

근접 및 동시시공에 따른 터널 안정성 확보방안

A Study on Solution of Tunnel Stability According to Proximity and Concurrent Construction

이명한^{*†}, 이희성^{*}, 추석연^{*}, 우성원^{**}, 하태균^{**}

Myeong-Han Lee^{*†}, Hee-Sung Lee^{*}, Seok-Yeon Choo^{*}, Sung-Won Woo^{**}, Tae-Gyun Ha^{**}

Abstract Working design, but when applied to the Carinthian Cut-and-Cover Method, due to a problem such as the completion and permission was more than 11 months to plan construction period. Cut with the concurrent construction of NATM for site renovation plan was established to comply with the standard construction period. Depending on the concurrent construction was estimated through a reasonable depth proximity evaluation and preparation analysis. Stability analysis were met through the tolerance of such tunnel displacement member force, planning of measurement was established for improved stability during construction.

Keywords : Proximity Construction, Concurrent Construction, NATM, Carinthian cut-and-cover Method

초 록 실시설계시 카린시안 공법을 적용하였으나, 준공 및 인허가 등의 지연으로 인해 계획공기를 11개월 초과함에 따라, 기준공기 준수를 위하여 부지조성을 위한 깎기공법과 터널구간 NATM 공법의 동시시공 방안을 수립하였다. 동시시공에 따라 근접도 평가 및 예비해석을 통해 적정토포고를 산정하였으며, 안정성 검토를 통해 터널변위, 지보재 부재력의 허용값 등을 충족시켰으며, 계획계획을 수립하여 시공 중 안정성 향상을 도모하였다.

주요어 : 근접시공, 동시시공, NATM, 카린시안

1. 서 론

최근 철도 및 인프라 사업 수행 중 용지보상, 문화재시굴 및 예기치 못한 지반 조건 등 다양한 외부 환경으로 인해 초기에 수립한 공정계획과 달리 공기가 지연되는 상황이 빈번히 발생하게 된다. 본 논문에서 다루게 될 현장 사례 또한 실시설계시는 부지조성을 위하여 개착공법을 시행하고, 부지하부에 위치한 터널은 반개착 공법인 카린시안 공법을 적용토록 계획하였으나, 준공 및 인허가 등으로 착공시기가 당초 계획보다 지연되었고, 원안(카린시안) 공법 적용시 당초 공기를 11개월 초과함에 따라 공기만회를 위하여 부지조성을 위한 깎기공법과 NATM 공법을 병행 적용하였고, 병행시공에 따른 안전성 확보 대책을 수립하였다.

† 교신저자: (주)단우기술단 지반공학부(leeeyz@naver.com)

* (주)단우기술단 지반공학부

** 포스코건설 글로벌인프라본부 인프라기술실 인프라기술그룹

2. 본 론

2.1 현장 개요

실시설계시 □□남부선 ○○차량기지 △△터널은 부지고 깎기 후 카린시안 공법으로 적용되었으나, 실시설계 및 인허가에 지연에 따라 카린시안 공법 적용시 기준공기 11개월을 초과하여 추가적인 대책공법이 필요한 것으로 나타났다.

