

철도 및 도로 횡단공법 시공 사례

Cases of Excavation Methods for Crossing Railway and Road

김동준¹⁾, 박영호²⁾, 이윤범³⁾, 이은철⁴⁾
Kim, Dongjoon Park, Yungho Lee, Yoonbum Lee, Euncheol

ABSTRACT : This paper presents the case studies of Tubular Roof construction Method(T.R.c.M) and Semi Shield method, which were applied to the tunnel excavation under the pre-existing railways. It was proved that T.R.c.M was an effective and safe method for the tunnel excavated in soft soil, giving little damage to the railways located a few meters above. Semi Shield was also performed successfully to bore a tunnel in soft and hard rock, minimizing the ground settlement and tilting of vulnerable fuel tanks. Site and soil conditions are also discussed, which led these relatively new methods to success. Finally, comparison of the measurement results and the design values are made to verify and improve the current design practice.

1. 서론

최근 기존 철로 및 도로의 하부를 횡단하여 신규 노선을 시공하는 사례가 빈번히 발생하고 있다. 이를 위하여 적용할 수 있는 공법에는 여러 가지가 있으나, 현장 여건 및 지반 조건에 따라 경제성 및 시공성 면에서 최적의 선택을 하는 것은 쉬운 문제가 아니며, 굴착으로 인해 유발되는 기존 구조물의 손상 정도를 정확히 예측하는 것 또한 한계가 있는 것이 사실이다. 본 논문에서는 T.R.c.M과 Semi Shield 공법의 시공 사례를 소개하여 유사한 조건에서의 적용시 참고가 되고자 한다.

2. 사례 1 : T.R.c.M

2.1 공사 개요, 현장 조건 및 공법 개요

본 공사는 광주도시철도 1호선 중 설계·시공일괄입찰구간(광산구 송정동 ~ 옥동차량기지 전) 건설공사 중 현재 운행중인 호남선 하부를 횡단하는 박스형 구조물을 시공하는 구간이다(그림 1). 공사비는 2,577백만원이며 공기는 약 24개월이 소요되었다.

구조물은 길이 54.0 m, 폭 10.0 m, 높이 7.5 m의 박스형이며, 바닥면은 N치 50회/15cm 이상의 풍화토 ~ 풍화암층에, 상부의 갤러리판은 철로 조성시 성토된 N치 4 ~ 20의 사질토층에 위치하며 갤러리판 상부와 지표와의 거리는 2.2 ~ 3.0 m 이다. 기존 철로와 본 구조물이 약 30° 각도로 교차하여 구간에 따라 상대적인 위치는 변하나, 중간지점의 횡단면도는 그림 2와 같다.

1) 현대건설㈜, 기술연구소, 대리, 정회원 2) 현대건설㈜, 기술연구소, 부장, 정회원
3) 현대건설㈜, 현장소장, 정회원 4) 현대건설㈜, 대리, 정회원

