

모사반복 열차하중 재하시 토목섬유 콘테이너의 동적 성능

Dynamic Performance of Geotextile Container under the Simulated Cyclic Train Loading

황선근* 고태훈** 박성현*** 최찬용****
Hwang, Seon-Keun Koh, Tae-Hoon Park, Sung-Hyun Choi, Chan-Yong

ABSTRACT

Roadbed failure due to the rainfall may bring out social and economic damage such as the loss of life and property, the consumption of time and cost for recovery, and the delay of logistics in railway. In this study, the method using Geotextile Container was applied to rehabilitation of the railway roadbed which was failed by rainfall. The real scale tests with the simulated train loading were performed in order to evaluate the dynamic performance at the railway roadbed using Geotextile Container. The results of these tests were compared with unreinforced and reinforced cases with Geotextile Container, respectively. The data gathered by various measurement devices from these real scale tests would be useful to evaluate and understand the roadbed with Geotextile Container. Furthermore, the results of this study would be useful to ensure the workability and to save much time for restoration and to be widely applied to practical use.

1. 서론

최근 지구온난화 및 기상이변에 기인한 폭우로 인해 철도선로는 해마다 강우로 인한 유실이 크게 증가하고 있다. 유실된 선로복구를 위한 공사가 장기간 소요됨으로써 정상적인 철도운영에 지장을 초래하여 물류손실이 발생하고 있으며, 복구 후에도 철도노반 유실에 따른 품질 및 관리기준이 미흡하여 유지보수 및 관리가 재차 문제시 되고 있다.

토목섬유 콘테이너 공법은 원래 하천 또는 해안에서 제방을 축조할 경우 사용되는 방법으로, 토목섬유 포대 내에 준설토 또는 모래 등의 토사를 넣어 만든 규격화된 토목섬유 콘테이너를 다수 사용하기 때문에 품질관리에 따른 유지보수 문제를 최소화하고, 쇄석 채취로 인한 인근 석산의 파괴문제와 준설토의 처리문제 등을 해결하며 더 나아가 시공시 환경오염을 최소화할 수 있는 친환경적 기술로 크게 평가받고 있다.

본 연구에서는 모사열차 반복하중 재하시의 토목섬유 콘테이너 축조노반의 동적거동 특성 평가를 위해 실험크기의 노반에 대한 모사열차 반복하중 재하시험을 수행하였다. 또한, 실험시험을 통한 연직도압과 연직침하의 계측 및 분석과 토목섬유 콘테이너의 장기인장강도 평가를 수행하여 토목섬유 콘테이너의 동적 성능을 확인하고자 하였다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

**** 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

2. 실험방법

2.1 실험대형 토조 및 재하장치

대상노반의 조성 및 모사열차 반복하중의 재하는 종합케도노반 실험장비에 의해 수행하였다. 사진 1과 사진 2는 종합케도노반 실험장치의 전경과 하중재하장치를 보인 것이며 표 1은 하중재하장치의 제원을 나타낸다. 시험노반의 구성에 활용된 토조의 제원은 22m(길이)×5m(폭)×3m(깊이)로 평면변형조건에서의 실제현장을 모사할 수 있도록 하였다. 이러한 실험대형시험은 실제현장의 철도노반 상황을 모사하고, 현장계측에서 오는 문제점을 해결하도록 실내에서 시험을 수행할 수 있는 장점을 지니고 있다.

