

강관압입후 슬롯 홀을 갖는 비개착 터널공법의 현장적용에 관한 연구

채영석 · 송관권* · 민인기***

우송대학교 건축공학과 · *东北大学资源与土木工程学院 · **우송정보대학 철도토목과
(2014. 10. 3. 접수 / 2014. 12. 15. 수정 / 2014. 12. 26. 채택)

A Study on Sites Application of Non-open-cut Tunnel Method with Slot Holes in Steel Pipe Pumping

Young-suk Chae · Kwan-kwon Song* · In-ki Min***

Department of Architecture Engineering, Woosong University

*Department of Civil Engineering, North Eastern University

**Department of Railroad and Civil Engineering, Woosong Information University

(Received October 3, 2014 / Revised December 15, 2014 / Accepted December 26, 2014)

Abstract : In the study, a new non-open cut tunnel steel pipe method using slot hole has been developed. As is overcomes shortcomings of conventional methods, it is applied to the field. The main concept of the new method is the steel pipe pumping system with slot holes which, by means of formation slot holes between each steel pipe, applied to the magnitude of the relaxed earth pressure caused by excavation to the ground to prevent ground displacement. The stability of the support members and effect of displacement control of the new method were verified through several ways as numerical analysis and site test. The new method was applied to the construction of a 11.5m wide, 7.4m high and 50m long section that passes side subway and large buildings in inner city. By applying the new method, tunnel construction was successfully completed in 6 months. It decreases the construction period to 30% compared to that of conventional methods, and ground was almost negligible.

Key Words : non-open cut, large steel pipe, slot-hole, ground displacement

1. 서론

도시기능이 포화된 상태인 현재, 인구의 도시집중화로 인한 교통량의 증가 및 지상구조물의 증가로 인하여 지하공간의 활용이 절실하게 요구되고 있다. 도심지 내 지하공사는 대부분 소음과 진동으로 인한 민원 발생과 환경문제로 높은 안전성이 요구되는 공법을 적용하고 있다. 지하공간 활용을 위하여 지하구조물을 시공하는 방법은 크게 개착공법과 비개착공법으로 나눌 수 있다. 개착공법은 굴착을 위한 벽체를 시공한 후 굴착진행과 동시에 지보재(어스앵커, Strut 등)를 설치하면서 굴착하는 공법으로 일반적인 굴착공사에 가장 많이 이용된다¹⁾. 그러나 개착공법을 도심지 공사에 적용할 경우, 교통체증의 유발, 지장물 이설비용 발생 등의 문제가 발생할 수 있어 최근에 비개착공법의 적용이 늘어나고 있는 추세이다²⁻³⁾. 현재 적용되는 비개착

의 종류는 Pipe Roof 공법, PRS(Pipe Roof Structure)공법, UPRS(Upgrade Pipe Roof Structure)공법, STS공법(Steel Tube Slab)공법, TRcM(Tubular Roof construction Method)공법, NTR(New Tubular Roof)공법 등이 있다⁴⁻⁵⁾. 이러한 비개착 공법의 큰 개념은 굴착전 지반 이완 등의 주변변형을 억제할 수 있는 임시 지보를 설치한 후 안전하게 굴착하여 구조물을 시공하는 것으로 개착공법의 적용여부와 현장 지반조건, 작업공간의 확보, 시공성, 경제성등을 고려하여 최적의 공법을 선택하여야 한다⁶⁻⁷⁾. 본 연구는 기존의 비개착 공법에 대한 단점을 보완하고 경제성이 고려된 공법을 개발하여 그 특징을 소개하고 이에 대한 유한요소 해석 및 현장계측을 통하여 공법의 우수성을 소개하고자 하였다. 제안된 공법은 지하구조물 형성 시 지상 및 주변의 영향을 최소화하기 위해 강관을 압입한 상태에서 강관 내부에 보강품을 설치하고, 강관과 강관 사이에 슬롯홀을 형

* Corresponding Author : In-ki Min, Tel : +82-42-629-6380, E-mail : ikmin@wst.ac.kr
Department of Rail Construction, Woosong Information University, 171, Dongdaeyeon-ro, Dong-gu, Daejeon 300-719, Korea

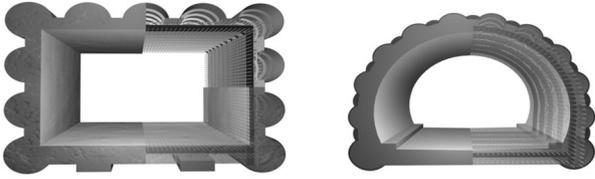


Fig. 1. non-open cut tunnel method using steel pipe.

