

철도역사 및 선로 하부를 통과하는 대단면 3-Arch 터널의 설계

The Very Large Sectioned 3-Arch Tunnel Design under the Station Building and Railways

장석부* 문상조** 권 승*** 김준구**** 권기대*****
Chang, Seok-Bue Moon, Sang-Jo Kwon, Seung Kim, Jun-Goo Kwon, Gie-Dae

ABSTRACT

This paper presents the design case of the 3-arch tunnel under existing railways and railway station building. The original construction method was the underpinning method supported by pipe-roof, but it was changed to the minded tunnelling method because of the complex construction condition and the safety problem. This 3-arch tunnel has a width of 28 meters and a height of 10 meters. Overburden is only 23m and the ground consists of the weathered soil and rock. Because the allowable settlements for the station building and railways are limited strictly, various measurements for the tunnel stability and the settlement minimization was considered.

1. 서론

최근 도심 교통난의 효과적 해소를 위해 건설되는 지하철 공사에 있어서 터널 공법의 적용이 증가되고 있다. 이러한 이유는 공사중의 교통차단 및 기존 시설물에 미치는 영향을 최소화하려는 사회적 요구 및 터널 설계 및 시공기술의 향상을 들 수 있다. 터널공법은 상대적으로 양호한 지반조건 및 굴착 단면적이 작은 본선 터널에서 주로 적용되어왔으나, 최근에는 풍화토, 풍화암과 같은 불량지반은 물론 분기구간 및 정거장과 같은 대단면이 요구되는 구간에도 적용되고 있다.

본 논문에서 소개하는 설계사례는 대전지하철 1호선 중 기존 경부선 선로 및 시공중 운영되었던 구 대전역사 하부를 통과하는 정거장 구간으로서 넓은 단면 폭으로 인해 당초 설계시 파이프 루프에 의한 언더피닝공법이 계획되었으나, 불량한 시공성으로 인한 공기지연과 침하문제가 우려되어 터널공법으로 변경하게 되었다. 터널설계시 주된 고려사항은 국내 최광폭 터널(폭 28m)의 안정성 확보와 함께 지상의 선로 및 역사의 시공중 영향을 최소화 하려는 것이었다. 이를 위해 적합한 터널 굴착 및 지보설계와 보강공법에 대한 검토를 수행하였으며, 정거장 구간으로서의 구조적 및 기능적 특성을 만족하는 구조물 계획을 수립하였다. 또한 3-arch 터널의 구조적 특징을 고려하여 기둥과 라이닝 접합부의 방배수 설계를 개선하였으며, 터널의 거동 및 지표면의 침하를 파악하기 위해 조밀한 계측계획을 수립하였다.

* (주)유신코퍼레이션 이사, 정회원

** (주)유신코퍼레이션 전무

*** (주)유신코퍼레이션 과장

**** (주)삼성물산 부장

***** (주)삼성물산 차장

2. 현장여건

과업구간은 그림 1 및 그림 2와 같이 대전지하철 104 정거장 구간 중 구 대전역사하부를 통과하는 연장 55m 구간으로서, 토피는 약 23m이다. 역사는 3-arch 터널 시점으로부터 굴진방향으로 약 25m 떨어져 있으며, 경부선 선로는 3-arch 터널 직상부에 위치하지는 않으나 굴착 영향권 안에 3~4개의 선로가 위치하며 이 구간은 단선병렬 터널로 통과한다.

지반조건은 지표면으로부터 매립토, 충적토, 풍화토, 풍화암, 연암으로 구성되어 있으며, 터널의 상·하반은 모두 풍화암층에 위치하고 있다.

