

NATM 터널 굴착에 따른 보조공법

황세환 / 토목기술부 사원

여 러 가지 터널공법중 국내에서 많이 채택되고 있는 NATM 터널은 지반 자체가 중요한 지보재 역할을 하며 보조적으로 Shotcrete, Rock Bolt, 강지보를 이용하는 터널공법이기에 때문에 지반조건에 따른 터널굴착 방법과 병행하여 막장안정과 용수처리 및 침하를 최소화 하기 위한 보조공법이 필요하다. 일반적으로 보조공법은 다음의 사항을 면밀히 검토하여 적합한 공법을 선정해야 할 것이다.

- 지반조건(지질구분, 지반물성치, 기반암의 특성 및 균열 상태, 막장자립성, 용수상태)
- 터널 단면(단선, 복선, 확폭, 2~3Arch)
- 굴착방법(인력, 기계, 발파)
- 굴착공법 및 순서(Full Face Cut, Bench Cut, Silot 등)
- 현장여건(토피, 철로, 매설물 및 인접건물 존재여부)
- 보조공법의 특성 및 시공성
- 대상 지층에서의 보조공법 시공에 따른 경제성 및 공기
- 보조공법의 시공위치(노상, 막장)

본고에서는 국내에서 시공실적이 있는 시공사례 및 현재 도심지 지하철 시공시에 적용되고 있는 공법을 중심으로 보조공법 소개와 적용기준 및 문제점, 공법의 비교검토를 통해 지반조건과 공사목적에 따라 향후 공법선정에 다소나마 도움을 주고자 한다.

보조공법의 필요성

안전한 터널시공을 위해서는 터널 굴착에 따른 이완도 압과 용수량을 경감시키기 위한 보조공법이 터널굴진과 병행하여 시공되어야 한다. 특히 보조공법은 지반조건을 충분히 파악하고 공사목적에 따라 낙반이나 이완도압의 경감만을 위한 것인지, 용수처리만을 위한 것인지, 동시에

만족시킬 것인지가 적용되어야 하고 시공성, 경제성, 터널 공기 측면도 고려되어야 한다.

일반적으로 막장안정만을 위해서는 터널굴착방법(분할 굴착)과 1회 굴진장을 최소화하여 간단한 Fore Piling만으로 막장안정을 도모할 수 있으나 시공성이 현저히 저하되고 대부분의 경우 용수를 동반하게 되어 토사터널에서는 토립자의 유실과 지하수위의 저하로 침하가 커지고, Shotcrete나 Rock Bolt 시공이 곤란해진다.

특히, 풍화대층은 투수계수가 다소 낮지만 터널 굴착후에 지하수가 유입되면 원상태에서의 토성치가 급격히 저하되므로 도심지 지하철시공을 위한 터널에서는 막장안정과 용수처리를 동시에 만족시킬 수 있는 보조공법이 요구된다.

보조공법의 분류

NATM 공법에서는 굴착후 즉시 Shotcrete를 시공하는 것이 중요하며 Shotcrete 완료시까지 막장이 자립하는 것이 안전시공의 필수조건이다.

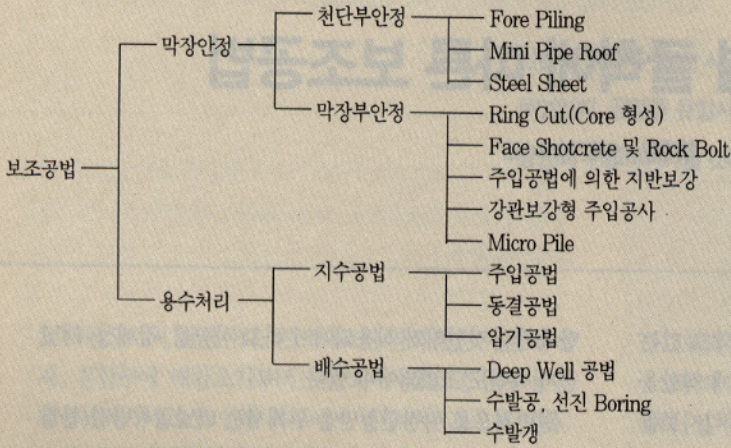
막장안정이 불안전하고 용수에 의해 Shotcrete시공이 곤란한 경우 터널주변 지반의 상태와 용수량에 따라서 보조공법을 채택할 필요가 있다.

