

# 반복하중을 받는 철도노반보수용 샌드백의 거동분석

## Behavior of Sand Bag for Maintenance Railroad Bed Subjected to Cyclic Loading

신은철\*                      황선근\*\*                      이동현\*\*\*                      류인기\*\*\*\*  
Shin, Eun-Chul     Hwang, Seon-Keun     Lee, Dong-Hyun     Ryu, In-Gi

---

### ABSTRACT

Utilizing of the geotextile container shows several advantages such as standardized construction, factory manufactured products, the control of quality, workability, and economical point of view. Recently this technique can be applied to rehabilitate the loss of rail roadbed due to the heavy rainfall. In this study, a large-scale laboratory test were conducted with simulation of static performance on the geotextile container reinforced rail roadbed.

Based on the laboratory test results, the vertical pressure distribution with respect to the depth, and settlement of rail roadbed were measured and compared test results between geotextile container reinforced case and unreinforced case. Thus, the effectiveness of reinforcement was evaluated in terms of its performance and stability.

---

### 1. 서 론

토목섬유 콘테이너 공법은 하천 또는 해안에서 침식방지 구조물이나 제방을 축조할 경우 사용되는 공법으로, 토목섬유 포대 내에 기계적 또는 수리학적 방법을 통하여 준설토 또는 모래 등의 토사를 채워 구조물을 형성하는 공법이다. 토목섬유 콘테이너 공법은 규격화, 모듈화 된 토목섬유 콘테이너를 다수 사용하기 때문에 품질 관리에 따른 유지보수 문제를 최소화하고, 쇄석 채취로 인한 인근 석산의 파괴문제와 준설토의 처리문제 등을 자연스럽게 해결하며 더 나아가 시공 시 환경오염을 최소화시킬 수 있어 자연·환경친화형 기술로 크게 평가받고 있다. 따라서, 최근 국지성 호우에 의한 선로나 그 연변 사면의 붕괴 혹은 유실로 인하여 발생되는 선로 복구에 보다 경제적이고 시공성이 유리한 토목섬유 콘테이너 공법을 적용하고자 본 연구를 수행하였다.

---

\* 인천대학교 토목환경시스템공학과 부교수, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

\*\*\* 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정, 비회원

\*\*\*\* 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정, 비회원

철도하중은 일정한 하중과 주행에 의해 발생하는 동하중, 횡하중, 풍화중, 제동하중, 충격하중, 원심력에 의한 하중 등이 동시에 반복적으로 작용하는 복잡한 메카니즘을 가지고 있다. 노반에서의 하중에 의한 거동특성을 분석하는 것은 이론적인 접근 또는 실험실에서의 모형실험과 동시에 실현장 상황을 모사하여 실대형실험을 수행하는 것 또한 효과적이라 할 수 있다.

본 연구에서는 토목섬유 콘테이너 축조노반 위에 모사열차하중을 재하할 수 있는 종합 궤도노반실험장비를 이용하여 실대형의 지오텍스타일 백 축조 노반을 조성하고, 열차하중을 고려한 반복하중을 재하함으로서, 무보강 노반과의 비교를 통해 정량적인 보강효과와 성능을 평가하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실대형 토조 및 하중재하장치

반복재하시험에 사용되는 장비는 한국철도기술연구원에서 보유하고 있는 종합궤도노반시험장비로서 이는 실제 현장의 철도노반 상황을 그대로 재현, 실내에서 시험을 할 수 있게 한 장치로 현장계측에서 오는 문제점을 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 종합궤도노반시험장비는 하중재하장치/loading system, MTS)와 하중 작용시 반력대 역할을 하기 위한 하중 반력대/loading frame), 대형토조(L22m×W5m×H3m)로 구성되어 있다. 그림 1은 종합궤도노반시험 장비 전경을, 그림 2는 종합궤도노반시험장비의 하중재하장치를 나타내고 있다.



그림 1 종합궤도노반실험장비

그림 2 하중재하장치

### 2.2 철도노반재료 및 토목섬유 콘테이너

일반적으로 철도노반의 재료는 양질의 자연토로서 노반 분수가 발생하지 않고, 진동이나 유수에 있어서도 안정해야 하며 열차하중을 지지할 수 있는 강도가 요구된다. 본 시험에서는 통일분류법상 200번체 통과량이 5%미만인 SP시료를 노반재료로 사용하였다. 표 1은 노반재료로 사용된 시료의 지반공학적 특성을 나타내고 있다.