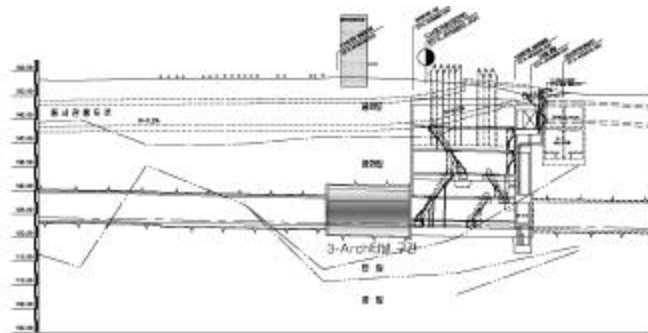


그림1. 과업구간 현황 및 지반조건

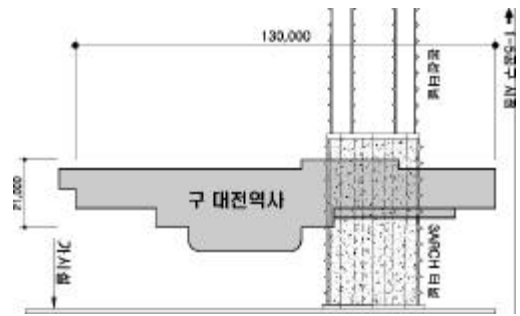


그림2. 구 대전역사 통과 현황

3. 단면설계

단면설계에 있어서 주된 고려사항은 승강장의 공간 확보 및 개착정거장과 의 기둥 간격을 유지하는 것과 터널 상부에 위치한 역사와 선로의 지반침하를 최소화하는 것이다. 특히 본 구간은 굴착심도가 낮고 지반이 불량하여 터널 굴착에 따른 지반침하에 매우 민감하여 침하 및 안정성에 유리한 단면을 계획할 필요가 있었다. 이를 위해 굴착단면 분할을 효율적으로 계획하여 시공과정에 따라 급격한 침하량 변화를 최소화할 수 있으며, 시공 중 터널 안정성 확보를 위하여 3-arch 터널로 계획하였다. 터널 단면설계를 위한 설계조건으로 승강장 건축한계는 높이 3.0m, 소요 환기풍도 면적 11.34m², 기둥간격 5.0m(중방향), 9.5m(횡방향)를 준수하였으며 적용한 표준단면은 그림 3과 같다.

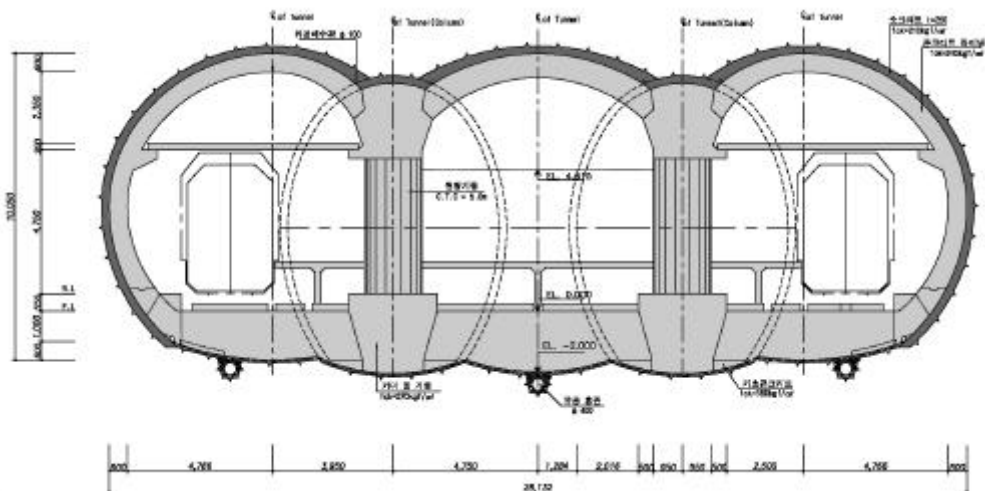


그림 3. 표준단면

4. 굴착 및 지보계획

본 구간은 굴착 심도가 낮고 불량한 지반의 역사 하부를 통과하므로 발파공법 적용시 소음 및 진동으로 인해 역사 이용객의 불안감 및 노후된 역사 건물의 균열을 유발할 수 있으므로 기계굴착 방법을 적용하였다. 굴착방법은 터널 안정 및 지반침하 최소화가 되도록 선진(pilot)터널 굴착시 링컷 공법 및 가인버트를 설치하였으며, 각 터널은 굴진장을 0.8m로 하고 슛벤치컷을 적용하여 조기에 단면 폐합을 이루어 안정성을 높였다.

