

Roof Panel Shield 공법을 이용한 철도지하횡단터널 굴착의 수치해석 연구

Numerical Analysis of Crossing Tunnel Under Railroad using Roof Panel Shield Method

신은철 *
Shin, Eun-Chul

김중희 **
Kim, Jung-Hyi

정병철 ***
Jung, Byung-Chul

노경민****
No, Jeong-Min

ABSTRACT

Recently, the crossing tunnel has been constructed to maintain the operation highway as well as railroad. The advantages of adopting RPS method in crossing tunnel construction are needed a little space and easy to change the direction of cutting shoe during the construction of pipe roof. The numerical analysis of RPS was performed for the application in the crossing tunnel under railroad. The earth pressure distribution and settlement were predicted when the RPS method was applied during the excavation for crossing tunnel construction.

1. 서 론

최근 도로, 철도, 제방 등과 같은 기존시설의 기능을 유지하면서 지하를 굴착하는 공사가 증가하고 있다. RPS 공법은 간편한 기계설비와 플랜트로 다른 공법에 비해 작업공간이 적게 소요되고, Pipe Roof 시공 시 선단습를 통한 방향전환이 가능하다. 그리고, 기존의 Messer Shield 공법보다 지보간격이 넓어 경제성 및 시공성이 용이다. 일반 철도 성토단면에 RPS 공법을 적용하고자 RPS 공법의 시공을 모사하여 수치해석을 실시하였다. 본 연구에서는 수치해석을 통하여 RPS 공법의 시공 시 발생하는 토압분포와 침하량 등을 예측하여 정량적인 시공효과와 안전성을 평가하였다.

2. Roof Panel Shield 공법

2.1 공법의 개요

상부에 교통의 흐름이 있는 장소에 지하구조물을 구축하기 위해서는 상부 교통흐름 등에 지장을 주지 않도록 굴착공간을 최소로 해야 하며, 지상 구조물 및 교통의 흐름에 피해가 가지 않도록 침하를 방지하여야 한다. Roof Panel Shield 공법은 구조물 예정상단부에 HJS공법으로 Pipe Roof를 설치하여 침하를 방지하고, SPS공법의 Panel을 응용하여 여굴의 최소화 및 곡선부 시공을 용이하게 하였다. Roof 하부 측면에 유압 Panel로서 선추진 한 후 측면 토압을 지지하고 인력이 아닌 장비로 전체 한 단면을 굴착하고 굴착면 끝부분에 강지보재를 설치하면서 상부 및 측면의 하중을 받도록 하였다. 이 작업을 계속 반복하면서 전체 굴착이 끝나면 강지보재 사이에 1차콘크리트를 타설하고 철근 콘크리트로 구조물을 형성하는 공법이다.

* 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수, 정회원

** 강릉건설주식회사 대표이사, 정회원

*** 강릉건설주식회사 부사장, 정회원

**** 인천대학교 대학원 토목환경시스템공학과 석사과정, 정회원

2.2 시공방법

Roof의 추진 작업은 HHS Roof공법을 적용하여 추진한다. HHS Roof 공법은 기존 파이프 압입공법에서 거의 불가능했던 방향수정 및 장거리 굴착(100M 이상)을 가능하도록 연구 개발된 공법이다. 기존의 파이프 압입공법은 장관을 주로 사용하고 있으나 공법인 HHS 터널공법은 스크린과 수가 달린 선동부를 추진하면서 시공되므로 장관과 콘크리트관 모두 적용이 가능하며 선동내부에 장착된 굴착장비로 굴착한 후 관을 압입 시공함으로써 기존의 파이프 압입공법에서 불가능하였던 장거리 굴착이 가능하다(그림 1). 그림 2는 HHS Roof공법에 사용되는 장관 단면을 나타낸 그림으로 이음부를 설치하여 장관간의 결속력을 높였다.



그림 1. HHS Roof 공법의 형성 과정



그림 2. HHS Roof에 사용되는 특수 장관 단면

그림 3은 장관사이를 그라우팅하고 장관의 내부를 물탈로 채운 것을 나타내는 그림이다. 장관 상하간 거품의 일체화, 결속력의 증대, 상부 지반으로 부터의 용수누출을 방지하여 지반의 원형을 최소화하기 위하여 장관사이를 그라우팅하고 내부를 물탈로 채운다.