일반적으로 터널 굴착에 따른 보조공법을 사용목적에 따라 분류하면 <그림 1>과 같다.

보조공법 개요 및 특징

1) Fore Piling

일반적으로 풍화암이상의 균열이 심하게 발달된 지반에 사용되며 터널 천단부에 경사 Bolt를 시공하여 천정부에서의 낙반이나 붕낙방지를 목적으로 사용한다.



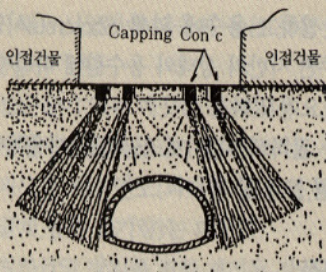
〈그림 1〉 터널보조 공법의 분류

2) Mini Pipe Roof

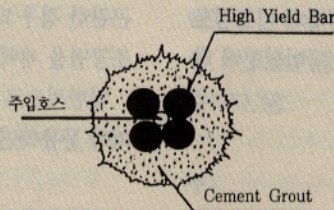
본 공법은 주로 토사터널을 대상으로 천공 후에 천공 구경보다 약간 큰 Pipe를 타입하고 Pipe 내 Grout를 충전시켜 지반과 Pipe가 일체가 되도록 하여 지반이완을 최소화하기 위하여 사용된다. 본래 Pipe Roof공법은 강관추진에 의해 미리 강관에 의한 Roof를 형성시키고 굴착시 강관의 Beam작용에 의한 상부 및 주변지반을 지지해주는 역할을 하는 공법으로 강관추진을 위한 발진 개구부

- 통상 10~20° 각도로 천공하고 경사 Bolt 압입, 몰탈 주입 또는 레진에 의한 설치
- 붕락방지 및 지보효과를 동시에 기대
- 암반의 절리에 따라 Pitch, 각도, 길이를 조정하여 시공할 필요가 있음
- 경사 Bolt는 주입에 의해 암반에 밀착되어야 시공효과를 기대
- 대부분의 NATM 터널에 적용

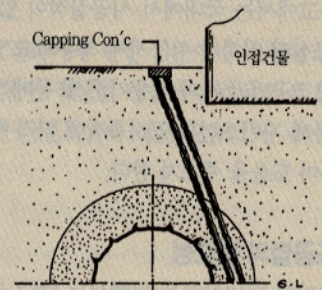
설치 및 장비 반출입 등이 가능한 조건에서만 적용되었다. 그러나 수평천공 장비가 개발 보급됨에 따라 어떤 지층조건에서도 시공이 가능하여 소구경 관을 일정간격으로 천공, 설치하여 일련의 Mini Pipe Roof를 형성시켜 지반의 이완방지 및 지보효과를 기대할 수 있으므로 철도횡단, 상부 구조물횡단, 갱구부 등 시공이 어려운 지역에서 실적이 증대되고 있다. 아울러 풍화대층 이하의 지반조건에서는 Fore Piling의 목적으로 Mini Pipe Roof를 채택하는 것이



〈터널지반 보강예〉



〈MICRO PILE 단면〉



〈부산 지하철 2-10공구〉

〈그림 2〉 Micro Pile 시공도

NATM 터널은 지반자체가 중요한 지보재 역할을 하며 보조적으로 Shotcrete, Rock Bolt, 강지보를 이용하는 공법으로 지반조건에 따라 터널굴착방법과 병행하여 막장안정과 용수처리 및 침하를 최소화하기 위한 보조공법이 필요하다.

