

이동재하 시험 장비를 이용한 자갈도상궤도의 토압특성

Earth pressure of the Ballasted track using the Moving Loading System

이진욱* 최찬용** 이성혁***
 Lee, Jin Wook Choi, Chan Yong, Lee, Seong Hyeok

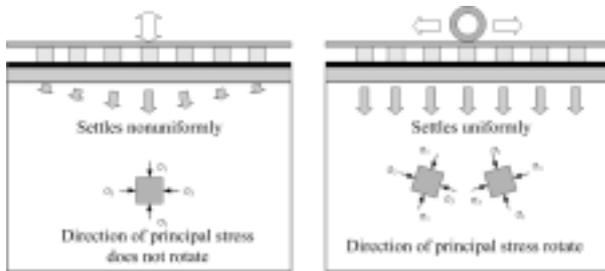
1. 서론

철도선로의 대부분을 차지하고 있는 자갈궤도를 구성하고 있는 도상자갈은 조립재이며 열차의 반복하중을 받아 도상자갈 부분에 소성침하를 일으키면, 열차의 주행 안전성이나 승차감 등에 영향을 주기 때문에 정기적으로 궤도보수를 하고 있다. 지금까지 침하에 영향을 미치는 요인을 정량적으로 검토하기 위해 흙 노반상의 자갈궤도를 모사한 반복 재하시험을 실시하였다. 그러나, 종래의 반복재하시험에서의 하중재하방식은 고정된 지점에서 수직방향으로 하중을 재하하기 때문에 하중재하 지점에서만 지속적으로 변형이 발생되어 실제 현장과의 결과와는 상이하게 발생한다. 고정된 지점에서 하중을 재하 할 경우 양단 끝점은 침하가 적게 발생하고 중앙부의 과도한 침하가 발생하여 침목 들뜸 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 이 논문에서 하중재하 방법은 연직하중을 재하시킨 재하륜의 왕복주행이 가능하도록 제작된 이동재하 시험장비를 통해 반복하중재하방식과 이동재하방식을 사용하여 토압특성을 비교 검토하였다.

2. 이동하중 시험장비

2.1 이동하중재하 시험장비의 개요

현재 국내 대부분의 하중재하시험장비는 고정된 위치에서 정적 또는 동적하중으로 재하여 실내시험을 실시하고 있다. 그러나, 고정된 위치에서의 하중재하는 실제로 현장에서 발생하는 하중과는 다르기 때문에 시험의 한계성을 가지고 있다. 본 하중재하 시험장치는 고정된 지점에서 정적하중과 동적하중 모두를 재현할 뿐만 아니라, 주행하중을 모사할 수 있어 실제 현장결과와 유사한 조건에서 실험을 실시할 수 있도록 개발되었다. 또한, 기존방법도 시험이 가능하도록 시스템을 구축하여 실험조건을 다목적으로 수행할 수 하도록 개발하였다.



(a) 고정하중재하방식 (b) 이동하중재하방식
 <그림 1> 하중조건별 응력특성(MOMOYA, 2004)



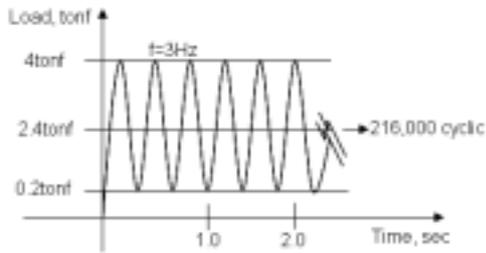
<사진 1> 이동재하시험장비 전경 사진

이동재하 시험장비는 최대하중 4tonf을 재하할 수 있으며, 하중재하형상은 삼각형파, 사각형파, 정현파 등 여러 가지 하중재하형식이 가능하도록 설계되어져 있으며, 최대하중(4tonf)을 재하할 경우 5Hz까지 가능하다. 또한, 이동속도는 최대 2km/h까지 가능하도록 설계되었다.

