부직포의 침하특성

Characteristics of Settlement for Non-woven Geotextile through Cyclic Loading Model Test

최 찬 용^{1*} Choi, Chan-Yong
이 진 옥² Lee, Jin-Wook
김 현 기³ Kim, Hyun-Ki

ABSTRACT

The ballast track, the most common type of conventional railroad track in Korea, is deteriorated by abrasion of ballast, it's penetration into roadbed, and rugged surface of roadbed caused by cyclic loading of train. Persistent occurrence of those phenomena lead to insufficient drain capacity, one of major factors in track design, and it increases pore water pressure and decreases of shear strength under rainfall condition leading to unstable roadbed. In this study, cylindrical model tests are executed for 3 types of geotextile applying cyclic loading in order to observe the characteristics of displacement and bearing capacity of geotextile, and undrained condition has been applied for 0 day, 3 days and 7 days to each geotextiles. The results showed that there was about 1% difference at the final displacement rates between reinforced soils and nature soils and the displacement of the ground surface increases along with the degrees of the saturation. And in case that water contents exceeds the threshold, it is also apparent that weight and tensile strength of geotextile influences displacement of the ground surface. And the larger weight of geotextile is, the smaller plastic displacement. It is evaluated that non-woven fabric comes into effect on reducing the bearing capacity but, the weight of geotextile has little influence on it.

요 지

국내 대부분을 차지하고 있는 자갈 도상궤도는 지속적인 열차반복하중에 의해 마모, 노반으로 관입, 노반표면의 불균질 등에 의해 도상자갈의 기능을 상실하게 된다. 이러한 현상이 지속적으로 발생하면 설계 당초 주요 기능이었던 배수기능을 충분히 발휘하지 못하기 때문에 강우가 노반에 체류되고 물로 인해 간극수압이 증가하여 전단강도가 저하되어 점진적으로 노반이 연약화된다. 이 논문에서는 원형모형실험을 이용하여 부직포 3종류에 대하여 0일, 3일, 7일 체수조건으로 하여 반복하중을 재하시킴으로써 부직포의 침하특성과 지지력 변화를 관찰하였다. 실험결과 0일 체수조건에서 토목섬유 보강과 무보강에 따라 최종 변위는 약 1% 차이가 있으며, 지반의 포화도가 증가함에 따라 침하량이 커지는 경향이 있었다. 보강재의 중량이 클수록 소침하량이 작게 평가되었으며, 임계 함수비를 초과한 경우에는 부직포의 인장강도와 중량에 따라 침하량의 차이가 발생하였다. 또한 무보강과 비교해 볼 때 부직포에 의한 토압 저감효과는 있으나, 부직포의 중량에 의한 토압저감 효과는 영향이 미미한 것으로 평가되었다.

Keywords : Geotextile, Ballastless track, Mud pumping, Settlement, Model test

1. 서 론

노반에 균등하게 분포시키고 강우시 노반에 체류되는 우수를 차단하고 신속히 배수시키는 기능을 한다.

국내 대부분을 차지하고 있는 자갈궤도는 열차하중을

그러나 도상자갈은 지속적인 열차반복하중에 의해 마

1* 정회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Railway Structure Reserch Division, KRRI, E-mail: cychoi@krri.re.kr)

2 비회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실 선임연구원 (Non-Member, Senior Researcher, Railway Structure Research Division, KRRI)

3 비회원, 한국철도기술연구원, 철도구조연구실 선임연구원 (Non-Member, Senior Researcher, Railway Structure Research Division, KRRI)

모, 노반으로 관입, 노반표면의 불균질 등에 의해 도상자갈의 기능을 상실하게 된다. 이러한 현상이 지속적으로 발생하면 설계 당초 주요 기능이었던 배수기능을 충분히 발휘하지 못하기 때문에 강우가 노반에 체류되고 물로 인해 간극수압이 증가하여 전단강도가 저하되어 점진적으로 노반이 연약화된다. 철도에서 분니는 흙 노반에서 필연적으로 발생하는 현상으로 설계 당시 양호한 지반재료를 사용하여도 자갈 도상궤도에서는 시공 후 약 4년이 경과되면 분니가 발생하는 경우가 종종 있다(이진욱 등, 2005; 최찬용 등, 2007). 이러한 분니 대책 방법으로 국외에서도 많은 연구가 진행되었으며, Selig and Waters(1994)은 지오텍스타일 보강은 철도에서 특히 국부적으로 발생하는 분니 지역에 사용함으로써 매우 효과가 좋다고 보고되었다. 또한 Amsler(1986)는 실 열차 운행구간에 분니가 빈번하게 발생한 지역에 토목섬유로 보강된 구간과 보강되지 않는 경우에 대하여 현장계측을 통해 지오텍스타일의 효과를 입증하였다. 그러나 토목섬유 이외로 보강한 구간에서는 1~2년 이내에 분니가 재발되는 등 단기적인 처방이라고 평가하였다. Ashpiz et al.(2002)은 실내시험을 통해 부직포의 오염도에 따른 배수성능을 시험한 결과 영향이 적다고 보고하였다.

