

고속철도 토공노반궤도 잔류침하량 정확도 개선을 위한 연구

Study of improving the accuracy in the Residual Settlement of Track for High-speed Railway

한상재*[†], 김병일*[†], 정재현*, 최찬용**, 흥강한*, 김영선*

Sang Jae Han*[†], Byung Il Kim*[†], Jae Hyun Jung*, Chan Yong Choi***, Kang Han Hong*, Young Seon Kim*

Abstract The roadbed settlements cause a deformation of the railway and affect the vehicle running and track structure stability. So, The accurate calculation of the residual settlement is important. In this paper, The calculated residual settlement compared to measured residual settlement for testbed section. And the groundwater level, consistency, replacement materials and height of embankment are selected as factors to residual settlement. The groundwater level lowering or height of embankment increment show a tendency to occur differential between calculated and measurement residual settlement. But the settlement have little to do with consistency and replacement materials. In conclusion, it is necessary to consider the influences of groundwater level lowering and soil property(consistency, replacement materials), excluding embankment height(fixed factor) to improve the accuracy in the residual settlement of track for high-speed railway.

Keywords : Roadbed, Railroad, High-speed Railway, Residual Settlement, Error Factor, Accuracy

초 록 노반의 침하는 선로의 변형을 유발하고 열차 주행 안전성 및 궤도 구조안전성에 악영향을 끼치므로, 정확한 잔류침하량의 산정이 중요하다. 이에 본 논문에서는 ○○고속철도 테스트베드 구간에 대하여 설계 잔류침하량과 실측 잔류침하량을 비교하고, 지하수위, 연경도, 치환재, 성토고를 잔류침하량 오차요인으로 도출하였다. 지하수위 저하 및 성토고 증가시 잔류침하량은 증가하는 경향을 나타내었으며, 연경도 및 치환재는 관련이 없는 것으로 나타났다. 따라서, 잔류침하량 산정시 정확도를 개선하기 위해서는 고정인자인 성토고를 제외하고, 지하수위 저하, 지반조건(연경도, 치환재)에 따른 영향을 고려할 필요가 있다.

주요어 : 토공노반, 궤도, 고속철도, 잔류침하량, 오차요인, 정확도

1. 서 론

노반의 잔류침하량은 1차·2차·즉시 침하량과 방치기간을 고려하여 계산하며, 설계시 허용잔류침하량 기준을 만족하지 못하는 경우 연약지반처리공법을 적용한다. 노반의 침하는 선로의 변형을 가져오기 때문에 열차 주행 및 궤도 구조 안전성에 악영향을 끼치므로 유지

† 교신저자: (주)지구환경전문가그룹(hansj@ege.co.kr)

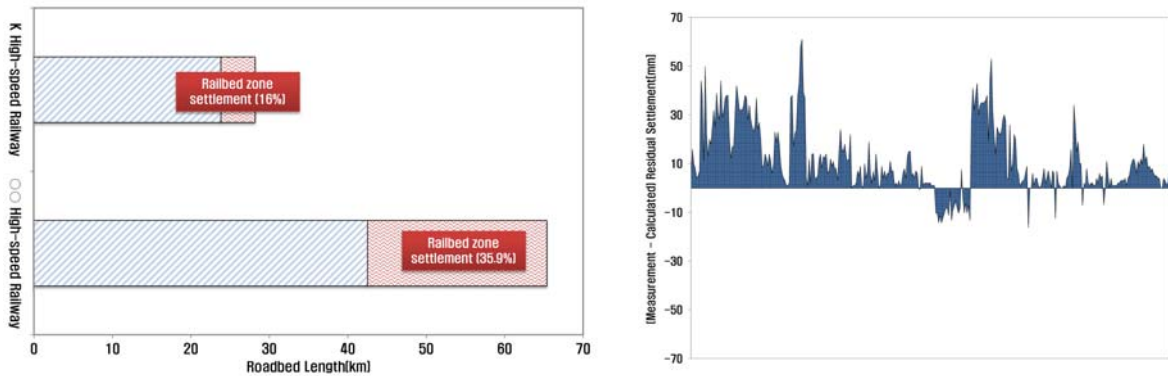
* (주)지구환경전문가그룹

** 한국철도기술연구원

보수 주기 및 비용 절감을 위해서는 설계잔류침하량을 정확히 산정할 필요가 있다. 본 논문에서는 설계잔류침하량 산정시 정확도 개선을 위해 ○○고속철도의 테스트베드구간에 대하여 토공노반에서의 침하특성 및 설계잔류침하량과 실측잔류침하량 간의 오차요인을 분석하였다.