2.2 축소모형실험 조건

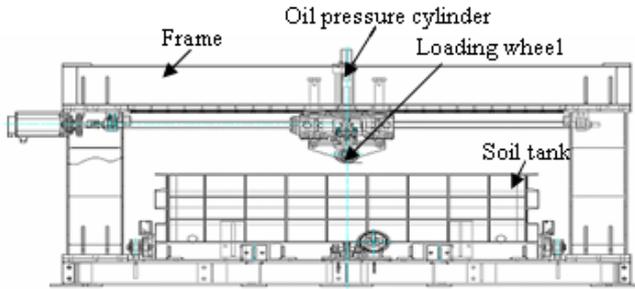
이 논문에서 자갈궤도의 하중조건별 토압특성의 변화를 검토하기 위하여 정적하중, 동적하중, 이동하중으로 하중조건을 변화하여 각 단면에 따른 토압의 변화를 관찰하였다. 정적하중은 0~4tonf까지 각 하중단계를 1tonf 씩 최대하중이 4tonf이 되도록 하중을 재하하였으며, 최대하중 재하후 다시 단계별 하중을 재하하였다. 동적하중조건은 토조의 중앙부 침목에서 <그림 2>의 하중재하형상으로 하중을 재하하였다. 그림에서와 같이 최소하중 0.2tonf과 최대하중 4tonf으로 3Hz로 재하하였다.

*정회원, 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 팀장 · E-mail: jinugi@krii.re.kr
 **정회원, 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 선임연구원 · E-mail: cychoi@krii.re.kr
 ***정회원, 한국철도기술연구원 연구시설건설사업단 단장 · E-mail: shlee@krii.re.kr



<그림 2> 동적하중 하중재하형상

이동재하시험은 이동속도 2km/h로 최대 4tonf으로 시험을 실시하였다. 따라서, 모든 실험조건은 최대하중 4tonf을 정적, 동적, 이동하중으로 구분하여 실험하였다. <그림 3>은 모형토조 개략도를 나타내었다. 토조의 크기는 2,200(L)×600(H)×600(B)으로 설계되어져 있으며, 전면판은 투명 아크릴(200mm)로 토조 내부를 관찰할 수 있도록 제작하였으며, 좌굴 및 변형을 방지하기 위하여 강제보강 프레임을 설치하였다.



