

고속철도 하부 비개착공법 시공 사례 연구

A Case Study on the Construction of Non-Subconstruction Method Under High-Speed Railway

이성기*, 조국환†

Sung-Ki Lee*, Kook-Hwan Cho†

초 록 철도노반 하부 지하횡단 공사는 선로에 변위가 발생될 수 있어 열차 안전운행에 많은 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 국내 비개착공법 시행시 주로 많이 적용되는 공법인 합체건인 공법, 중.소구경 강관공법(D600~1000m/m), 판넬추진공법, 대구경 강관공법(D1000~2000m/m)의 특징, 시공순서, 기 적용사례, 공법별 차이등을 비교분석 하였으며 ○○현장 비개착공법 시공시 현장여건, 지반조건, 토피조건, 시공단계별 수치해석, 계측기 설치관리, 선로유지보수, 보강레일설치, 철도노반하부 미진동 발파, 철도노반 하부 침하방지 대책 등을 기술하였으며 비개착공법의 시공중 최대 중점관리사항인 설계시 예측침하량과 실제 침하량을 비교 검토하였다. 향후 현장여건을 고려하여 동종의 비개착공법 설계, 시공시 참고가 되리라고 판단된다.

주요어 : 합체건인공법, 중.소구경 강관공법, 판넬추진공법, 대구경 강관공법

1. 서 론

고속철도 하부 지하횡단을 위한 최적의 공법을 선정하기 위해서는 주변현황의 분석 및 운행선의 종류, 운행 구간의 여건, 굴착지반의 구성, 지하 횡단구조물의 구분, 계획고에 의한 선로하부 토피고, 지장물의 존치여부 및 지하구조물 형성 후 유지관리에 따른 이상 유무를 분석 비교 하여야 한다.

본 연구에서는 시공실적이 많은 국내 대표적인 비개착공법의 설계 관련사항, 공법별 차이, 시공순서, 시공시 특이사항 등을 분석검토 하였고 특히 ○○역 1km 전방 4개선로(고속상.하선, 경부 상.하선)에 1일 300회 이상 열차가 통과하는 철도노반 하부 5.0~6.0m 지점에서 비개착공법으로 지하횡단 구조물 시공시 운행 중인 열차의 안전확보, 각 시공 단계별 공사시행시 침하에 따른 선로유지보수, 계측기 설치를 통한 24시간 관리체계, 지반조건을 고려한 공법선정, 설계시에 제시된 예측 침하량과 실제 계측된 자료의 비교.분석 등을 통해 향후 설계.시공시 참고자료를 제시하고자 한다. 또한 시공시 특이사항을 기술하여 동종공법 선정시 참고자료로 활용할 수 있도록 하였다.

*서울과학기술대학교 철도전문대학원
철도건설공학과 이성기

†교신저자:서울과학기술대학교 철도전문대학원
조국환 교수

2. 본 론

2.1 철도 지하횡단 공법의 분류

2.1.1 합체건인공법

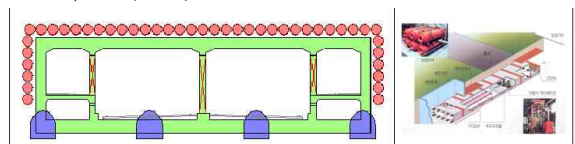
파이프루프공을 설치한후 열차운행선 밖에서 프리캐스트구조물을 제작한 후 유압프론트 잭크를 이용하여 선로하부의 소정의 위치에 구조물을 견인 설치하는 공법이다.

합체건인 공법에는 견인방법에 따라 편측견인공법,상호견인공법,분할견인공법으로 분류된다.

합체건인공법은 외부에서 프리캐스트 구조물로 제작되어져 구조물의 품질관리가 용이하나,별도의 제작장이 필요하여 추진 작업기지가 많이 필요하고,합체의 견인시 과도한 주변 마찰력이 발생하여 상부 노반의 변형을 초래 할 수도 있다. 대표적인 공법으로는 FJ[Front Jacking], TES[Tube Extract Structure Method]등이 있다.

시공개요도는 아래와 같다.