터널의 시공 순서는 그림 4와 같이 침하억제를 위해 좌측선진터널 굴착 및 기둥시공이 완료된 후 우측선진터널을 굴착하고 선진터널 굴착이 완료된 후 중앙터널을 굴착한 뒤 양측터널을 굴착하도록 하였다. 이는 침하억제 효과뿐만 아니라 본선 병렬터널 굴착의 연계성을 고려한 것이다.

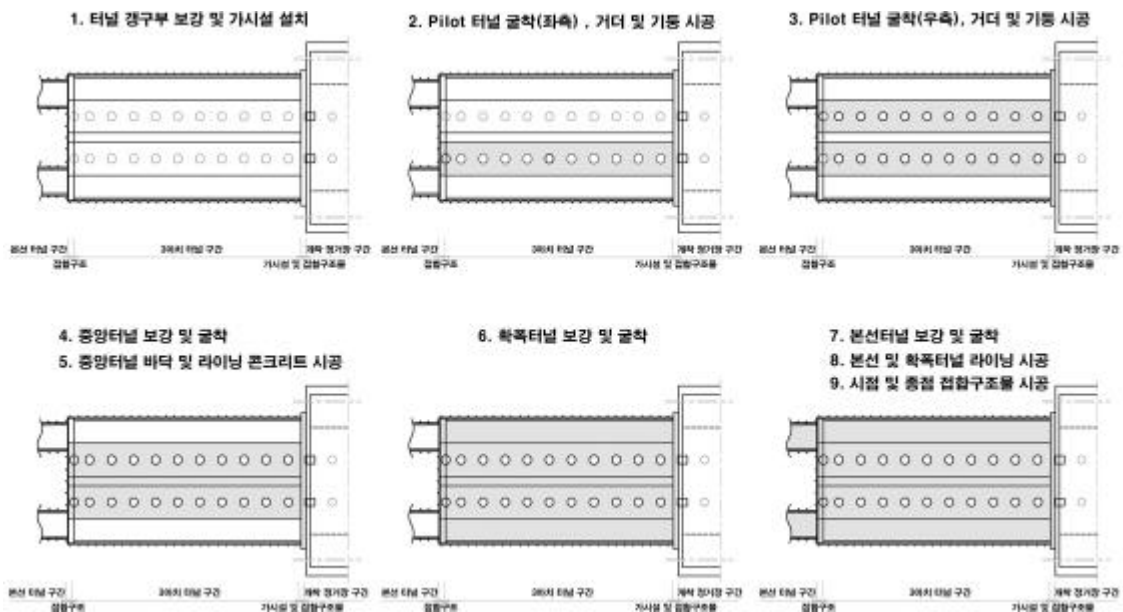


그림 4. 시공 순서도

지보재로써 슛크리트는 두께 25cm에 철망 2겹을 적용하였고, H-150 규격의 강지보재를 80cm간격으로 배치하였다. 상반 굴착중에는 바닥 우각부의 응력집중 및 바닥면 히빙 억제를 위해 가인버트를 시공하도록 하였으며 중앙터널의 필라는 체결 볼트를 이용하여 구속압 증진을 통해 안정성을 높이도록 하였다.

본 구간은 불량한 지반에 계획된 대단면 터널로서 다양한 보강공법이 적용되었다. 적용된 보강공법의 종류 및 기대효과는 도표 1과 같다.

도표 1. 적용된 보강공법의 종류 및 기대효과

구 분	적용공법	기대효과
천단부 보강	대구경 강관다단그라우팅	막장안정, 침하억제
막장면 보강	막장면 수평보강	막장안정, 침하억제
기둥하부 지반보강	마이크로파일	기둥하부지반 지지력 향상
중앙터널 필라 보강	록볼트 체결	중앙필라 보강
확폭터널하반 측벽부 보강	측벽부 보강	측벽부 보강, 하반굴착 안정성 향상
3-arch터널 및 본선접속부 보강	강관 및 막장면 그라우팅	접속부 안정, 선로침하억제

터널 천장 및 어깨부는 강관다단그라우팅을 대구경 강관으로 적용하고 측벽부는 작용하중이 상대적으로 낮으므로 일반강관다단 그라우팅을 적용하도록 하였으며 그림 5와 같이 갱구부에는 3열을 시공하고 갱내에서는 4m 중첩을 유지하여 3열 시공효과를 발휘하도록 하였다.

