

# 최근 도심지 대단면 터널 굴착 시공사례 소개



**김수인**  
서울지하철건설본부  
토목주사



**황현주**  
협승엔지니어링  
대표



**이성기**  
태조엔지니어링  
부사장

## 1. 서론

국내 터널의 건설은 광산, 철도, 도로분야에서 소단면 터널형태로 시행되었으나 1970년대부터 급속한 산업발전으로 유류비축시설, 양수발전소, 군사방호시설 등이 건설되면서 대단면 지하공동 굴착기술이 외국 기술자문으로 시행되면서 많은 경험과 기술을 축적하였다.

1990년초에는 4차선 대단면 도로터널인 청계터널이 준공되면서 국내에서도 산악지역의 대단면 도로터널은 일반적인 추세로 전환될 만큼 터널기술은 획기적 발전을 이

루게 되었다.

그러나 도심지에서의 대단면터널은 토피가 얇고 건물 등의 지장물 등을 통과하는 문제점으로 적용된 사례가 많지 않았으나, 최근에(1995~2004) 서울도심지에서의 지하철과 도로터널에서 대단면터널로 준공된 사례가 있어, 이들의 굴착 시공사례를 소개함으로써 향후에 예상되는 도심지에서의 각종 스포츠시설, 저장시설 및 대규모 지하도시건설 등에서 설계 및 시공에 참고가 되었으면 하는 바람으로 굴착시공사례를 중심으로 소개하고자 한다.

표 1. 서울도심지에서의 지하철 및 도로의 대단면 터널현황

| 구 분 | 공사명     | 터널 규격                            | 비고    |
|-----|---------|----------------------------------|-------|
| 지하철 | 녹사평정거장  | 23.273m(폭)×16.655m(높이)×60m(연장)   |       |
|     | 창신정거장   | 23.273m(폭)×16.655m(높이)×67.5m(연장) |       |
|     | 버티고개정거장 | 23.472m(폭)×14.617m(높이)×65m(연장)   |       |
| 도 로 | 창신도로터널  | 18.872m(폭)×9.984m(높이)×386.5m(연장) | 4차로단면 |

## 2. 참신정거장 시공사례

### 2.1 지질 및 주변현황

본 현장의 기반암은 경기변성암체를 관입한 주라기말의 대보화강암에 속하는 대표적인 서울화강암으로써 터널통과 구간의 암반은 지표로부터 18m 하부에 형성된 경암층으로 압축강도는 1,300kg/cm<sup>2</sup> 이상이며 RQD는 65% 이상의 신선한 암반층이다.

본 현장의 20m 인근에는 쌍용APT단지와 50년 이상의 구옥과 3층이하의 근린상가가 밀집되어 있어 발파굴착시 인근 주민들의 민원이 극심했던 지역이다.

### 2.2 대단면 터널의 규격 및 굴착단면 분할도

그림 1 참조

### 2.3 터널굴착 시공방법

#### 2.3.1 Top Heading 시공방법(굴착면 ① ② ③)

당초 설계에서는 양쪽 Side부분 ②, ③을 선행굴착하여 중앙부 ①을 굴착기간 동안 Rock-Pillar로 이용하여 대단면터널에서 상부 침하를 방지할 목적이었다.

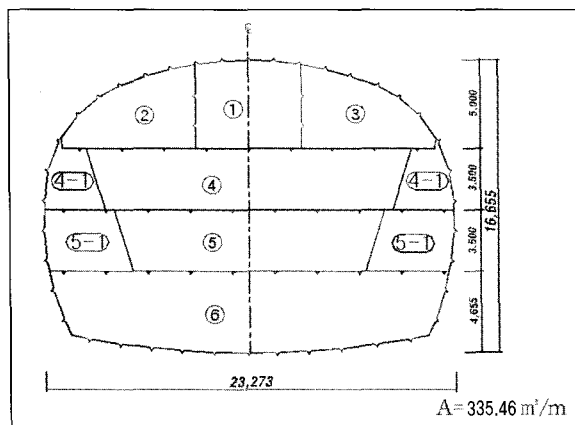


그림 1. 대단면 터널의 규격 및 굴착단면 분할도

현장의 암반상태가 양호하고 계측결과 침하발생의 우려가 없고 Side부분 선행 굴착시에는 심발개소의 증가로 발파진동 발생이 크며, 굴착효율과 시공성 저하등의 불합리한 요소가 많아서, 중앙부 ①을 5m 정도 선행굴착후 양쪽 Side부분을 굴착하는 선행도갱식 3분할 굴착방법으로 시공하였다.