표 1 시험재료의 공학적 특성

비 중	최대건조밀도 ( $\gamma_d_{\max}$ , $t/m^3$ )	최적함수비 (%)	내부마찰각 ( $^\circ$ )	점착력 (kPa)	흙의 분류 (USCS)
2.64	2.01	10.2	38	25	SP

토목섬유 콘테이너의 형상은 경제성 측면을 고려하여 포대형으로 제작하고, 적정크기는 시공성을 고려하여 66cm×44cm로 제작하였으며, 채움도 변화에 따른 토목섬유 콘테이너의 인장변형 거

동을 고려하여 80% 채움재로 시험을 수행하였다. 표 2는 선정된 토목섬유 콘테이너의 공학적인 특성을 토목섬유 부분과 채움재 부분으로 나누어 나타낸 것이다.

표 2 토목섬유 콘테이너의 공학적 특성

구 분	토목섬유 (PP)			채움재 (모래)		
	최대인장강도 (tonf/m)	최대인장강도 (tonf/m)	신장율 (%)	비중	최대건조밀도 ( $\gamma_d_{max}$ , t/m <sup>3</sup> )	투수계수 (cm/sec)
물성치	4.0	2.5	16	2.61	1.68	0.5

### 2.3 실험단면조성

토목섬유 콘테이너 축조노반의 동적 성능을 평가하고자 무보강 시험단면과 토목섬유 콘테이너 4단 적재 단면을 조성하였다. 실대형시험시 토목섬유 콘테이너 축조노반을 소정의 다짐도로 유지하기 위해 기초지반은 3.5 tonf의 롤러를 이용하여 왕복 5회 다짐을 실시하였으며, 기초지반 상부 노반은 왕복 3회 다짐을 실시하여 노반 상단면의 다짐도를 측정한 결과 90%이상의 다짐도를 얻을 수 있었다. 그림 3과 그림 4는 무보강 단면과 토목섬유 콘테이너 4단 적재 단면을 보이는 것으로 그림에서 같이 깊이에 따라 12개의 토압계(PV 1~12)와 침목과 노반면, 노반면으로부터 60cm 깊이에 각각 침하게 2개를 설치하였다.

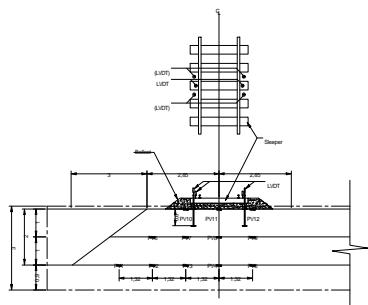


그림 3 무보강 시험단면도

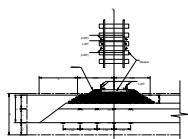


그림 4 토목섬유 콘테이너 시험단면도

### 2.4 재하하중

본 연구에서는 모사 열차하중에 의한 정적거동과 동적거동을 계측하고 분석하기 위해 단계적을 하중을 재하하였다. 정적하중의 재하 부분에서는 열차의 윤중인 14.3 tonf 을 기초로 하여 거동특

성을 보다 명확히 하기 위해 약 40% 증가된 윤중 20 tonf 까지 장비의 성능을 고려하여 재하 및 제하하여 시험을 수행하였다. 또한 반복 재하 시험에서는 열차의 속도 및 과잉하중을 고려하여 0~10 tonf, 1~15 tonf, 1~20 tonf 의 세 단계로 시험을 실시하였으며 각각의 하중에 대해 하중횟수는 400,000회를 재하하였다.