- 그림1.시공개요도(FJ)

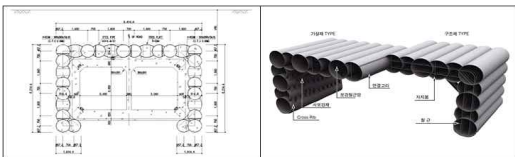


철도횡단 적용 사례 [FJ(Front Jacking)]는 “경부선 ○○~○○○간 ○○ 건널목 입체화 공사”로서 구조물 규모는 L=23.2m,B=7.9m,H=25.2m, 사용 강관은 D 800 mm, 토피고는 3.12m이며 공사내용은 기존 건널목 입체화공사로서 열차통과횟수는 1일 250회, 교차각 90°이다.

2.1.2 중,소구경 강관 공법

강관의 크기에 따라 600~1000mm 직경을 사용하여 강관 루프를 형성 후 내부를 굴착하여 구조물을 설치하는 공법으로 강관 매몰 후 강관 루프 내부 토사를 굴착 하면서 내부 지지대를 설치하여 내부굴착을 완료, 내부 구조체를 타설하여 구조물을 완성하는 공법이다. 강관라멘 루프의 구조체의 완성으로 구조체의 안전성이 증대되나 소형강관 내부에서의 철근 조립 및 콘크리트 타설이 어려워 시공성이 저하요인이 된다. 대표적인 공법으로는 STS[Steel Tube Slab], UPRS[Upgraded Pipe Roof Structures Method], PDP[Pre Drilling Pipe Method] 등이 있다. 시공개요도는 아래와 같다.

- 그림2. 시공개요도(UPRS)



철도횡단 적용 사례 [STS(Steel Tube Slab)]는 “대구 ○○선 ○○ B함 지하보도 건설공사”로서 구조물 규모는 L=32m,B=7.6m,H=7.8m, 사용 강관은 D 800 mm, 토피고는 3.41m이며 공사내용은 “○○고속철도 ○○공구 건설공사”로 인한 지하보도 설치공사로서 자동화 계측을 수행하였다.

2.1.3 판넬추진 공법

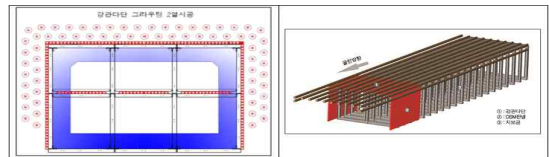
메샤실드 공법의 원리를 개선한 공법으로서 선형 보강 그라우팅을 이용하여 지반을 고결 후 플레이트 판 추진 및 서포트 잭을 이용 순차적으로 판넬 루프를 형성한 후 내부에서 철근조립 및 콘크리트를 타설하여 구조체를 완성하는 공법이다.

판넬을 분할 제작하여 소규모 작업에 용이하며 선형변화가 가능하나, 단면이 부분제작되어 시공성 및 품질이 떨어지고 연약지반에서 막장처리가 어렵고 지하수 유출시 시공성이 저하된다.

대표적인 공법으로는 DSM[Dvided Shield Method], SPS[Separate Panel Shield]등이 있다.

시공개요도는 아래와 같다.

- 그림3. 시공개요도(DSM)



도로횡단 적용 사례 [SPS(Separate Panel Shield)]는 “국도○호선 ○○진입도로 확장공사”로서 구조물 규모는 L=30m,B=16m,H=7m, 사용 자재는 SEPARATE PANEL, 토피고는 1.3m이며 공사내용은 국도○호선 하부 통과공사로서 N치는 15~30이다.

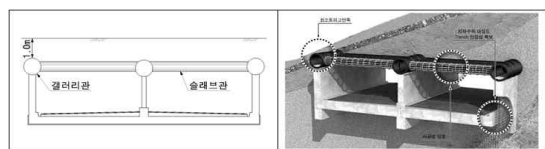
2.1.4 대구경 강관 공법

강관의 크기에 따라 1000~2000mm 직경을 사용 강관 루프 및 슬래브, 벽체를 형성하여 라멘 형태의 지중 구조물을 형성 한 후 내부굴착을 하여 공사를 완료 하는 공법이다. 대형강관을 사용하여 암반 지질에서도 공사가 용이하며, 강관 내부 추진 후 본 구조물이 완성되어 구조적 안정성이 우수하나, 강관과 강관사이의 이음부 방수공사시 세심한 주의가 요망된다.

대표적인 공법으로는 TRCM[Tubular Roof Construction Method], NTR[New Tubular Roof Method]등이 있다.