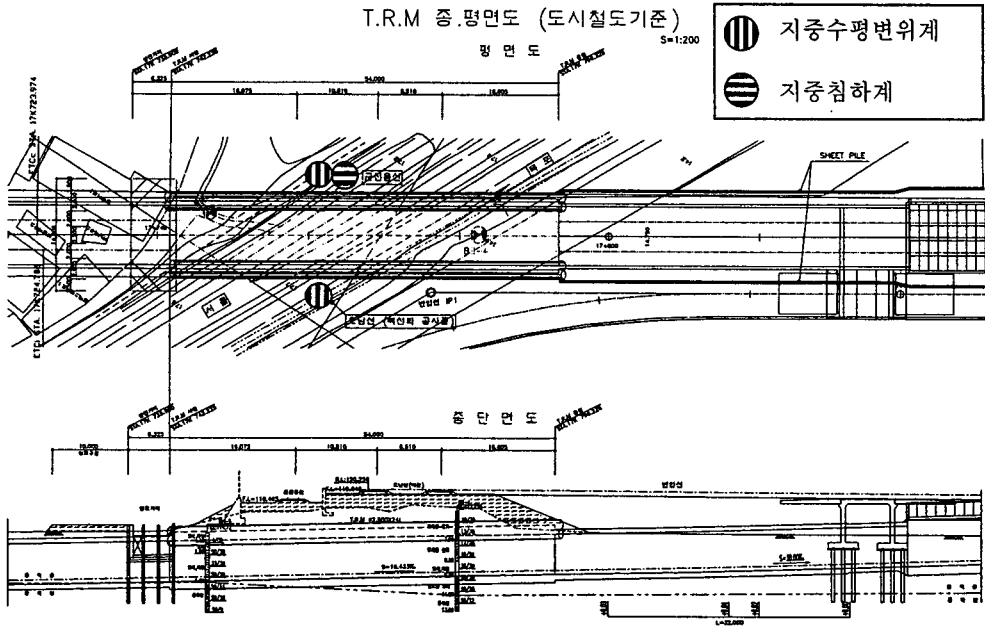


그림 1 T.R.c.M 구간 종평면도

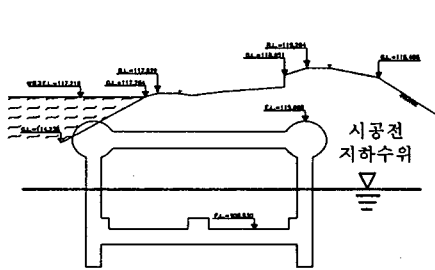


그림 2 T.R.c.M 구간 구조물 횡단면도

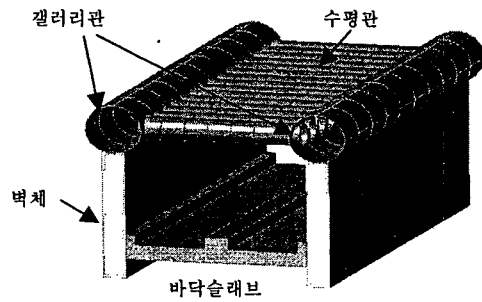


그림 3 T.R.c.M 구조물 입체도

본 구간에 대한 원 설계는 상대적으로 시공 실적이 많은 Front Jacking 공법으로 계획되었으나, 인접 가옥의 민원과 용지보상 지연 문제 등으로 T.R.c.M으로 변경하여 적용하였다. T.R.c.M의 개략적인 시공 순서는 다음과 같다(그림 3).

- 상부 모서리 부분의 갤러리관을 종방향으로 압입 및 내부 굴착
- 종방향 갤러리관 내부에서 횡방향으로 수평관을 압입 후 콘크리트 타설하여 지붕 형성
- 종방향 갤러리관 내부에서 하부로 굴착하여 벽체 형성
- 구조물 내부 굴착 및 바닥슬래브 시공

2.2 시공 및 계측 결과 분석

2.2.1 시공에 따른 지반 변위

(1) 지중침하

지중침하계는 시점부로부터 20 m 지점에 설치되었으며 갤러리관의 중앙으로부터의 거리는 2.0 m 이며, 지표로부터 3.0 m, 10.0 m, 16.0 m 하부의 침하량을 계측하였다. 갤러리관 압입시 계측 결과 선단부가 해당 위치보다 약 20 m 더 진행하였을 때부터 침하량이 나타나기 시작하여 최대 0.15 mm 이하였으며(그림 4), 수평관 압입시 각 지점의 침하량이 급격하게 변한 경우가 있으나 수평관 압입 후에는 각각 0.17 mm, 1.91 mm, 0.19 mm로 안정되는 양상을 나타내었다. 갤러리관 압입시에는 계측기 오차범위 이내의 침하량을 나타낸 것으로 보이며, 이후 시공 과정에서도 매우 작은 변위량을 나타내어 성공적인 시공이 이루어진 것으로 판단된다.