국내에서도 철도현장에 분니 다발지역에 도상자갈 치환방법과 토목섬유 보강한 구간에 대하여 비교한 결과 도상자갈의 경우 1년 이내에 분니가 재발한 반면, 적절한 부직포의 층량과 충분한 지오텍스타일의 강도를 가지고 있는 구간은 약 5년간 지난 이후에도 분니가 발생하지 않는다고 보고하였다(최찬용 등, 2007). 또한 지오텍스타일로 보강된 점토지반에 대하여 모형 시험한 결과 침하량과 후팅 주변 지반의 히빙이 현저히 저하된다고 보고하고 있다

(Park et al., 1988).

일본의 Miura 등(1990)에 의하면 점토층 위에 보조기층과 기층, 아스팔트 콘크리트 포장층으로 구성된 모형지반에서 반복하중을 재하하여 지지력 증대효과를 확인하였으며, 보강재가 보조기층보다는 점토층 위에 위치하였을 때 침하량의 억제 효과가 크다고 보고하였다. 또한 Nishigata와 Yamaoka(1992)은 점토지반 위에 25~100mm 모래층을 두어 그 사이에 보강재를 평면변형을 상태로 시험한 결과 지오텍스타일 인장력의 수직성분이 점토지반에 전달되는 연직응력을 감소시킴으로 인하여 보강된 점토지반 표면의 연직응력은 무보강 지반보다 작은 것을 확인하였다.

이 논문에서는 원형모형시험을 이용하여 지오텍스타일의 3종류에 대하여 철도하중과 유사한 반복하중을 재하시킴으로써 지오텍스타일 침하특성과 지지력 변화를 관찰하였다. 또한 도상자갈이 기능을 상실하여 노반에 물이 체류되었을 경우의 조건으로 모사하여 노반의 함수비 영향에 따른 침하량 변화를 관찰하였다.

2. 철도노반으로서 지오텍스타일 적용

자갈 도상궤도의 경우 분니가 필연적으로 발생하는 구조로서 분니는 도상의 탄성을 약하게 하거나, 레일 면의 침하를 유발하여 열차의 주행성을 현저히 저하시킨다. 이러한 분니 개소에 재발을 방지할 목적으로 노반면 피복공을 적용하고 있다. 표 1은 도로와 철도에서 노반, 포장에 있어서 적용되고 있는 분야를 정리하였다.

표 2는 철도건설에 사용되는 지오텍스타일의 최소기준으로 미공병단에서 제시한 기준이다. 다른 모든 기관도 이와 유사한 기준값을 가지고 있으며 국내에서는 철도 건설

표 1. 노반포장에 있어서의 지오텍스타일의 적용방법

분야	사용목적	사용재료	요구되는 성능
철도	분니 방지	부직포+지오텍스타일 (일본)	분리 (배수)
		부직포(유럽)	
	노반의 지지력 향상	폴리머 그리드	보강
		지오웹	
도로 공항	노반의 지지력 저하방지 (노반재의 노반으로의 관입 방지)	부직포	분니
	노반재의 노반으로의 관입 방지		
	reflection crack 방지		
	노반의 지지력 향상	폴리머 그리드	보강
아스팔트 혼합물층 크랙, 바퀴자국 방지			

표 2. 철도건설에서 사용되는 지오텍스타일의 최소기준
(Department of the army & the Air Force, 1995)

물성	최소 요구사항	시험방법
중량, N/m ²	330	ASTM D 3776
구조	부직포	-
그레브 인장강도, lb	350	ASTM D 4632
인장변형률, %	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

을 위한 세부적인 기준은 없는 실정이다.