그림 3. 그라우팅 및 물탈타설

굴착하고자 하는 터널 단면에 판넬이 추진할 수 있는 발진구 가시설작업을 진행한다. 가시설 작업이 완료되면 굴착하고자 하는 터널 단면에 맞추어서 지보공을 실시한 후 양쪽의 유압식 Panel 추진기를 측면에 설치한다(그림 4). 그 후 판넬을 단계적으로 추진(그림 5)하여 PC도류관을 설치하고 케기를 이용하여 밀착시킨다. 그림 6과 같이 판넬 추진기는 유압을 이용하여 추진하고 불리가 될 수 있도록 제작되었으며 모리부분에는 PC도류관을 끼울 수 있도록 되어있다. PC도류관을 밀착시킨 후 굴착, 지보공, Panel추진, PC도류관의 설치작업을 반복하여 굴착을 완료한다.

굴착을 완료한 후 1차 라이닝을 실시한다. 그 후 종단 형상 및 사보감재를 해체한 다음 방수 및 천재 콘크리트를 타설하여 시공을 완료한다(그림 7).

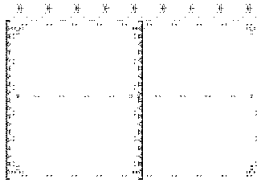


그림 4. RPS 터널 굴진 단면

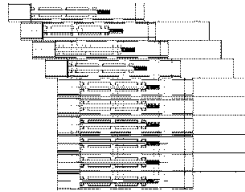


그림 5. 판넬 추진기의 추진



그림 6. 판넬 추진기의 단면도

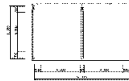


그림 7. RPS 터널의 완성 단면

3. 수치해석

3.1 개요

본 수치 해석의 적용지반은 토피고도가 3m, 일반 토층이 0~3m, 풍화토층이 3~9m로 구성된 지반을 가정하여 해석하였다. 해선 단계는 원지반 응력상태를 재현하기 위한 초기화단계, 좌측 Panel의 압입과 굴착단계, H형강 지보, 우측 Panel의 압입과 굴착단계, H형강 지보의 순서로 해석을 실시하였다. 본 연구의 수치해석은 시공 단계별로 토압의 분포 및 변위를 분석하기 위하여 유한차분해석을 수행하였다. 사용된 프로그램은 범용 지반해석 유한차분해석 프로그램인 FLAC 2D Version 4.0 사용하였다.

3.2 입력자료

본 수치해석 검토에서 적용한 지반재료의 기본 물성치는 지반조사 보고서 및 논문을 참고로 하여 일반토층, 풍화토, 풍화암의 토질정수 값을 산정하였다. 다음 표 1과 2는 지반 및 굴착에 사용된 토질정수와 기본 물성치 값을 나타낸 것이다. 지반 상부의 연자하중은 LS-22를 사용하였으며 사하중 및 활하중을 고려하여 단위폭당 $5.0t/m^2$ 의 연하중을 상부 지표면에 상세하중으로 적용하였다. 그림 8은 지반과 Roof Panel Shield 공법의 단면을 모사한 메쉬를 나타낸다.

표 1. 지반의 토질정수

토질정수 토질종류	$\gamma_s(t/m^3)$	ν	$E_s(t/m^2)$	$\phi(^\circ)$	$c(t/m^2)$
일반토사	1.8	0.35	1,000	30	-
풍화토	1.9	0.35	10,000	35	1
풍화암	2.1	0.35	14,000	35	3

표 2. Panel과 지보의 물성치

	탄성계수(t/m^2)	단면적(m^2)	단면이차모멘트(m^4)
H-250×250×14	20,000,000	9.218e-3	1.08e-4
Panel	20,000,000	1.200e-1	1.44e-4

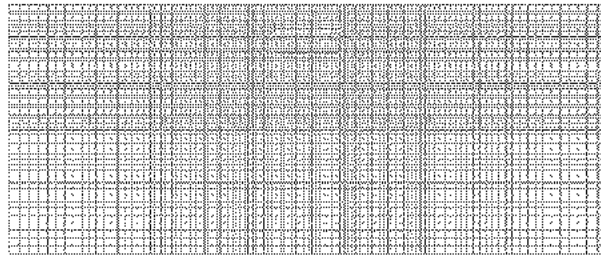


그림 8. 해석 메쉬

3.3 수치해석결과

최종변위는 좌측굴착면 지표에서 -4.496mm, 천단에서 -1.002mm, 저면에서 +5.029mm 발생하였고, 우측굴착면 지표에서 -6.303mm, 천단에서 -1.203mm, 저면에서 +5.168mm로 산정되었다. 표 3은 변위를 표로 나타낸 것으로 침하량은 10mm 이내로 안정된 값을 나타내었다. 그림 9의 수직변위는 좌측단면보다 우측단면으로 치우친 경향을 나타내었다. 이것을 그림 10의 X축 변위도와 그림 11의 변위벡터에서 알 수 있듯이 좌측단면을 굴착한 후 우측단면을 굴착하였기 때문에 좌측단면의 하중이 우측단면으로 전이되어 발생한 것으로 판단된다. 그림 12는 시공 완료 후 지표면의 침하를 단면 중심에서의 거리에 대하여 나타낸 것으로 좌측의 굴착단면보다 우측의 굴착단면에서 침하가 조금 더 발생한 것을 볼 수 있고, 최대침하의 발생지점은 중심에서 약간 우측에서 발생한 것을 알 수 있다.