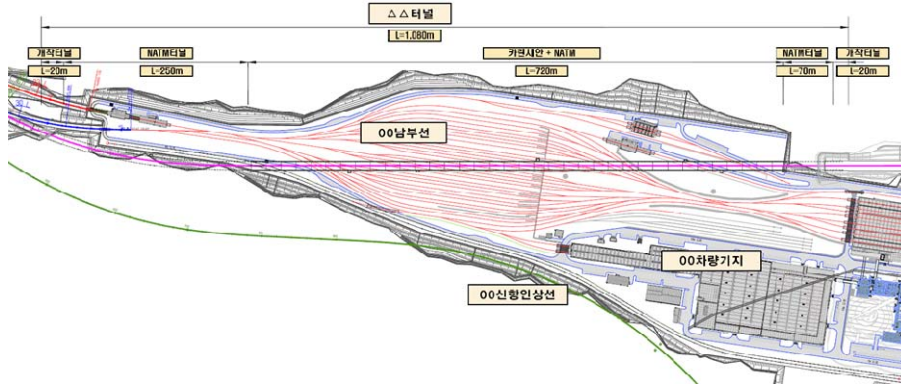


Fig. 1 Present Condition of Construction Site

이에 따라 △△터널과 ○○차량기지 토공작업을 효율적으로 계획하여 차량기지 및 터널의 안정성을 확보함과 동시에 지연된 공기를 만회하고자 차량기지 및 일괄시공을 고려한 터널 전구간에 대한 공법변경을 실시하였다. Fig 1은 본 현장의 현황을 나타낸 것으로 차량기지 직하부 약 15m 하부에 터널이 위치하고 있으며, Table 1은 인허가 등의 공기지연 발생으로 실시설계 공법 적용시 11개월 공기가 지연되는 예정공정표이다.

Table. 1 Progress Schedule

구분	20△△		20△△				20△△				20△△				20△△	
	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6
최초 설계시	굴착기(10조)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	굴착기(3조)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	카린시안	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	차량기지	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
카린시안 시공시	굴착기(10조)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	굴착기(3조)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	카린시안	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	차량기지	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

2.2 공기준수를 위한 대책공법 선정

공기 준수를 위한 터널 대책공법으로 전구간 개착공법과 NATM 공법의 비교 분석결과, 개착공법의 경우 풍화암 이하의 지반조건에서 시공사례가 다수 있으나, 본 현장과 같은 경암 지반에 대규모 개착공법 적용사례는 거의 없었으며(평균 경암 굴착고 14.5m) 터파기를 위한 경암지반에서의 과도한 발파공법 적용으로 공사비 과다 및 기존 모암손상으로 인한 터널안정성이 저하될 것으로 판단되었다. Fig 2는 본 현장의 개착터널 시공시 개요도로서 적용시 작업공간(B=14m)이 협소하고, 개착터널 구조물 설치 후 되메움토 다짐시 측면 다짐은 정밀 시공이 난해하며, 작업공간 미확보로 다짐 불량시 구조물 안정성에 취약할 것으로도 판단되었다. 개착터널 되메우기는 시방기준에 의해 재료선정 및 다짐을 실시하여도 현장 적용시

품질확보에 대한 일관성 유지가 곤란하고, 본 현장은 차량기지내 차량이동에 대한 반복하중 및 진동영향에 따른 지속적인 침하발생이 예상된다. 또한, 차량기지내 지표면 배수시설은 수립되어 있으나, 지속적인 강우 등으로 침투 발생시 세립분유실 등으로 인한 침하 발생도 예상이 됨에 따라 유지관리 측면에서 개착공법이 불리하다고 판단되었다.

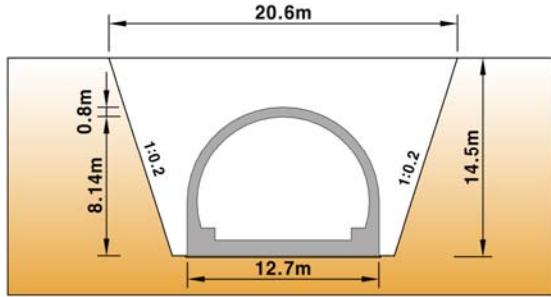


Fig. 2 Open Cut Excavation

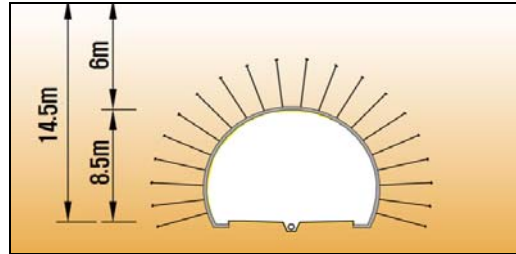


Fig. 3 NATM

반면, NATM 공법은 지하철 등 저토피 통과 시공사례 및 현장 대처능력이 우수하며, 본 현장의 중점사항인 상부 깎기와 하부 NATM 동시시공시 기준공기를 만족하며, 운영중 차량기지 안정성 및 시공성이 우수할 것으로 판단되었다.

