

정거장 하부를 초근접 통과하는 비개착공법 설계 사례

Case Study on use of non-open cut method for adjacent understructure of a subway station.

이 호*, 권오식[†], 장우선**, 김승진***

Ho Lee*, O Sik Kwon[†], Woo Sun Jang**, Seung Jin Kim***

Abstract The purpose of this study is planning a station which has a multi-level crossing with the existing station. A passageway to the waiting area and the shortest transfer were considered and to secure convenience of platform users, stability of the existing station's foundation and constructability, non-open cut method was planned. To apply optimum non-open cut method, 3-dimensional ground properties were analyzed and construction status of station's foundation was reflected in planning. In consideration of user's usability, UPRS is applied to non-open cut method for a passageway. HUS is applied to non-open cut method for a platform in consideration of securing constructability and stability of the existing station's foundation. In order to procure stability of an operating station and non-open cut method, the shortest extension was designed. For foundation stability evaluation considering load effect, excavation effect and groundwater effect, three-dimensional numerical analysis with the consideration of construction phase and model test were performed.

Keywords : Non-open cut method, UPRS, HUS, Model test, Three-dimensional numerical analysis

초 록 운영중인 정거장 하부를 입체 교차하는 정거장을 계획함에 있어서 기존 정거장으로 인해 단절된 대합실을 연결하는 연결통로와 최단거리 환승을 고려한 승강장은 이용자의 편의성, 기존 정거장 기초의 안정성 및 시공성을 확보하기 위해 비개착공법을 계획하였다. 상세 지반조사 결과 입체적인 지반특성을 분석하고 정거장 기초의 시공현황을 설계에 반영하여 최적의 비개착공법을 적용하였다. 연결통로에 적용한 비개착공법은 이용자의 편의성을 고려하여 구조체 개념의 UPRS공법을 적용하고 승강장에 적용한 비개착공법은 기존 정거장 기초의 안정성 확보와 시공성을 고려하여 지보재 개념의 HUS공법을 적용하였다. 운영중인 정거장과 비개착공법의 안정성 확보를 위해 적용연장은 최단거리로 계획하고, 하중영향, 굴착영향, 지하수영향을 모두 고려한 기초의 안정성 평가를 수행하였으며, 시공단계를 고려한 모형시험, 3차원 수치해석을 수행하여 적정성을 검증하였다.

주요어 : 비개착공법, UPRS, HUS, 모형시험, 3차원 수치해석

1. 서 론

○○철도 건설공사 ○공구는 총 연장 2,380m로 터널 2,210m 정거장 1개소, 본선 환기구 4개소로 계획되었으며, 신설되는 정거장은 상부에 운영중인 교량형 정거장이 위치하고 있어서

† 교신저자: (주)에스코컨설팅 과장(leonve@hanmail.net)

* (주)에스코컨설팅 상무

** (주)이디씨엠 전무

*** (주)다산이엔지 상무

직상부에 근접한 정거장 기초의 안정성을 고려한 최적의 굴착공법 선정이 매우 중요한 구

간이다. 따라서 기존 정거장 기초의 안정성 확보를 위해 비개착공법을 적용하였으며, 상세 지반조사 결과를 반영하여 입체적인 지반특성을 설계에 반영하였다. 또한 운영중인 정거장과 비개착공법의 안정성 확보를 위해 적용연장을 최단거리(L=28m)로 계획하고 하중영향, 굴착영향 및 지하수영향을 모두 고려한 기초 안정성 평가를 수행하였으며, 모형시험과 3차원 정밀 수치해석을 통해 적용 공법의 적정성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 현황 분석

2.1.1 기존 정거장 기초 현황 분석

준공도서 및 시공현황 분석과 현장 물리탐사를 통하여 Fig.1과 같이 기존 정거장 기초의 근입심도를 확인하였다. 자료 분석결과 본선 기초는 $\Phi 500\text{mm}$ 의 PHC 말뚝기초로 시공되었으며, 승강장 기초는 $\Phi 600\text{mm}$ 의 PHC 말뚝기초로 시공되었다. Fig.2와 같이 현장 토모그래피탐사와 자력탐사를 통해 실제 기초의 근입심도를 확인하였으며, 그 결과 준공도서에서 제시된 결과와 유사한 것으로 판단되어 설계 기초자료의 신뢰성을 확보하였다.