시공개요도는 아래와 같다.

- 그림4. 시공개요도(TRCM)



철도횡단 적용 사례 [TRcM(Tubular Roof Construction Method)]는 “○○○ 드림스

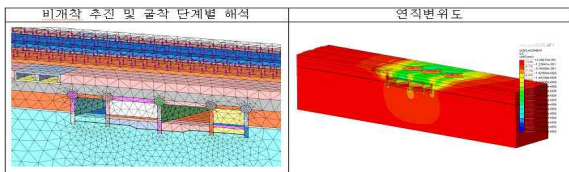
퀘어 복합빌딩 신축 관련 지하횡단보도 개설공사”로서 구조물 규모는 L=43m, B=8m, H=3.5m, 사용강관은 D1800 mm, 토피고는 1.0m 내외이며 공사내용은 “○○○수산시장 지하횡단 보도공사”로서 KTX포함 7개선로 횡단공사이며 자동화계측을 시행하였다.

2.2 ○○고속철도 제○○공구 ○○과선교 지하화공사, 적용사례 (TRCM)

○○고속철도와 ○○과선교가 교차하는 곳에 고속철도 하부 지하차도를 비개착공법 (TRCM) 으로 시행하는 공사로서 현장여건, 지반조건, 토피조건, 시공단계별 수치해석, 현장시공시 특이사항에 대해 기술하고자 한다.

○○현장은 철도가 ○○ 도심지를 통과하는 구간으로 ○○정거장 약1km 전방에 위치하여 고속철도, 일반철도가 병행 운행되는 구간이며 KTX, SRT의 최대속도는 300km/h이나 현장 통과시에는 최대100~150km/h이다. 통과선로수는 4선 (고속상.하선, 경부상.하선)이며, 열차운행 횟수는 300회 이상 (1일 24시간 기준)이다. 지반조건은 지표로부터 매립층 2.2m, 충적층 4.8m, 풍화토 3.8m, 풍화암 0.8m, 연암 6.4m로서 풍화암은 10.8m, 연암은 11.6m에서 노출되었다. 열차가 통과하는 선로하부 약 5.0~6.0m 위치에 지하차도 공사가 진행중이다. 시공단계별 수치해석은 그림5와 같으며 프로그램은 midas GTS[Geotechnical&Tunnel analysis System]를 사용하였다.

- 그림5. 시공단계별 수치해석



2.2.1 현장시공시 특이사항

1) 계측기 설치관리

비개착공법으로 굴착 진행중 철도노반침하를 직접적으로 우선 계측할 수 있는 선로침하계(노반상부)58EA, 선로변위계(침목상부) 8EA에 대해서 초기치(2015.11)부터 2018.06.30까지 선로침하계(노반상부) 최대처짐은 -2.886 ~ +1.131m/m(+:서울방향처짐, -:부산방향처짐) 발생하였으며 선로변위계(침목상부) 최대처짐은 -2.671 ~ +1.203m/m(+:서울방향처짐, -:부산방향처짐) 발생하여 설계시에 해석한 3.533m/m와 허용

기준치(7m/m) 이내에서 관리되었다

2) 선로유지보수

선로보수요원(0명)을 상시배치하여 선로 점검.보수를 시행하였으며 코레일과 협의하여 열차가 잠시 운행되지 않는 선로점검 시간(상선군:12:38~13:38, 하선군:11:56~13:01)에 집중보수하였다. 또한 케간틀림, 수평틀림, 면맞춤(좌.우), 줄맞춤(좌.우) 등을 측정하여 궤도검측 기록부에 기록하여 관리하였다.

3) 보강레일설치

궤도 하부침하를 방지하고자 레일과 레일사이 침목상부에 레일을 상,하면이 반대로 되게 포개어 설치하여 Plate와 Bolt.Nut로 고정하여 미세한 침하에 대비하였다.

4) 철도노반 하부 미진동발파

연암이 지표로부터 약 11.6m에서 노출되어 열차가 운행 중인 선로하부에서 발파를 시행하였으며 철도선로와 수평거리 10m 이격되어 진동허용치 1.0Kine(cm/sec)로 관리하였다. 천공 깊이는 1,100m/m, 공간격, 350m/m, 공당장약량, 0.125kg/hole로 발파시행결과 0.802cm/sec로 진동허용치 1.0Kine(cm/sec) 이내에서 관리하여 열차가 운행 중인 선로에 영향을 거의 미치지 않았다.