성한 후 철판으로 일체화한 다음, 형성된 Roof에 수직 지보재를 설치하면서 굴착하는 공법으로 지하구조물 형성 시 지상 및 주변의 구조물에 대한 영향을 최소화할 수 있으며, 강관 측면부 절단(슬롯홀)을 최소화하여 상부의 지반 유실을 억제하며, 슬롯홀 상부를 격벽철판으로 용접하므로 구조체의 방수를 확보하는 공법으로 개발되었다(Fig. 1 참조).

이러한 공법에 대한 해석은 지반의 복잡한 탄소성 거동, 응력장 등에 대해 비선형 해석을 통하여 그 거동을 검증하여야 하나, 대부분 2차원 해석을 통하여 이루어지고 있다⁸⁾. 따라서, 본 연구는 3차원 해석을 통하여 구조물에 대한 지반의 영향을 고찰하고자 하였으며, 그 결과를 이용하여 도심지 내 실제 구조물에 적용함으로써 공법의 유용성을 검토하고자 하였다.

2. 강관압입후 슬롯홀을 갖는 비개착 공법

2.1 공법개요

강관압입 후 슬롯홀을 갖는 본 공법의 시공순서는 Fig. 2와 같다. 대상지반에 추진기지를 설치하고 강관 압입시 반력으로 사용할 반력벽, 추진틀 및 선도관을 설치한다. 강관을 추진할 레일을 설치한 후, 굴착진행 방향으로 대구경 강관($\phi 1800$ mm) 압입하고 내부굴착을 실시하되, 주변지반의 마찰력 감소를 위해 관 주위에 벤토나이트를 주입한다. 그 후 강관 내 보강품을 설

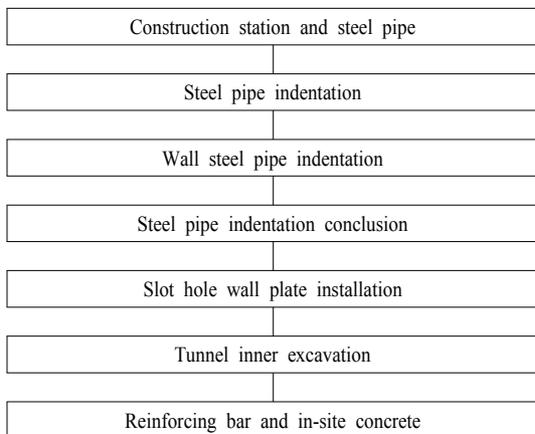


Fig. 2. Flow chart for construction steps.

치하고, 측면부 슬롯홀과 격벽철판을 설치한다. 강관 하부를 절단하고 지보를 설치하여 터널 내부 1차 굴착을 실시한다. 마지막으로 철근을 배근하고 콘크리트를 타설하여 구조물이 완성된다.

본 연구에서 개발된 강관 내에 슬롯홀을 갖는 비개착 공법은 강관 내 콘크리트가 채워져 지반에 압력으로 작용하게 되므로 주동적 개념을 적용함으로써 상대적으로 토질변화에 대한 대처 능력이 우수하고, 선도관 조정장치에 의해 선형을 조정하므로 곡선구간에서도 시공이 가능하다. 또한, 강관을 본 구조물로 사용함으로써 공기단축 및 인접 강관과 맞물려 구조물의 강성이 증대되므로 안정성이 확보된다(Carrieri 1990).

3. 강관압입후 슬롯홀을 갖는 비개착 터널공법의 수치해석적 검증

3.1 3D 수치해석

비개착 터널공법의 현장적용에 앞서 그 안정성을 검증하기 위해 3D 수치해석을 수행하였다. 3D 수치해석에 사용된 프로그램은 MIDAS-GTS Ver. 3.0이며, 적용 모델은 Mohr-Coulomb model을 사용하였다. 해석 모델링시 지보재는 강관($\phi=1350$ mm, 수평간격 370 mm, 수직간격 500 mm), 강지보($350 \times 350 \times 12 \times 19$ mm), 내부 라이닝으로 모델링하였으며, 토압계수는 0.5를 적용하였다. 3D 수치해석에 사용된 요소망은 Fig. 2와 같다. 또한, 3D 수치해석에 적용된 지반 및 지보재의 물성치는 Table 1, Table 2와 같다. 또한, 현장 내 시공단계별로 시공이 이루어지는 것을 고려하여 단계별로 해석을 실

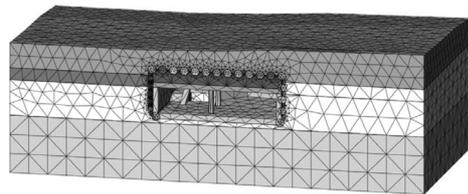


Fig. 3. Element mesh for 3-dimensional analysis.