2.1 도상자갈 궤도의 침하특성

자갈 도상 궤도는 열차 반복하중에 의해 점진적으로 변형이 진행되는 구조로서 침하와 궤도틀림을 줄이기 위해서는 지속적인 유지보수를 전제로 하는 구조이다. 궤도파괴 이론에 의하면 자갈궤도의 경우 열차통과하중에 의해 반복하중을 받아 식 (1)과 같은 침하가 발생한다(이종득, 2001; 정근영 등, 2006).

$$Y = \gamma(1 - e^{-\alpha x}) + \beta x \quad (1)$$

여기서, Y 는 침하량, x 는 반복횟수 또는 통과톤수, α , β , γ 는 계수로서 γ 는 초기 침하의 크기, α 는 초기 침하의 반복횟수와 관련된 계수이다. 위 식의 1 항은 도상자갈 작업 초기의 급격한 침하성분을 나타내는 침하성분으로 도상입자간의 압축과 상부 노반의 초기 압밀과정에 해당한다. 사질토의 경우 거의 즉시침하가 대부분이다. 제 2 항은 초기 압밀 과정이후 직선적인 침하거동으로 침목하부에 도상자갈의 입자가 측방으로 유동에 기인한다. 또한 계수 β 는 열차에 의한 궤도파괴에 직접적인 영향을 주며 도상압력과 도상가속도, 노반의 연약화 등에 비례하는 특성을 가진다. 일반적으로 노반이 연약화 되는 경우, 도상가속도를 증가시켜 궤도 파괴와 노반 연약화를 가속시키는 영향을 주게 된다.

그림 1은 일반적으로 도상자갈, 또는 노반재료의 반복하중에 따른 침하특성 곡선으로 예측 식은 주로 식 (2), 식 (3)의 식을 이용하고 있다.

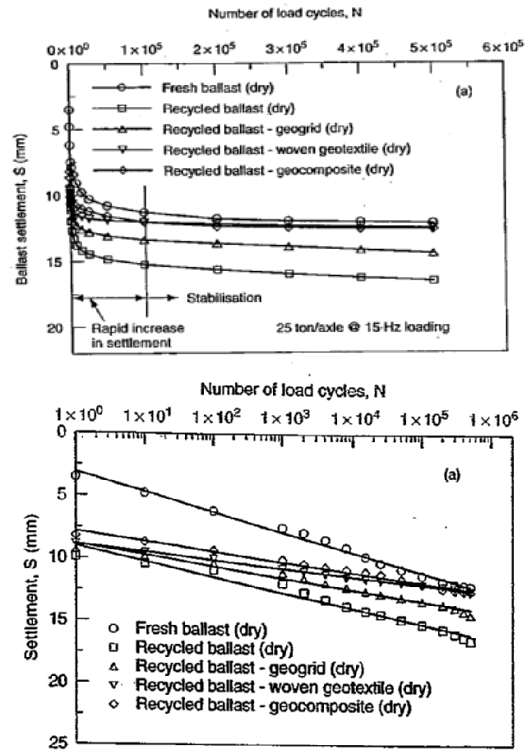


그림 1. 도상자갈의 반복하중에 따른 침하곡선 (Indararata and Salm, 2005)

$$\epsilon = AN^b \quad (2)$$

$$\epsilon = a + b \log(N) \quad (3)$$

여기서, ϵ 는 소성침하량, N 는 반복횟수, A , a , b 는 계수이다.

3. 실내모형실험

3.1 대상시료의 물리적 공학적 특성

실험에 사용된 재료는 철도현장에서 일반적으로 쉽게 구하고 많이 사용하고 있는 화강풍화토를 사용하였으며 실내시험을 수행한 기본물성시험 결과는 표 3과 같다. 실내시험결과 사용하는 재료는 철도설계기준에서 규정하고 있는 노반재료로서의 조건을 만족하고 있으며, 노반재료로서는 상당히 양호한 조건임을 알 수 있었다.