벽체 트렌치 굴착시의 공벽 안정성을 증가시키기 위하여 총 8개의 deep well을 설치하여 구조물 하부까지 약 3~5 m수위를 저하시켜 시공하였으나, 이로 인한 침하는 발견되지 않았다.

(2) 지중수평변위

지중수평변위계는 자동계측을 위하여 진동현식 연속고정형 경사계를 사용하였으며, 시점부로부터 20 m 지점에 좌·우 갤러리관의 각각의 외측에 설치되었으며, 갤러리관의 중앙으로부터의 거리는 2.0 m 이고, 10.0 m 깊이까지 2.0 m 간격에서 측정하였다. 현장 여건상 갤러리관의 압입이 완료된 후에 계측기가 설치되어 수평관 압입 공정 이후부터 계측이 진행되었다. 계측 결과, 수평관 압입시에 갤러리관 방향으로의 변위가 점차적으로 증가하여 갤러리관의 깊이에 해당하는 2.0 ~ 4.0 m 깊이에서 최대 9.09 mm를 나타낸 후 약간씩 감소하는 것으로 나타났다(그림 5). 이것은 갤러리관의 선단부 보강 및 주변 마찰력 감소를 위해 설치된 ring plate에 의한 공극이 메워지면서 발생한 것으로 판단된다.

시공에 의한 지반 변위량이 매우 작고 열차 진동으로 인하여 오차 발생 가능성이 크므로 좀 더 향상된 성능의 계측기를 사용할 경우 정확한 거동 분석에 도움이 될 것으로 판단된다.

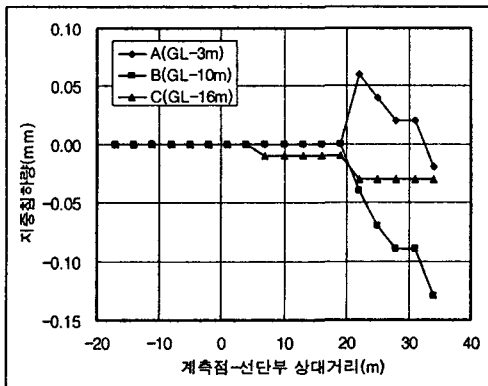


그림 4 지중침하 계측 결과(갤러리관 압입시)

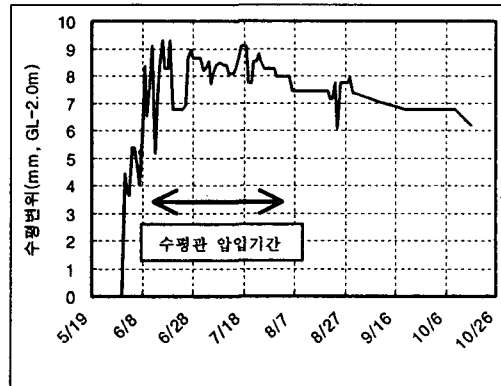


그림 5 지중수평변위 계측 결과

2.2.2 켈러리판 추진력

강관의 추진력은 막장저항과 주면저항의 합으로 이루어지며 이에 대한 일본전국흙관협회의 경험식은 식 1과 같다.

$$F = F_0 + F_1 = 1.32\pi B_c N + \tau_0 \pi B_c L \quad (1)$$

여기서, F : 총 추진력(tf) F_0 : 막장저항 F_1 : 주면저항

B_c : 관외경(m) N : 표준관입시험 결과

τ_0 : 관과 지반의 전단저항(tf/m²) L : 추진길이(m)

시공시 추진력 계측 결과에 대한 선형회귀분석 결과(그림 6), 추진길이에 대한 추진력 관계식은 식 2와 같이 나타났다.

