

Box test를 이용한 Ballast 침하 거동 평가

Evaluation on Ballast Settlement by Box Test

이성진*[†], 최일윤*, 김기재*, 황수범**

Sung-Jin Lee*[†], Il-Yoon Choi*, Ki-Jae Kim*, Su-Beom Hwang*

Abstract Field measurement should be carried out for a settlement model of ballast. But we can't reasonably evaluate the impact of each factor on the settlement of ballast based on the field measurement data, since a variety of factors are combined in the field. Therefore, we intended to examine the effect of some factors on the settlement of ballast in laboratory test, in order to suggest variables of settlement model and model constants. In this study, we developed a ballast test box and performed some tests by considering the factors such as load, grain size distribution, and load combinations.

Keywords : Ballast, Settlement, Ballast track, Ballast box test

초 록 자갈도상재료의 침하진전모델 개발을 위해서는 현장계측이 기본으로 수행되어야 하지만, 현장 조건은 다양한 조건들이 복잡하게 조합되어 있어 현장 계측을 통한 자갈도상재료의 침하 거동에 미치는 여러 조건들의 영향 정도까지 합리적으로 평가하기는 어렵다. 이에 침하진전모델의 변수 선정과 계수 제시를 위한 선행연구로서 몇 가지 영향인자들에 대한 평가를 위한 실내시험을 수행하고자 본 연구에서는 Box test 장치를 제작하고, 하중크기, 입도분포, 하중조합 등을 고려하여 시험을 수행하고 이들이 자갈도상재료의 침하에 미치는 영향을 검토 분석하였다.

주요어 : 도상자갈, 침하, 자갈궤도, 자갈상자시험

1. 서 론

열차 운행 시 발생하는 자갈도상재료의 거동 평가를 위해서는 실제 열차가 운행되는 현장에서 영향인자들의 조건을 고려하여 계측 평가하는 것이 가장 합리적인 방법일 것이다. 그러나 현장 조건들은 매우 많은 인자들이 복잡하게 조합되어 있고 각 영향인자들의 조건과 조합을 일관되게 유지시키면서 장기간 계측하는 것이 매우 어렵기 때문에 현장 조건과 거동의 상관성을 도출하는 것은 장기간의 노력과 많은 자료를 요구하는 작업이다. 따라서 합리적인 자갈도상궤도의 침하진전모델의 개발을 위해서는 가능한 한 효과적으로 각 영향인자들의 조합을 반영한 현장을 선정하여 장기간 계측하고, 시험 조건을 효과적으로 제어할 수 있

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부 선임연구원(geolsj@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

는 실내시험으로 자갈도상재료의 거동에 영향을 미치는 인자들의 상대적인 특성을 도출하여 침하진전모델의 변수와 모델 상수 제안하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

이를 위해 본 연구에서는 먼저 실내시험에서 가능한 한 현장 조건을 효과적으로 제어 및 평가할 수 있도록 시험 장치를 제작하고, 시험을 수행하여 주요 영향 인자들이 Ballast의 거동에 미치는 특성을 분석, 침하 진전 모델에 적용하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 시험 장비

자갈도상재료의 거동을 실내시험으로 평가하기 위한 연구는 국내외 몇몇 연구자들에 의해 연구가 수행된 바 있다[1-4]. 본 연구에서도 국내 철도 현장의 상태를 보다 효과적으로 재현하여 자갈도상재료의 거동을 평가하기 위한 자갈시험상자(Ballast test box)를 다음과 같이 제작하였다.

