

■ 터널 공법의 소개

터널 공법의 선정은 시공의 안전성, 경제성, 시공의 편의성 등을 종합적으로 검토하여 이루어진다. 현재는 도심 지하공간을 관통하는 터널의 개발, 해저터널의 건설, 산악터널의 개발에서 부딪히는 시공상의 어려움은 터널 시공 기술의 발달로 대부분 해결된 상태이다.

최근 가장 선호하는 터널 공법으로는 재래식의 공법과 함께 NATM 터널 공법, TBM공법, 침매(沈埋)공법을 들 수 있다. 현재 도시지의 지하철 터널을 비롯한 지하공간의 개발은 대부분 NATM방식에 의해 시공되고 있다.

재래식 공법과 NATM 공법의 차이는 터널 굴착 시 내부를 지지하는 방법의 차이에 있다. 재래식 공법은 터널을 발파 후 내벽을 철재 지보공(Steel Rib)과 콘크리트 Lining (터널내벽을 보호하는 콘크리트 보강 벽체)을 사용하여 터널 내벽을 지지하는 것에 비해 NATM 공법은 지반 자체가 주요한 지보재로서 이용되고 Shotcrete, Rock Bolt, Steel Rib에 의해 지반이 본래가지고 있는 강도를 유지하거나 보강을 해준다.

TBM(Tunnel Boring Machine)은 정상적인 화약장전에 의한 발파 작업이 불가능한 지역 (해저터널, 지반이 약한 지역) 에서 터널 시공 시 이용하는 방법이다. 영국과 프랑스를 연결하는 유로 터널은 TBM공법을 이용한 대표적인 터널이다.

침매 공법은 터널 형태의 대형 콘크리트 구조물을 해저에 가라 앉힌 뒤 이 구조물을 기술적으로 연결하여 터널을 건설하는 방식으로 홍콩의 Western Harbour Tunnel이 이방식으로 만들어 졌으며 거가대교의 일부 해저 구간도 침매공법을 적용할 계획으로 알려지고 있다.

■ 터널굴착공법의 종류

터널의 굴착공법은 크게 발파에 의한 방법과 기계굴착에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 발파에 의한 방법은 현재 재래식 공법과 NATM 공법을 적용하고 있으며 또한 기계굴착의 경우는 T.B.M공법이 상대적으로 단면이 작은 수로터널이나 도시지의 지하철 공사시 소음이나 진동방지를 목적으로 적용되고 있으며, 연약지반 구간에서 SHIELD공법을 적용한 사례가 있다.

■ 터널굴착공법의 특성

1) NATM (New Austrian Tunneling Method) 공법의 특성

이 공법은 재래식 공법에 비해서 월등한 경제성과 안정성이 입증되어 도심지 및 산악지역의 대부분 터널에 적용되고 있다. 재래식 공법이 Steel Rib 와 Lining 이 주요한 지보재(支保材)로 사용하는 것에 비해 NATM 공법은 지반 자체가 주요한 지보재로서 Shotcrete 와 Rock Bolt를 사용하여 굴착 표면을 강화시켜 암질이 연약한 부위에서도 효과적으로 공사를 수행할 수 있다. 터널 공정은 지질 조사를 통한 데이터를 기초로 지보형태를 결정하고 굴착에 임한다.

지보 형태는 암질의 유형에 따라 Shotcrete의 두께 및 Rock Bolt의 길이가 정해진다. 일반적으로 Shotcrete의 두께는 10 - 20 cm에 이르고 Rock Bolt의 길이는 4 - 6 m 이다. 지반이 약할수록 지보재가 두껍고 길어진다. Shotcrete 는 터널 굴착 즉시 터널 천정의 굴착 표면을 안정 시킬 목적으로 사용되며 습식과 건식의 방법이 있다. 오늘날 습식이 건식에 비해 작업이 편리하고 분진이 적으며 경제성이 높아 습식이 주로 사용된다. Shotcrete 배합은 시멘트, 세골재, 조골재, 물, 급결제로 이루어진다.