보강방법은 중앙부 굴착과 동시에 천반부에 Rock Bolt (L=5.0m), Shotcrete를 실시하고 측벽에는 부석제거와 Shotcrete만을 타설하여 굴착시 변위와 낙석을 방지시켰다.

좌우 Side단면 굴착후에 Top Heading부에 Rock Bolt 와 Wire Mesh + Shotcrete 및 Steel Rib를 설치하였다. Steel Rib의 경우에는 계측이나 구조계산상 설치할 필요는 없었으나 굴착단면 유지관리를 위하여 5~10m간격으로 설치하였다.

#### 2.3.2 Bench- I, II 시공방법(굴착면 ④ ⑤)

당초 설계에서는 ④ 단면을 하향천공에 의한 Bench발파로 선진굴착후 10~20m 후방에서 좌우 Side(4-1)을 수평굴착 방식으로 굴착토록 하였다. 본 굴착방법은 천공과 발파방법이 이원화된 효율적인 굴착방법으로 초기에 시행하였으나, 도심지에서 버려져리 Cycle이 원활하지 못하고 하향천공을 위해서는 터널바닥 청소를 시행하여야 하는 등 현장여건상 불합리하여 수평굴착을 시행하였다.

본 수평굴착 방법을 채택할 경우에는 발파시 버력의 비석이 천단과 측벽에 부딪쳐서 Shotcrete에 손상을 주어 파손되므로 Bench 굴착후에는 천단과 측벽에 파손된 부분에 Shotcrete를 일괄적으로 타설하는 것이 바람직하다. 차후 Bench 굴착후에는 천단고가 높아져서 재시공이 곤란하므로, 대단면 터널굴착시에는 Bench굴착이 완료될 경우 일괄적으로 천단부의 보강검측과 변위 확인후에 다음 단계의 Bench굴착이 필수적이라고 판단된다.

#### 2.3.3 Invert 시공방법(굴착면 ⑥)

상부단면의 보강이 완료되어 응력적으로 안정되었다

는 계측결과에 따라, 전단면 굴착방법으로 시공하였으며 하향천공에 의한 Bench 굴착방법은 바닥면의 요철과 여 굴이 심하여 수평천공에 의한 굴착방법으로 시행하였다.

### 3. 창신동 4차선 도로터널 시공사례

#### 3.1 공사 개요

##### 3.1.1 공사 목적

송인동 네거리에서 창신동과 보문사를 경유하여 보문동네거리 고려대를 연결하는 4차선도로 개설공사로 터널은 창신동 쌍용APT에서 보문사앞의 구릉지를 관통하는 4차선 도로터널이며 연장이 386.5m의 대단면 터널이다.

##### 3.1.2 지질 및 주변현황

본 현장의 기반암은 서울지역의 화강암으로 일축압축강도가 900~1,300kg/cm<sup>2</sup>의 보통암 내지 경암으로 형성되어 있으며, 터널 통과지역은 표고 130~180m 구릉지로서 터널상단에서 10~60m 상부에는 50년 이상 노후화된 주택들이 밀집되어 있으며, 하부 20m 지점에는 운행중인 6호선 지하철터널이 위치하고 시점측 갭문부에는 쌍용APT단지과 주택밀집 지역과 종점부 갭문부에는 보문사와 주택밀집 지역이다.

