

역학적 특성에 따른 자갈궤도 상부노반의 침하량 예측모델 개발

Development of Prediction Model for Settlement of Ballast Railway Trackbed by Mechanistic Characteristics

박재범*†, 임유진**

Jaebeom Park*†, Yujin Lim**

초 록 자갈도상궤도는 열차 하중의 반복적인 재하와 연약지반의 압밀침하 및 다짐된 불량 성토 흙노반의 침하 등 다양한 지반공학적인 원인에 의해 침하를 경험할 수 있으며, 이로 인하여 궤도틀림 또한 발생할 수 있다. 따라서 자갈궤도 상부 노반 흙재료가 받게 되는 변형 특성의 검토와 함께 정확한 거동해석이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 자갈궤도 상부노반의 침하량 예측모델을 개발하기 위하여 국내 철도 노반 신설구간 시공현장에서 채취한 흙노반 재료에 대하여 역학적 특성시험(영구변형시험)을 실시하였으며, 유한요소해석 프로그램(G-TRACK)을 이용, 다양한 구조해석을 실시하여 자갈궤도 상부노반에 발생 가능한 침하량 예측모델을 개발하였다.

주요어 : 자갈궤도, 상부노반, 침하량, 예측모델

1. 서 론

철도궤도 상부 흙노반의 경우, 궤도에서 전달된 반복적인 열차하중, 환경조건 변화에 따른 함수비 증가와 다짐된 성토체의 침하 등 다양한 원인으로 인하여 잔류침하와 같은 문제점이 발생하고 있다. 특히 자갈궤도 상부 노반 흙재료의 경우 열차주행에 의해 발생할 수 있는 공용 중 노반의 침하에 대한 안정성 확보가 매우 중요하다. 본 연구에서는 대규모 구조해석을 통하여 자갈궤도 상부 노반의 침하량 예측모델을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 흙노반 재료의 역학적 특성시험

2.1.1 기본 물성시험결과 및 시험시편 제작

국내 철도노반 신설구간 시공현장에서 채취한 흙재료에 대하여 기본물성시험을 실시하였으며 통일분류법상 비소성의 SP흙으로 분류되었다. 채취한 흙재료를 최적함수비(OMC) 조건으로 다짐도 95% 이상으로 다짐하였다.

2.1.2 역학적 특성시험 조건

전단 응력비(τ/τ_f)는 세 단계(0.3, 0.5, 0.7)로 선택하여 시험을 실시하였다. 시험을 위한 구속응력(σ_3) 산정 및 구속압 단계별 시험시편에 가하는 축차응력(σ_d) 및 시험 방법의 경우 관련문헌[2]을 이용하여 결정하였다.

2.1.3 영구변형 모델 산정

역학적 특성시험을 통해 다음 식(1)과 같이 예측모델을 개발하였다.

$$\varepsilon_p = 0.0105 e^{-5 \times 10^{-6} N} e^{2.75 \frac{\tau}{\tau_f} N^{0.08945}} E_R^{-1.322} \quad (1)$$

여기서 ε_p 는 영구변형률, $\frac{\tau}{\tau_f}$ 는 전단응력비, N 은 반복재하회수, E_R 는 회복탄성계수이다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원
(jbpark@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원

** 배재대학교 건설환경철도공학과

2.2 유한요소해석

본 연구를 위해 개발된 유한요소해석 프로그램(G-TRACK)에 기존 개발된 영구변형 예측 모델을 user subroutine으로 반영하여 구조 해석을 실시하였다. G-TRACK 은 지반구조물 해석 및 설계 분야에서 널리 사용되는 CRISP 엔진을 차용하였다.

2.2.1 설계 조건

유한요소해석을 위한 자갈궤도의 구조형식은 국내 호남고속철도 표준단면(복선전철 성토단면)과 동일하게 구성하였다. 유한요소해석에 적용한 철도궤도 물성치는 다음과 같다. 상부노반의 층두께를 2.0m-2.7m, 탄성계수를 40MPa-80MPa로 변화시키면서 유한요소해석을 실시하였다.

Table 1 Properties of materials used for FEM

Division	H (m)	E (MPa)	ν	γ_t (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ
Rail	-	210,000	0.2	70	-	-
Sleeper	0.15	29,100	0.1	25	-	-
Ballast	0.54	150	0.33	21.5	0	45
RR	0.4	120	0.33	21.5	0	45
US	2.0-2.7	40-80	0.33	21.5	80	40
LS	5.0	60	0.33	21.5	80	30
Foundation	30	60	0.33	20	80	30

RR:Reinforced roadbed, US:Upper subgrade, LS:Lower subgrade

재하회수는 자갈궤도 노반 공용기간 35년에 해당하는 회수(N=2000만)으로 결정하였고, 열차속도(300km/h) 및 하중분배율(40%)을 고려하여 레일 상단면에 등분포 유효하중 484.784kN/m를 적용하였다.

2.2.2 유한요소해석 결과

상부노반 두께 및 상부노반재료의 탄성계수 등 매개변수 변화에 따른 자갈궤도 유한요소 해석결과는 Fig. 1과 같다. 이를 통해 탄성계수가 증가할수록, 층두께가 두꺼워질수록 연직침하량이 감소하는 결과를 확인할 수 있다.

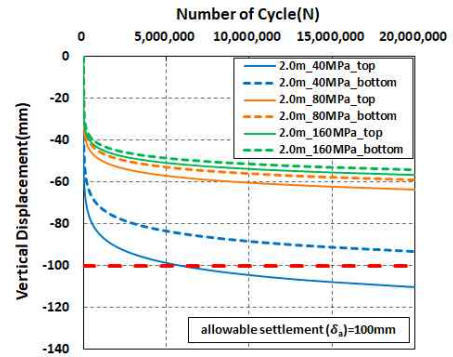


Fig. 1 Vertical settlement of ballast trackbed with change of elastic modulus of subgrade soil

2.3 자갈궤도 상부노반 침하량 예측모델

매개변수(상부노반 층두께 및 탄성계수) 변화에 따른 침하량 결과를 이용하여 비선형회귀분석을 실시하였다. 이를 통해 개발된 자갈궤도 침하량 예측모델은 식(2)와 같다.

$$\delta_p = -0.155N^{0.141} \cdot M_R^{-0.744} \cdot H^{0.175} \quad (2)$$

3. 결론

본 연구에서는 역학적 특성시험과 유한요소 해석결과를 이용하여 자갈궤도 상부노반의 침하량 예측모델을 개발, 제시하였다. 개발된 예측모델을 이용한다면 합리적인 상부노반 설계가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] D. G. Fredlund (1977) Relation between resilient modulus and stress conditions for cohesive subgrade soil, *Transportation Research Record* 642, pp. 73-81.
- [2] Y. J. Lim, J. B. Park (2018) Analysis of Characteristics of Permanent Deformation in Trackbed Foundation Soil and Development of Prediction Model by Repeated Triaxial Compression Test, *Journal of the Korean Society for Railway*, 21(2), pp. 177-188.