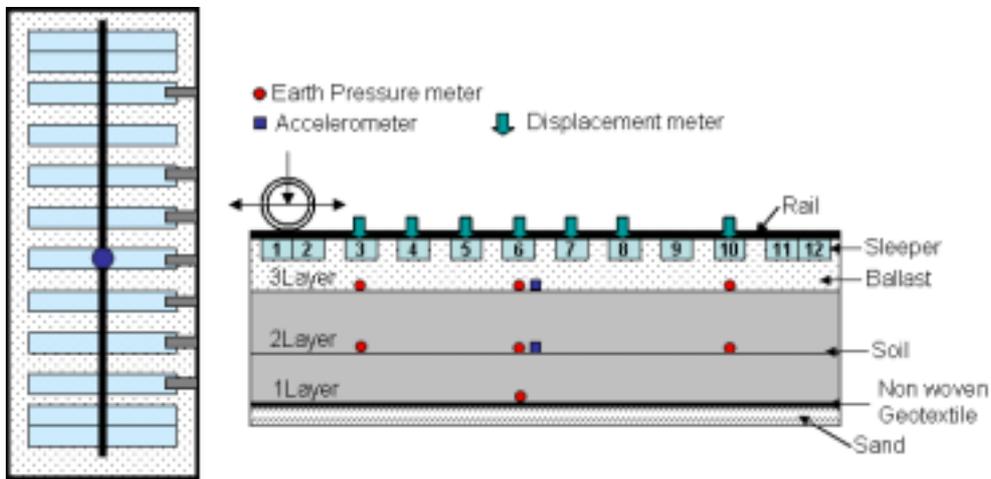
<그림 3> 이동재하시험장비 개략도 및 토조 내부

2.3 실험방법 및 계측방법

<그림 4>는 모형시험에서 사용된 모형토조 단면도와 계측기 위치를 나타내었다. 모형 토조내에 설치된 계측센서는 총 3종류의 센서를 각 층에 설치하여 데이터로거로 저장하여 분석하였다. 모형실험에 사용된 계측기는 총 토압계 7측점, 가속도계 2측점, 변위계 6개소 총 15측점을 설치하였다.

토조 조성은 먼저 하부에 균등하게 하중이 작용할 수 있도록 토조내 바닥층을 모래로 5cm 포설하였으며, 노반조성 재료와 혼합이 되지 않도록 모래와 화강풍화토 사이에 부직포를 포설하였다. 토조내 노반의 밀도관리는 다짐시험에서 구한 최대건조단위중량의 95%이상이 되도록 다짐을 실시하였으며, 이후 모래치환법과 LFWD를 통해 상대다짐도가 95%이상이 되는가를 확인하였다. 토조내 1층 다짐두께는 20cm로 소형 컴팩트로 다짐을 실시하였으며, 노반의 총 높이는 40cm로 2층 다짐하였다.

노반 조성 이후 궤도부는 최대입경 400mm이하인 도상자갈로 20cm 포설하였다. 도상자갈은 다짐작업이 힘들기 때문에 도상자갈 10cm 포설 후 모형침목 설치 후 다시 10cm를 포설하는 방법으로 도상자갈부분을 조성하였다. 모형실험에 사용된 모형침목의 크기는 500mm(L)×100mm(B)×75mm(H)로 총 12개의 침목을 사용하였다. 이때 침목간 중심 간격은 195mm이다. 이동하중 재하시 양끝에 하중재하점이 위치할 경우 반대쪽의 들림을 없애기 위하여 침목을 붙여서 하중을 분산시켰다. 정적하중과 동적하중은 중앙부에 위치한 6번 침목에 재하하였다. 궤도부분까지 완성된 이후 궤도계수를 추정하기 위하여 LFWD 시험을 실시하여 침목에서의 하중 vs 처짐량을 측정하였다.