Fig 3은 NATM 공법 개요도로서 대규모 개착에 의한 되메움 시공이 불필요하고 기존 원지반(경암)유지로 개착공법에서 나타난 차량기지내 지표침하 및 배수불량등과 같은 문제가 미 발생할 것으로 판단하여 본 현장의 대책공법으로 적용하였다

2.3 차량기지 동시시공 영향분석

2.3.1 △△터널 근접도를 고려한 적정 토피고 선정

터널 상부 지반을 택지 개발, 도로신설 등의 목적으로 절취한 경우, 터널은 토피하중이 경감되는 것보다, 상향으로 당겨지듯 변위·변형이 발생한다. 또한 잔류 토피가 작아지면, 거꾸로 터널주변 지반의 아치 작용이 손상되어 터널 라이닝에 작용하는 지압이 증대하는 경우가 발생하기도 한다. 터널 상부 개착에 따른 기존터널의 영향들을 살펴보면, 원래의 토피와 절토 후의 비, 절토된 후의 토피 높이, 절토의 평면적인 넓힘, 절토 전후의 지형, 절토의 시공법, 지질조건(지반의 경연), 기존터널 라이닝 구조와 건전도 등이 있다.

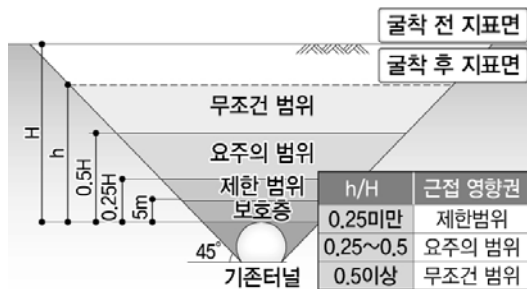


Fig. 4 Stress Mechanism on Cut

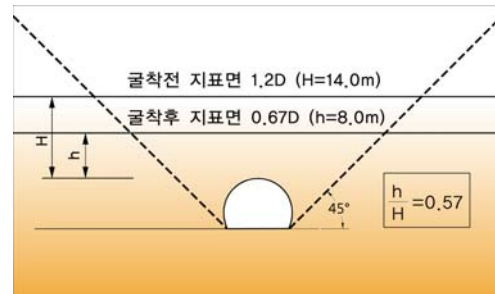


Fig. 5 Proximity Measure

2.3.2 적정 토피고 산정을 위한 예비해석

△△터널 굴착 전 근접영향 및 터널굴착 중 아칭효과 발현을 통한 추가 보강을 배제하고, 편압이 작용하는 별도의 해석적 조건을 고려하지 않기 위해 토피고 1.2D(H=14m, 일반적으로 토사, 1.5D, 암반 1.0D)를 확보를 하였으며, 이를 토대로 터널 시공과정을 모사하여 수치해석을 수행하였다..

본 해석에 사용된 프로그램은 지반해석 범용프로그램인 FLAC 2D를 사용하였으며, 터널 굴착 후 상부 토피고를 1.2D~0.5D(차량기지 계획고)로 변화 시켜서 터널 상부의 근접도에 따른 터널 변위, 지보재의 응력변화를 검토하였다.

