

# 환경친화적인 철도 터널의 새로운 굴착공법

## An environment friendly tunnel construction method for railway tunnels

이종득\*                      심재범\*\*                      마거 울프디트리히 \*\*\*                      한광모\*\*\*\*  
Lee, Chong-Duk                      Shim, Jae-Bum                      Mager, Wulfdietrich                      Han, Kwang Mo

---

### ABSTRACT

Conventional Korean tunnel portals require a lot of overburden as, for static reasons, about 1.5 to 2.0 times the tunnel diameter is needed for the height in order to achieve a sufficient arching effect. Thus, considerable movement of earth and support constructions are required which lead to undesirably large changes of and damage to the environment.

With a massively designed pipe roof, tunnels with little overburden can be built. For the effective construction of a pipe roof as an advancing safeguarding method, the following properties are indispensable: stability, insensitivity to settling and drilling accuracy.

With the AT casing system a new pipe roof method has been developed which on the one hand entirely combines the properties mentioned last, and which on the other hand permits safe, economical and environmentally friendly construction of tunnels at low overburden heights of 3 to 6 m.

---

### 1. 서 론

지구 표면의 약 90%는 흙 과 모래, 자갈, 점토, 빙하로 인한 퇴적 등으로 이루어 져있다. 이층 은 흔히 매립층 또는 퇴적층으로 알려져 있다. 이러한 지층을 천공할 때에는 천공 벽의 무너짐으 로 인하여 천공에 많은 어려움을 겪어 왔다. 이러한 점은 터널을 굴착하는 경우에도 해당된다.

이러한 어려움을 극복하기 위하여 지난 수십년 동안 여러 가지 천공공법과 터널 굴착 공법이 개발되어 왔다. 그러나 이러한 지층에 일반적인 공법으로 천공 또는 터널굴착을 한다는 것은 많 은 시간과 위험 그리고 경비를 소요하는 대가를 치러야만 한다.

예를 들어 터널의 경우, 터널 갱구의 위치가 산기슭의 토피가 낮은 구간일 경우 터널 상부의 토피가 Arching 효과를 발휘하지 못해 터널의 구조해석이 불가능해 진다. 또한 터널 굴착중 터 널 굴착면 주변의 지반이 불안정하여 터널의 자립이 불가능하여 어쩔 수 없이 갱구부를 신선한 암반이 출현하는 위치로 선택 또는 이동해야만 했다. 이는 토공량의 증가로 인한 공사비의 증가 공기의 증가뿐만 아니라 용지를 매입하고 그곳에 자라고 있는 생태계를 파괴하는 등 상당한 대 가를 치러야만 한다.

---

\* 한국철도대학 교수, 정회원  
\*\* 한국철도대학 교수, 정회원  
\*\*\* 독일 문헨대학 연구원, 비회원  
\*\*\*\* 계림하이텍(주) 대표이사, 정회원

이와 같은 조건하에 얇은 토피를 갖은 터널 상부 지층의 이완과 침하를 방지할 수 있는 공법의 개발은 안전한 터널굴착 뿐만 아니라 자연보호, 용지 매입으로 인한 예산절감, 민원으로 인한 공기지연 방지, 대형 토류구조물과 토공으로 인한 공사비절감 등 많은 기대효과를 가져올 수 있다. 이러한 공법의 개발은 또한 곧 재개될 대구-부산간의 고속철도 건설사업이나 도시철도와 같은 도심지 철도 사업에 실질적으로 많은 도움이 될 것이다.

한국철도대학은 그간 오스트리아 OO사와 독일 뮌헨대학 등과 많은 기술 교류를 통해 새로운 천공기술인 AT-Casing System을 도입하게 되었다. AT-Casing System은 기존에 알려진 터널 보강공법에 비하여 기술적인 편이성과 우수성은 물론이고 구조적으로 도 매우 안정적이어서 앞으로 국내터널의 굴착기술의 발전에 일역을 할 것으로 판단되어 시공사례를 통하여 AT-Casing system을 소개하고자 한다.