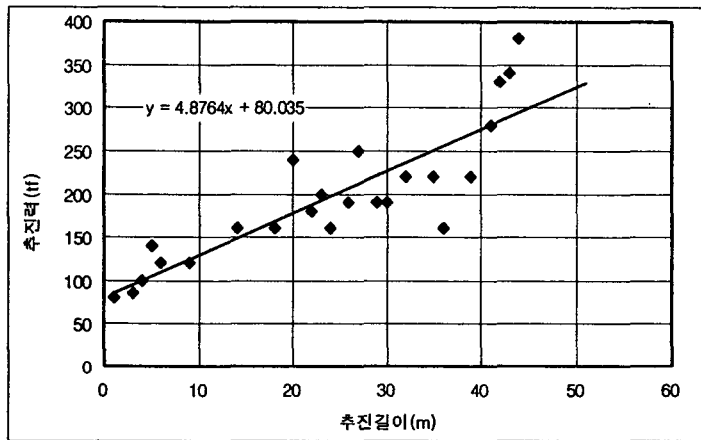


그림 6 추진길이에 따른 추진력 계측 결과

$$F = 80.035 + 4.8764L \quad (2)$$

막장저항의 경우 식 2로 역산한 N 치는 7.7로서 지반조사시의 N 치 4 ~ 20의 범위와 드는 것으로 나타났다. 주면저항의 경우 역산한 τ_0 는 0.62 tf/m²으로서 경험적인 주면저항 범위인 0.8 ~ 2.0 tf/m²보다 약간 작은 것으로 나타났으며, 수직응력과 마찰계수를 이용하는 식 3을 사용한 값인 1.50 tf/m² 보다 작은 것으로 나타났다. 이것은 지반의 이완 및 윤향제에 의한 효과를 식 3이 정확하게 고려하지 못하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

$$\tau_0 \pi B_c = (\pi B_c p + W) \mu' \quad (3)$$

여기서, p : 관 위치의 수직응력(tf/m²) W : 관의 자중(tf/m)

μ' : 관과 흙의 마찰계수(= tan($\phi/2$))

2.2.3 반력벽

현장 지형상 반력벽 배면의 토피고가 낮아 갠리리관 압입시의 반력이 부족할 것으로 검토되어, 가성토(H=6.1 m) 및 Raker로 보강하였다(그림 7). 그러나, 시공시 반력벽 상부에서 예상보다 큰 20 cm 이상의 변위가 발생하였으며, 이것은 수동토압 계산시 상당한 변위가 유발된 상태의 값인 수동토압계수(K_p)를 그대로 사용하였기 때문인 것으로 판단된다.

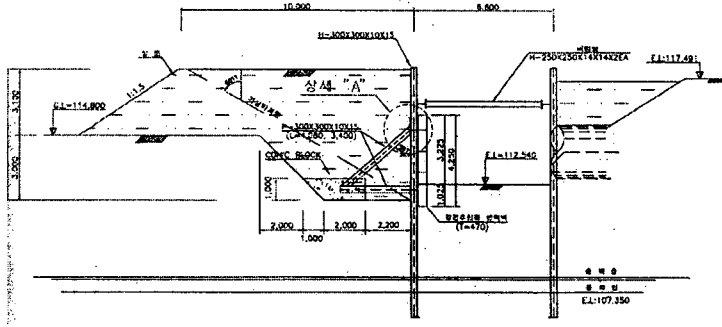


그림 7 반력벽 보강 단면

3. 사례 2 : Semi Shield

3.1 공사개요, 현장 조건 및 공법 개요

본 공사는 수색 ~ 상암 전력구 공사 중 수색역 통과구간으로서 현재 운행중인 철로 및 유류탱크의 하부를 횡단하는 원형 전력구 구조물을 시공하는 구간이다(그림 8). 공사비는 2,500 백만원이며 공기는 13개월이 소요되었다.

구조물은 길이 202 m, 외경 2.81 m, 내경 2.4 m의 원형 라이닝이며 프리캐스트 세그먼트로 구성되어 있다. 현장의 지층 구성은 상부로부터 매립토, 풍화토, 풍화암, 연암, 경암의 순으로 분포되어 있으며, 구조물은 GL-13 ~ 20 m의 연암 및 경암층을 통과하고 구조물 상부와 연암층 상부의 거리는 3~5 m 이다.