2. 토공노반 침하특성

고속철도 토공노반의 침하는 원지반 침하, 성토체 침하, 열차운행하중에 의한 침하로 분류된다. 원지반 침하는 즉시침하, 압밀침하 및 2차 압축침하로 분류되며, 즉시침하는 시공 중 단기간에 발생하는 반면 압밀침하와 2차 압축침하는 해당구간 지층의 압밀특성에 의해 좌우되므로 주의하여야 한다. 성토체 침하는 성토체 자중에 의한 침하로 성토고, 성토재료, 시공 및 품질관리방안 등의 영향을 받게 되는데 하중의 크기(성토고), 지하수위, 지반의 연경도(SPT N치), 침하대상층의 두께 등이 일반적으로 공학적 영향인자로 알려져 있다. 본 논문에서는 ○○고속철도 테스트베드 구간(100km000~128km000, 총 연장 28km)에 대하여 설계시 산정된 잔류침하량과 실측잔류침하량을 검토하고, 잔류침하량 산정시 정확도 향상을 위해 설계치 대비 과다침하를 유발하는 영향인자를 도출하고자 한다. ○○고속철도의 경우 전체 토공구간 중 35.9%에서 침하가 발생하였는데, 이 중 91%가 설계치보다 더 큰 침하가 발생하였다. K고속철도의 전체 토공구간 중 16%(88개소)에서 침하가 발생한 것에 비해 상당히 큰 것으로 평가된다.



(a) Status for residual settlement at high-speed railway

(b) Error of residual settlement

between calculated and measured

Fig. 1 Analysis of residual settlement

3. 잔류침하 불확실 영향인자

3.1 성토고

연성재료로 시공된 토공노반의 경우 성토체의 하중에 의한 침하가 발생하게 된다. 검토결과 Fig. 2와 같이 잔류침하량은 성토고에 비례하는 경향을 나타내었으며, 성토고 4.8~10.2m 사이에서 허용잔류침하량(25mm)을 초과하는 침하가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 작용하

중이 증가하여 지반의 침하를 유발하기 때문이며, 따라서 설계잔류침하량 산정시 유사사례, 인접지역 침하계측 결과 등을 역해석하여 산정된 설계잔류침하량의 적정성을 판단해야 한다.

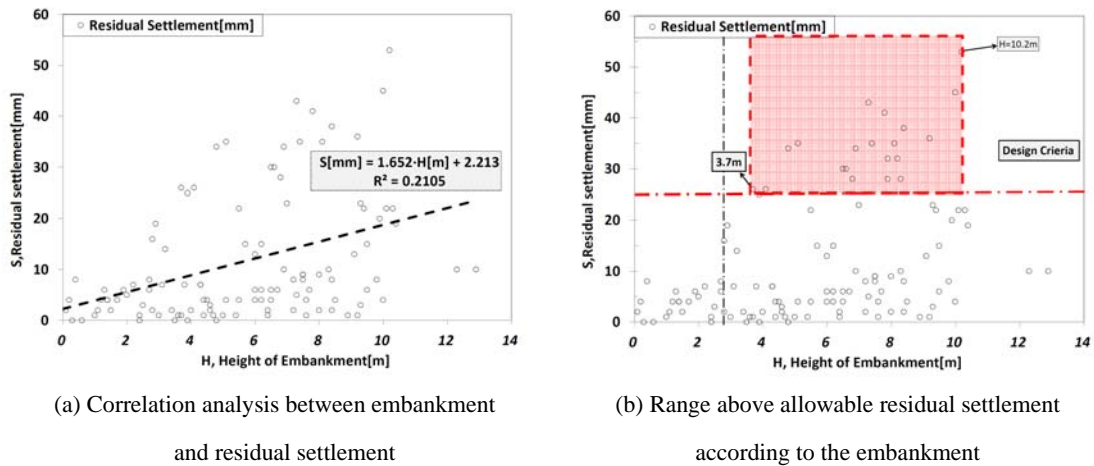


Fig. 2 Analysis of Residual Settlement according to Embankment

3.2 연경도(SPT N치)