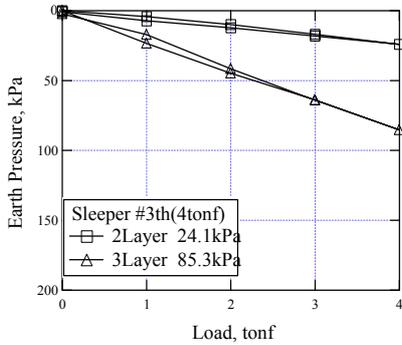


<그림 4> 실 대형실험 토조 평면도 및 단면도

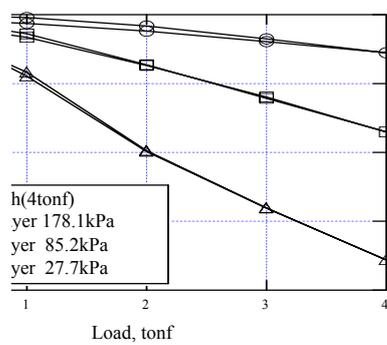
3. 시험결과 및 분석

3.1 최대하중 재하시 토압특성

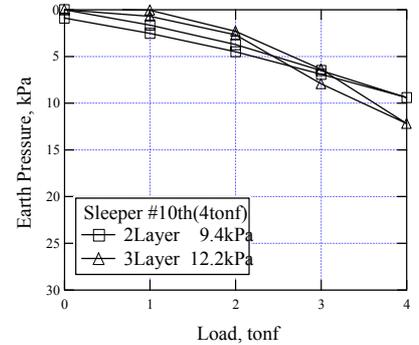
이동재하 시험하기 전에 고정재하방법인 정적하중과 동적하중시험을 실시하였다. 정적하중은 0~4tonf까지 각 하중 단계를 1tonf씩 증가시키면서 재하 하였을 경우 각 위치별 토압변화를 계측하였다. 토압값은 단계별 하중재하시 약 5분간 재하 후 5초간 저장한 후 평균값을 사용하였다. <그림 5>는 하중단계별 토압변화 곡선을 나타내었다. <그림 5>에서와 같이 하중단계가 증가함에 따라 비례적으로 증가하고 있는 것을 볼 수 있으며, 하중이 재하된 지점에서 가장 큰 토압이 발생하였다.



(a) 3번 침목에서의 토압



(b) 6번 침목에서의 토압

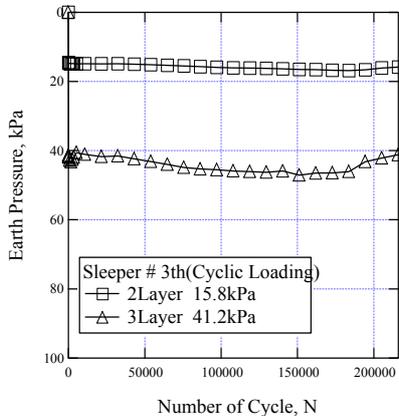


(c) 10번 침목에서의 토압

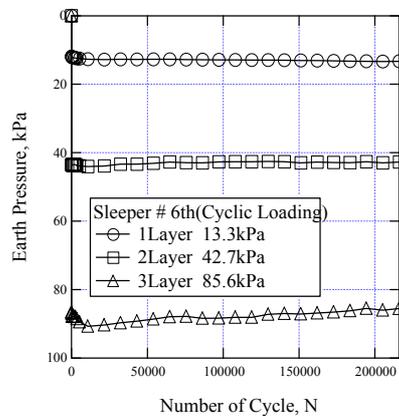
(d) 침목 위치별 토압분포(4tonf 재하시)

<그림 5> 정적하중 재하시 하중단계별 토압변화곡선

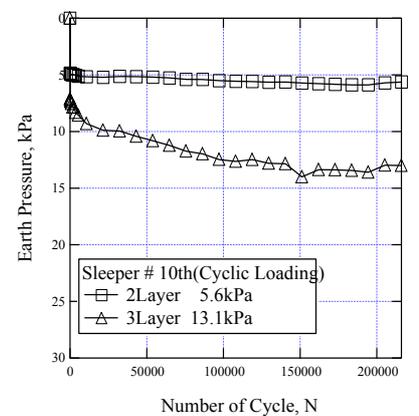
동적 토압은 반복횟수에 따라 약 5초간 데이터를 저장하였으며, 데이터 저장 sampling rate은 200Hz로 저장하였다. 저장된 토압값은 평균값과 Peak-to-Peak으로 구분하여 정리하였다. 일반적으로 평균값은 소성변화를 보기 위한 것이며, Peak-to-Peak값은 탄성 토압값을 보기 위함이다. 이 논문에서는 평균값만을 정리하였으며, <그림 6>은 동적 하중 재하시 각 위치별 토압변화를 나타내었다. <그림 6>에서와 같이 하중적하 침목에서 초기에는 가장 큰 침하가 발생하고 있으나, 반복횟수가 증가함에 따라 토압이 작아지고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 특징은 앞서 언급한 바와 같이 동적 재하시 동일지점을 반복하여 하중을 재하하기 때문에 침하가 발생되어 오히려 토압이 감소하고 있는 특징을 잘 보여주고 있다.