본 현장에 적용된 장비는 이수가압식 Semi Shield 장비로서, 일반적인 Shield 장비가 굴진을 위한 반력 장치를 장비 내에 포함하는 데 반해, 본 장비는 반력 장비가 발진기에 설치되는 것이 특징이다. 이로 인하여 굴진 장비가 상대적으로 간단해지는 장점이 있으나, 라이닝과 주변 지반의 마찰로 인하여 굴진 거리에 제약이 따르며 때로는 터널 내에 반력을 증가시키기 위한 장치가 필요할 수도 있다.

Semi Shield 공법의 개략적인 시공 순서는 다음과 같다.

- 발진기지 굴착 및 반력벽, 반력 장치 설치
- 굴진 및 라이닝 설치
- 도달기지 굴착
- 도달 Shield 장비 인상

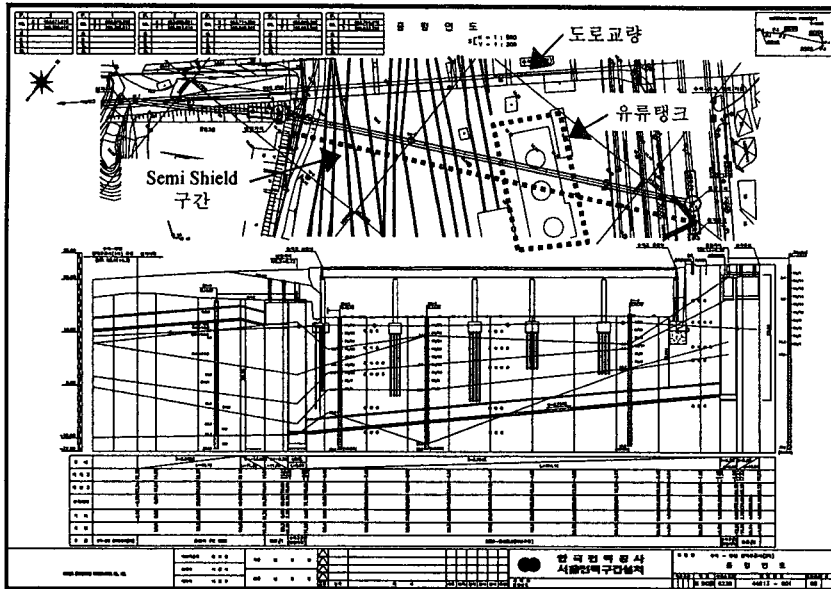


그림 8 Semi Shield 구간 종평면도

3.2 침하 예측 및 계측 결과 분석

본 구간은 열차의 통행이 빈번하고 상부에 유류탱크가 위치하여 터널 시공에 의한 상부구조물 손상 가능성에 대한 검토가 요구되었다. 이에 따라 심도를 원 설계시보다 1m 증가시켰으며, 수치해석을 통하여 지반 변형량을 예측하였다. 표 1과 같은 물성을 사용하여 그림 9의 단면에 대하여 수치해석을 수행한 결과 지표 침하량은 0.46 mm로 예측되었다. 해석 단면의 지표에서 터널 천단부까지의 깊이(H)는 15.23 m 이며, 터널 외경은 2.81 m로서 H/D는 6.06이다.

표 1 해석 지반 물성

지층 구간	매립도	풍화토	풍화암	연암	경암	
GL-, m	0.0 ~ 4.6	~ 7.75	~ 12.05	~ 17.25	17.25 ~	
단위중량, γ	tf/m ³	1.8	1.9	2.2	2.5	2.5
탄성계수, E	10 tf/m ²	1,000	5,000	20,000	50,000	100,000
포아송비, ν		0.35	0.35	0.30	0.25	0.25
점착력, C	tf/m ²	0.0	1.0	10.0	25.0	40.0
마찰각, ϕ	degree	28	30	33	35	35