Table 1. Material properties of the grounds for 3-dimensional analysis

	Deformation Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Unit weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Frictional angle(°)
Weathered ground	200	0.3	22.0	30.0	33

Table 2. Material properties of the reinforcents for 3-dimensional analysis

-	Deformation Modulus (Mpa)	Poisson's Ratio	Unit weight (kN/m ³)	Allowable Stress (MPa)	Remarks
Steel support	210,000	0.3	78.5	140	
shotcrete	26,000	0.25	25.0	7~8	composite material property is applied
Steel support + Reinforced concrete	210,000	0.3	78.5	-	

Table 3. Results of numerical analysis

	Ground displacement		Bending compressive stress	
	Settlement at crown	Convergence	Steel ribs	Shocrete
Max. value	1.15 mm	0.50 mm	0.9MPa	0.185MPa

시하여 그 결과를 고찰하였다(Table 4).

3.2 수치해석 결과

3D 수치해석 결과 시공단계별 최대 지반변위는 천 단침하 1.15 mm, 측벽변위 0.50 mm로 나타났다(Table 3 참조). 또한, 강지보에 작용하는 최대 휨 압축응력은 0.99 MPa, 슛크리트에 작용하는 최대 휨 압축응력은 0.185 MPa로 나타나 강재 및 슛크리트의 허용응력이 내로 나타났다(Fig. 3, 4, Table 2참조). 따라서 3D 수치 해석을 통해 지반변위와 지보재 응력을 검토한 결과 본 연구에서 개발된 대구경 강관내 슬롯홀을 갖는 비개착 터널공법은 그 안정성을 충분히 확보할 것으로 판단된다.

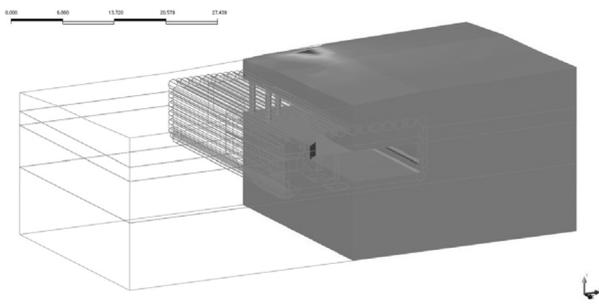


Fig. 4. Displacement of z-direction,

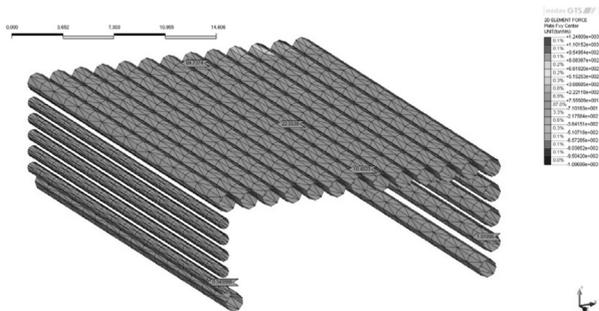


Fig. 5. Flexural stress acting to large steel tube.

Table 4. Sequential analysis step

Analysis step	Non-consider nearly building	Consider nearly building
1	Ground modelling	Ground modelling
2	Steel pipe press and external grouting	Site excavation
3	Tunnel excavation and Inner support(1)	Steel pipe press and external grouting
4	Tunnel excavation and Inner temporary support(2)	Tunnel excavation and Inner support(1)
5	Tunnel excavation and Inner support(3)	Tunnel excavation and Inner temporary support(2)
6	Con'c structure placing (EPS)	Tunnel excavation and Inner support(3)
7	Break vertical temporary support	Con'c structure placing (EPS)
8	-	Break vertical temporary support
9	-	Site backfill