표 4는 이 논문에서 사용한 토목섬유 부직포의 제원이다. 부직포 중량은 250~300g/m²의 범위의 재료로서 부직포 Case 3의 경우가 다른 Case 1, Case 2의 부직포 재료보다 인장강도와 중량 측면에서 다소 큰 특징을 가지고 있다. Case 1 재료의 중량에 비해 Case 2, 3은 각각 20%,

표 3. 실내물성시험 결과

자연 함수비 (%)	G _s	입 도 시 험				통일 분류	다짐시험		직접전단시험	
		#200 통과량 (%)	유효입경 (D ₁₀) (mm)	C _u	C _c		γ _{dmax} (g/cm ³)	ω _{opt} (%)	c (kg/cm ²)	φ (°)
11.3	2.74	1.5	0.3	6.67	0.66	SP	2.01	10.2	0.25	38

표 4. 보강재 특성

	Case 1	Case 2	Case 3
중량(g/m ²)	250	300	350
인장강도(kg)	45	65	80
인장신도(%)	50	50	50
투수계수(cm/sec)	3.9×10 ⁻¹	3.5×10 ⁻¹	3.0×10 ⁻¹
두께(mm)	2.0	2.5	3.0
유효구멍크기(mm)	0.2	0.15	0.12

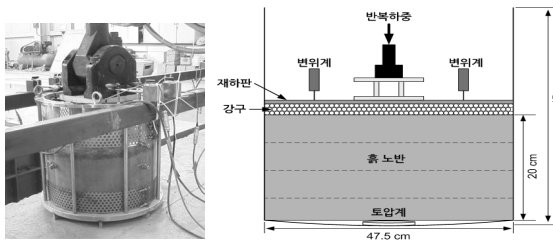


그림 2. 종합궤도노반 시험 장비 및 모형토조

40% 중량이 더 크며, 인장강도는 44.4%, 77.8% 더 큰 공학적 성질을 가지고 있다.

3.2 원형모형실험 장치 및 시험절차

본 실험은 부직포로 보강된 지반과 무 보강 지반에 대하여 반복하중에 대한 지지력 증가 효과와 침하거동을 관찰하였다. 또한 지반내의 함수비의 영향을 보기 위하여 3일, 7일간 체류시켜 총 10개의 실험조건으로 실험하였다. 그림 2는 실험전경과 모형토조 개략도를 나타내었다. 실험에 사용된 재하 하중은 실제 궤도(레일, 침목, 자갈도상)를 통해 노반에 발생하는 응력으로 환산하여 계산하였다. 일반적으로 많은 연구결과에서 실제 열차하중에 대한 노반 압력은 열차하중 조건에 따라 다르지만 약 200kPa 정도이다. 이 논문에서는 반복하중을 재하시키기 위하여 최대하중 28kN, 최소하중 5kN으로 하여 진폭이 23kN이 되도록 하였다. 재하하중에 따른 노반에 작용하는 압력은 최대 161kPa 정도로 실제 현장에서 경험하는 압력이 재하될 수 있도록 하였다. 반복하중에 의한 진동수 산정은 식 (4)에서와 같이 열차 속도와 열차의 대차간 중심거리(d=12.5m)

의 함수로 표현하여 설계속도를 200km/h로 가정하였다. 식 (4), (5)에 의해 하중재하 주파수(f)를 10Hz로 산정하였다.

$$d = V \cdot T \tag{4}$$

$$T = \frac{d}{V}, \quad f = \frac{1}{T} \tag{5}$$

3.3 시료 단면 조성

원형 토조내 시료 성형은 KS F2312에 의한 다짐시험의 최대건조단위중량의 90% 이상의 다짐도로 다짐을 하여 모형지반을 조성하였다. 시료의 총 높이는 하단에 설치한 토압계를 제외한 순수 노반 층은 20cm로 하였고, 1층 다짐두께를 5cm로 하여 총 4층으로 다짐하였다. 하중재하시 침하에 의해 노반 용기를 방지하기 위하여 재하판(직경 47cm, 두께 1.5cm)은 거의 내부직경에 맞도록 제작하였으며 재하판 둘레는 마찰을 최소한 억제하기 위하여 윤활제를 발라 마찰을 최소화하였다. 또한 도상 자갈궤도를 모사하기 위하여 일반적으로 자갈을 사용하여 실험을 실시하여야 하나 본 논문에서는 자갈의 다짐도와 자갈상태에 의해 발생하는 요인을 배제하기 위하여 자갈 대용으로 모의구슬을 사용하였다. 모의구슬의 크기는 3/8인치(9.5mm)로 노반표면에 4층으로 포설하여 약 4cm 두께가 되도록 하였다. 하중재하판은 재하판에 하중이 균등하게 작용할 수 있도록 하였으며 전도 현상과 편심을 받지 않게 하기 위하여 지그를 연결하였다.