SPT는 지반의 강도를 평가하는 방법 중 하나로, N치가 클수록 지반의 강도가 크다(Lee, 2016). 지반의 강도가 클수록 침하량이 감소하는 것이 일반적이거나, 테스트베드 구간의 침하량을 분석한 결과 동일 N치에서 발생한 잔류침하량이 5.6~13.5mm로 분산이 매우 커서 N치에 따른 특정한 경향은 나타나지 않았다. 또한, 연약지반 판정기준인 N치 10 이상인 구간을 포함하여 Fig. 3(b)와 같이 $5 \leq N \leq 15$ 구간에서 허용잔류침하량(25mm) 기준을 초과하는 침하가 발생하였으며, 기준치를 초과하는 비율은 약 15%로 나타났다. 따라서, 연경도(SPT N치)보다 기타 요인(물리적 특성, 층두께, 성토고 등)에 따라 $N > 10$ 인 지반에서도 침하검토가 필요할 것으로 판단된다.

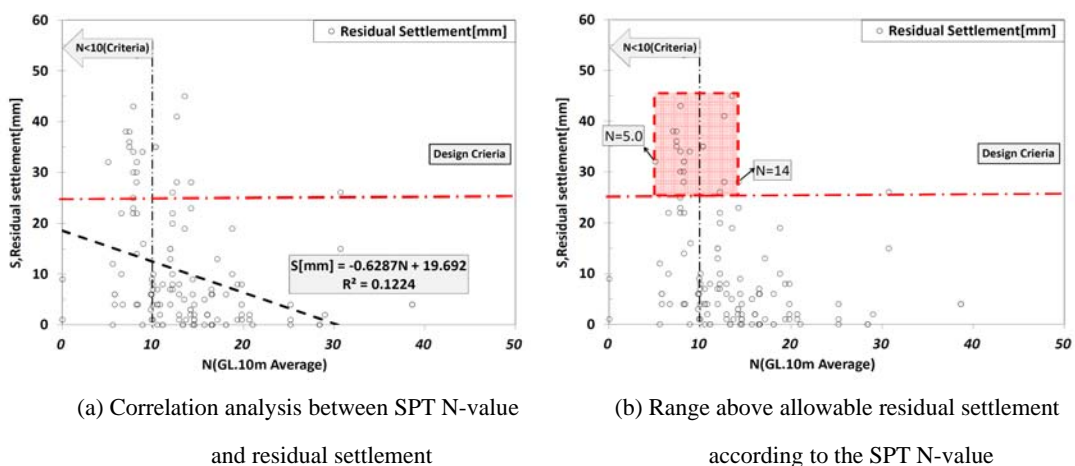


Fig. 3 Analysis of Residual Settlement according to SPT N-value

3.3 지하수위

테스트베드 구간의 지하수위 측정 데이터를 검토한 결과 갈수기, 농번기가 중복됨에 따라 약 5m가량(E.L 105.35m→100.39m) 저하되는 것으로 나타났다. 즉, 궤도 부설 후 추가하중이 작용하지 않았음에도 불구하고 Fig. 4와 같이 지하수위가 저하됨에 따라 잔류침하가 발생하는데, 이는 지하수위 하강시 토층의 유효상재하중이 증가하였기 때문이다. 이와 같이 예기치 못한 지하수위의 저하로 인해 잔류침하량이 증가할 수 있으므로 설계시 지하수위 저하에 따른 영향을 고려해야 할 것으로 사료된다(Kim 등(2015), Woo(2003)).