#### 3.2 대단면 터널 변경배경 및 문제점

##### 3.2.1 당초 터널설계 단면 및 변경터널 단면배경

당초 토피가 낮은 도심터널에서 대단면 터널의 채택이 곤란하여 2-Arch터널로 설계하였으나 2-Arch 터널은 방수처리가 곤란하여 미관손상 및 유지관리비가 상승하며 동절기에 입출구부에서 노면이 결빙되어 안전사고의 우려가 있는 등 기능적인 문제가 있어 인접부에서 대단면 창신정거장 시공 성공사례 등을 토대로 하여 대단면터널

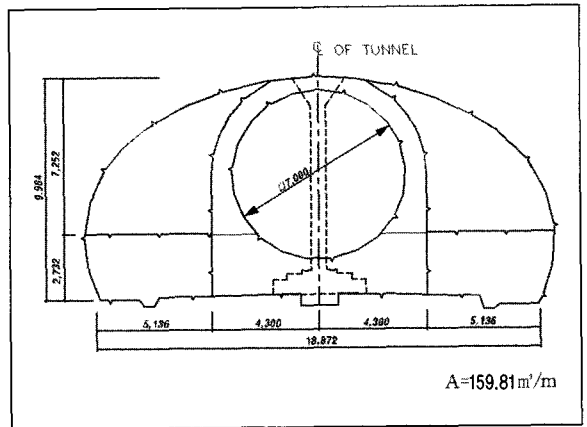


그림 2. 터널설계 단면 및 변경터널 단면배경

로 변경하여 시공하였다(그림 2 참조).

##### 3.2.2 터널굴착시에 예상되었던 문제점

- (1) 대단면 터널의 토피가 10~60m의 얇은 토피고로 인한 지반침하 및 터널의 안정성
- (2) 터널 통과지역의 직상부에는 50년 이상 노후주택의 밀집으로 발파진동으로 인한 피해 및 민원발생
- (3) 터널의 갭구부는 보문사 사찰과 쌍용APT 및 주거 밀집 지역으로 발파관련 민원발생
- (4) 중앙콘크리트 구조물의 발파진동 및 비산석의 손상 여부

#### 3.3 터널굴착 시공방법

##### 3.3.1 터널굴착 시공순서

그림 3 참조

##### 3.3.2 터널굴착 시공방법

###### (1) 중앙부굴착(①단면)

발파굴착시에 발생하는 지반진동과 소음을 최소화하기 위하여 TBM 선행굴착후 확장발파 굴착공법을 선정하였다.

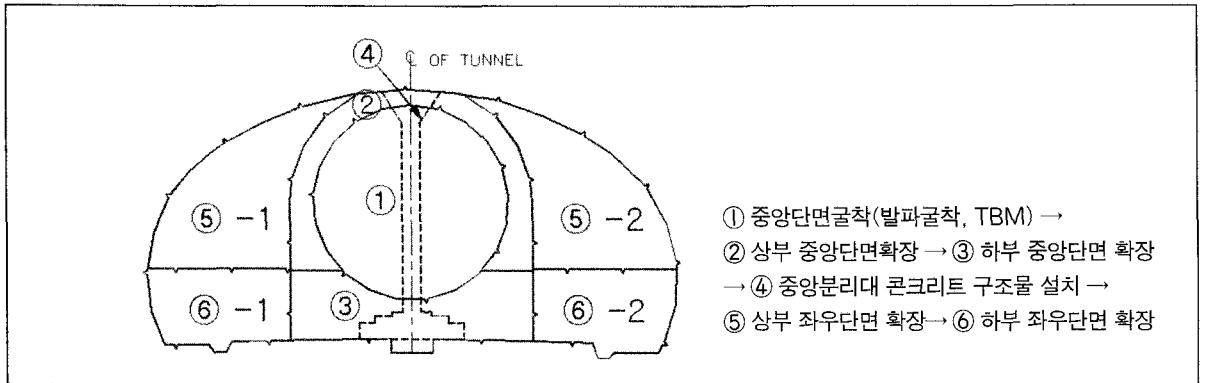


그림 3. 터널굴착 시공순서

그러나 TBM장비의 전진기지와 회수기지를 위하여 양측 갱구부 20~30m를 NATM 방식의 발파굴착을 시행하여야 하고, 대부분 터널에서 갱구부는 토파가 낮고 인접지 장물과의 이격거리가 짧아서 민원발생이 가장 많은 점을 고려할 때 TBM 굴착공법이 도심굴착에서 민원측면에서 효율적이냐의 문제는 고려해야 할 사항으로 판단된다.

