

쉴드 TBM 철도터널의 굴착성능 향상

Put the English Title of Paper Here (Centered) by Using Boldface, Times New Roman

곽창원*, 백진호**†, 김민정**

Changwon Kwak*, Jinho Baek**†, Minjeong Kim**

초 록 본 연구에서는 철도터널 시공에서 쉴드 TBM(Shield Tunnel Boring Machine)의 굴착성능을 향상시키기 위한 핵심 기술요소를 종합적으로 검토하였다. 막장면 지지압 관리 방안을 수립하여 안정적인 굴진을 확보하고 지반 변위 및 지하수 유출을 최소화하는 방안을 제안하였다. 디스크 커터의 수명을 합리적으로 예측하고 교체주기를 산정하기 위하여 마모 영향 인자와 예측모델을 검토하였으며, 머신러닝 기반 마모계수 산정 기법 적용을 제안하였다. 또한, 세그먼트 배면 뒤채움재의 품질관리를 위해 비파괴검사 기법(GPR, IE)을 통합 적용하여 주입 적정성 평가의 정확도를 높였다. 세그먼트 설치 과정에서는 다운타임 저감 및 전문인력 양성 방안을 제시하여 공기 단축과 시공 효율성 증대를 도모하였다. 마지막으로, 버력 배토 효율성을 향상시키기 위해 이단 스크류컨베이어 및 고화제 처리 등 보완 기술을 제안하였다.

주요어 : 쉴드 TBM, 굴착성능, 막장면 지지압, 디스크 커터, 세그먼트, 버력 배토

1. 서 론

대도시 지하공간 개발 수요 증가에 따라 쉴드 TBM(Shield Tunnel Boring Machine)의 활용은 꾸준히 확대되고 있다. 그러나 국내 현장은 장대 구간에서 장시간 안정적인 굴진을 유지해야 한다는 제약으로 인해 굴착성능 저하 문제가 발생하고 있다. 기존 연구는 장비 성능 개선보다는 지반 조건에 대한 대응적 설계·시공에 치중하는 경향이 있었으나, TBM 굴진효율의 향상 없이는 경제성과 안전성을 동시에 확보하기 어렵다. 이에 본 연구는 쉴드 TBM 철도터널의 굴착성능 향상에 필요한 핵심 요소를 체계적으로 검토하고, 현장 적용 가능한 개선방안을 제시하고자 한다.

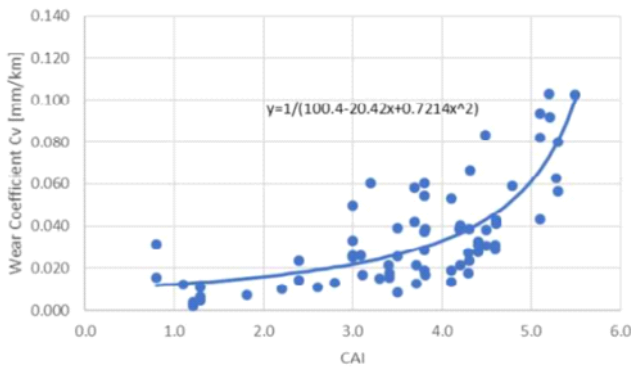
2. 굴착성능 향상 방안

본 연구는 (1) 막장 안정성 관리, (2) 커터 성능 향상, (3) 세그먼트 고속설치, (4) 버력 배토 시스템, (5) 품질 관리 및 모니터링 기술 등 다섯 가지 분야를 중심으로 진행되었다. 막장 안정성 관리에서는 지반별 적정 막장압 설정 기준을 정립하고, 수치해석 및 계측 모니터링을 연계하여 지반침하와 지하수 유출을 최소화하였다. 커터 성능 향상 분야에서는 디스크 커터 마모에 영향을 주는 인자를 분석하고, 예측 모델을 수립하고 머신러닝 기반 마모 계수 산정 기법을 적용하여 교체주기 최적화를 제안하였다. 세그먼트 고속설치 분야에서는 다운타임 저감을 위해 시공 장비 개선과 작업 공정 최적화를 제안하였으며, 교육·훈련 체계 구축을 통해 전문 인력 양성을 제안하였다. 버력 배토 시스템 분야에서는 스크류 컨베이어와 벨트 컨베이어의 적용성을 비교·분석하였으며, 고화제 처리 및 이단 스크류 적용 방안을

† 교신저자: 국가철도공단 시설연구부
(jinolover@kr.or.kr)

* 인하공업전문대학 건설환경공학과

** 국가철도공단 시설연구부



(a) wear coefficient of 17 inch disk cutter



(b) consecutive type conveyor belt

Fig. 1 Examples of the study for improvement of excavation performance.

검토하여 토사 배출의 안정성과 연속성을 확보하는 방안을 제안하였다. 품질관리 및 모니터링 기술 분야에서는 세그먼트 배면 뒤펀재에 대해 규산계와 비규산계 재료의 특성을 비교하고, 비파괴 검사 기법을 통합 적용하여 주입 품질의 신뢰성을 높이는 방안을 제안하였다. 그 결과 적정 막장압 관리와 커터 교체주기 최적화로 굴진 효율성이 약 12~18% 향상되는 효과를 확인하였다. 또한 세그먼트 설치 및 뒤펀재 공정 개선을 통해 시공 다운타임을 20% 이상 단축할 수 있는 것으로 예측되었고 버력 배토 시스템의 고화제 처리 기술은 토사 배출 불균일로 인한 장비 정지 횟수를 현저히 감소시켰다. 그리고 비파괴검사 도입으로 뒤펀재 주입 불량 검출 정확도가 기존 대비 약 30% 향상됨을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구는 쉴드 TBM 철도터널의 굴진성능 향상을 위해 공정 전반에 걸친 주요 요소를 종합적으로 검토하였다. 막장 안정성 확보, 커터 성능 향상, 세그먼트 설치 효율화, 배토 시스템 개선, 품질관리 강화가 굴착성능 향상의 핵심임을 확인하였다. 연구결과는 국내 철도터널 시공의 설계·시공 기준을 구체화하는 데 기여할 수 있으며, 장기적으로 TBM 굴진 데이터의 빅데이터화를 통해 AI 기반 예측·제어 시스템으로 확장될 수 있다. 향후 연구에서는 실제 장대 철도터널 현장에 본

연구의 제안사항을 적용하여 성능 검증과 경제성 평가를 수행할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Aggelis, D. G., Shiotani, T., & Kasai, K. (2008). Evaluation of grouting in tunnel lining using impact-echo. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(6), pp. 629-637.
- [2] Anagnostou, G. & Kovari, K. (1996). Face stability in slurry and EPB shield tunnelling. *Proceedings of the Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, London, pp. 453-458.
- [3] Fritz, P., (2007). Additives for slurry shields in highly permeable ground. *Rock Mechanics Rock Engineering* 40(1), pp. 81-95.
- [4] Girmscheid, G. (2013) Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus, Ernst & Sohn
- [5] Ma, Sang-Joon & Gil, Hu-Jeong & Kim, Dong-Min. (2013). A Study on the Improvement of Connection Method for Segment in Tunnel Lining System Using Prestressed Steel Cable by Real-scale Test. *Journal of the Korean Geotechnical Society*. 29, pp. 33-51. 10.7843/kgs.2013.29.6.33.