시공단계별 해석결과, 중력방향으로 발생한 변위를 Table 5에 나타내었다. 그 결과, 굴착으로 인한 상부 도로부의 변위량은 -0.17 ~ -1.11 mm로 미미하게 나타났다. 이는 구조물의 허용기준인 25 mm 이내로 본 공법의 적용가능성을 알 수 있었다. 또한, 강관 압입 시 지반의 변위는 증가하다가 압입 후 지보공의 설치로 지반의 변위는 작아지는 것으로 나타났다. 횡방향 변위의 경우, 도로부위 변위 발생이 공법 적용 후 벽체 하단부에 압입된 강관에서 나타났으며, 그 값은 0.38 mm로 안정적인 값을 얻을 수 있었다(Table 5 참조). 또한, 기존의 구조물 축조가 이루어진 상태에 적용할 경우, 이에 대한 영향을 검토하기 위해 해석을 실시한 결과, Table 6과 같이 굴착에 따라 인접 구조물의 변위는 0.34 mm ~ 0.41 mm로 단계별로 발생하였는데, 이는 굴착에 따른 지중응력이 해방되어 발생하는 것으로 구조물의 안정성을 확보한 것으로 생각된다.

Table 5. Displacement result with construction step

STEP 2,3		
	$D_y(\text{mm})=1.11$	$D_y(\text{mm})=1.05$
STEP 4,5		
	$D_y(\text{mm})=1.01$	$D_y(\text{mm})=0.93$
STEP 6,7		
	$D_y(\text{mm})=0.33$	$D_y(\text{mm})=0.17$

Table 6. Displacement result with construction step

STEP 2,3		
	$D_y(\text{mm})$	$D_y(\text{mm})$
STEP 4,5		
	$D_y(\text{mm})$	$D_y(\text{mm})$
STEP 6,7		
	$D_y(\text{mm})$	$D_y(\text{mm})$
STEP 8,9		
	$D_y(\text{mm})$	$D_y(\text{mm})$

4. 현장적용성 검토

4.1 현장개요

대구경 강관 내 슬롯홀을 갖는 비개착 터널공법은 상주-영덕 구간의 고속도로공사(왕복 6차선, 일 평균

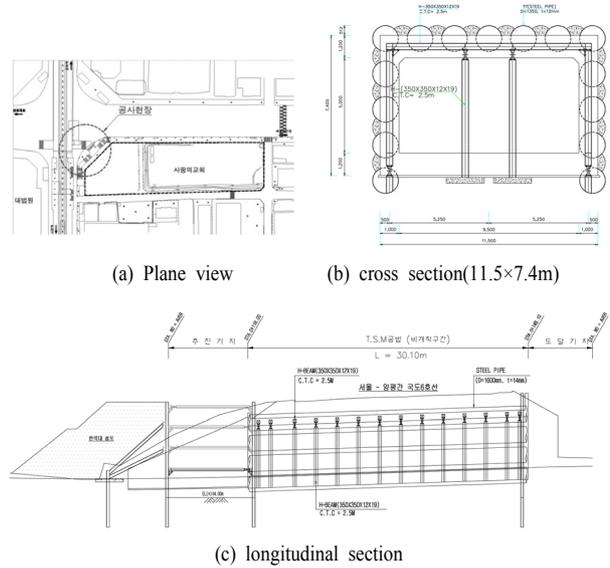


Fig. 6. Design drawings.

약 50만대의 교통량) 구간과 국도 6호선 덕소진입도로 (왕복 4차선, 일평균 약 30만대의 교통량) 곡선구간, 서초역 지하출입구 통과구간 총 3개소에 적용되었다(Fig. 6 참조). 해당구간들은 당초

기존 비개착 공법으로 설계 되었으나 Fig. 6과 같이 최소토피가 약 50~100 cm에 불과하고, 곡선구간 및 도심지 지하시설물 등으로 시공이 어려운 점을 고려하여 본 연구에서 개발된 공법을 적용하였다. 구조물의 연장은 약 30~50 m이며, 단면의 폭은 11.5 m, 높이 7.4 m로 3개 현장 모두 비슷한 상황이다.

4.2 현장적용 결과

본 공법을 이용한 비개착 터널공법의 공사기간은 약 6개월로 40 m 구간의 시공을 완료하여 비슷한 현장의 타 공법에 비해 약 40% 공기단축효과(단면크기 및 굴착거리 고려)를 확인하였다. 또한, 기존 건물의 침하량

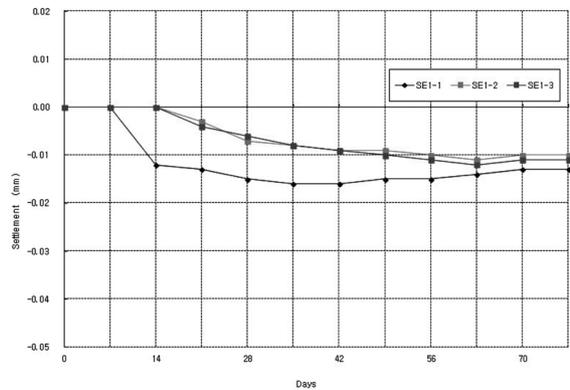


Fig. 7. Settlement variation for ground building(A-site).