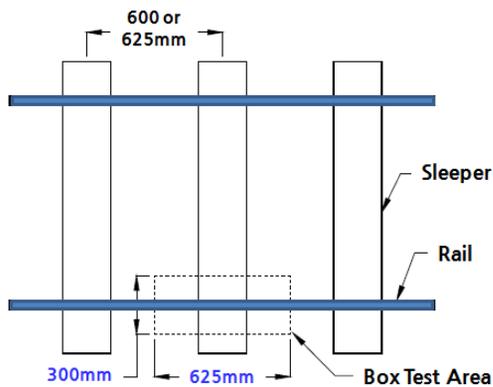


Fig.1 Rail and sleepers represented by the box test

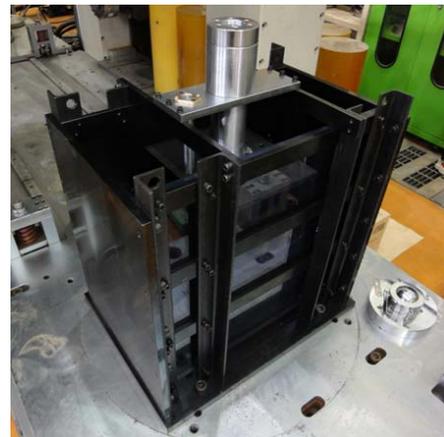


Fig.2 Ballast test box

국내 경부고속철도 1단계 자갈도상궤도의 침목 중심 간격은 60cm이고 일반철도의 경우 10m에 17정으로 침목 중심간격은 약 62.5cm이며, 자갈도상층 두께는 침목 하부면부터 35cm 이상으로 되어 있다. 이를 반영하여 시험 Box는 폭(W) 625mm, 깊이(D) 300mm, 높이(H) 600mm로 제작하여 철도 침목 1정의 한쪽 레일로부터 받는 하중에 의한 Ballast의 거동을 평가할 수 있도록 하였다. Ballast에 재하를 위한 재하장치로 침목의 체원을 고려하여 폭(W) 270mm, 깊이(D) 300mm, 높이(H) 200mm로 제작하였다. 또한 하중이 침목을 통해 하부 자갈도상재료에 균일하게 재하되도록 하중 재하로드(rod)의 가이드 장치를 설치하였다.

2.2 시험 재료 및 시험 조건

본 연구에서는 고속철도 현장에 사용되는 도상자갈재료를 시험재료로 선정하여 고속철도 기준 입도(Fig.3)를 고려하여 시험에 사용하였으며, 입도특성, 하중크기, 하중조합 조건 등에 따른 침하 거동특성 평가를 연구 범위로 설정하였다. 구체적인 시험 조건은 Table 1에 설명된 바와 같다. 즉 고속철도입도기준 상의 상한선과 하한선에 해당되는 재료의 입도특성과 열차의 운행 조건에 따라 발생할 수 있는 하중 및 다양한 하중의 조합 조건을 고려하기 위해 설정하였으며, 시험 재료의 밀도는 $1.47(t/m^3)$ 으로 균일하게 다져서 시편을 조성하였다.