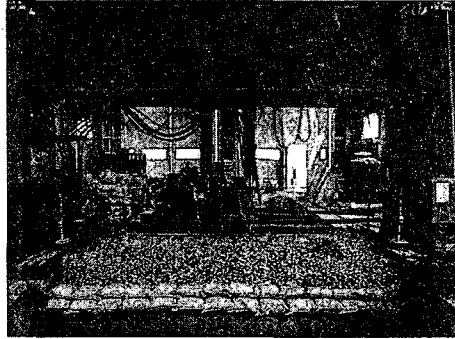


사진 1 종합케도노반 실험장치 전경

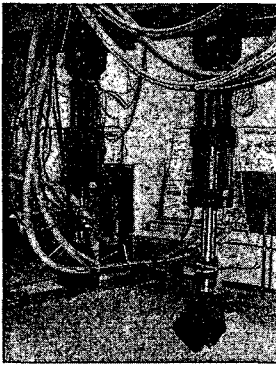


사진 2 하중재하장치 전경

표 1 하중재하장치 제원

항 목	내 용
성능 및 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 최대 동적 하중 : 250kN/AActuator · 가진 진동수 : 0 ~ 100Hz · 동적변위 : ± 100mm · 유압펌프용량 : 3000psi
주요 구성품	<ul style="list-style-type: none"> · 동적 재하 장치 용량 : 25 tonf · 유압조정장치 · 하중 및 변위 계측기 · 중앙 계측 장치 · 자동 제어 조절 장치

2.2 모형지반 및 토목섬유 콘테이너

일반적으로 철도노반의 재료는 양질의 자연토로서 노반 분리가 발생하지 않고, 진동이나 유수에 있어서도 안정해야 하며 열차하중을 지지할 수 있는 강도가 요구된다. 본 시험에서는 통일분류법상 200번체 통과량이 5%미만인 SP시료를 노반재료로 사용하였다(표 2 참조).

토목섬유 콘테이너의 형상은 경제성 측면을 고려하여 포대형으로 제작하고, 적정크기는 시공성을 고려하여 66cm×44cm로 제작하였으며, 채움도 변화에 따른 토목섬유 콘테이너의 인장변형 거동을 고려하여 80% 채움도로 시험을 수행하였다. 표 3은 선정된 토목섬유 콘테이너의 공학적인 특성을 토목섬유 부분과 채움재 부분으로 나누어 정리한 것이다.

표 2 시험재료의 공학적 특성

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

표 3 토목섬유 콘테이너의 공학적 특성

구 분	토목섬유 (PP)			채움재 (모래)		
	최대인장강도 (tonf/m)	최대인장강도 (tonf/m)	신장율 (%)	비중	최대건조밀도 ($\gamma_{d_{\max}}, \text{t}/\text{m}^3$)	투수계수 (cm/sec)
물성치	4.0	2.5	16	2.61	1.68	0.5×10^9

2.3 계측시스템

계측시스템은 반복하중에 따른 연직토압 변화량을 측정하기 위하여 열차하중의 영향을 고려하여 $2\text{kgf}/\text{cm}^2$ 용량의 토압계를 사용하였으며, 연직변위의 불연속적인 거동을 관찰하기 위해 침하판을 지중에 설치하고 $\pm 25\text{mm}$ 용량의 변위계를 사용하여 계측을 수행하였다.



사진 4 토압계

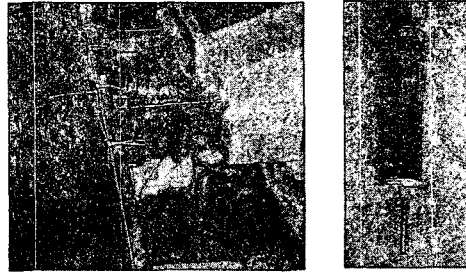


사진 5 변위계

2.4 토목섬유 콘테이너 축조노반 조성

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 tonf 의 물러를 이용하여 왕복 5회 다짐을 실시하였으며, 기초지반 상부노반은 왕복 3회 다짐을 실시하여 노반 상단면의 다짐도를 측정된 결과 90%이상의 다짐도를 얻을 수 있었다. 그림 1과 그림 2는 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 침하계 2개를 설치하였다.