또한 TBM은 굴착시 편차를 고려하여 터널중앙부에 배치하였으며 암반조건에 따라 Steel Rib와 Rock Bolt 및 Shotcrete 등의 보강작업을 시행하였다.

(2) 중앙부 확장굴착(②, ③ 단면)

중앙부를 상,하반으로 분할하여 상부반단면 ②선행으로 발파굴착을 시행하고 후방 30~50m 지점에서 하부반단면 ③을 수평굴착 혹은 Bench굴착(하향수직천공)으로 병행하여 발파굴착을 시행하였다.

TBM굴착시에 시공된 Steel Rib, Shotcrete 등의 보강된 상태에서 발파굴착을 시행한 결과에 의하면 구속력 증가로 인하여 발파진동 저감효과가 없는 것으로 분석되어 발파예정 구간에는 사전에 Steel Rib는 산소절단기로 부분적으로 절단하고 Shotcrete는 Breaker로 사전에 파쇄하여 발파를 시행한 결과 터널 발파굴착에 비하여 20~30% 진동저감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

발파진동의 영향을 고려하여 TBM확장 굴착공법을 채

택할 경우에는 TBM 굴착부에서 보강을 최소화하는 설계 기법도 고려되어야 하며, 가능한 Steel Rib와 Rock Bolt 보강을 지양하고 Shotcrete만으로 터널을 유지시키는 기법의 검토가 요구된다.

(3) 중앙콘크리트 구조물 설치

상하선의 중앙분리와 도심지대단면 터널의 중앙지지보 역할을 목적으로 하여 벽체식 철근콘크리트 구조물이 시공되었다.

(4) 상부 좌우확장 굴착(⑤단면)

상부좌·우 굴착시에 중앙에 설치된 콘크리트 구조물이 발파비산석으로 손상되는 것을 방지하기 위하여 중앙 하부 굴착면 ③ 부분은 버력으로 되메우기를 실시하고 상부에 노출된 구조물은 목재를 이용하여 구조물에 부착시켜서 방호벽을 설치하므로 발파비산석의 충격을 완화시켜서 구조물에 손상이 없이 발파굴착을 시행하였다.

(5) 하부 좌우확장 굴착(⑥단면)

상부단면이 보강되어 안정된 상태이며, 공기단축을 위하여 터널연장에서 4~5개로 분할하여 하향천공에 의한 Bench 발파와 바닥면 정리를 위한 수평발파법을 병행하여 시행하였다.

## 4. 지하철 ○○공구 유치선 대단면 터널 시공사례

### 4.1 지질 및 주변현황

서울의 강남에 위치하고 있는 지하철 유치선은 선캠브리아가의 형성된 호상혹운모 편마암지역으로 암반의 강도는 연암~경암을 구간으로 도로 하부를 30~50m 통과 하는 지하철 유치선으로 인근에는 호텔 및 대형건물 등이 20~30m 이격거리 위치하고 있어, 터널 발파굴착시 발생하는 진동으로 민원발생이 많았던 구간이다.

### 4.2 굴착단면 변경배경

상부반단면의 굴착단면이 2분할 CD굴착으로 설계되

었으나 인근 건물의 발파진동 영향과 지반조건이 설계단계에서 예상한 것보다 양호한 상태로써, CD굴착을 위한 발파작업시에 중앙의 굴착면이 과굴로 인하여 Steel Rib 설치가 곤란하고, 암반과 밀착되지 않아 하중분담 효과가 전혀 없을 것으로 판단되며, 시공공정이 복잡하여 시공성과 안정성이 불리하였다(표 2 참조).