보다 안전할 것으로 판단된다.

- 토사터널의 지반이완 및 붕락을 방지하는데 효과적
- Fore Piling 목적으로 사용할 경우에는 간편하게 시공
- 구경이 커지고 길이가 길 경우에는 별도의 천공장비에 의한 Pre Boring후에 삽입, 설치
- 철도횡단, 상부 구조물 횡단, 단층파쇄대 통과, 터널 갱구부 보강 및 터널 토피가 적은 경우의 보강 등에 효과적인 보조공법.
- 통상 약액주입공사와 병행하여 사용

▶ **시공사례**

- 공사명 : 과천시 1공구
- 현장현황 : 철도 횡단 구간
- 공법 : 복합약액주입공사(S.G.R Grouting) + Pipe Roof
- 지층 : 풍화대

3) **鋼失板**

본 방법은 지반이 나쁜 토사터널에서 타입이 가능한 경우에 한해서 적용할 수 있는 방법이다. 일반적으로 폭 15~20cm 정도의 Steel Plate가 사용되며 지반과의 지지면적이 큰 이점은 있으나 타입시 지반이 손상될 우려가 있으므로 현장타입시험을 통하여 채택 가능여부를 확인할 필요가 있고 지표의 침하량이 크므로 Grouting에 의한 지반보강공사와 병행하여 사용한다. 아울러 타입을 위해서는 별도의 타입용 장비가 필요하며 지반과 Shotcrete의 밀착을 도모하기 위하여 Plate는 20cm정도 간격으로 설치하는 것이 좋다. 국내에서는 Messer Shield 공법으로 시공되고 있다.

▶ **시공사례**

- 공사명 : 서울지하철 5-3공구
- 현장현황 : 김포공항 인근지역 하부통과
- 공법 : S.G.R Grouting + Messer Shield
- 지층 : 풍화대
- 시공현황 : 지표침하가 많이 발생

4) **Micro Pile(Root Pile)공법**

본 공법은 지중에 소형 Pile을 형성하여 터널굴착에 따른 막장안정이나 주변건물 보강목적으로 널리 사용되고 있는 공법으로 터널내부에서는 시공이 다소 곤란하고 대부분 지상에서 수직 또는 경사시공으로 현장여건과 공사목적에 따라 다양하게 적용할 수 있다.

본 공법은 대상지층을 $\phi 100\sim 200\text{mm}$ 로 천공하여 응력재로 철근 다발 또는 강관, Rail 등을 사용하고 여기에 주입관을 설치하여 Hole내에 삽입하고 주입 Pump에 의한 Cement Milk 또는 Mortar를 압력 주입으로 소형 Pile의 형성과 Pile 주변 지반의 보강이 이루어지도록 한다. 일반적으로 Under Pinning 공법에서도 보강목적으로 많이 사용되고 있으며, Root Pile이라고도 한다. 현재 국내에서 시공중에 있는 Packer Grouting도 본 공법에서 파생된 것으로 볼 수 있다. 아울러 본 공법은 주입재로 대부분 Cement Milk를 사용하므로 지수목적으로의 효과는 기대할 수 없다. 터널토피가 적고, 터널굴착시 지하수의 영향을 무시할 수 있는 단순 지반보강 목적으로만 사용이 가능하고 차수를 위해서는 별도의 차수 Grouting이 필요하다. <그림 2> 참조

▶ **시공사례**

- 공사명 : 부산지하철 2-10공구, 서울지하철 5-12공구
- 현장현황 : 건물밀집지역하부통과
- 공법 : S.G.R Grouting + Micro Pile
- 지층 : 붕적층

5) **排水工法**

본 공법은 용수처리를 위해 지하수를 배수하여 수위를 저하시키는 공법으로 자연 배수공법과 천공을 이용한 강제 배수공법이 있으며 종류는 다음과 같다.