실험장비로는 하중재하 장치, 원형토조, 재하판과 변위계와 토압계를 이용하여 측정하고 동적 데이터로거(DAQ system, EDX1500)를 통해 초당 200Hz로 데이터를 샘플링하여 자료를 분석하였다. 하중재하 장치는 미국 MTS의 최대하중 250kN을 정적하중 뿐만 아니라 동적하중을 재하시킬 수 있는 장비이다. 토압계는 직경 10cm의 원형크기를 가지며 재하하중을 고려하여 최대 300kPa의 용량을 사용하였다. 변위계는 최대 50mm ($\pm 25\text{mm}$)를 측정할 수 있으며 응답주파수는 5Hz를 사용하였다.

표 5는 매개변수에 대한 각 실험조건과 그에 따른 실험명을 정리 요약하였다. 표에서와 같이 재하하중, 보강재 종류, 보강 유무, 체수일수 등의 다양한 변수로 총 10개의 실험조건 설정하여 실험을 수행하였다.

표 5. 실험 조건

번호	실험명	실험조건		
1	Case 0-0	무보강	28kN	0일
2	Case 0-3			3일
3	Case 0-7			7일
4	Case 1-0	보강재 Case1	28kN	0일
5	Case 1-3			3일
6	Case 1-7			7일
7	Case 2-3	보강재 Case2	28kN	3일
8	Case 2-7			7일
9	Case 3-3	보강재 Case3	28kN	3일
10	Case 3-7			7일

4. 실험결과 및 분석

4.1 부직포 보강에 따른 침하 억제효과

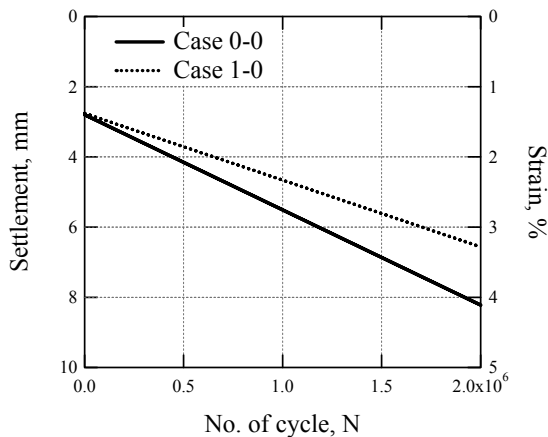


그림 3. 반복하중에 따른 무보강, 보강조건 침하 거동

그림 3은 부직포로 보강된 조건과 보강되지 않는 조건에서의 침하특성 곡선이다. 최적함수비 조건으로 다짐한 상태에서 양호한 지반조건을 모사한 경우이다. 그림에서와 같이 침하거동은 초기 침하량($>1,000$ 회)은 거의 같으나 반복재하횟수가 증가함에 따라 침하량이 점진적으로 증가하고 있다. 보강단면의 경우 최종 변형량은 무보강 단면에 비해 약 1% 정도의 작게 발생하는 것을 볼 수 있다.

4.2 함수비 영향에 따른 침하효과

체수에 대한 함수비 변화는 시험이 종료 이후 시료 상부에서 채취하고 5cm 깊이별로 함수비를 확인하였다. 표 6은 3일과 7일 체수 이후 층별 함수비 측정결과이다. 3일과 7일 체수 조건에서 최상부에서 측정된 함수비는 최적함수비 보다 약 17%, 22.2% 각각 크게 측정되었으며 체수일수가 길어질수록 물의 영향으로 하부지반으로 포화되고 있는 것을 알 수 있다. 체수 3일의 경우 토조내의 평균함수비는 21.0%, 7일 체수조건에서는 25.1%로 약 4% 정도 더 큰 것으로 평가되었다. 또한 다짐시험의 결과로부터 최적함수비, 비중(G_s)과의 관계로부터 간극비(e)를 구하면 0.363으로 이때 포화도(S)는 약 76.8%이다. 따라서 3, 7일 체수 조건의 경우 평균적으로 80% 이상의 포화도를 가지고 있는 것으로 판단된다.