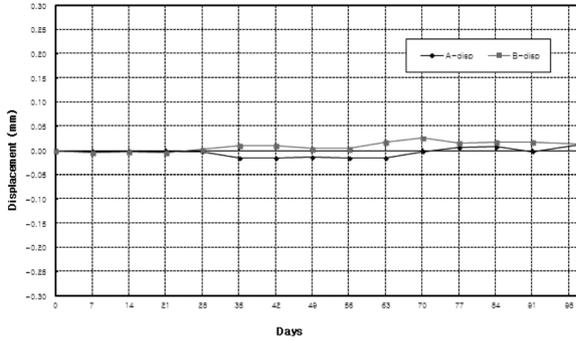


Fig. 8. Settlement variation for ground building(B-site).

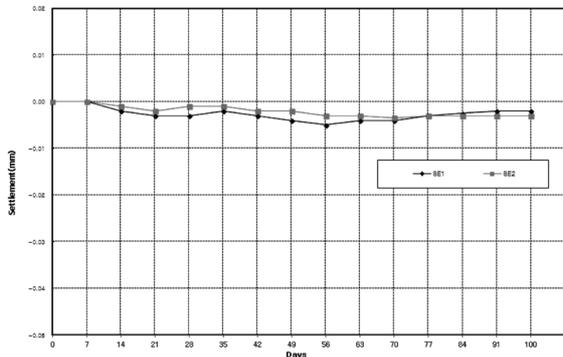


Fig. 9. Settlement variation for ground building(C-site).

을 3개 현장에 계측한 결과, Fig. 7~9와 같이 A-site의 경우 0.015 mm, B-site 0.010 mm, C-site 0.003 mm로 나타났다. A-site와 B-site의 경우, 도심지내 구조물에 적용한 현장이고, C-site의 경우 도심지 인근지역에 곡선구간에 적용한 현장이다. 계측은 공사 중에 계측기를 설치하여 3개월간 측정된 값으로 본 공법의 시공으로 인해 굴착 중 지반침하량은 미미하게 나타남을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서 개발된 공법은 대구경 강관 내 슬롯홀을 형성시키고 격벽철판으로 용접하여 구체방수를 치밀하게 하며, 강관 외부 그라우팅으로 장기적인 침하를 최소화하는 공법으로 수치해석과 실제현장에 적용하였다. 이에 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 3D 수치해석을 수행한 결과, 슬립홀을 형성시키고 이를 강결처리한 본 공법의 변위제어 효과를 확인하였다.
- 2) 본 공법을 현장에 적용한 결과 공기단축 및 변위 제어효과를 확인하였으며, 굴착 기간에 기존 구조물에 발생한 변위는 0.010~0.015 mm로 안정적인 값을 얻을 수 있었다.
- 3) 직선구간 뿐 만 아니라 곡선구간에 적용한 결과, 대구경 강관 사이에 그라우팅의 영향으로 방수 및 변위 제어 효과를 알 수 있었으며, 침하량도 0.003 mm로 나타나 곡선구간에 적용하여도 무방하리라 생각된다.

References

- 1) KCI, “Concrete Structure Design Criteria” pp.79~82, 2013.
- 2) Korean Expressway Co., “Road Design”, KRTA, 2013.
- 3) KICT, “Road Design Book”, MOLIT, Soil and Drainage, pp.408-21~408-24, 2000.
- 4) C. C. Torres and C. Fairhurst, “Application of the Convergence-confinement Method of Tunnel Design to Rock Masses That Satisfy the Hock-Brown Failure Criterion”, 2000.
- 5) Y. Muraki, “The Umbrella Method in Tunnelling” Ph.D Dissertation, Massachusetts Institute of Technology. 1997.
- 6) T. S. Kim, B. K. Sim, K. S. Lee and I. M. Lee, “Effect of Pressurized Grouting on Pullout Resistance and Group Effect of Compression Ground Anchor”, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol.26, No.6, pp.5~19, 2000.
- 7) G. Carrieri, A. Dedonati, P. Grasso, A. Mahtab and S. Peliza, “Ground Improvement for Rapid Advance of Lonato Road Tunnel near Verona, Italy., Proc. 8th Canadian Tunnelling Conference”, Vancouver, pp.243~254, 1990.
- 8) KSCE, Structure Design and Construction, Seoul Metropolitan City, 1999.