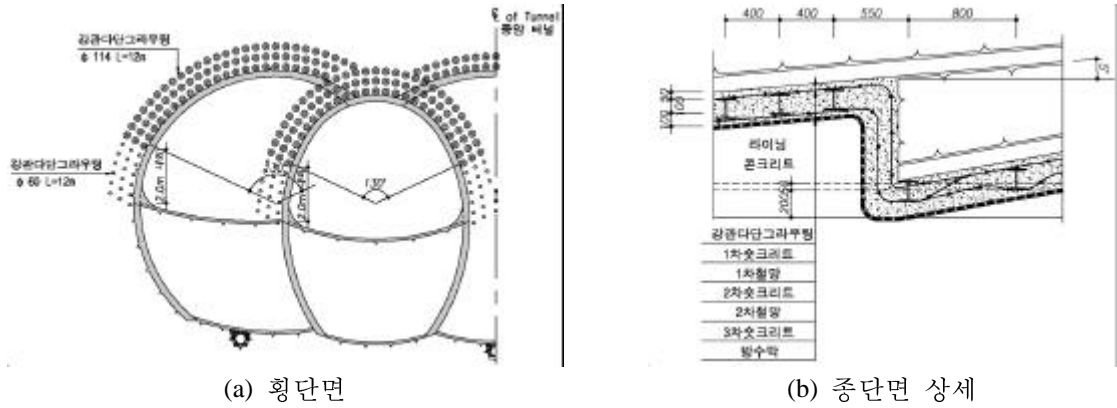


그림 5. 강관다단 그라우팅

5. 방배수 계획

본 구간이 승강장 구간임을 감안하여 다양한 방배수 방안을 수립하여 적용하였다. 터널 방수는 방수막 및 부직포를 천장부와 측벽부에 적용하였으며, 누수 가능성이 있는 시공 및 신축이음부에는 복합지수판과 수팽창성 고무지수재를 추가로 설치하였다. 특히 기둥이 있는 터널의 경우 기둥 상부와 라이닝 아치부의 접합부에서 누수가 많이 발생하므로 누수 방지대책을 별도로 수립하였다. 적용 대책으로는 그림 6과 같이 접합부에 종방향으로 배수용 유공관과 접합부 내측에 복합지수판 및 수팽창성 고무지수재를 설치하였으며, 누수 발생시 유도배수가 가능하도록 접합부에 반할관을 종방향으로 설치하였다.