그림 1 대규모 절토사면

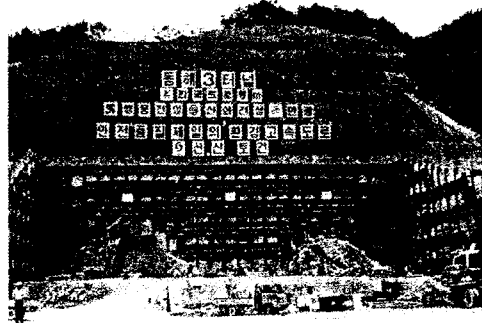


그림 2 대규모 갱구부 토류구조물

## 2. 터널 보강공법

터널 보강공법은 지반 조건과 보강목적에 따라 응력재를 설치하는 Fore Poling, Pipe roof 등 선진보강공법과 굴착후 터널 전주 또는 일부에 실시하는 Shotcrete, Rock Bolt, Micropile 등이 있으며, 주입공법, 배수공법 등도 들 수 있다. 본 논문에는 선진 보강공법 중 갱구부에서 적용할 수 있는 Pipe Roof에 대하여 소개하고자 한다.

### 2.1 Pipe Roof 공법

Pipe Roof 공법은 지질조건이 열악하거나 토피고가 낮은 지반에 응력재로 Pipe를 Arch형으로 삽입시켜 굴착중 터널의 붕락 및 침하를 방지하는 공법이다. 응력재로 사용하는 Pipe는 주로 강관 Pipe이며 우리나라에서는 지름 60mm 이하의 강관을 사용하는 "강관다단 그라우팅 공법"을 예로 들 수 있다. 최근 세계적으로 유행하는 공법으로는 76mm~100mm이상의 강관을 사용하는 대구경 Pipe Roof Umbrella 공법을 들 수 있는데 유럽전역에 걸쳐 사용하는 "AT-Casing System"과 이태리에서 많이 사용하는 "RPU"공법 등이 있다.

이들 각 공법을 갱구부에 적용할 경우를 비교하면 다음 쪽의 표[1]과 같다.

표 [1] Pipe Roof 공법 비교

구분	강관다단식	RPU	AT-Casing System
천공직경	105 ~ 125 mm	150mm	90mm / 120mm / 146mm
강관의경	50 ~ 60mm	114mm	76mm / 114mm / 139mm
천공직경과 강관의경의 차이	55 ~ 65mm	36mm	14mm / 6mm / 7mm
천공각도	15도 ~ 20도	5도 ~	0도 ~
정밀도	매우 부정밀	정밀	매우정밀 ( 0.0 ~ 1.0%)
1회 천공길이	16 m	12m	12 ~ 21m (60m)
천공장비	크롤러 드릴	특수 수평천공기	모든 천공기 (점보드릴)
햄머	Down the Hole	Down the Hole	Top / Down the Hole
Flushing	Air	Air	Water / Air
케이싱 천공	불가	특수Hammer 착용시 가능	가능
연속공사	불가능	불가능	가능
사고 대응능력	불량	매우불량	매우양호

## 2.2 갱구부 보강공법의 비교 평가

서두에서 서술한 바와 같이 일반적으로 갱구부의 토피는 그 두께가 얇고 느슨하여 굴착시 터널의 내공변위 및 지반침하가 발생할 소지가 크다. 따라서 다음과 같은 점들에 유의하여 공법을 선택 적용하여야 한다.

- 갱구부의 낮은 토피로부터 직접적으로 전달되는 하중을 지지할 수 있는 대구경 강관을 사용할 수 있는 공법
- 천공중 공벽의 무너짐을 미연에 방지하여 연속적인 토피의 침하를 방지할 수 있는 공법
- 용력체인 Pipe를 쉽게 삽입할 수 있는 공법
- 정밀천공이 가능한 공법
- 사고 대응력이 우수한 공법

이밖에 물론 경제성, 시공성, 안정성 등도 함께 검토 되어야 한다. 특히 공사중 발생될 수 있는 여러가지 상황에 손쉽게 대처할 수 있는 장비의 선택이 중요하다.

표[1] Pipe roof 공법의 비교에서도 잘 볼 수 있듯이 AT-Casing System은 침하나 붕락의 위험이 큰 저토피 갱구부에서 적용할 수 있는 공법 중에서 가장 적합한 공법이라 판단된다.