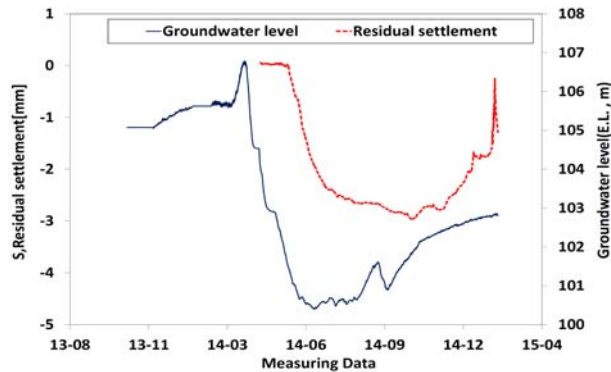


Fig. 4 Residual settlement trend by the deviation of the Groundwater level

3.4 치환재

테스트베드 연약지반구간 중 일부는 치환공법을 적용하는 것으로 설계되었다. 침하량을 분석한 결과 Table. 1과 같이 설계잔류침하량과 실측잔류침하량의 오차가 -0.5mm에서 최대 28mm까지 발생하였으며, 이는 노반의 허용침하량(25mm)를 상회하는 결과이다. 연약지반을 양질의 재료로 치환하는 경우 개량효과에 의해 잔류침하량 검토를 생략하는 것이 일반적이다. 그러나 이와 같이 과다 침하가 발생할 가능성이 있으므로 필요시 치환재료에 대한 반복 재하시험 등을 실시하여 추가 침하 발생가능성을 검토할 필요가 있다.

Table. 1 Analysis of Residual Settlement

STA	Length	Improvement Method of Soft Ground	Calculated Residual Settlement(mm)	Measurement of Residual Settlement(mm)	Margin of Error (mm)
109km300 ~109km360	60	Excavation Replacement Method	-	T1 : 25(19~31) T2 : 31(21~44)	+28.0
113km674 ~113km760	86	Excavation Replacement Method	-	T1 : 26(16~37) T2 : 18(11~24)	+22.0
120km790 ~121km070	280	Excavation Replacement Method	-	T1 : 0 (-14~11) T2 : -1 (-11~6)	-0.5

3. 결 론

본 논문에서는 호남고속철도 테스트베드 구간을 대상으로 설계잔류침하량과 실측잔류침하량을 비교하고, 잔류침하량 정확도 향상을 위한 영향인자로 지하수위, 연경도, 치환재, 성토고를 선정하여 인자별로 잔류침하량과의 상관성을 분석하였다.

- (1) 지하수위 저감시 유효상재하중이 증가하고, 성토고에 따른 작용하중이 증가하게 되면 지반의 침하를 유발하여 잔류침하량이 증가하는 것으로 나타났다.
- (2) 설계시 N치 10을 기준으로 연약지반을 판정하는 것이 일반적이나, $5 \leq N \leq 15$ 에서 허용잔류침하량을 초과하는 침하가 발생함에 따라 기타 요인(물리적 특성, 층두께, 성토고 등)에 따라 $N > 10$ 이상인 지반에서도 침하 검토가 필요한 것으로 판단된다.
- (3) 양질의 재료로 연약지반 대상층을 치환하는 경우 침하검토를 생략하는 것이 일반적이거나, 설계잔류침하량과 실측잔류침하량의 차이가 크고, 허용잔류침하량을 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 필요시 치환재료에 대한 반복재하시험 등을 실시하고 추가침하에 대한 검토가 필요하다.

후 기

본 논문은 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 철도기술연구사업의 연구비지원(과제명: 호남고속철도 테스트베드를 활용한 인프라 통합모니터링 시스템구축 및 소음저감장치 고도화)에 의해 수행되었으며, 관련자분들께 감사드립니다.

참고문헌

일반사항

- [1] Lee, S.H. (2016) Statistical Analysis of Residual Settlement on Embankment after Constructing Railway, Master's thesis, Seoul National University of Science and Technology.
- [2] Kim, Y.H., Eum, K.Y., Han, S.J., Park, Y.G., Jung, J.H. (2015) A Study on Settlement Characteristics of Earthwork Subgrade with Lowering the Grounwater in High-speed Railway, *Journal of the Geotechnical Society*, 31(5), pp. 67-74.
- [3] Woo, D.W. (2003) An Analysis of the Settlement Stability affected by the Underground Water Level Drop during Ground Excavation Work, Master's thesis, Yonsei University.