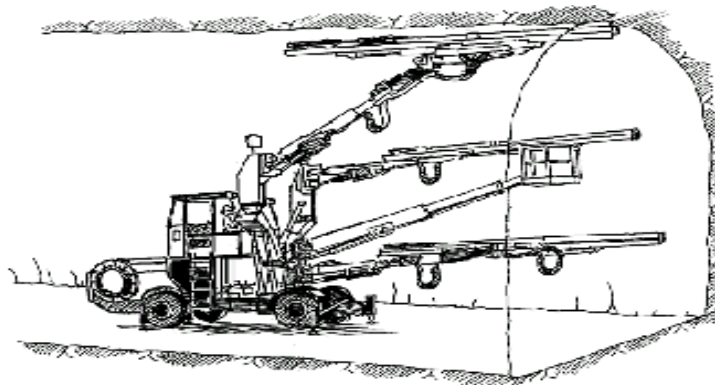
시공방법은 혼합된 시멘트 몰타르를 압축공기로 밀어내어 이동시키며 노즐을 통해 뿜어서 면에 타설한다. 노즐을 통해 분사할 때 급결제를 첨가 함으로써 쉽게 표면에 부착된다.



Shotcrete 타설장면



Rock Bolt를 삽입할 구멍 뚫는 장면



3 Boom Jumbo Drill 장비모습

Rock Bolt 는 굴착한 원 지반과 주변 지반을 Rock Bolt로 연결하여 조여줌으로써 지반을 안정시키는 역할을 한다. Rock Bolt 의 종류는 정착 방법에 따라 선단정착형과 전면 정착형으로 나누어지며 일반적으로 전면 정착형을 쓰고 있다.

시공방법은 주로 Resin형으로 이 방법은 암반에 뚫은 구멍에 Resin을 주입하고 Rock Bolt를 삽입한다. 삽입과정에서 Resin 이 화학 반응을 일으켜 경화된다.

터널의 굴착은 천공장비를 이용하여 암석 표면에 구멍을 뚫고 화약을 장전하여 발파 시키는 과정을 되풀이 한다. 천공장비는 최근 개발된 3 Boom Jumbo Drill 을 이용하는 추세다. 이 장비는 천공 각도를 수직과 수평으로, 천공 간격을 일정하게 하는 자동 조절 기능이 부착되어 생산성이 뛰어나다.

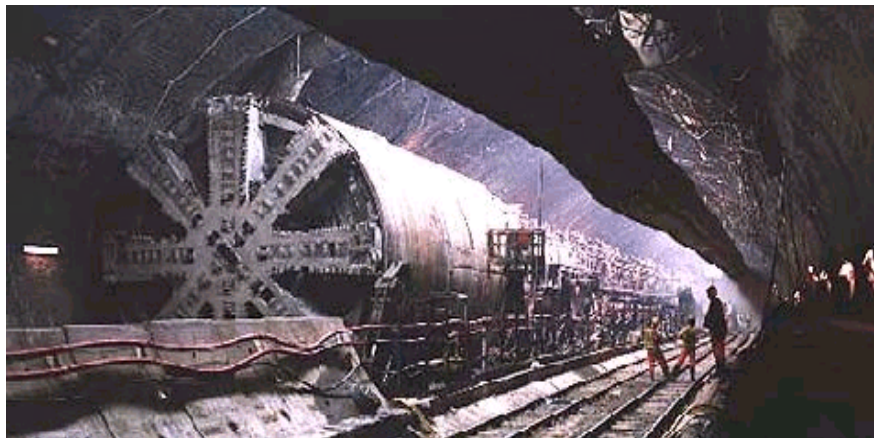
2) TBM (Tunnel Boring Machine) 공법의 특성

TBM(Tunnel Boring Machine)은 재래의 구멍뚫기 및 발파를 반복하는 시공과는 달리 무진동, 무발파로 전단면 터널굴착 기계이다. TBM에 의한 터널시공은 굴착면에 상응하는 원형의 단면으로 굴착되므로 역학적으로 안정되고, 기계화 굴착이므로 자산 변형을 최소화할 뿐 아니라 비발파 작업으로 안전하고 청결한 갱내 작업환경을 확립한 최신 터널 굴착공법이다.

최근 이 공법의 필요성은 국내건설 시장이 경제사회의 발전과 국민복지 시설확충에 따라 도로, 철도, 지하철 등 교통망의 확충, 수자원이용, 전력통신망 등 터널수요가 급격히 증가하고 있으나 용지보상비의 과다, 터널 노무인력 확보, 교통체증, 각종 민원 발생 등으로 재래공법이 그 한계에 이르렀으며, 구미 선진국에서는 산업재해 및 자연보호 측면을 고려하여 TBM공법이 보편화되고 있다.