일반적인 현장조건은 강우, 강설 등 다양한 자연환경에 노출되어져 함수비가 변화되는 조건이다. 이러한 환경조건에서 토목섬유의 효과를 정량적으로 검토하기 위하여 보강재의 3종류에 대하여 3일과 7일 체류 조건에서 침하량의 변화를 관찰하였다. 그림 4(a), (b)는 체수조건 3일과 7일의 보강재 3종류에 따른 침하특성이다. 3일 체류한 조건에서의 초기 침하량은 거의 유사한 값을 보이다가 반복재하 횟수가 증가함에 따라 Case 1-3의 실험조건이 가장 적은 침하가 발생하였고, Case 2-3, Case 3-3은 거의 유사하게 침하가 발생하였다. 체류 7일의 경우에는 실험조건

표 6. 체수일수에 따른 깊이별 함수비

함수비(%) 노반깊이	0 체수	3일 체수 함수비	7일 체수 함수비
20cm	10.2	27.4	32.4
15cm	10.2	21.2	23.6
10cm	10.2	19.2	22.9
5cm	10.2	16.3	21.6
평균	-	21.0	25.1

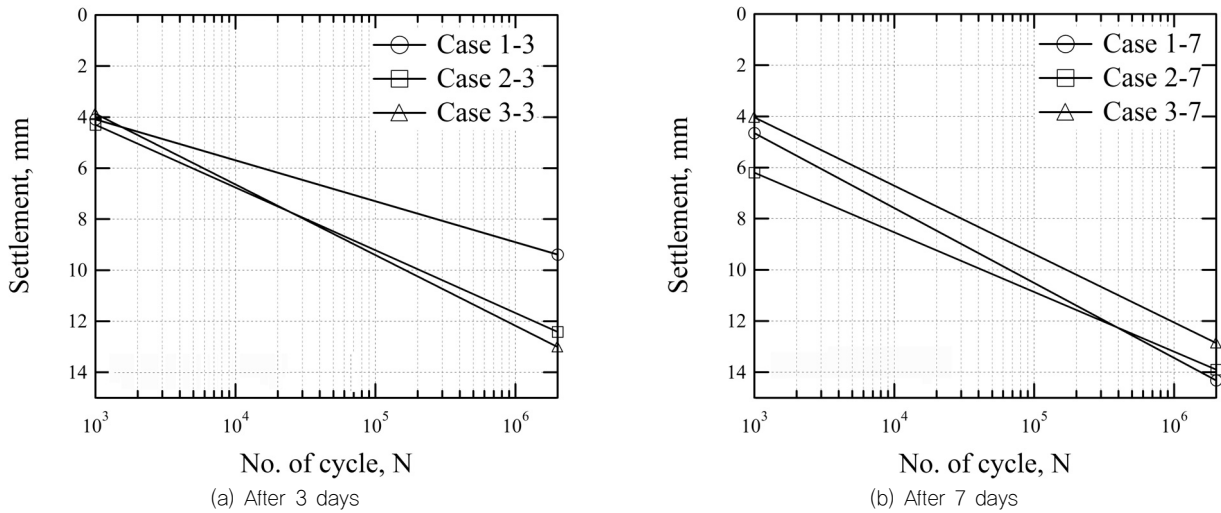


그림 4. 보강재에 따른 침하거동(a: 3일 체류, b: 7일 체류)

Case 3-7, Case 2-7이 가장 적은 침하가 발생하였고, Case 1-7의 조건에서 가장 큰 침하가 발생하였다. 또한 부직포의 중량과 인장강도가 큰 재료의 경우(Case 2, 3)에는 체류일수 3일과 7일의 침하 기울기가 거의 유사하였으나, Case 1의 경우 함수비에 따라 기울기의 변화가 심한 것으로 평가되었다. 이러한 결과를 볼 때 임계 함수비 이내에서는 부직포의 인장강도와 중량은 큰 차이가 없을 수 있으나, 임계 함수비를 초과한 경우에는 부직포의 성능에 따라 침하량의 차이가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 노반이 경험하는 함수비조건에 따라 토목섬유의 인장강도와 중량은 중요한 설계 요인으로 평가되어야 할 것으로 판단된다.

4.3 탄성침하량과 소성침하량 비교

원형 등분포하중에 의한 즉시침하는 탄성론에 의거하여 식 (6)과 같이 구할 수 있다. 여기서 탄성계수는 Web (1999)가 제시한 실험조건 구속압력 $\sigma_3=71.7\text{kPa}$ 와 상대 다짐도 86% 조건의 SM 재료에 대하여 탄성계수 13.8MPa를 가정값으로 사용하였으며, 포아송비는 0.3으로 가정하여 식 (6)에 의해 탄성침하량은 3.96mm으로 계산되었다.

$$S_e = q \frac{1+\nu}{E} bL_2 \quad (6)$$

여기서, S_e 는 원형 등분포하중에 의한 즉시침하량, b 는 반경, ν 는 포아송비, E 는 탄성계수, L_2 는 L/B 의 휨성 계수이다.