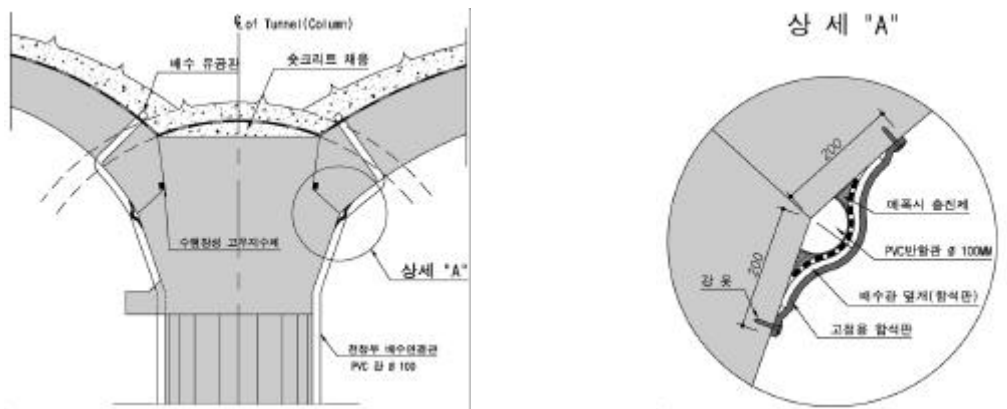


그림 6. 기둥 상부 누수방지 대책

배수방안으로는 측벽 배수유공관을 종방향으로 설치하고 종방향으로 15m마다 유지관리용의 배수 확인구를 설치하였으며, 맨홀은 25~30m 내외의 간격으로 중앙 및 확폭터널 바닥에 배치하였다. 중앙 종방향 배수관으로는 직경 400mm의 유공흡관을 적용하였으며, 횡방향으로는 직경 150mm의 PVC 관을 15m마다 설치하였다. 청소수 등의 오탁수는 콘크리트 도상의 배수로를 통해 정거장 내 집수정으로 유도배수되도록 계획하였다.

6. 계측계획

본 구간은 시공의 안정성 및 경제성 확보와 터널 상부에 위치한 역사 및 경부선 선로의 거동파악을 위해 효과적인 계측계획 수립이 필수적이었으며, 이를 위해 시공중 거동파악 및 안정성 판별 목적과 설계시 규명되지 못한 불확실한 요소의 파악을 위해 계측항목을 선정하였다. 일상 및 정밀계측에 대한 축선은 그림 7과 같이 5~10m로 조밀하게 배치하였으며, 일상계측 및 정밀계측에 대한 계측기 설치위치는 그림 8과 같다.

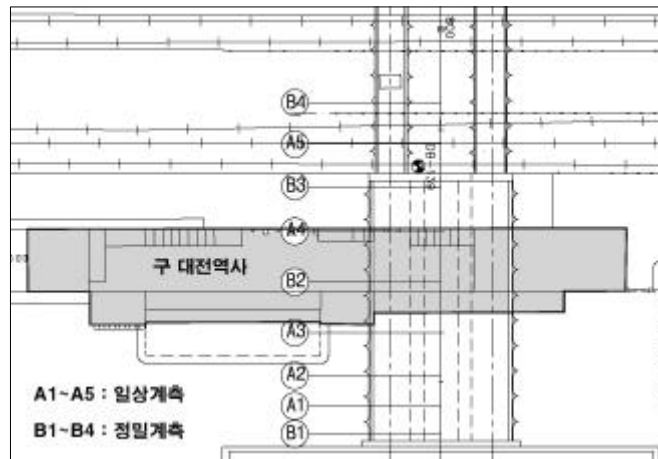


그림 7. 축선 배치도

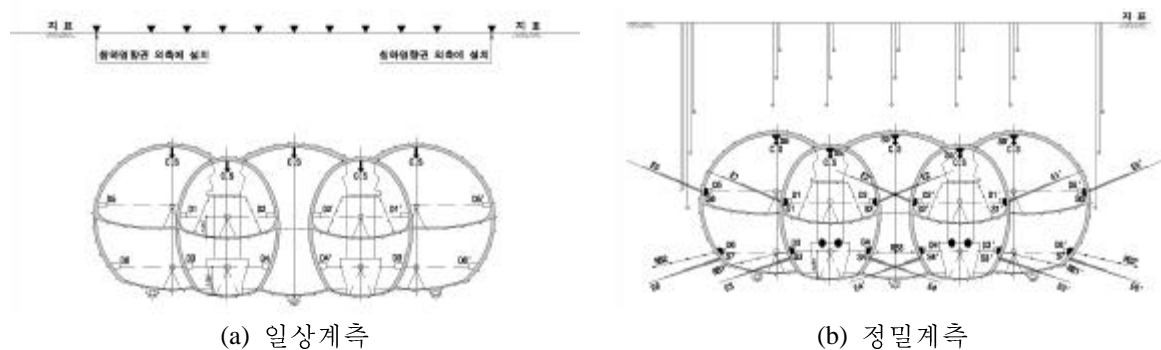


그림 8. 계측기 설치계획

영구계측으로는 3-arch 터널의 기둥 및 콘크리트 라이닝에 각각 축력계 및 콘크리트 응력계를 도입하여 시공 및 운영중에 발생하는 구조물의 거동을 파악하도록 하였다. 또한 터널 갱구부 가시설에는 경사계, 앵커 및 쏘일네일 축력계를 매설하였으며, 상부에 위치했던 구 대전역사에는 건물에 대한 경사계와 균열계를 설치하였다.