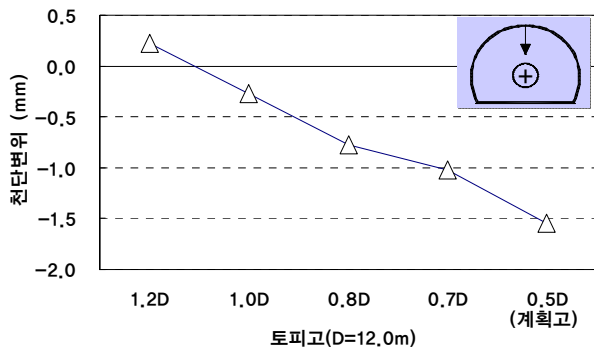


Fig. 6 Crown Settlement

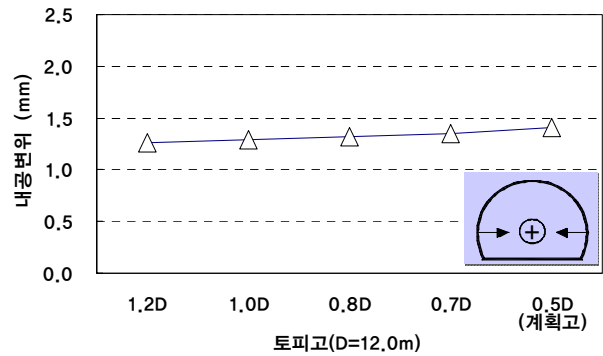


Fig. 7 Tunnel Convergence

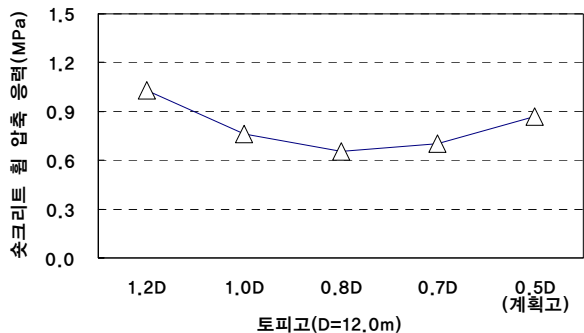


Fig. 8 Shotcrete Bending Compressive stress

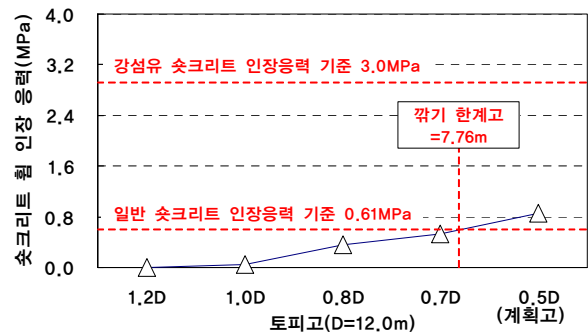


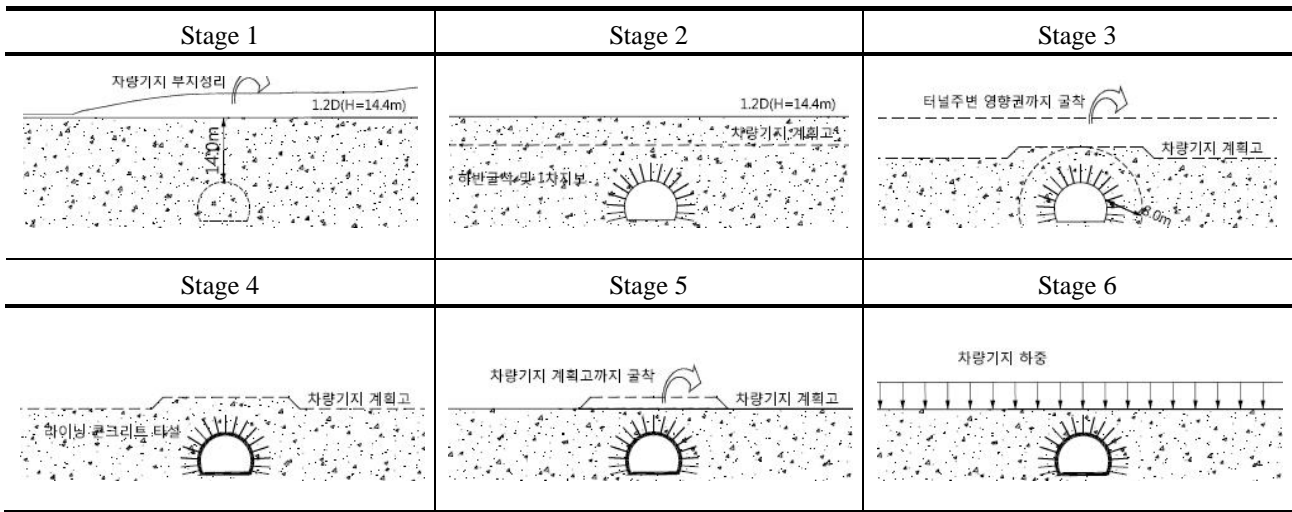
Fig. 9 Shotcrete Bending Tensile Stress

예비해석 검토 결과, 토피고(1.2D ~ 0.5D)에 따라 터널의 천단변위는 미소한 차이가 발생하며, 내공변위는 거의 유사하게 나타났다. 숏크리트 휨 압축응력은 허용치 이내에 유사한 값을 나타냈으나, 숏크리트 인장응력은 토피고에 따라 변화가 발생하였고, 7.7m(0.65D)에서 일반 숏크리트 인장응력 허용기준인 0.61MPa를 초과하였다. 따라서 안전측(근접도 7m, 예비해석 7.7m)으로 잔재 토피고를 8m(≒0.7D)로 산정하여 터널 안정성 확보계획을 수립하였다.