- 자연배수공법 : 釜場工法(Pumping), 深井工法(Deep Well), 수발공선전 Boring, 수발갱 등
- 강제배수공법 : Well Point, Vacuum Deep Well, 電氣

滲透壓工法 등

배수공법은 사용시에 과도한 배수로 인하여 굴착주변지반의 침하를 야기시켜 기존 구조물에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 제반여건을 고려하여 충분한 검토후에 적용할 필요가 있다. 또한, 굴착주변의 지반 침하를 방지하기 위하여 배수한 물을 다시 주입하여 지하수위의 저하를 경감시키고, 침하를 최소화할 수 있는 주수공법을 적용할 수도 있다. 그러나 상기 배수공법은 적용 가능 지반조건과 양수고 등에 한계가 있고 도심지 터널공사와 같은 매설물과 건물물이 위치하고 있는 조건에서는 장기간 배수로 인한 수위저하로 피해가 예상되므로 적용이 불가능하다. 따라서 배수공법은 수위저하로 인한 침하로 피해가 예상되지 않는 현장, 암반터널에서의 선진 Boring, Pilot터널 등의 수발공을 이용하는 정도로 채택이 가능할 것으로 판단된다.

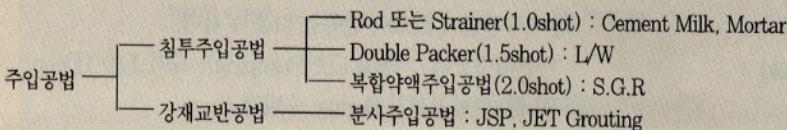
▶ 시공사례

- 공사명 : 일산선 13 공구
- 현장현황 : 지하수가 많고 인접건물이 없는 지역 통과
- 공법 : Well Point 공법
- 지층 : 터널 상부 모래자갈, 터널내 풍화대

6) 주입공법 (Grouting)

본 공법은 지중에 천공으로 주입관을 설치하고 주입관을 통해 Mixing Plant에서 혼합된 주입재(Grout)를 주입 Pump로 주입하여 차수 및 지반보강을 목적으로 하는 공법으로 종래부터 터널보조공법으로 널리 적용되고 있는 공법이다.

(1) 주입공법의 분류



- 침투주입공법은 원지반을 흐트리지 않고 주입재가 지반의 공극속에 맥상 또는 침투주입에 의해 고결되는 주입공법으로 주입방식에 따라 1액 1공정(1.0 Shot), 2액 1공정(1.5 Shot), 2액2 공정(2.0 Shot)로 구분된다.

- 강재교반공법은 주입관 Nozzle에서 분사되는 주입재의 고속분출류를 가진 에너지를 이용하여 원지반과 주입재를 교반한다.

(2) 각 주입공법의 개요 및 특징

① Cement Milk(Cement Paste) 주입

본 공법은 종래부터 사용되어온 Grouting공법으로 현탁액형의 주입재를 사용하며 Fore Piling, Mini Pipe Roof, Micro Pile, 강관보강형 일단식 주입공사 등에 사용되고 있다.

주입재료는 공사목적과 지층조건에 따라 시멘트, 시멘트 + 벤토나이트, 몰탈 등을 사용한다.

② PUIF(Poly Urethane Injection Fore Piling)

본 공법은 Fore Piling의 일종으로 2액성분의 발포(4배 발포) 성능을 갖는 고분자계 우레탄 약액을 개량이 필요한 지반의 한정된 범위에 입입볼트(중공 Rock Bolt)를 사용하여 1.5 Shot방식으로 주입하며 막장 천단부의 이완방지 및 균열지반의 부착력 및 마찰력 증대, 차수 등을 목적으로 하는 지반고결공법이다.

- 자립성이 나쁜 암반(단층 파쇄대 등)의 지반고결에 효과적임.

- 터널굴진과 병행하여 연속작업과 설비가 간편함(착암기로 천공).

- 발포 타입이므로 발포압력에 의해 작은 절리에도 침투할 수 있음.