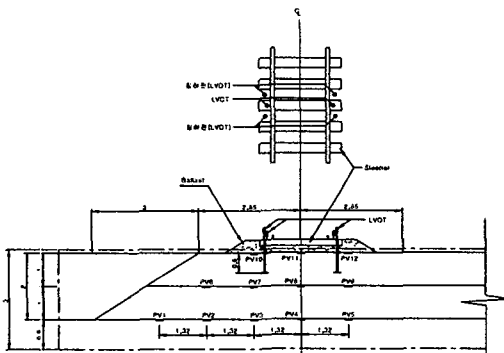


그림 1 무보강 시험단면

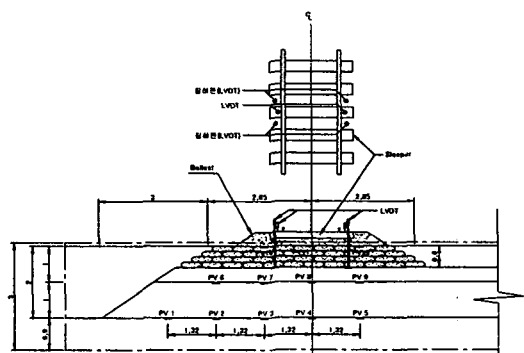


그림 2 토목섬유 콘테이너 시험단면

2.5 재하하중 및 주파수

재하하중은 현행 철도 설계시 적용하는 LS22하중에 대해 설계속도 200km/h, 직선부 장대레일을 대상으로 충격하중의 증분을 고려하여 계산하여 얻은 14.3tonf의 작용윤증을 고려하여 최대 동적하중을 각각 10, 15, 20 tonf로 적용하였으며 각 하중 단계에 따라 재하횟수를 400,000회로 결정하여 반복하중을 재하하였다. 또한, 재하주파수는 차량의 대차중심간 거리, 열차주행 속도, 통과주기를 고려하여 5Hz로 시험을 수행하였다. 사진 6과 사진 7은 실험시행시 무보강 단면과 토목섬유 콘테이너 축조노반에 하중을 재하하는 전경을 보인것이다.

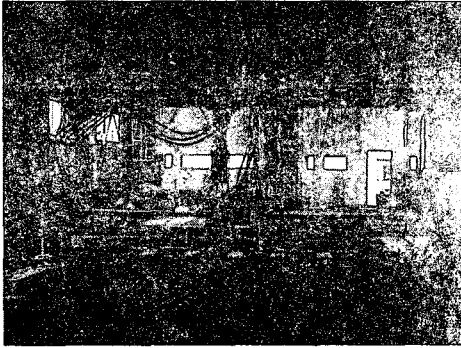


사진 6 무보강 시험 전경

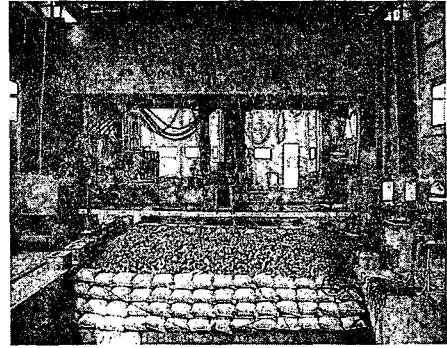


사진 7 토목섬유 콘테이너 시험 전경

3. 반복하중 재하시험 결과 및 고찰

모사열차 반복하중 재하에 따른 토목섬유 콘테이너 축조노반의 동적성능과 안정성을 고찰하기 위해 토압과 침하의 계측을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

3.1 연직토압 진폭

그림 3은 토목섬유 콘테이너 4단 적재노반에 발생한 연직토압진폭을 재하횟수에 따라 나타내었다. 직접적인 반복하중의 영향을 받는 PV11은 도상자갈의 영향으로 인하여 비교적 유동적인 토압의 변화를 보여주고 있으나 노반면으로부터 각각 1, 2m 깊이에 설치된 PV8, PV4의 결과는 최대값이 0.12kgf/cm²의 값을 넘지 않는 정적 상태 (Steady State)의 응답특성을 보이고 있다. 또한 15 tonf 재하시의 응답(Box 영역)을 무보강 단면과 비교하여 나타내면 그림 4와 같으며, 그림에서 보이는 바와 같이, 토목섬유 콘테이너 단면에서의 연직토압진폭은 무보강 단면에 비하여 1/2~1/3 수준의 분포를 보이고 있다. 이를 통해 토목섬유 콘테이너가 모사열차 반복하중에 대해 상당한 토압저감효과를 나타내는 것을 알 수 있다.