2.3.3 차량기지 운영중 △△터널 안정성 검토

차량기지로 운행하는 열차 하중에 따른 △△터널의 안정성검토를 수행하였으며, 해석 단계는 아래 Table 2와 실제 같이 시공과정을 모사하여 수치해석을 수행하였다.

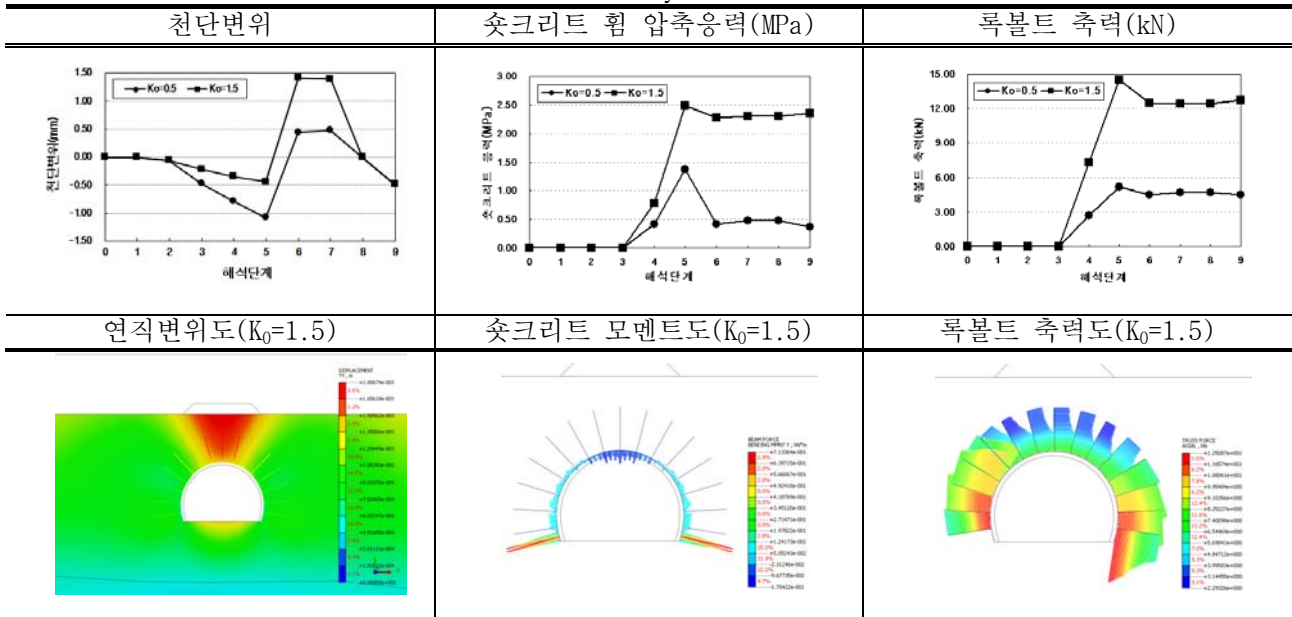
Table. 2 Conceptual Construction Plan



2.3.4 안정성 검토 결과

차량기지 하부통과 구간에 대한 안정성 검토결과를 아래 Table 3에 정리하였으며, 천단변위 1.08mm($K_0 = 0.5$), 내공변위 3.63mm($K_0 = 1.5$)가 발생하였으며, 숏크리트 휨 압축응력과 록볼트 축력은 각각 $K_0=1.5$ 일 때, 2.49MPa, 14.49kN으로 허용치이 내로 안전한 것으로 검토되었다.