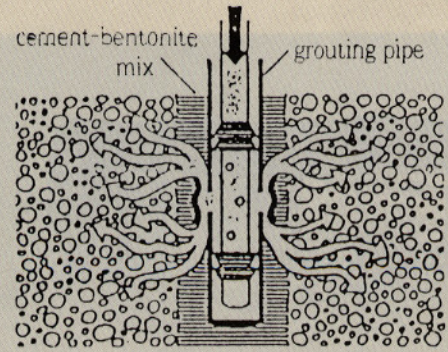
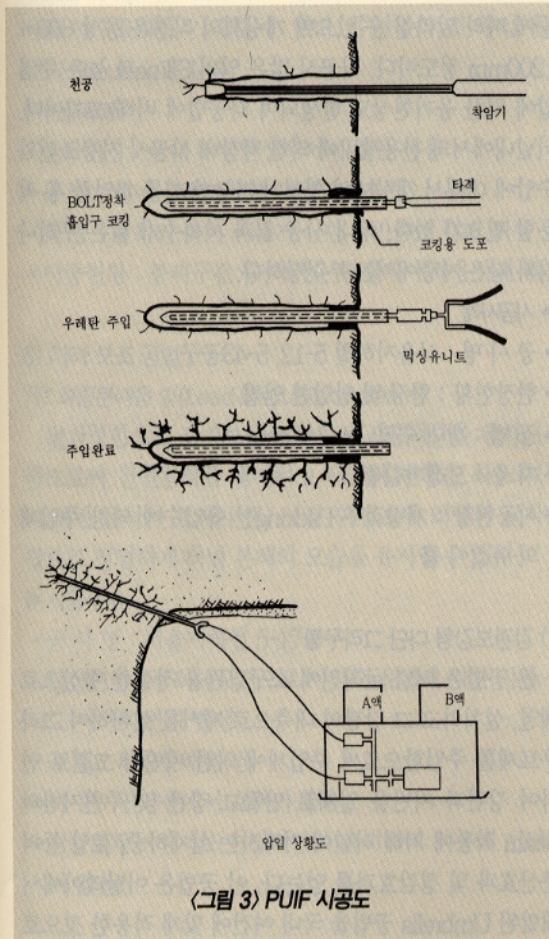
- 주입작업을 막장진행과 병행하므로 종래의 주입공법에 비해 공기단축.

- 1 회 개량 길이가 적다 (3m 정도)

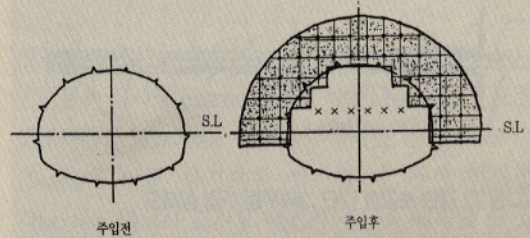
- 공사비가 고가.
- 지하수 유입이 많을 경우 효과저하.

▶ 시공사례

- 공사명 : 서울지하철 3호선연장 4공구
- 현장현황 : 도로 하부 통과
- 공법 : PUIF(우레탄 주입)
- 지층 : 파쇄연암
- 시공현황 : 시험주입 개념으로 실시하였으나 시공효과 양호



(그림 4) L/W Grouting 시공 개념도



(그림 5) S.G.R Grouting 시공도

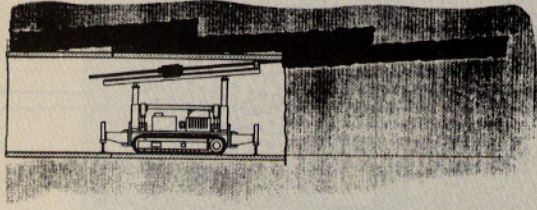
③ L/W계 주입

본 공법은 천공후 지중에 PVC Pipe를 설치하고 Double Packer가 부착된 별도의 주입관을 삽입하여 1차적으로 Pipe와 천공 Hole사이에 시멘트+벤토나이트에 의한 Seal 재를 주입 후 1.5 shot에 의한 L/W재를 주입하여 차수 및 지반 보강을 목적으로 하는 Grouting 공법이다.