시공시 계측 결과 지표침하편의 경우 최대치의 범위는 +5 ~ -5 mm 의 범위에 분포하나 대부분 +2 ~ -2 mm를 나타내었으며, 지중침하계의 경우 +0.17 ~ -0.20 mm 의 값을 나타내었고, 건물경사계의 경우 각변위 1/1000 이하로 측정되었다. 따라서, 측정오차를 고려할 때 터널 시공으로 인하여 상부구조물 및 지반에의 영향은 없었던 것으로 나타났으며, 이것은 터널의 H/D 비가 6.06으로 크고 상대적으로 양호한 연암 및 경암층을 통과하였기 때문인 것으로 판단된다.

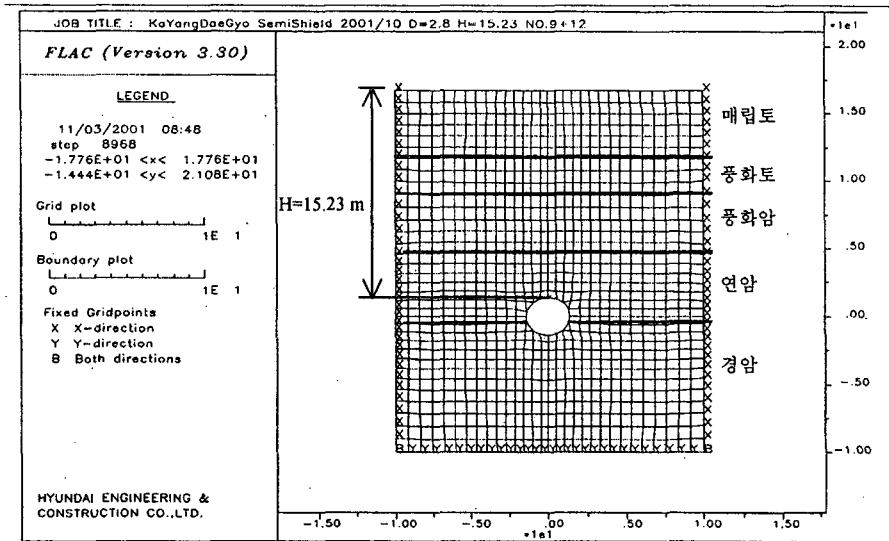


그림 8 해석 단면

4. 결론

- 1) 기존 철로의 하부를 횡단하여 신규 노선을 시공할 경우 현장 주변 여건과 지층조건을 감안하여 T.R.c.M 및 Semi Shield 공법을 적용한 결과, 기존 구조물에 영향을 최소화 하면서 시공이 가능하였다.
- 2) 갯터리관 추진시에 생기는 공극으로 인하여 주변 지반에서 갯터리관 쪽으로 변위가 발생할 가능성이 있는 것으로 나타났다.
- 3) 갯터리관 추진력 산정시 주변저항은, 지반 이완 및 윤활제의 영향으로 인하여 수직응력과 마찰계수를 이용하여 산정하는 것보다 토질에 따른 경험치를 사용하는 것이 적절한 것으로 나타났다.
- 4) 반력벽의 설계시 수동토압계수를 그대로 적용할 경우 반력벽의 변위가 증가될 수 있는 것으로 나타났다.

※ 참고문헌

1. 김홍기, 이윤범, 이은철 (2003년), “운행중인 철도선로 하부 횡단공법(T.R.c.M) 시공 사례, 광주 도시철도 1호선 TK-2 공구”, 대한토목학회 광주·전남지회 토목학회지, 제3호
2. 광주도시철도 1호선 TK-2공구 계획보고서
3. 광주도시철도 1호선 TK-2공구 설계보고서
4. 일본전국흙관협회 (1998년), “흙관설계시공요람”, 동일산업주식회사 기술자료
5. 김동준, 박영호 (2001년), “유류탱크 통과구간 지반침하 안정성 검토 보고서”, 현대건설 기술연구소 현장지원 보고서