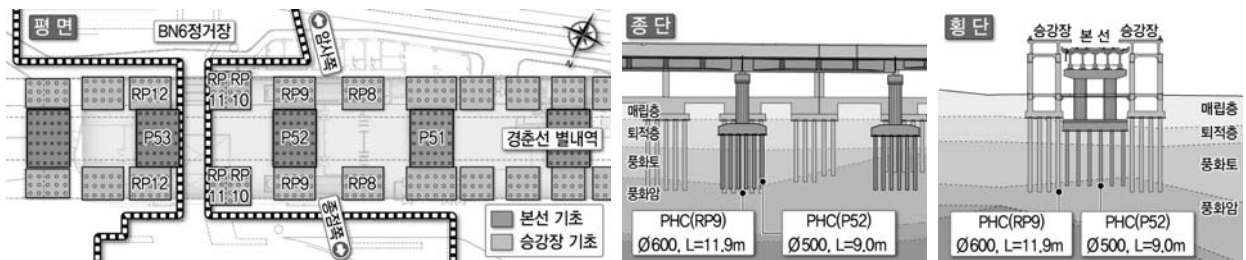


Fig. 1 Foundation status of existing subway station

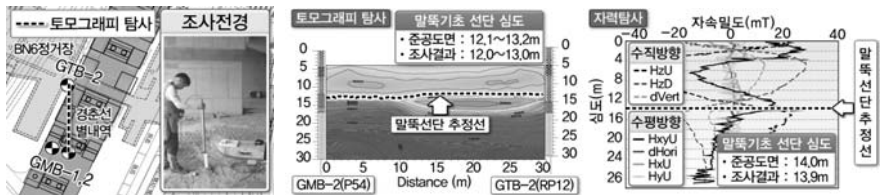


Fig. 2 Investigation of foundation construction status

2.1.2 지반조건 분석

정거장 구간에 총 11공의 시추조사를 수행하여 Fig.3과 같이 입체적인 지반특성을 분석하고 화강암과 편마암의 암종 변화 구간을 확인하였으며, 안정성 검토시 이를 반영하였다.

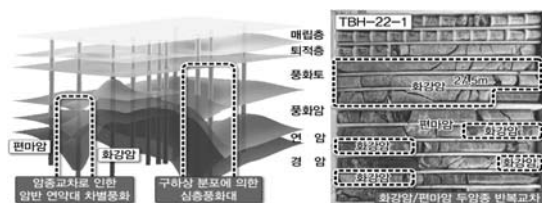


Fig. 3 Detailed investigation result of ground properties

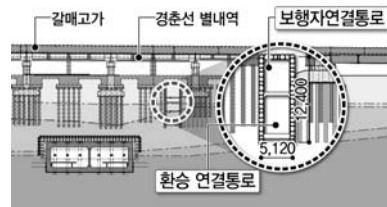
2.2 비개착공법 계획

2.2.1 연결통로

연결통로는 기존 운영중인 정거장으로 인해 단절된 신설 정거장의 대합실을 연결하기 위해 Fig.4와 같이 최단거리로 계획하였다. 연결통로는 기존 정거장 대합실 내 시공을 배제하고 말뚝기초를 저축하지 않는 구조체 개념의 UPRS공법을 적용하였으며, UPRS공법 적용을 통해 연결통로 내 폭 3.5m 확보로 지역주민과 환승객의 이동 편의성을 향상시켰다.