최근 발표된 국제터널협회(I.T.A)의 통계자료에 의하면 미국, 오스트리아, 독일 등지에서 시공된 터널중 30% 정도가 기계식 굴착방법인 TBM에 의해 시공되었으며, 국내에도 1985년 이 공법이 도입된 이래 다수의 터널공사에 적용 그 성과를 인정받았으며 재래공법과 병행하여 터널 굴착 공사에 많이 사용되고 있다.

기존의 터널 공법에 비해 TBM공법은 원형 굴진 작업으로 인해서 터널의 여굴(여유 터널 면적)이 적고 즉각적인 Shortcrete 작업으로 터널 내벽이 안정적이고 터널의 변형이 최소라는 이점이 있다.



TBM 장비의 배치모습

반면에 굴착단면의 급작스런 변화 - 아주 강한 암석 또는 연약 지반의 돌출, 다량의 용수가 발견된 경우에는 즉각적인 대처가 용이하지 않다는 단점이 있다. 특히 장비 가격이 비싸 장비 가동율이 떨어 질 경우 경제적인 손실이 크다.

▷ NATM공법과 TBM공법 비교 ◁

공법		N.A.T.M	T.B.M
구분			
공법개요		· 발파에 의한 굴착후 주변지반의 지지력을 활용 · 록볼트 슛크리트를 보조지보재로 사용 · 암반역학을 기본으로 시공단계별 해석 · 계측에 의한 피드백	· 전단면 기계굴착 공법 · 주변암반지대를 지보재로 활용 · 역학적으로 안정된 원형 구조를 형성
굴착공정		· 구멍뚫기 및 발파 · 버력 처리 · 슛크리트 타설 · 록볼트 설치 · 강지보공설치	· 굴착 및 버력처리 · 슛크리트 타설 · 록볼트 설치 · 강지보공설치
시공성	단면및선형	· 비정밀	· 정밀
	더파기	· 12~15m	-
	안전성	· 화학발파로 낙반사고 빈번	· 비발파로 낙반사고 최소
환경성	작업환경	· 발파진동으로 인한 주변피해발생 및 자연환경 훼손	· 무진동, 무발파로 주변 피해 없음
	부대환경	· 구멍뚫기 슛크리트 분진 및 발파 및 자연환경 훼손	· 무진동, 무발파로 주변피해 없음
경제성		· 더파기 발생으로 비경제적 단면 구성 · 다량의 지보재 소요 · 장대터널시 작업용터널 필요	· 구조적으로 안정된 원형 단면으로 지보재 대폭 절감 · 장대터널시 절대 유리
장단점	장점	· 굴착과 동시에 슛크리트로 지반이완을 방지하므로 대단면에 유리 · 지질변화에 대한 대책 및 연계성 양호 · 광범위한 지질에 적용가능	· 비발파로 안전도 증대 · 원형구조로 구조된 안정 · 공정단순 · 터널에 작업환경 양호 · 공사기간 단축
	단점	· 정확한 지질조사 요구 · 계측 및 시공시 전문 기능공 필요 · 공정이 다소 복잡 · 다수 장비의 필요로 소단면에 부적합 · 장대터널 공사기간 장기화	· 정확한 지질조사 요구 · 기계중량이 무겁고 고가임 · 전문기능공이 필요
시공예		· 도수터널, 도로터널 등 다수 · 지하철등 다수	· 도수터널, 도로터널등 다수 · 지하철등 다수

고찰

위의 자료와 표에서 보듯이 NATM공법은 현재 가장 많이 쓰이는 공법으로써 기존에 사용되었던 재래식 공법에 비해 경제성이나 안정성이 월등히 나아진 공법입니다. 하지만 발파를 이용한 공법 이다보니 낙반사고나 주위 자연환경 파괴 그리고 심각한 소음 등 많은 단점도 가지고 있습니다.

그에비해 TBM공법은 발파를 이용한 공법이 아닌 굴착 기계를 이용하여 터널을 뚫는 방식으로서 NATM공법에 비해 무진동 무소음의 효과를 볼 수 있습니다. 하지만 고가의 굴착기계를 사용해야 한다는 단점이 있습니다.

경제적인 면이나 실용적인 면에서 본다면 NATM공법이 경제적이고 실용적인것 같고, 그밖에 다른 관점 환경파괴나 소음등을 고려해볼땐 TBM공법이 좋은것 같습니다. NATM공법과 TBM공법을 적절히 조합하여 함께 사용함으로써 경제적인 면과 안정성, 자연환경 보호를 극대화 시키는것이 앞으로의 터널공법에 있어 가장 유념해야 하고 주의를 기울여야 하는 과제인것 같습니다.