### 4.3 터널 시공방법

중앙선진도갱 굴착(2~3막장 선행굴착) → 중앙선진도갱 천단부 Rock Bolt 시공 → 슛크리트(5cm) 시공 → 좌우확폭단면 굴착 → 보강 → 하부반단면 3분할굴착(그림 4 참조).

표 2. 지하철 ○○공구 유치선 대단면 터널 시공사례

| 구 분               | 당 초 설 계  |            | 변 경  |            |
|-------------------|--|------------|--|------------|
| 단 면               | <p style="text-align: right;">A = 180.78 m<sup>3</sup>/m</p>                                     |            | <p style="text-align: right;">A = 180.78 m<sup>3</sup>/m</p>                                       |            |
| 지보패턴              | P4   | P5         | P4   | P5         |
| 굴착공법              | C,D 굴착   |            | 선진도갱 굴착  |            |
| 굴진장               | 1.0m   | 1.2m       | 1.0m   | 1.0m       |
| 스틁크리트             | 16cm   | 12cm       | 16cm   | 12cm       |
| 록볼트               | 1.0×2.0×5m   | 1.2×2.0×5m | 1.0×2.0×5m   | 1.2×2.0×5m |
| 발파단면분할<br>(상부반단면) | 2분할  |            | 3분할  |            |
| 비 고               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지반이 불량한 대단면에 주로 적용</li> <li>• 공정 복잡, 시공이 어려움</li> </ul> |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 중앙 상반 굴착 후 좌우 상반 굴착</li> <li>• 공정이 간단 및 시공성 개선</li> </ul> |            |

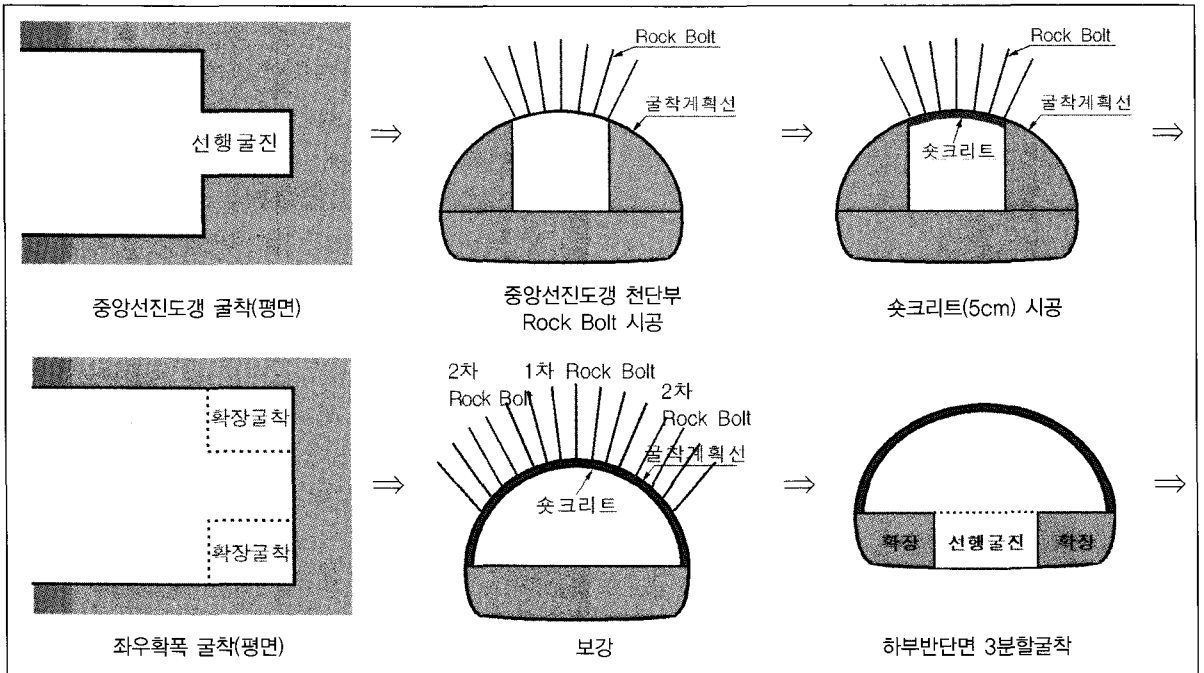


그림 4. 터널 시공 방법

## 5. 결론

토피고가 얇고, 상부에 지장물 등이 밀집되어 있는 도심지에서의 대단면 터널은 지반침하, 지하수유출, 발파진동 등의 영향으로 피해와 민원발생 우려가 많다.