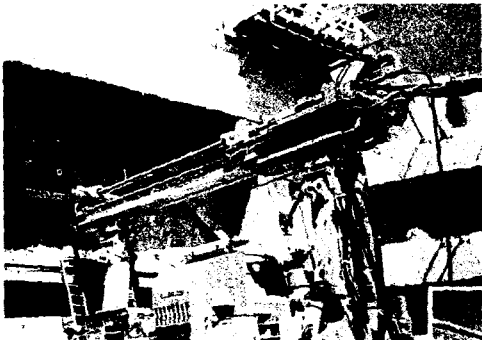


그림 3 특수 수평천공기



그림 4 일반 점보드릴

### 3. AT-Casing System

지금 까지 Pipe roof는 보링·그라우팅 전문업체에서 특수한 천공기계와 보링·그라우팅 전문인력으로 시공해 왔다. 기존 공법은 터널시공중 연약한 지반이 출현하여 보강이 필요한 경우 터널을 시공하는 업체(토공업체)의 굴착장비(예, 점보드릴 등등)와 굴착인원 등이 철수하고 보링·그라우팅 업체(협력업체)의 특수장비와 인원이 투입됨으로 서로 시공간섭이 이루어져 작업중단이 발생된다. 이러한 현상은 단순히 토공회사의 작업중단으로 인한 토공회사의 경제적 손실과 공기지연이란 결과만 초래하는 것이 아니라 토공회사가 터널 시공 초기부터 지금까지 시공해 오며 취득한 지질, 지형 등의 현장여건, 발주처, 원청, 민원인 등의 취향 등 여러가지 정보가 다음 보강공정에 오는 보링·그라우팅 업체에게 그대로 전달하기 어려워 과다설계 또는 소극적 대처 등으로 안전불감, 품질저하, 공기증가 등이 발생할 수 있으며 이로 인해 공사비 상승도 초래된다.

AT-Casing System의 적용은 터널에 기 투입된 터널 굴착장비와 굴착인원 등을 이용하여 손쉽게 작업중단 없이 시공함으로써 위와 같은 장비, 인원 교체로 인한 정보전달이 필요 없고 이로 인하여 안전시공, 공기단축, 공사비절감 등을 추구할 수 있게 되었다. 터널 굴착 장비는 모터, 유압 등을 개조할 필요 없이 간단히 Guiding Element를 교체함으로써 Pipe roof를 정밀하게 쉽게 시공할 수 있는 기계로 변신하게 된다.

그간 1998년부터 수십 차례의 시공으로 AT-Casing System의 적용이 경제적, 기술적으로 우수하다는 결론을 얻게되어 오스트리아, 독일 스위스를 비롯한 유럽 여러 나라와 일본, 호주 대만 미국 등에서 흔히 사용하는 공법이 되었다.

#### 3.1 AT-Casing System의 원리

AT-Casing System의 주된 구성요소는 천공부품이다. 이 천공부품은 최신기술로 만들어져 Drilling Hammer의 Impact Energy를 가장 효율적으로 Bit에 전달되고 Drilling Bit가 가장 효율적으로 일할 수 있도록 슬라임처리(flushing)를 하여 최적의 천공 조건을 공내에서 만들어 준다. 또한 Ring bit를 사용하여 천공과 동시에 응력제인 Pipe를 삽입함으로써 기존공법인 천공후 Pipe를 삽입하며 발생하는 어려움을 해소시켰다. AT-Casing System의 작동은 Top hammer 또는 Down the Hole (DTH) hammer 상관없이 적용할 수 있다. 다만 천공 회전방향의 경우 Top hammer는 왼쪽으로 DTH hammer는 오른쪽으로 도는 것이 다를 뿐이다.

