

영구변형특성을 고려한 콘크리트궤도 상부노반의 유효두께 설계차트 개발

Development of Effective Thickness Design Chart for Concrete Railway Trackbed on Permanent Deformation Characteristics

박재범*†, 임유진**

Jaebom Park*†, Yujin Lim**

초 록 열차의 동적 반복재하하중을 지속적으로 받게 되는 콘크리트궤도 상부노반은 노반침하에 의해 궤도의 틀림 등을 경험할 수 있다. 특히 상부노반 흙재료의 점진적인 침하 즉, 영구변형을 궤도변형의 주요 원인으로 생각해 볼 수 있다. 흙노반의 영구변형은 열차하중의 반복재하회수, 열차하중의 크기 및 구성 재료의 탄성계수 등 노반 재료 자체의 강성변화와 매우 밀접한 관계가 있다. 본 연구에서는 기존에 개발된 영구변형 예측모델을 user subroutine으로 반영한 유한요소해석 프로그램(G-TRACK)을 이용, 궤도를 포함한 성토단면에 대한 대규모 구조해석을 실시하여 영구변형 특성을 고려한 콘크리트궤도 상부노반의 유효두께를 결정할 수 있는 설계차트를 개발하였다.

주요어 : 콘크리트궤도, 영구변형, 흙재료, 설계차트

1. 서 론

궤도 하부구조는 궤도를 지지하며, 열차가 발생시키는 동적하중을 궤도하부로 분산, 전달하는 요소로서 주행 안정성에 직접 영향을 미칠 수 있는 매우 중요한 부분이다. 특히 상부노반 흙재료는 흙쌓기 공사 시 적정 다짐기준을 만족시켰음에도 운행 중 잔류침하가 자주 발생하고 있다. 본 연구에서는 잔류침하에 대한 안정성 확보를 위하여 유한요소해석법을 이용, 콘크리트궤도 상부노반의 유효두께 설계차트를 개발하였다.

2. 본 론

2.1 기존 개발된 영구변형 예측모델

임유진[2] 등은 다양한 조건(전단응력비, 구속응력 외)을 반영, 노반에 대한 대규모

영구변형시험을 통해 다음 식(1)과 같이 영구변형 예측모델을 제시한 바 있다.

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

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

2.2 유한요소해석

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

2.2.1 설계 조건

유한요소해석을 위한 콘크리트궤도의 구조형식은 국내 호남고속철도 복선전철 성토 표준단면과 동일하게 구성하였다. 유한요소해석에 적용한 궤도 물성치는 다음과 같다. 상부노반의 층두께를 2.0m-2.7m, 탄성계수를 40MPa-80MPa로 변화시키면서 유한요소해석을 실시하였다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원
(jbpark@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원

** 배재대학교 건설환경철도공학과

Table 1 Properties of materials used for FEA

Division	H (m)	E (MPa)	v	γt (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ
Rail	-	210,000	0.2	70	-	-
Sleeper	0.15	29,100	0.1	25	-	-
TCL	0.24	34,000	0.2	25	-	-
HSB	0.3	12,900	0.3	25	-	-
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 콘크리트궤도 유한요소해석결과는 Fig. 1과 같다. 이를 통해 탄성계수가 증가할수록, 층두께가 두꺼워질수록 연직침하량이 감소하는 결과를 확인할 수 있다.

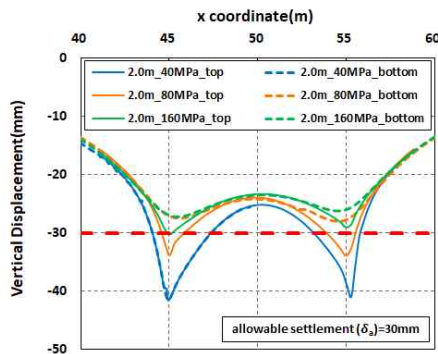


Fig. 1 Vertical settlement of concrete trackbed with increased elastic modulus

2.3 콘크리트궤도 상부노반 침하량 예측모델

매개변수(상부노반 층두께 및 탄성계수) 변화에 따른 침하량 산출결과를 이용하여 이들 사이의 비선형회귀분석을 실시하였다. 이를 통해 개발된 콘크리트궤도 상부노반에서의 침하량 예측모델은 식(2)와 같다.

$$\delta_p = -0.027N^{0.121} \cdot M_R^{-0.346} \cdot H^{-0.435} \quad (2)$$

2.4 콘크리트궤도 상부노반 유효두께 설계차트

영구변형시험을 반영한 유한요소해석결과를 비선형 통계분석하여 소요 콘크리트궤도 상부노반의 두께를 결정할 수 있는 유효두께 설계차트(Fig. 2)를 개발하였다.

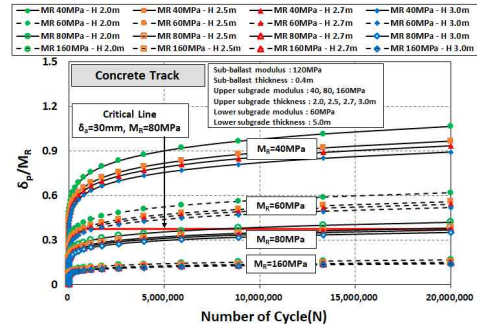


Fig. 2 Design chart for design of effective thickness design of concrete trackbed

3. 결론

본 연구에서는 영구변형시험과 대규모 유한요소해석결과를 이용하여 콘크리트궤도 상부노반의 유효두께를 효과적으로 결정할 수 있는 설계차트를 개발하였다. 개발된 설계차트를 이용한다면 합리적인 콘크리트궤도 상부노반 설계가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Korea Rail Network Authority(2015) Design Guidelines and a manual for Railroad, Korea Rail Network Authority.
- [2] J. B. Park, Y. J. Lim (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.