그림 5 무보강 시험 전경

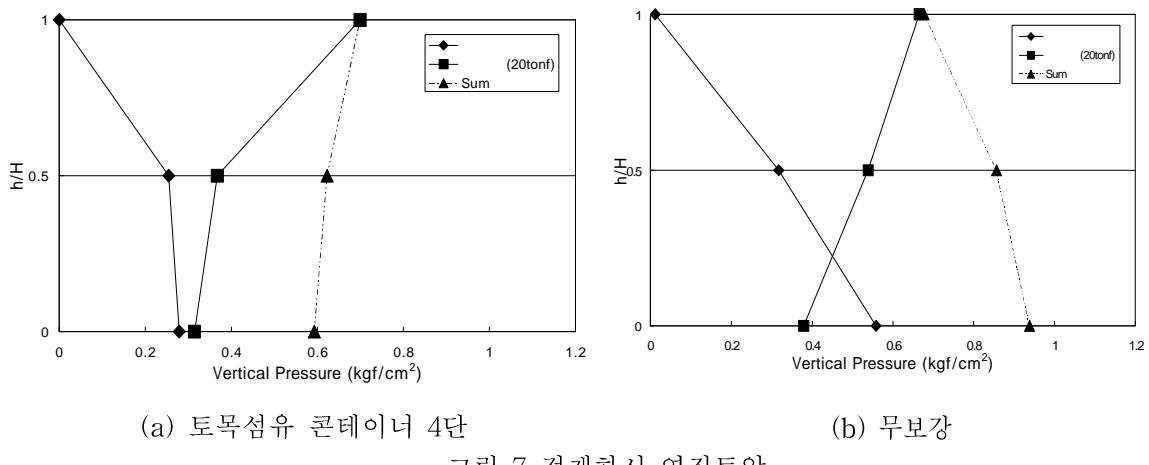


그림 6 토목섬유 콘테이너 시험 전경

### 3. 실태형실험 결과 및 분석

#### 3.1 연직토압

그림 7은 성토단계에서 발생한 자중에 의한 토압과 모사열차하중 재하에 의한 토압증가량, 그리고 이들을 모두 고려한 연직토압의 분포를 나타내고 있다. 정하중 단계에서 노반면 상단 부분의 토압은 무보강 단면과 토목섬유 콘테이너 4단 설치 단면의 값이 비슷한 반면, 하단부로 내려갈수록 토압의 증가분은 보강단면에서 현저히 줄어들음을 알 수 있다. 특히 토목섬유 콘테이너의 바로 하단 부분의 토압은 보강단면이 무보강단면에 비해 약 30%정도의 하중감소가 일어나는 것으로 나타났다.



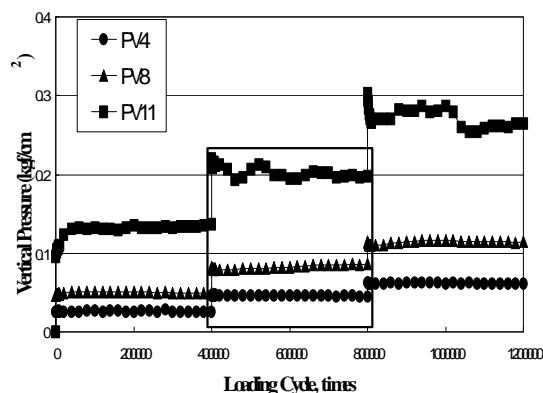
(a) 토목섬유 콘테이너 4단

(b) 무보강

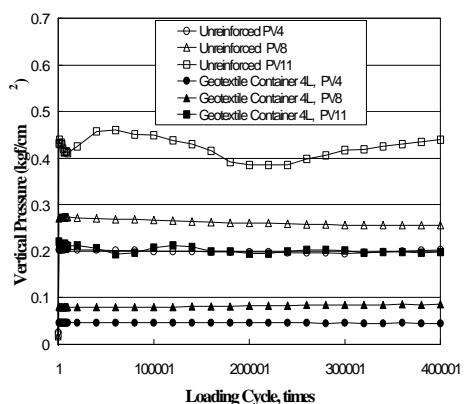
그림 7 정재하시 연직토압

그림 8은 토목섬유 콘테이너 4단 시공시 모사반복 열차하중의 재하횟수에 따른 연직 토압진폭을 나타내는 것으로서 하중이 재하되는 단면, 즉 중심부의 연직 토압진폭을 나타내고 있다. 직접

적인 반복하중의 영향을 받는 PV11는 도상자갈 혹은 케광의 영향으로 인하여 비교적 유동적인 토압의 변화를 보여주고 있으나 노반면으로부터 각각 1m, 2m깊이에 설치된 PV8, PV4의 결과는 최대값이  $0.12 \text{ kgf/cm}^2$ 의 값을 넘지 않는 안정된 응답특성을 보이고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 토목섬유 콘테이너 단면에서의 연직 토압진폭은 무보강 단면에 비하여  $1/2\sim1/3$ 의 분포를 보이고 있다. 이는 토목섬유 콘테이너의 보강효과로 인하여 반복하중에 의하여 발생되는 토압진폭이 상당히 감소하는 것을 나타내는 것으로 노반에 토목섬유 콘테이너를 시공함으로서 반복 열차하중에도 안정된 거동특성을 보일 것으로 판단된다.