일반적으로 하중이 작용하면 탄성침하와 소성침하가 발생하고 반복하중이 증가하면 지반조건에 따라 점진적으로 소성침하량이 더 크게 발생한다. 소성침하량 비(R_e)은 식 (7)에서와 같이 식 (3)에 의해 구한 탄성침하량과 2백만 반복하중 완료 후 최종침하량과의 비로 정의하였다.

즉, 각 실험조건별 장기침하에 영향을 주는 소성침하량 비를 측정하여 부직포의 침하 억제효과를 보다 정량적으로 평가하였다.

$$R_e = \frac{\text{Settlement}(\epsilon^t)}{S_e(\epsilon^e)} \quad (7)$$

여기서, R_e 는 탄성침하량에 대한 총 침하량의 비이다, S_e 는 탄성침하량(mm), ϵ^t 는 200만회 완료 후 최종침하량(mm)이다.

표 7은 각 실험조건별 최종침하량과 탄성침하량에 대한 총 침하량의 비(R_e)이다. 표에서와 같이 동일한 보강재 또는 무보강일 경우 체수 일수가 증가함에 따라 R_e 값이 증가하고 있으며, 체수 7일 조건에서 무 보강 실험조건보다 보강재의 종류에 따라 약 10.8~20% 정도 침하가 감소하였다.

4.4 토목섬유에 따른 토압저감효과

표 8은 실험조건에 따른 20cm 하부 지반에서 측정된 토압이다. 원형 재하판에 의한 지중응력 계산은 탄성이론에 의해 식 (8)과 같이 구하였으며, 토압계가 위치한 20cm

표 7. 실험조건별 최종침하량과 R_e 값

번호	실험명	실험조건		최종침하량 (mm)	Strain (%)	R_e	$\epsilon^{plastic} = \epsilon^{total} - \epsilon^{elastic}$	
1	Case 0-0	무보강	28kN	0일	8.22	4.11	2.08	4.26
2	Case 0-3			3일	12.50	6.25	3.16	8.54
3	Case 0-7			7일	16.08	8.04	4.06	12.12
4	Case 1-0	보강재 Case1	28kN	0일	6.57	3.28	1.66	2.61
5	Case 1-3			3일	9.39	4.70	2.37	5.43
6	Case 1-7			7일	14.34	7.17	3.62	10.38
7	Case 2-3	보강재 Case2	28kN	3일	12.42	6.21	3.14	8.46
8	Case 2-7			7일	13.90	6.95	3.51	9.94
9	Case 3-3	보강재 Case3	28kN	3일	13.01	6.50	3.29	9.05
10	Case 3-7			7일	12.86	6.43	3.25	8.9

표 8. 반복횟수 증가에 따른 토압 변화(kPa)

번호	실험명	실험조건		1,000회	200만회	평균	표준편차	
1	Case 0-0	무보강	28kN	0일	112	96	108	7
2	Case 0-7			7일	113	121	125	7
3	Case 1-0	보강재 Case1	28kN	0일	47	52	47	7
4	Case 1-7			7일	58	74	65	6
5	Case 2-3	보강재 Case2	28kN	3일	43	75	64	11
6	Case 2-7			7일	68	75	68	6
7	Case 3-3	보강재 Case3	28kN	3일	66	81	77	9
8	Case 3-7			7일	63	80	71	7

의 지중응력은 약 116kPa으로 실험에서 구한 초기 토압 112kPa으로 거의 유사한 결과가 나타났다. 무보강과 부직포 보강재로 보강된 실험조건과 비교해 볼 때 응력저감 효과는 약 39.3~61.6%로 응력이 상당히 저감되는 것으로 측정되었다. 이에 반면 부직포의 인장강도와 증량에 의한 토압 저감 영향은 매우 미미한 것으로 평가되었다.

$$\sigma_z = q \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{R}{Z} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (8)$$

여기서, σ_z 은 지중응력, q 는 원형재하판에 작용되는 응력, R 은 재하판의 지름, Z =깊이이다.