표 3. 굴착면 주위의 변위

위치	좌측단면				우측단면			
	지표	천단	저면	좌측면	지표	천단	저면	우측면
변위 (mm)	-4.496	-1.002	+5.029	+5.288	-6.303	-1.203	+5.168	-5.087

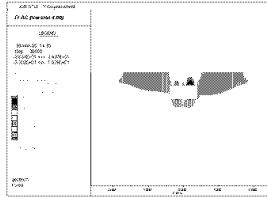


그림 9. 9층 단계의 Y축 변위도

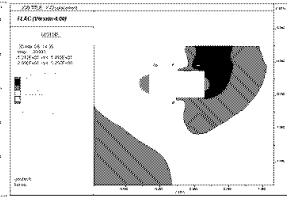


그림 10. 9층 단계의 X축 변위도

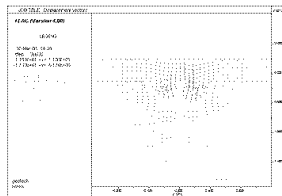


그림 11. 9층 단계에서의 변위벡터도

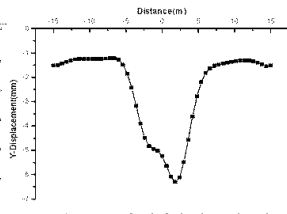


그림 12. 중심 거리에 따른 지표의 침하량

4. 결론

본 연구에서는 절도지반의 지하를 횡단하는 Roof Panel Shield공법에 대하여 수치해석을 실시하였고, 변위량과 용력분포를 산정하였다. 이를 통하여 Roof Panel Shield 공법의 현장 적용성을 판단하였다.

1. 지표의 침하는 좌측부에서 -4.496mm, 우측부에서 -6.303mm로 나타났고, 최대 -6.303mm로 나타났다. 굴착 지면의 용기는 좌측부에서 -5.029mm, 우측부에서 -5.168mm로 나타났다. 이는 변위차가 모두 10mm 이내로 발생하며 변위가 허용치 이내로 나타나 안정한 것으로 판단된다. Roof Panel Shield 공법의 시공으로 인한 상부에 대한 영향은 최대 지표 침하량이 6.303mm로 영향이 거의 없는 것으로 판단된다.

2. Y축에 대한 변위는 변위도와 변위벡터도를 살펴보면, 좌측 반단면과 우측 반단면의 지보 중간 부분에서 각각 최대 침하가 발생하기 때문에 급격한 굴착진행시 지표의 변형을 일으킬 가능성이 있다. 선굴착 단면을 굴착한 후 후굴착 단면을 굴착할 때 변위벡터가 후굴착면으로 약간 치우치는 경향을 보임으로 후굴착면을 굴착할 때 보다 세심한 주의가 필요하다.

4. Roof Panel Shield 공법은 지표의 침하량이 허용치 이내로 산정되었고, 타공법에 비하여 여굴 및 con'c의 타설량이 적어 공사비가 저렴하며 직은 지상작업구 공간을 필요로함으로 앞으로 많은 활용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 강릉건설주식회사의 지원으로 이루어졌으며, 연구를 진행할 수 있도록 지원해주신 강릉건설주식회사 관계자 여러분에게 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. 엄기영, 민경주, 신민호, 양재성, 황선근, 이준석, 이성혁, 이일화, 방춘석, 최일윤, 엄주환, 최준규, 고태훈(1999), 철도지하 횡단공사 공법선정 기준에 관한 연구, 철도청.
2. 엄기영, 신민호, 김지훈(2001), 철도지하횡단공사시 현장계측을 통한 지반거동 분석, 한국철도학회01 추계학술대회 논문집, pp. 546~551.
3. 엄기영, 신민호, 최성규, 정홍채, 유원화, 이준석, 윤희택, 이성혁, 이진욱, 고태훈, 이일화, 문형석, 김지훈, 박명준(2002), 철도지하횡단공사 JES공법의 현장적용 방안 제시에 관한 연구, 한국철도기술연구원.
4. 이인모(2004), 터널의 지반공학적 원리, 도서출판새론, pp. 78~119.
5. 문상호, 문현구(1999), 합리적인 축압계수 결정을 위한 인공신경 전문가 시스템의 개발, 한국지반공학학술논문집 15권 1호, pp. 99~112.
6. 건설교통부(2004), 철도설계기준(노반편), 대한토목학회, pp. 157~219.