(a) The Shortest passageway plan

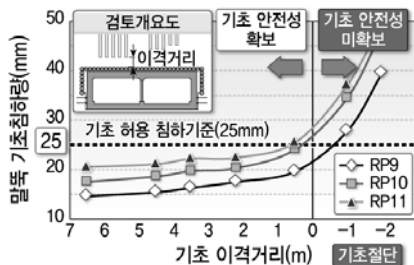


(b) Plan of non-open cut method's cross section

Fig. 4 Plan of non-open cut method for passageway

2.2.2 승강장

승강장은 당초 2-Arch터널로 계획되었으나, 기존 말뚝기초 하부 굴착에 의해 기초 변위가 과도하게 발생하고, 콘크리트라이닝의 연결부 누수가 우려되어 안정성과 시공성이 우수한 지보재 개념의 HUS공법을 적용하였다. 또한 비개착공법과 기존 정거장 말뚝기초와의 이격거리를 변수로 하는 매개변수 해석결과를 반영하여 2m 이상 이격되도록 계획하였다. (Fig.5)



(a) Stability review of each distance's foundation



(b) Plan of non-open cut method's platform

Fig. 5 Plan of non-open cut method for platform

지보재 타입의 비개착공법은 굴착중 기존 정거장 말뚝기초의 영향을 최소화하고 굴진효율 향상을 위해 Fig.6과 같이 지반특성에 맞는 기계굴착 전용장비를 적용하였고, Fig.7과 같이 T형 가이드, 다중방수 처리 등을 계획하여 구조물의 시공품질을 확보하였다.



Fig. 6 Machine excavation with exclusive equipment

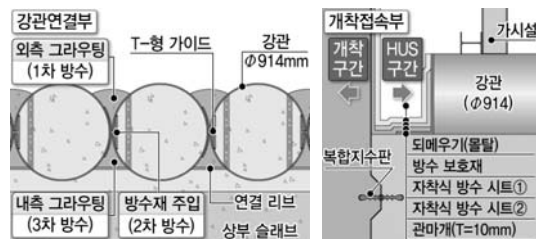


Fig. 7 Measure of steel tube link and open cut connection

2.3 안정성 검토

2.3.1 기존 정거장 기초 안정성 검토

(1) 기초 안정성 검토 방법

기존 정거장 말뚝기초 안정성은 Fig.8과 같이 기초에 영향을 미치는 상부하중 영향(S1), 기초하부 굴착 영향(S2) 및 지하수위 저하 영향(S3)의 3가지 인자를 모두 고려하여 평가하였다.

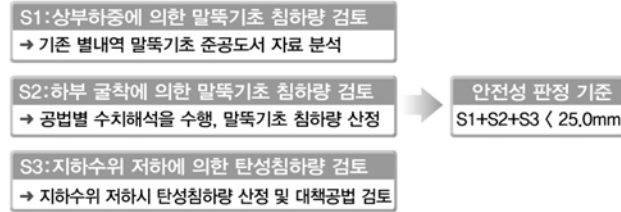


Fig. 8 Review method of foundation stability

(2) 상부하중 영향(S1) 검토

상부하중 영향(S1)은 Table 1과 같이 기존 정거장 말뚝기초의 준공도서 자료를 분석하여 설계에 반영하였으며, 기초의 발생 침하량은 구조물 기초 설계기준에 의한 방법[1]과 경험적인 방법[2]을 적용하여 산정하였다. 그 결과 말뚝기초에 작용하는 하중에 따라 발생 침하량은 7.9~14.8mm로 예측되었다.

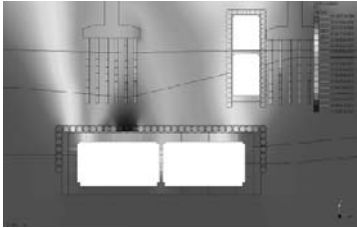
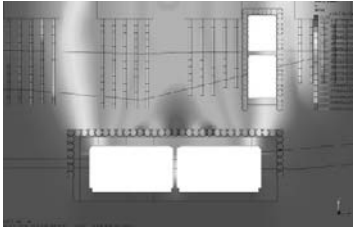
Table 1 Drawings and specifications analysis of existing foundation