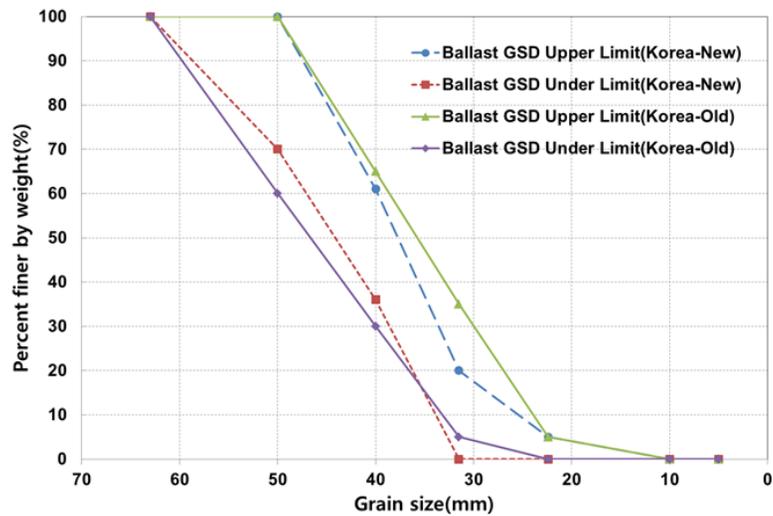


Fig.3 Grain size distributions of the tested ballast

Table 1 The specimens and conditions

Specimen	Description	Seating Force(kN)	Amp. of Cyclic force(kN)	Freq. (Hz)	Number of cycle	Etc.
B-GC-1	GC-Under	2	60	10	100,000	
B-GC-2	GC-Under	2	60	10	1,000,000	
B-GC-3	GC-Under	2	60	10	2,000,000	
B-GC-4	GC-Under	2	40	10	2,000,000	
B-GC-5	GC-Under	2	20	10	100,000	
B-GC-6	GC-Under	2	20	10	2,000,000	
B-GC-7	GC-Upper	2	20	10	2,000,000	
B-GC-8	GC-Upper	2	40	10	2,000,000	
B-GC-9	GC-Upper	2	20 & 40	10	2,000,000	20kN 30분마다 40kN 10초
B-GC-10	GC-Upper	2	20 & 40	10	2,000,000	20kN 3분마다 40kN 10초

2.2 시험 결과

자갈도상재료는 하중이 반복됨에 따라 입자파쇄, 마모, 재배열(Rotation, Sliding) 등에 의해 도상층의 침하가 발생하는 것으로 평가되고 있다. 본 연구에서 수행된 시험 과정에서도 이

와 같은 현상을 확인할 수 있었다. 즉 침목 하부의 자갈도상재료는 반복적인 하중 하에서 입자 모서리 부분의 파쇄 및 마모로 인해 입자간의 마찰 및 맞물림(interlocking)효과가 감소하면서 상부도상입자의 회전, 이동 등으로 입자들이 침목하부에서 측방향으로 또 크립 상부 쪽으로 이동하면서 불규칙적인 변형과 침하가 지속적으로 반복 진행되었다.

이와 같은 도상층의 변형과 침하는 다양한 영향인자들에 의해 영향을 받기 때문에, 이들 영향인자들이 침하의 진전에 미치는 영향을 실내시험으로 평가한 결과들은 향후 제시할 침하 진전모델의 변수, 상수의 제안에 활용할 수 있을 것이다. 이를 위해 앞서 시험조건에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 입도분포, 하중크기 및 하중조합에 대한 영향을 1차적으로 평가하였다. 먼저 입도분포 특성에 따른 침하특성 평가 결과는 상대적으로 작은 입자들이 많이 포함되어 있는 상한선의 입도분포를 가진 시편들 GC-Upper(20kN-10Hz-2E6)과 GC-Upper(40kN-10Hz-2E6)이 하한선의 입도분포의 시편들 GC-Under(20kN-10Hz-2E6), GC-Under(40kN-10Hz-2E6)에 비해 200만회 하중 재하 중에 보다 작은 침하 경향을 보였다. 2가지 시험 조건으로 일반화할 수는 없지만, 본 시험 결과를 통해 입도분포가 침하에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