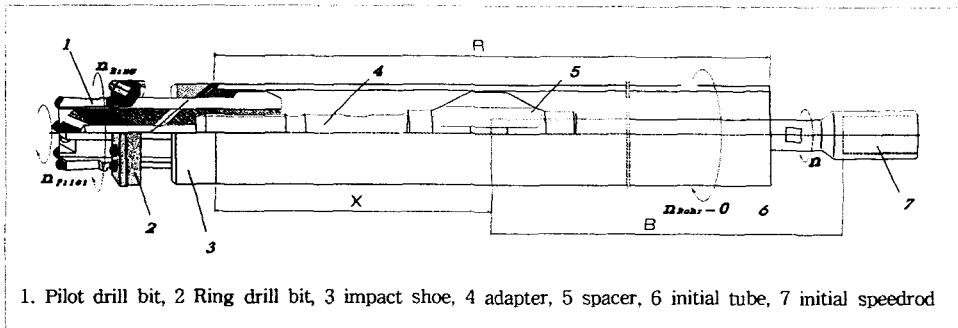


그림 5 Top Hammer 주요 구성요소

AT-Casing System이 다른 기존 공법과 다른 점 중의 하나는 Ring drill bit이다. 이 Ring drill bit는 목적했던 소정의 깊이를 천공한 후에 Pilot drill bit로부터 분리되어 지반 속에 사장된다. 즉 일회용 소모품인 셈이다. 이 Ring drill bit의 역할은 Pilot drill bit가 천공한 hole을 Pipe가 삽입될 수 있도록 천공 hole을 Pipe 외경보다 조금 큰 공간을 확보하는 임무를 가지고 있다.

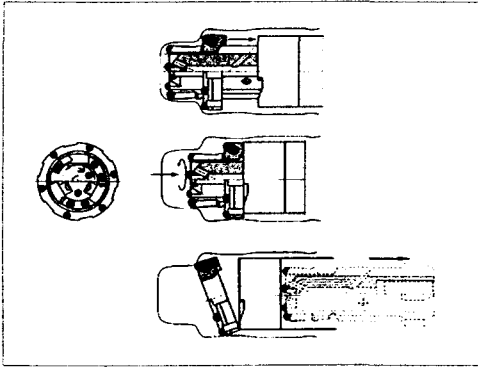


그림 6 Ring drill bit 의 분해

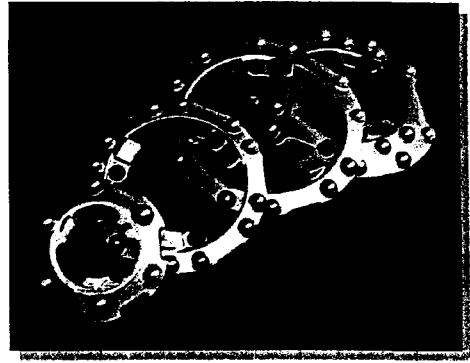


그림 7 Ring Drill Bits

### 3.1.1 천공

기존 Bit는 그림9에서 볼 수 있는 바와 같이 확공을 위한 Bit ①가 달려있어 무게중심이 한쪽으로 치우쳐 있다. 따라서 회전시 심한 진동으로 정확도가 떨어진다. 특히 막장면에 천공 시작시 심한 떨림으로 천공위치를 정확히 잡을 수 없을 뿐만 아니라 천공각도도 대개 설계한 각도보다 커지게 되는 단점이 있다. 반면 AT-System Bit는 점대칭 구조로 회전시 떨림이 없으며 Support pin을 사용함으로써 천공각도를 정확히 유지할 수 있을 뿐만 아니라 천공위치도 정확히 확보할 수 있다. 또한 레이저빔 또는 측량기를 사용하므로 정확한 조준으로 정밀천공이 가능하다.