7. 환기풍도 연결방안

당초의 언더피닝에 의한 box형 단면에서 3-arch 터널 정거장으로 형식이 변경됨에 따라 승강장의 환기용 풍도 계획의 변경이 불가피하였다. 기존의 풍도 연결방안은 정거장 지하 4층의 전기실과 구조실을 통하여 승강장 선로부 측벽으로 연결하는 것이었으나, 3-arch 터널의 경우 측벽의 공간 부재로 선로부 상부로 풍도를 연결하도록 변경하였다. 풍도 계획 변경으로 인해 정거장내에서의 일부 평면계획 및 계단위치도 변경하였다. 변경 전후의 풍도 연결방식은 그림 9와 같다.

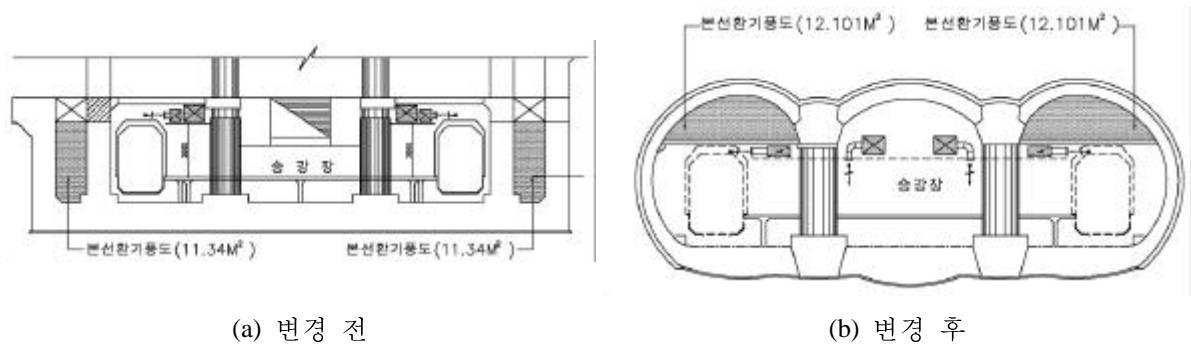


그림 9. 환기 풍도 연결방안

풍도 방식은 콘크리트 풍도 슬래브에 의한 풍도와 덕트에 의한 풍도 두가지 방안을 검토한 결과 덕트 풍도는 건축한계 침범, 화재위험의 상존, 유지보수의 곤란 등으로 안정적이고 반영구적인 콘크리트 슬래브 방식을 선정하였다.

8. 결론

최근의 지하철 터널건설경향의 주된 특징으로는 단면은 대형화되는데 비하여 지반조건은 불량해지고 기존 구조물에 근접하는 사례가 늘고 있다. 이는 복잡한 도심 교통 및 주거환경조건에서 가장 효과적인 공법이 터널공법이기 때문이다. 따라서 터널 계획단계에서는 터널안정과 지반침하억제를 위한 보다 적극적인 대책이 요구되며, 이를 신뢰성 있게 예측할 수 있는 해석기법이 요구된다.

본 논문에서 소개한 3-arch 터널 설계사례가 향후 도심지 대단면 터널 계획에 부족하나마 참고가 되었으면 한다.

참고문헌

1. 장석부, 문상조, 권승(2000), “기존 지하철 구조물 횡단 대단면 터널의 계측관리”, 한국지반공학회 2000 정보화 시공 학술발표회.
2. 장석부, 문상조, 권승, 허도학, 배규진(2002), “대전역사 하부통과 3-arch 터널의 설계사례 연구(I)”, 터널기술, 한국터널공학회, Vol.4, No.3, pp.247-259
3. I. Iwamura, S. Vsuda and J. Mituso(1994), Construction of Triple Face Tunnel by Urban NATM Tunnelling and Ground Conditions, pp.143-149