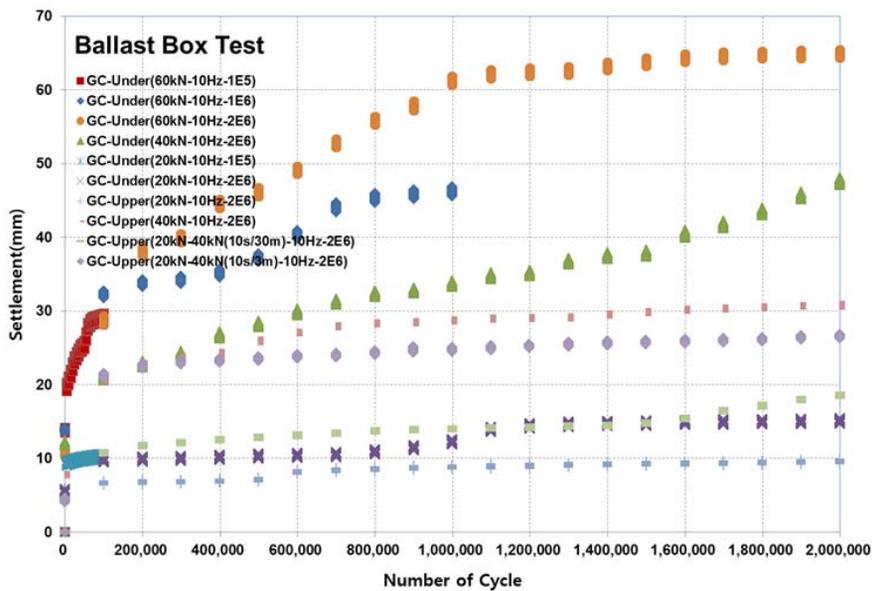


Fig.4 Ballast box test results

또한 본 시험에서는 같은 조건 하에서 하중크기와 하중이 조합되는 조건에 따라 침하에 미치는 영향을 평가하기 위해 3가지 하중 크기 및 2가지 하중 조합 조건에 대해 시험을 수행하였다. 즉 20kN, 40kN, 60kN 하중 크기에 따라 발생하는 침하 수준과 그 침하발생량의 차이를 시험결과로 평가하고 확인할 수 있었다. 그러나 실제 열차가 운행되는 노선의 경우 일정한 하중이 반복되는 경우보다 다양한 하중이 조합되는 조건의 노선이 대부분인 점을 고려했을 때, 다른 하중이 조합되었을 경우, 그 중에서 특히 최대하중의 빈도가 침하에 미치는 영향을 평가할 필요성이 있었다. 이를 위해 20kN의 하중이 30분 재하되는 중에 10초의

40kN의 하중이 재하되는 경우(40kN의 하중빈도 : 약 0.56%) 와 20kN의 하중이 3분 재하되는 중에 40kN의 하중이 10초 재하되는 경우(40kN의 하중빈도 : 약 5.6%), 2가지 하중 조합 조건으로 최대하중의 빈도가 침하 발생에 미치는 영향을 평가하였다. 그림의 결과에서 볼 수 있듯이 최대하중이 0.56%의 빈도로 재하되는 정도인 첫번째 경우에도 20kN의 하중만 재하되는 경우에 비해 약 170% 수준의 큰 침하량을 발생시켰다. 또한 최대하중이 약 5.6%의 빈도로 재하되었던 두번째 경우는 20kN의 하중만 재하되는 경우에 비해 약 270% 수준의 침하량을 보이면서 40kN의 하중만 재하되는 경우의 약 90% 수준까지 침하발생이 증가하는 것으로 나타났다. 결국 매우 적은 빈도일지라도 일상적인 하중에 비해 큰 하중이 주기적으로 작용할 경우, 큰 하중이 전체 기간동안 작용했을 경우의 침하와 유사한 수준까지 증가할 수 있음을 볼 수 있었다. 따라서 노선 또는 대상 지점에서 도상자갈에 작용되는 하중 수준과 그 빈도를 고려해야 실제 침하 진전 과정과 침하 수준을 합리적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 자갈도상재료의 침하거동에 미치는 영향을 평가하기 위해 자갈시험상자를 제작하고, 1차적으로 입도분포와 하중 크기 및 조합의 영향을 검토하기 위해 실내시험을 수행하여 침하거동과의 상관성을 확인할 수 있었다. 그러나, 이를 진전 모델에 정량적인 가중치로 반영하기 위해서는 각 영향인자들에 대한 상대적 특성 분석 시험을 추가해서 자료를 축적, 분석할 필요가 있을 것이다. 또한 다른 영향 인자들에 대한 추가적인 연구를 통해 보다 합리적인 자갈도상재료의 침하모델 개발 및 수정 보완을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] W.L. Lim (2004) Mechanics of railway ballast behavior, Ph.D Thesis, University of Nottingham.
- [2] E.T. Selig & J.M. Waters (1994) Track geotechnology and substructure management. Thomas Telford. London.
- [3] D.Ionescu (2004) Evaluation of the engineering behavior of railway ballast, Ph.D Thesis, University of Wollongong.
- [4] 정근영 등 (1998) 철도도상 개량을 위한 기초 연구, 철도청