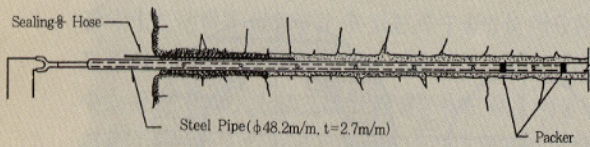
본 공법의 주 재료는 Water Glass, 시멘트로 반현탁액 형을 사용한다. Gel Time은 2~3분 정도이고 터널굴착에 따른 보조공법으로 사용할 경우 노상에서는 시공가능하나 막장내에서의 시공은 대부분 상향 경사시공이므로 주입관 설치와 Seal주입이 곤란하여 거의 적용이 어렵다. 노상에서 시공할 경우에는 교통차리나 지장물에 따른 장애가 없는 현장여건이어야하고 필히 공작공 부위에도 주입하여야 한다. 그렇지 않으면 천공 Hole로 인해 지층이완과 누수의 원인이 되어 막장붕괴의 위험을 초래할 수 있다.

④ 복합약액주입공법(S.G.R Grouting)

본 공법은 천공후 지중에 이중주입관을 설치하고 2.0



〈그림 6〉 수평 JET Grouting 시공도



〈그림 7〉 강관 보강형 다단 그라우팅 주입 상세도

Shot방식에 의한 급결과 완결재의 복합주입으로 지반보강 및 차수를 목적으로 하는 주입공법이며 Gel time은 급결형 6~9초, 완결형 60~90초로 1회 주입길이(Step)당 급결, 완결을 반복주입하여 지반을 고결시킨다.

본 공법에서 급결형은 큰 공극에 주입되어 완결형 주입시 목적범위내 주입에 따른 주입재의 Loss를 막아주는 역할이 되도록 하고, 완결형은 침투주입으로 지반을 균일하게 개량시킨다. 터널보조공법으로서의 약액주입은 노상이나 막장내에서의 시공이 가능하며 특히 막장내에서 주입관 설치가 용이하고 상 하향 경사시공이 가능하기 때문에 종래부터 많이 사용되어 왔다.

▶ 시공사례

- 공사명 : 서울지하철 5호선 영등포, 여의도 지역
- 현장현황 : 도로 및 건물지역 하부통과, 지하수가 높음.
- 공법 : 복합약액 주입공법
- 지층 : 충적층, 풍화대, 파쇄연암

⑤ 고압분사주입공법(JSP, Jet Grouting): 수평 Jet Grouting

본 공법은 천공후 지중에 단관 또는 이중관 내지는 삼중

관의 주입관의 설치와 200kg/cm²~500kg/cm²의 초고압 분류수에 의한 주입재와 지반과의 혼합으로 차수 및 지반보강을 목적으로 하는 주입공법이나 주입시 주입관의 회전 인발로 개량주를 형성시키는 공법으로 타 공법에 비해 개량강도가 큰 것이 가장 큰 장점이다.

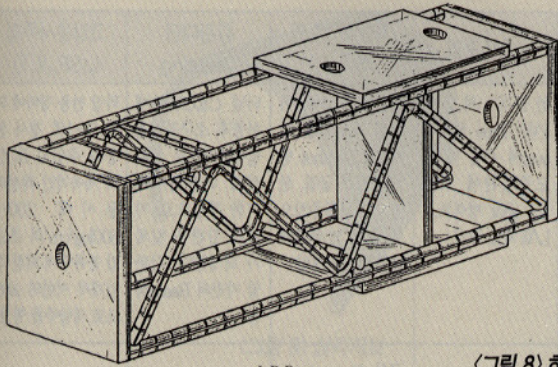
본 공법은 약액주입으로 시공이 다소 어려운 모래와 Silt층 개량에 효과적이거나 고결층, 풍화대 및 암 그리고 연약한 점토층 등의 지층조건과 심도가 깊은 경우, 천공시 용출수가 많은 지층에서는 개량이 불확실하다. 개량경은 지층조건과 주입압력, 양관속도, 주입 시스템, 주입심도에 따라 달라질 수 있으며 개량체의 직경은 통상 600~1200mm 정도이다. 시공시 많은 양의 Slime과 높은 주입압에 의한 융기현상도 발생되며 타공법에 비해 고가이다. 터널내에서의 전용장비에 의한 막장내 시공시 지층조건과 수압에 대해서 개량柱의 형성이 가능한지를 파악한 후 적용할 필요가 있다. 국내 시공 결과 지하수가 많은 우리나라와 같은 지층에서는 부적당하다.