(a) 재하횟수에 따른 연직토압진폭



(b) 재하횟수에 따른 연직토압진폭 비교

그림 8. 반복재하시 연직토압

### 3.2 연직변위

그림 9는 정적하중의 재하 및 제하과정을 수행하여 얻어진 연직변위의 Hysteresis곡선을 나타내고 있다. 전체침하량을 고려하여, 노반면 상단, 즉 0m에서의 침하곡선을 나타내며, 제하 단계에서는 회복되는 탄성변위가 증가하여 소성변위가 발생하는 것을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 토목섬유 콘테이너 4단 설치시의 탄성변위 및 소성변위는 각각 0.559, 1.884, 무보강 단면에서는 각각 1.972, 7.917로서 정량적인 값에서 무보강 단면이 상당히 많은 침하량을 나타고 있으나, 전체 수직변위에 대한 탄성변위의 비율을 살펴보면, 4단 설치시 22.88%, 무보강의 경우 19.94%로서 토목섬유 콘테이너 단면이 더욱 민감한 탄성거동을 하는 것으로 판단된다.

모사 열차하중 재하에 따른 무보강 단면과 토목섬유 콘테이너 단면에 발생한 소성 변위 즉 장기적인 침하량은 그림 10과 같다. 그림 10은 설계열차운중범위인 1~15 tonf 재하시의 값에서의 값을 나타내고 있으며, 노반면에서의 침하량은 무보강 3.1mm, 토목섬유 콘테이너 2.9mm의 침하량을 보이고 있다. 그러나 노반면으로 부터 60cm깊이에서의 침하량은 각각 2.08mm, 0.92mm로서 상당한 차이를 보이고 있다. 이는 토목섬유 콘테이너간의 구속으로 인한 하중분산효과를 보여주고 있으며, 노반면에서는 토목섬유 콘테이너 자체의 공극이 줄어듦으로서 많은 양의 침하가 발생한 것으로 판단된다.

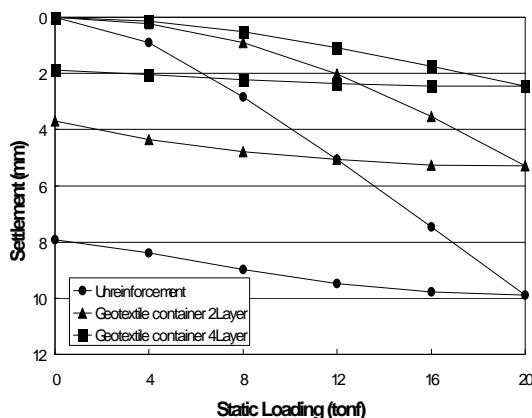


그림 9 정적하중에 의한 침하량 곡선

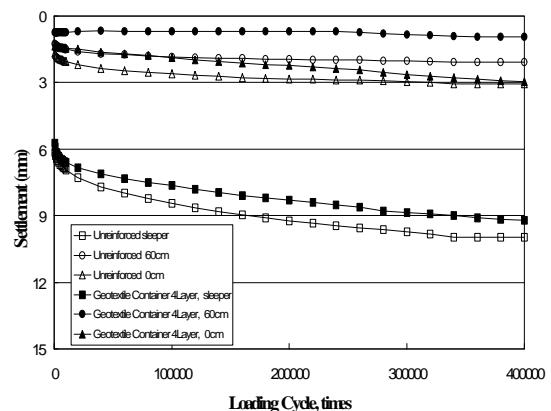


그림 10 반복하중에 의한 침하량 곡선

연직 변위진폭은 그림 11에 보인 바와 같이 침목위, 노반면, 노반면으로부터 60cm깊이 순으로 탄성변위가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 침목부의 변위 진폭이 크게 발생하는 것은 하중재하에 따른 도상자갈 층의 이완작용이 주요한 원인으로 판단되며, 노반면과 60cm 깊이에서의 변위진폭은 거의 일정한 값을 보이는 것은 알 수 있다. 그림에 표시된 설계운중범위 1~15 tonf의 변위진폭을 따로 분리하여 무보강 단면과 비교하면 그림 12와 같다.