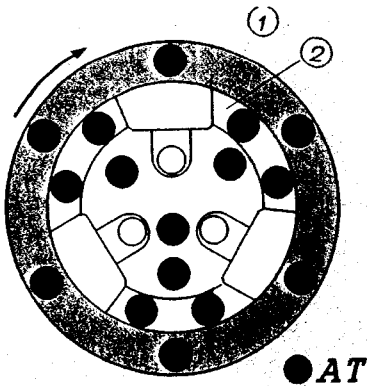


그림 8 AT-System Bit

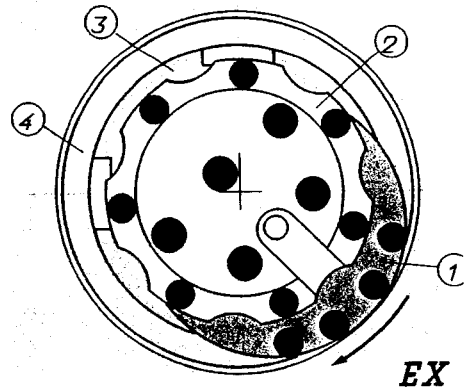


그림 9 기존 확공 Bit

### 3.1.2 슬라임처리 (Flushing)

기존 Bit는 확공을 위한 Bit가 달려있어 슬라임을 배출할 구멍 삼개소 중 항상 1개소를 막고있으며 배출 구멍의 크기가 AT System 에 비하여 작아 슬라임 배출이 어렵다. 따라서 천공속도가 느리다. 반면 AT-Bit는 슬라임을 배출할 구멍 삼 개소가 항상 열려있고 배출 구멍의 크기가 기존 Bit에 비하여 크므로 슬라임 배출이 원활이 이루어진다. 따라서 Bit가 항상 천공면에 밀착되어 천공효율이 높아진다. 또한 Pilot drill bit 가 선 천공하고 후에 Ring drill bit 가 확공하는 방법을 사용하므로 적은 힘으로 큰 효과를 얻을 수 있어 천공속도가 빠르다.

### 3.1.3 정확도

갱구부의 경우는 어느 공법을 사용하더라도 천공각도를 수평으로 할 수 있다. 그러나 기존공법의 경우 룯드(Speed Rod)의 강성이 충분치 못해 천공 중 중력방향으로 휘어지게 된다. 따라서 수평 천공은 사실상 어렵다. 따라서 기존 공법은 상향으로 약 5도에서 15도 각도로 천공한다. 그러나 AT-Casing System은 천공의 정확도를 천공 룯드(Rod)의 강성에만 의존하지 않고 천공시 동시에 삽입되는 Pipe의 강성도 함께 이용하여 설계자 또는 발주처의 요구에 맞추어 경제적 시공이 가능하다.

### 3.2 환경친화적인 갱구부 시공 사례

이와 같은 AT-Casing System의 장점을 살려 환경친화적인 차원의 갱구부 설계와 시공이 가능하다. 실지로 독일, 오스트리아, 스위스 등의 유럽의 고속철도 또는 고속도로 현장에서 토피는 약 4m 내외의 갱구부를 흔히 찾아 볼 수 있다. 최근의 대만 고속철도 현장에서도 대구경 강관을 이용한 Pipe roof Umbrella공법을 도입해 저 토피 갱구부를 찾아 볼 수 있다.

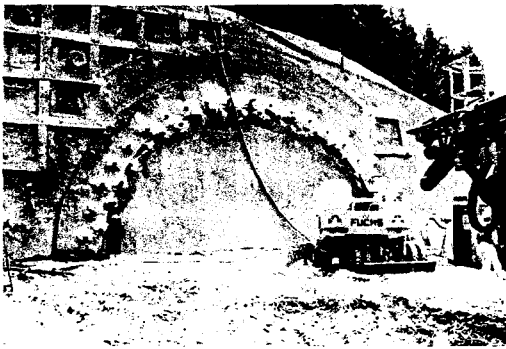


그림 10 St. Anton Tunnel (오스트리아, 철도)



그림 11 대만고속철도 (C260)

## 4. 결론 및 향후 연구방향

국토의 70%가 산악 지형인 우리나라에 터널은 다른 교통 구조물에 비하여 가장 환경친화적인 방법이라 할 수 있다. 그러나 이러한 환경친화적인 터널의 건설을 위하여는 저토피 갱구부를 적극 검토하여 설계와 시공에 반영하여야 한다. 그러나 현재의 지반구조해석방법은 Pipe roof Umbrella의 Pipe 강성을 정확히 고려한 해석방법이 개발되지 않아 과다설계가 이루어 지고있다. 현재 독일, 오스트리아 등지에서 많은 기술자들이 Pipe 강성을 합리적으로 적용할 수 있는 구조해석 프로그램을 개발하고 있다. 우리도 환경을 생각하는 공법의 개발에 참여하는 의미에서 한국형 지형에 걸맞은 Pipe roof Umbrella의 구조해석 프로그램의 개발이 시급하다.

### 참고 문헌

1. Wulfdietrich Mager, Josef Mocivnik, "Modern Casing Technology Set a Milestone in Drilling and Grout Anchoring", Felsbau 6/2000 December
2. Josef Mocivnik, "AT Training Documents", Nagoya-2001. 01. 27
3. 쌍용건설주식회사, "대구경 강관 보강공법 (AT-Casing System)", 2001. 6