구분	말뚝 길이	지지력(kN/분)			침하량(mm)		
		허용지지력	설계하중	평가	발생침하	허용기준	평가
P52	9.0	816	711.9	O.K	7.9	25.0	O.K
RP9	11.9	1,314	684.2	O.K	8.1		O.K
RP10	10.0	1,251	811.7	O.K	10.7		O.K
RP11	9.0	1,215	1,075.9	O.K	14.8		O.K

(3) 기초하부 굴착 영향(S2) 검토

기초하부 굴착에 의한 영향(S2)은 단계별 시공순서를 고려하여 3차원 안정성 검토 보다 안전측 평가가 가능한 2차원 안정성 검토를 수행하여 말뚝기초의 침하량을 예측하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Review result of effects by lower excavation

구분	본선 기초	승강장 기초
침하량(mm)		
	P52 : 8.7mm	RP9 : 8.6mm, RP10 : 8.8mm, RP11 : 6.8mm

(4) 지하수위 저하 영향(S3) 검토

지하수위 저하 영향은 기존 정거장 말뚝기초 하부 굴착에 따라 지하수위의 저하가 우려되므로 유효응력 증가로 인해 발생하는 즉시침하량을 평가하는 방법으로 말뚝기초의 침하량을 산정하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다. 침투류 해석결과 차수그라우팅 미적용시 지하수위 저하량은 4.5m, 차수그라우팅 적용시 지하수위 저하량은 2m로 예측되어, 지하수위 저하 영향을 최소화하기 위해 비개착공법의 강관 시공전에 차수그라우팅을 선 시공하도록 계획하였다.

Table 3 Calculation result of settlement by decline of ground water level

구 분	차수그라우팅 미적용	차수그라우팅 적용
침하량(mm)	4.2	0.8

(5) 기존 정거장 기초 안정성 평가 결과

기존 정거장 말뚝기초의 상부하중 영향(S1), 기초하부 굴착 영향(S2) 및 지하수위 저하 영향(S3)을 모두 고려한 결과 Table 4와 같이 말뚝기초의 침하량 허용기준을 만족하여 안정성을 확보하였다.

Table 4 Assessment result of foundation stability

구 분	침하량(mm)				허용기준	평가
	S1	S2	S3	S1+S2+S3		
P52	7.9	8.7	0.8	17.4	25.0	O.K
RP9	8.1	8.6	0.8	17.5		O.K
RP10	10.7	8.8	0.8	20.3		O.K
RP11	14.8	6.8	0.8	22.4		O.K

2.3.2 모형시험 결과

기존 정거장 말뚝기초 하부 굴착에 의한 안정성 검증을 위해 Fig.9와 같이 상사비(1/40)를 적용하여 실내 축소 모형시험을 수행하였다. 비개착공법의 구조물 설치 전 내부에 LVDT 및 Strain gauge를 부착하였고 비개착공법의 구조물 내부에 모래를 채우고 유압셀을 이용하여 말뚝에 하중을 재하함으로써 지중응력 작용조건을 모사하였다. 모형시험 결과 말뚝기초 변위는 0.2mm로 계측되었고, 상사비를 고려한 환산변위는 8.0mm로 산정되었다(S2). 따라서 앞 절에서 언급한 바와 같이 상부하중 영향(S1)과 지하수위 저하 영향(S3)을 모두 고려할 경우에도 침하량은 22.8mm로 예상되어 허용기준치인 25.0mm를 만족하여 안정성 확보가 가능할 것으로 판단되었다.