5. 결론

국내 대부분을 차지하고 있는 자갈 도상궤도에 대하여 원형모형실험을 이용하여 지오텍스타일의 3종류와 체수 조건을 변화시켜가며 반복하중에 따른 부직포의 침하와 지지력 특성을 관찰하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 최적함수비로 다진 양호한 지반조건에서 부직포로 보강된 경우와 무 보강의 경우 변위량이 약 1% 정도 차이가 발생하였다.
- (2) 지반의 포화도(함수비의 증가)의 증가에 따라 침하량이 커지며, 최종침하량과 탄성침하량에 대한 총 침하량의 비(R_e)의 경우 동일한 보강재 또는 무보강일 경우 체수 일수가 증가함에 따라 R_e 값이 증가하고 있으며, 체수 7일 조건에서 무 보강 실험조건보다 보강재의 종류에 따라 약 10.8~20% 정도 침하가 감소하는 것으로 평가되었다.
- (3) 임계 함수비 이내에서는 부직포의 인장강도와 증량은 침하량에 큰 차이가 없을 수 있으나, 임계 함수비를 초과한 경우에는 부직포의 성능에 따라 침하량의 차이가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 노반이 경험하는 함수비 조건에 따라 토목섬유의 인장강도와 증량은 중요한 설계 요인으로 평가되어야 할 것으로 판단된다.
- (4) 무보강 조건과 비교해 볼 때 부직포에 의한 토압저감 효과는 약 39.3~61.6%로 토압이 상당히 저감되었으

나, 부직포의 인장강도와 중량에 의한 토압 저감효과는 매우 미미한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이종득 (2001), *철도궤도역학*, 노해출판사.
2. 이진욱, 최찬용 (2005), “토목섬유를 활용한 철도연약노반에서의 보강효과”, *2005년도 한국지반공학회 봄학술발표회*, pp.1546-1553.
3. 정근영, 이일화, 이진욱, 최찬용 (2006), “궤도지지강성 변화구간에서의 광폭침묵 사용에 따른 궤도거동 개선효과 분석”, *한국철도학회 2006년도 춘계학술대회논문집*, pp. 15-22.
4. 최찬용, 이진욱, 김대상 (2007), “영업선상에서 분니 역제를 위한 자갈치환 공법과 토목섬유 보강공법 비교연구”, *한국토목섬유학회 논문집*, 제6권, 제4호, pp.21-28.
5. Amsler, P. (1986), “Railway track maintenance using geotextile”, *Proc. 3rd International Conference on Geotextiles*, Vienna, pp.1037-1041.
6. Ashpiz, E. S., Diederich R. and Koslowski, C. (2002), “The use of spunbonded geotextile in railway track renewal St. Petersburg-Moscow”, *Proc. 7th Int. Conference on Geosynthetics*, Nice, France, pp.1173-1176.
7. *ASTM D1683-07 Standard Test Method for Failure in Sewn Seams of Woven Apparel Fabrics.*
8. *ASTM D3776-07 Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric.*
9. *ASTM D4491 Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity.*
10. *ASTM D 4632 Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles.*
11. *ASTM D4751 Standard Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile.*
12. *ASTM D4833 Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products.*
13. Department of the Army & the Air Force (1995), *Engineering Use of Geotextile*, TM5-881-8/AFJMAN 32-1030.
14. Indrarata, B. and Salm, W. (2005), *Mechanics of Ballasted Rail Tracks, A Geotechnical Perspective*, pp.100-101.
15. Miura, N., Sakai, A., Taesiri, Y., Yamauchi, T. and Yasuhara, K. (1992), “Ultimate bearing capacity of unpaved road reinforced by geotextile”, *Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement Practice*, Ochiai et al., Balkea, Rotterdam, Vol. 1, ed., pp.659-664.
16. Miura, N., Sakai, A., Taesiri, Y., Yamauchi, T. and Yasuhara, K. (1990), “Polymer Grid Reinforced Pavement on Soft Clay Ground”, *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 9, No. 1, pp.99-123.
17. Park, B. K., Lee, M. S. and Jeong, J. S. (1988), “Restraint effects on deformation of soft foundation with geotextile”, *Proc. of the International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement*, pp.153-158.
18. Selig, E. T. and Waters, J. M. (1994), *Track Technology and Substructure Management*, Thomas Telford, London.
19. Web M. C. (1999), *Improved Design and Construction of Large-Span Culvert*, Ph. D. thesis, University of Massachusetts, Amherst.

(논문접수일 2009. 5. 4, 심사완료일 2009. 6. 25)