따라서 대단면 터널의 굴착방법은 터널의 안정성과 시공성 및 경제성에 중요한 요소이므로 시공사례 및 경험에 입각하여 몇 가지 고려사항을 강조 기술하고자 한다.

### 5.1 대단면 터널분할 굴착방법

(1) Top Heading 부분은 굴착시 1자유면 형태이므로 굴착효율 저하와 발파진동 발생이 크며, 지표침하가 가장 우려되는 부분이므로 상부(Top Heading) 부분의 굴착단면은 장비의 시공성과 활용성을 감안 하되, 가능한 최소단면을 선택하는 것이 좋다.

(2) Top Heading부분을 분할굴착시에는 2분할의 CD 굴착보다는 3분할의 중앙선진 도갱식 굴착방법이 지표침하 요인이 적고, Cycle Time 측면에서도 전 단면 효율을 얻을 수 있다는 장점을 지니고 있어 시공성과 공기측면에서도 유리하다.

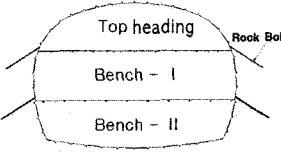
(3) Bench 굴착에서는 상부단면(Top Heading)의 내공 변위 등의 예측결과를 수렴하여 결정되어야 하나, 하향천공에 의한 Bench 발파시에는 천공장비의 능력과 발파진동의 영향을 고려하여 3~4m 높이가 적합하며, 수평굴착시에는 4~7m 높이로 분할하여도 문제가 없다.

(4) Bench 굴착단면을 분할할 경우 2분할 단면보다는 중앙선진 굴착에 의한 좌우단면 확장방법이 3분할 방법이 안정성측면과 시공성 측면에서 유리하다.

## 5.2 대단면 굴착시 보강방법

- (1) Top Heading 굴착후 다음 Bench 굴착을 시행할 때는 상부터널의 보강상태를 최종 점검하여, 굴착시 파손된 Shotcrete 등에 대한 최종 보수가 필요하다.
- (2) 특히 대단면 공동굴착시에 Bench부분에 표 3과 같이 Pre-Rock Bolting을 시행하는 것이 터널안정성에 유리하다.
- (3) Pre-Grouting 실시  
상부단면 굴착시에 단층대나 구조대가 발견되어 지하수유출 혹은 지반개량이 필요한 개소에 대해서는 Top Heading 부분에서 Bench 벽면을 향하여 천공을 시행하고 Grouting을 실시하면 효과적으로 지반개량 및 지하수를 방지할 수 있다.
- (4) TBM 확장굴착 혹은 분할굴착 과정에서 임시로 발생하는 굴착면의 보강은 가능한 Rock Bolt와 강재

표 3. 대단면 굴착시 보강방법

| Pre-Rock Bolting  | 적용사유   |
|---|--|
|  | 발파굴착이 중복되는 측벽부가 여굴이 많이 발생되어 터널 안정성에 취약한 요소로 작용되기 때문에 사전에 Rock Bolting을 시행하므로써 여굴을 방지하는데 효과적이다. |

지보를 지양하고, 부석정리와 Shotcrete만으로 보강을 시행하는 방안이 검토되어야 한다.

도심지 대단면 굴착시공은 특히 주변 지반조건과 굴착 단면의 크기, 지보방법에 따라 안정성이 좌우되므로 필히 시공시 계측결과, 발파성과와 지보의 적정성 등을 분석 반영토록 하여야 하겠다.