(a) 3번 침목에서의 토압



(b) 6번 침목에서의 토압



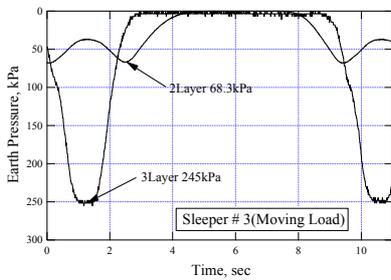
(c) 10번 침목에서의 토압

<그림 6> 동적하중재하시 토압변화곡선

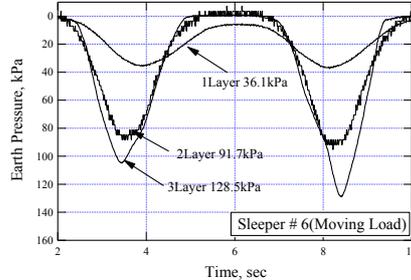
(d) 침목 위치별 토압분포

<그림 6> 동적하중재하시 토압변화곡선(계속)

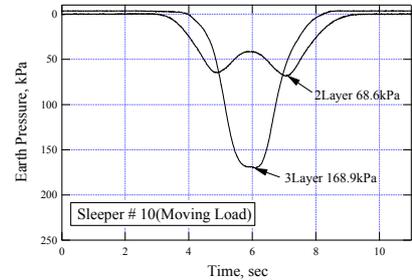
이동재하시험은 앞서 언급한 바와 같이 고정된 지점에서 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 시험방법이다. 이동재하는 최대하중 4tonf으로 2km/h의 속도로 이동시험을 실시하였다. <그림 7>에서와 같이 침목3, 6, 10번의 지층별 토압분포결과 고정된 하중조건과 중앙부의 침목을 제외하고 양쪽 침목에서는 거의 유사한 토압이 발생하였다. 중앙부에서 상대적으로 적게 발생된 것은 중앙부에서 하중이 재하할 경우 양쪽으로 하중이 분산되어 양쪽 침목보다 상대적으로 적게 토압이 발생한 것으로 판단된다.



(a) 3번 침목에서의 토압



(b) 6번 침목에서의 토압



(c) 10번 침목에서의 토압

<그림 7> 이동재하 하중조건에서의 토압변화곡선

4. 결론

연구원에서 개발된 이동재하 하중시험장비(Moving Wheel Loading Simulator System, MWLSS)를 통해 자갈케도의 토압특성을 하중재하 조건별로 검토하였다. 하중재하 조건별 케도의 토압측정 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고정된 하중재하방식인 정적하중에서의 최대토압은 재하된 직하 지점에서 가장 큰 178kPa의 토압이 발생하였으며, 좌측과 우측 양 끝단 침목에서 각각 85.3kPa, 12.2kPa이 측정되었다.
- 2) 동적하중재하에서는 정적하중과 마찬가지로 재하된 직하 지점에서 가장 큰 85.6kPa이 측정되었으며, 좌우측 양 끝단 침목에서 각각 41.2kPa, 13.1kPa로 최대토압의 경우 정적하중보다 약 52%적게 발생하였다. 고정된 재하방식으로 동적하중을 재하할 경우 오히려 정적하중보다 적게 발생하는것을 알 수 있다.
- 3) 이동재하에서는 각 침목에서 동일한 하중이 재하하기 때문에 좌우측 양 끝단 침목에서 발생된 토압은 168~245kPa정도로 중앙부 침목에서 발생된 토압 128.5kPa 보다 크게 발생하였다.
- 4) 하중재하방식을 다르게 할 경우 각 층에서 발생된 토압을 측정한 결과 상당한 차이가 발생하고 있는 것을 관찰하였다. 향후 각 하중조건별, 하중위치별, 거리별에 따른 토압을 측정하여 이론적인 해석값과 비교할 예정이다.

참고문헌

1. Yoshitsugu Momoya, Etsuo SEKINE, "Reinforced Roadbed Deformation Characteristics Under Moving Wheel Loads, QR of RTRI, Vol. 45, No.3, 2004, 162~168