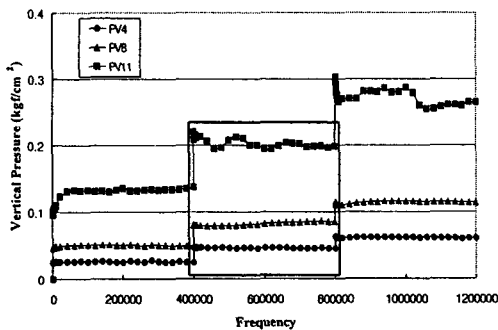


그림 3 반복재하에 따른 연직토압진폭

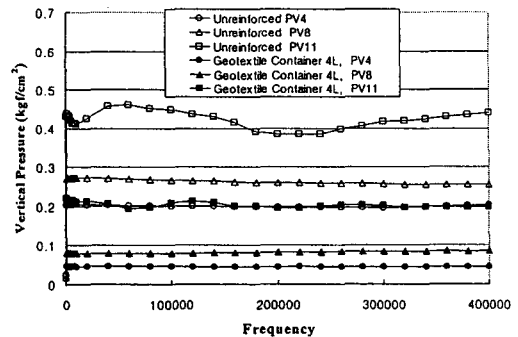


그림 4 반복하중에 따른 연직토압진폭 비교

3.2 연직침하 진폭

연직침하진폭은 그림 5에 보인 바와 같이, 침목(Sleeper), 노반면(0cm), 노반면으로부터 심도 60cm 순으로 탄성변위가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 침목의 침하진폭이 크게 발생하는 것은 하중재하에 따른 도상자갈의 이완, 재배치에 의한 것으로 판단되며, 노반면과 심도 60cm 에서의 침하진폭은 거의 일정한 값을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 무보강 시험단면과의 비교를 그림 6에 보였으며, 그림으로부터 연직침하진폭은 무보강 시험단면에서 크게 나타나며, 토목섬유 콘테이너 시험단면의 경우, 하중재하 초기에 발생하는 연직변위진폭은 약 0.01mm의 변화 이외에는 변화가 거의 없이 수렴하는 경향을 보이고 있으나 무보강 시험단면의 경우에 있어서는 초기에 상대적으로 큰 변위진폭이 발생하는 것을 알 수 있다.

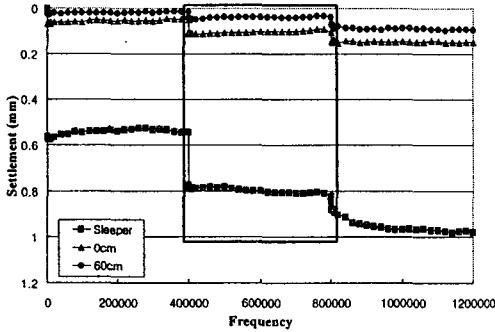


그림 5 반복하중에 따른 연직침하진폭

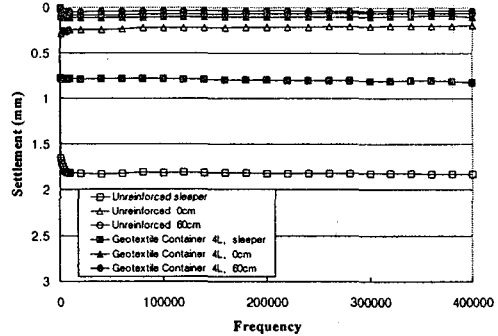


그림 6 반복하중에 따른 연직침하진폭 비교

3.3 장기침하(소성변위)

무보강 시험단면과 토목섬유 콘테이너 시험단면에 발생한 소성변위 즉 장기적인 침하는 그림 7에 보인 바와 같다. 그림 7은 상기 언급한 설계열차운중 범위인 15 tonf 재하시의 값을 나타내고 있으며, 노반면에서의 침하량은 무보강 3.1mm, 토목섬유 콘테이너 2.9mm로 나타났으며 노반면으로부터 심도 60cm에서의 침하량은 각각 2.08, 0.92mm로서 상당한 차이를 보이고 있다. 따라서, 토목섬유 콘테이너는 열차하중에 대한 장기적인 측면에서의 침하억제효과 뿐만이 아니라 노반 건설 초기에 발생할 수 있는 상당량의 침하도 억제할 수 있는 것으로 평가된다.