5) 철도노반 하부침하 방지대책

벽체Trench PC Panel 배면Grouting을 실시하여 Trench 벽체의 붕괴를 방지하였으며 벽체 Trench PC Panel 방수를 시행하여 지하수 유출을 방지하고 최종구조물 완공시 완벽한 구조물 기능을 발휘할 수 있게 하였다. 지하수 유출로 인한 침하를 방지하고자 Slab관(D1,700mm) 상부에는 Grouting을 시행하고 하부에는 이중으로 철관을 보강한 후 Grouting하여 지반 침하에 대비하였다. Gallery관 외부에 Grouting을 시행하여 미세한 침하에 대비하였으며 강관 추진중 전석 노출시 Grouting후 압입, 굴착 진행하였다. Gallery관 상부에 Grouting하여 압입, 굴착시 지하수 유출로 인한 세굴을 방지하였으며 Slab관 상부에도 Grouting을 실시하였다. 작업공간확보, 근로자의 안전한 작업환경 조성을 위해 벽체 Trench #2,3,4 TRCM공법을 일부 변경(가시설공법) 시행하였다.

3. 결론

본 연구에서는 철도 지하횡단 구조물 공법들에 대한 설계 개념과 지반 특성에 따

른 적용방법을 각 공법별 시공순서, 특징, 시공성을 분석 비개착공법으로 선로 횡단 시 최적공법을 선정함에 있어 참고자료가 될 수 있도록 사례 연구하였으며 ○○현장의 시공시 특이사항 등이 동종의 유사현장 시공시 참고가 되리라 판단된다.

비개착공법으로 ○○현장 철도노반 하부 공사시 최대계측치는 -2.886m/m로서 설계시에 지반변형을 해석한 최대연직변위 3.533m/m와 허용기준치(7m/m)를 비교할 때 매우 적어서 열차운행에 지장을 주지않고 안정적으로 공사를 수행하였다.

향후 타현장에서 TRCM공법 적용시 지층상태를 고려하여 풍화암, 연암등이 지표 가까이에서 노출되는 경우는 TRCM 공법 채택은 공사기간, 작업능률, 공기등을 감안할 때 피하는 것이 좋을것으로 판단된다.

○○현장의 경우 약 6.0m지점에서 풍화암, 연암등이 노출되어 인력 천공후 미진 등 발파공법으로 시행하여 작업능률이 저하되고 공사비가 과다하게 투입되었다.

그간 40여년 동안 국내에 적용된 철도노반 하부 비개착공법 적용시 토사, 풍화암, 연암등의 노출심도에 따른 지반조건, 지하수의 위치, 직선부, 곡선부, 분기기등의 궤도조건, 1일 열차운행 횟수 (300회 미만, 300회 이상)등을 종합적으로 검토해야 할것이며, 열차의 안전운행과 정시성 확보를 위해 서행 일수의 최소화 등이 확보되어야 할 것으로 판단된다.

또한 공법의 안정성, 시공성, 품질 및 유지관리의 적정성, 경제성 등을 종합적으로 비교 검토하여 철도하부를 통과하는 비개착 공법을 선정하여야 할 것이다.

기타공사 - 실시설계보고서

- [6] 경부고속철도 제6-2공구 노반신설 기타공사 - 계측관리보고서[(주)일신, 2015.08~2018.07]
- [7] 경부고속철도 제6-2공구 노반신설 기타공사 - 시험발파 결과보고서
- [8] 한국철도시설공단 [계측관리요령]

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 (주)유신
 † 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수(khcho@seoul tech. ac. kr)

참 고 문 헌

- [1] 한국철도시설공단 (2010)-고속철도 지하횡단 구조물 공법기준 정립 및 안정성평가연구.
- [2] 한국철도시설공단 (2015) 철도설계기준, 노반편
- [3] 서울지하철 터널의 TRcM 공법 적용사례,터널 기술 제6권 4호 학술논문,지홍근,유광호,박연준
- [4] A preliminary study don the use of analytic process for selecting a optimum trenchless excavation method,2015.6,Korean Tunneling and Underground Space Association.
- [5] 서울-부산간 경부고속철도 제6공구 노반신설