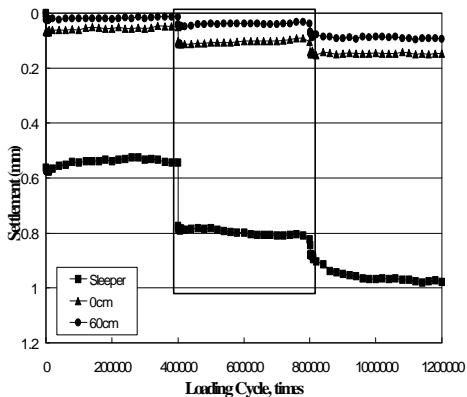


그림 11 재하횟수에 따른 연직침하진폭

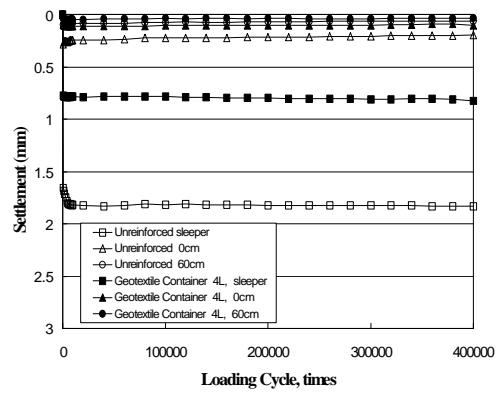


그림 12 재하횟수에 따른 연직침하진폭 비교

### 3.3 토목섬유 콘테이너의 인장강도

실대형 시험시 토목섬유 자체의 인장강도는 토목섬유 콘테이너 위에 부설된 도상자갈에 의한 찢김 현상이나 하중을 재하하면서 발생되는 물리적인 변형 혹은 봉합부분에서의 섬유 찢김 현상 등이 인장강도에 영향을 받는다. 표 3은 실대형 실험후 토목섬유 콘테이너의 인장강도를 비교한 것이다. 표에서 알수 있듯이 Layer1의 MD에서는 9%, Layer4에서는 15%정도의 인장강도 감소를 나타내고 있는 반면 CD의 인장강도는 거의 감소가 없음을 알 수 있다. Layer4에서의 강도감소가 더 큰 것은 도상자갈과 맞닿아 있어 Layer4의 토목섬유 콘테이너 표면이 훼손되었거나, 반복하중의 재하에 따른 변형이 하부의 것보다 크게 일어나는 것으로 판단되고, CD의 인장강도감소가 거의 없었던 것은 사면방향으로 MD vs. MD 쌓기 방법을 사용하였기 때문에 CD방향은 무한사면으로서 구속력이 강하게 작용하는 반면 MD방향으로는 구속력이 적어 포대의 인장이 MD방향으로 많이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.

표 3 토목섬유 콘테이너의 인장강도 비교

구 분	초기인장강도		1 Layer		4 Layer	
	MD (Machine Direction)	CD (Cross Machine Direction)	MD	CD	MD	CD
인장강도 ( $tonf/m$ )	4.08	3.14	3.74	3.16	3.44	3.14
신율 (%)	16.33	10.9	23.29	19.15	19.68	15.89

## 4. 결 론

본 연구에서는 토목섬유 콘테이너로 축조된 노반의 성능을 평가하기 위하여 실대형시험을 통해 정적하중 재하시와 모사열차 반복하중 재하시의 연직토압, 연직변위 및 토목섬유 콘테이너의 장기 인장강도를 무보강 축조노반과 토목섬유 콘테이너 축조노반의 경우에 대하여 비교분석을 통하여 토목섬유 콘테이너의 정량적인 보강효과와 성능 및 안정성을 평가하였다.

1. 토목섬유 콘테이너의 하중분산효과 : 연직토압 계측결과 토목섬유 콘테이너 채움재로 사용된 경량재료의 특성, 토목섬유 콘테이너 재료자체의 인장특성, 그리고 시공된 토목섬유 콘테이너 간의 접촉면에서 발생하는 불연속적인 거동에 의한 하중분산효과를 확인하였다.

2. 토목섬유 콘테이너의 침하저감 효과 : 토목섬유 콘테이너 채움재의 압축변형특성과 토목섬유 콘테이너 자체의 인장변형 특성을 고려할 때 토목섬유 콘테이너의 하중분담에 따른 침하저감 효

과를 확인하였으며, 철도노반 건설 초기에 발생할 수 있는 상당한 양의 침하도 제어할 수 있는 기능을 가지고 있는 것으로 평가되었다.

3. 토목섬유 콘테이너의 장기인장강도 : 실대형시험 완료 후, 토목섬유 콘테이에 대한 광폭인장 강도시험을 수행한 결과 가장 크게 15%에 인장강도 감소를 보였으나, 장기적인 반복하중하에서도 내구성에 대해 안정성을 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

## 5. 참고문헌

1. 한국철도기술연구원(2003), 강우로 인해 유실된 선로복구를 위한 토목섬유 콘테이너의 실용화 기술개발, 산·학·연 공동연구개발사업 최종보고서(안)
2. Annual Book of ASTM Standards(2002), Geosynthetics
3. Coenraad Esveld (2001), Modern Railway Track 2nd edition, MRT-Production
4. Koerner, R.M (1997), Designing With Geosynthetics, pp 113~115, pp 436~449
5. Ernest T. Selig and John M. Waters (1994), Track Geotechnology and Substructure Management, Thomas Telford