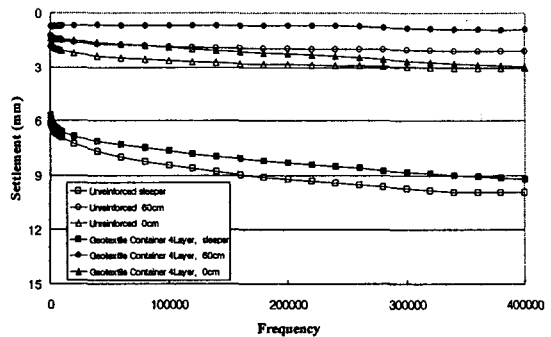


그림 7 반복하중에 따른 소성변위 비교

3.4 토목섬유 콘테이너의 장기인장강도

실대형시험시 토목섬유 콘테이너에 나타나는 인장특성은 여러 가지 요소들에 의해 변화하게 되며 재료자체의 내화학적, 자외선 및 밀광에 대한 저항성보다는 상재하중에 의한 도상자갈, 토목섬유 콘테이너, 흙노반과의 접촉면(Interface)에서의 불연속적인 상호거동(Interaction)에 영향을 받는다. 표 4는 팽폭인장시험에 의한 토목섬유 콘테이너의 초기인장강도와 120만회 반복하중 재하후의 인장강도의 비교를 보여주는 것이다. 표에서 알 수 있듯이, 시험결과 1 Layer에 설치한 토목섬유 콘테이너는 9%, 4 Layer에서는 15% 정도의 인장강도 감소를 보이고 있으며 설계인장강도 2.5 tonf/m 이상의 인장강도를 발휘하는 것으로 나타났다. 따라서 토목섬유 콘테이너는 장기적인 반복하중하에서도 내구성에 대해 안정성을 유지하고 있음을 알 수 있다.

표 4 토목섬유 콘테이너의 인장강도 비교

구 분	초기인장강도		1 Layer		4 Layer	
	MD	CD	MD	CD	MD	CD
인장강도 (tonf/m)	4.08	3.14	3.74	3.16	3.44	3.14
신 율 (%)	16.33	10.9	23.29	19.15	19.68	15.89

4. 결 론

본 연구에서는 토목섬유 콘테이너 축조노반의 동적 성능을 평가하기 위하여 실험대형시험을 통해 모사열차 반복하중 재하시의 연직토압, 연직침하진폭 및 토목섬유 콘테이너의 장기인장강도를 무보강 흙노반과 토목섬유 콘테이너 축조노반의 경우에 대하여 비교분석을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 토목섬유 콘테이너 축조노반의 토압진폭 계측결과, 채움재의 특성, 토목섬유 콘테이너 재료자체의 인장특성 및 토목섬유 콘테이너 간의 접촉면에서 발생하는 상호작용에 의해 토목섬유 콘테이너는 동적하중에 대한 하중분산효과를 발현한다.

2) 토목섬유 콘테이너의 하중분담에 따른 침하저감 효과를 확인하였으며, 또한 반복하중 재하횟수에 따른 침하거동을 통해 토목섬유 콘테이너가 장기적인 측면에서의 침하억제 효과 뿐만 아니라 건설 초기에 발생할 수 있는 상당량의 침하도 억제할 수 있는 기능을 가진 것으로 평가된다.

3) 실험대형시험 완료 후, 토목섬유 콘테이너에 대한 광폭인장시험을 수행한 결과, 토목섬유 콘테이너는 장기적인 반복하중하에서도 내구성에 대해 안정성을 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산·학·연 공동연구개발사업의 일환으로 건교부의 연구지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국철도기술연구원(2003), "강우로 인해 유실된 선로복구를 위한 토목섬유 콘테이너의 실용화 기술개발", 산·학·연 공동연구개발사업 최종보고서(안).
2. 運輸省 鐵道局(1992), "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.
3. Colin J.F.P.Jones, "Earth Reinforced and Soil Structure".
4. Koerner, R.M. and Welsh, J.P.(1980), Construction and Geotechnical Engineering Using Synthetic Fabrics, J. Wiley & Sons.
5. Krystian W. Pilarczyk(1997), Application and Design Aspects of Geocontainers, Geosynthetics.
6. Harris, L.E.(1989), "Developments in sand-filled container systems for coastal erosion control in Florida", Proceedings of Coastal Zone '89, ASCE.