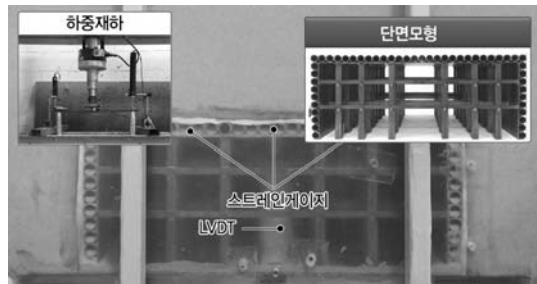


Fig. 9 Front view of model experiment

2.3.3 3차원 안정성 검토

단계별 시공순서를 고려하여 연결통로 비개착공법(UPRS)과 승강장 비개착공법(HUS)을 반영한 3차원 정밀 안정성 검토를 수행하였다. Fig.10~12는 지반변위 발생경향을 보여주고 있으며, 비개착구조물과 기존 정거장 말뚝기초의 침하 및 궤도침하 발생 결과는 Table 5와 같다.

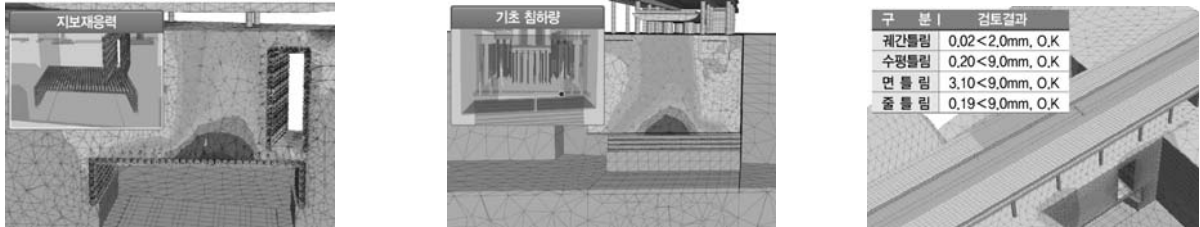


Fig.10 Stability review of non-open cut method Fig.11 Settlement review of existing subway station Fig.12 Settlement review of tracks

Table 5 Result of review in 3-dimensional stability

구분		기초 침하량(mm)				기존 정거장 기초 침하(mm)
		P52	RP9	RP10	RP11	
연결통로	강관압입	0.1	0.1	0.4	1.9	0.5
	강관 내부 굴착	2.2	1.7	2.0	3.8	0.7
	굴착 완료	2.7	1.9	2.3	4.8	1.2
승강장	강관압입	2.7	1.9	2.8	4.8	1.2
	강관 내부 굴착	3.9	2.6	4.4	4.9	1.4
	굴착 완료	5.7	4.4	5.1	5.7	1.8

3. 결론

본 연구는 운영중인 정거장 하부를 근접하여 입체교차 통과하는 신설 정거장을 계획함에 있어서 안정성 확보, 시공성 향상 및 민원예방을 위해 비개착공법을 적용한 설계 사례이다.

- (1) 연결통로는 기존 정거장 말뚝기초 저축을 배제하는 구조체 개념의 UPRS공법을 적용함으로써 역사 내 시공을 배제하여 민원발생을 최소화 하였으며, 안정성 및 시공성을 향상시켰다.
- (2) 승강장은 안정성과 시공성이 우수한 지보재 개념의 HUS공법을 적용하고 기존 정거장 말뚝기초와의 이격거리는 매개변수 검토를 통해 2m 이상 이격되도록 계획하였다.
- (3) 기존 정거장 말뚝기초의 안정성은 상부하중 영향, 기초하부 굴착 영향 및 지하수위 저하 영향의 3가지 인자를 모두 고려하여 안전측으로 평가하였으며, 그 결과 허용기준을 만족하였다.
- (4) 상사비를 고려한 실내 축소 모형시험을 통해 기존 정거장 말뚝기초 안정성을 검증하였다.
- (5) 단계별 시공순서를 고려한 3차원 정밀 안정성 검토를 통해 연결통로와 승강장 비개착 구조물, 기존 정거장 말뚝기초 및 궤도침하의 안정성을 검증하였다.

참고문헌

- [1] Vesic, A. S (1970) Tests on Instrumented Piles, Oqeechee River Site, Jr. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol.96, SM2, pp.561-584
- [2] CGS (1978) Canadial Foundation Engineering Manual 4th Edition, Canadian Geotechnical Society, pp. 280