Table. 3 Analysis Result



2.4 계측계획

Table 4, Fig 10, 11은 계측간격, 계측종류 및 계측위치이다. 차량기지 상부에 이동 가능한 진동계를 설치하여 터널 발과위치별 진동속도를 측정하도록 계획하였으며 지중침하계, 지표침하계를 설치하여 차량기지 침하를 측정토록 계획하였다. 터널 내부는 저토피 및 단층대 통과부에 유지관리 계측계획을 수립하여 시공중 및 운영중 안정성을 확보할 수 있도록

계획하였다.

Table. 4 Measurement Plan

계측항목	계측간격	
	일반구간	차량기지 하부
일상계측(A계측)	PD-1~4 : 20m / PD-5~6 : 10m	PDC-1~3 : 20m / PDC-4~6 : 10m
정밀계측(B계측)	갱구부, 저토포, 단층대 : 5개소	저비저항대, 단층대 : 4개소
영구계측	단층파쇄대 1개소	단층파쇄대 1개소
발파진동계측	5개소(차량기지 발파위치별로 이동 가능한 수동형 계획)	

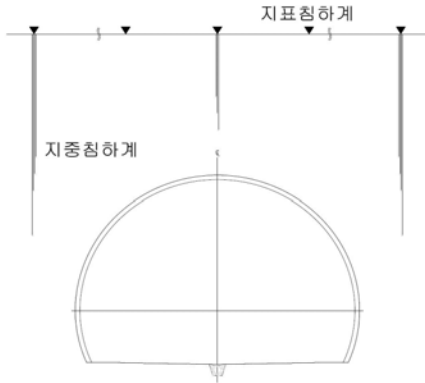


Fig. 10 Measuring Underground & Surface Settlement

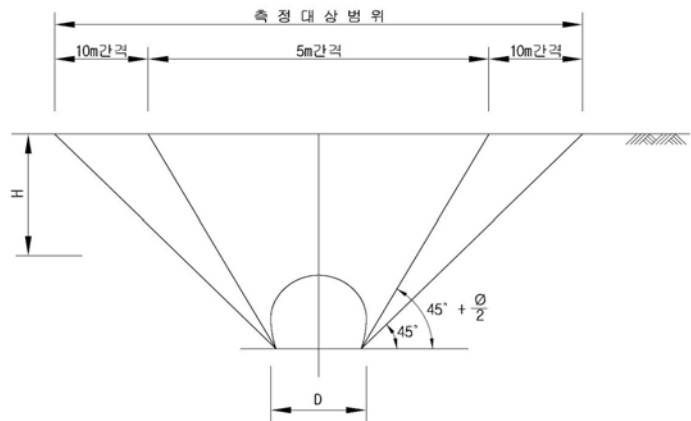


Fig. 11 Measuring Range

3. 결론

본 논문에서는 인허가에 지연에 따라 터널 구간중 차량기지 직하부 구간에 대하여 원설계 공법인 카린시안 공법 대신 NATM 공법으로 변경 적용함으로써 차량기지와의 동시시공을 통해 기준공기를 만족하도록 공법을 변경하였으며 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 개착 공법과 NATM 공법을 비교 분석한 결과 현장 대처능력 및 안전성이 우수하며, 운영중 차량기지 안정성을 고려하였을 때, 시공성이 우수한 NATM 공법을 적용하였다.
- (2) 터널 상부 개착에 따른 안정성 확보를 위한 잔재토포고는 근접도 검토결과 토포고 7m, 수치해석을 통한 예비해석 결과 토포고 7.7m를 확보해야 함에 따라 잔재토포고를 8m(≒0.7D)로 산정하여 터널 상부 개착에 따른 굴착중 터널 안정성 확보계획을 수립하였다.
- (3) 차량기지 시공중 및 운영중 터널 안정성 검토결과, 천단변위 및 내공변위는 각각 1.68m, 3.63mm로 미미하게 발생하였으며, 지보재의 응력 및 록볼트 축력도 각각 허용치 이내로 터널안정성에 문제가 없는 것으로 검토되었다.
- (4) 시공중 및 운영중 차량기지와 터널 계측계획을 수립하여 모니터링을 통한 안정성 확보 방안을 계획하였다.

참고문헌

- [1] POSCO E&C(2015), Korea Rail Network Authority, □□남부선 ○○차량기지 △△터널 변경설계 설계보고서