▶ 시공사례

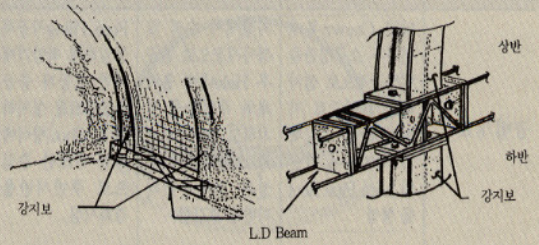
- 공사명 : 서울지하철 5-12, 5-43공구
- 현장현황 : 한강 및 안양천 인접
- 공법 : 갱내 수평 Jet Grouting
- 지층 : 모래자갈층
- 시공현황 : 개량직후 Packing전 유입수에 의한 주입재의 유실이 큼

7) 강관보강형 다단 그라우팅

본 공법은 터널 굴착전에 소구경관을 적절한 형상으로 배열, 설치하고 그 강관의 내측으로 패커를 설치하여 그라우트재를 주입함으로써 주입재에 의한 지반의 고결로 인하여 강관과 지반을 일체로 만들고 강관 및 주변지반의 Beam 작용에 의해 터널에 가해지는 상재하중, 토압 등의 분산효과 및 경감효과를 얻는다. 이 공법은 이탈리아에서 개발된 Umbrella 공법을 국내 여건에 맞게 적용한 것으로



L.D Beam



(그림 8) 하중 분배빔

파이프 루프 공법과 다른 점은 주입영역을 넓혀 강관사이의 지반을 주입체에 의한 보강으로 전단강도를 증가시켜 지지할 수 있도록 하였다. 또한 주입간격 및 주입영역에 따라 차수효과를 기대할 수 있다. 주입방식 및 주입재는 L/W Grouting과 같다.

▶ 시공사례

- 공사현장 : 국내 터널현장에서 대부분 사용
- 공 법 : 갱내 강관보강형 다단 그라우팅
- 지 층 : 풍화암, 특히 파쇄가 심한 암반층에 많이 적용
- 시공현황 : 붕괴구간 등 어려운 현장에서 적용사례 많음

8) 기타 보조 공법

(1) 하중분배용 빔(Load Distribution Beam)

굴착방향으로 강지보를 연결하여 집중하중을 완화시켜 줌으로써 천단침하를 방지하고 터널의 변형을 최소화(특히 하반 굴착시 효과가 큼) 시킬 수 있으며 터널의 굴착방향으로 정밀하게 터널 본체의 모습을 유지할 수 있다.

▶ 시공사례

- 공 사 명 : 서울지하철 5-17공구
- 현장현황 : 풍화대구간으로 지하수 유입에 따른 지반강도저하로 변형 발생
- 공 법 : 하중분배용 빔
- 지 층 : 연약층에서 효과가 좋음.
- 시공현황 : 강지보 연결작업이 용이하여 시공에 어려움이 없음.

(2) 삼각지보

강봉을 삼각형 Frame 형태로 하여 Steel Rib와 같은 형태로 제작, Shotcrete 시공시 부착력을 높이고 특히 H-Beam에 의한 강지보를 설치할 때 가장 취약점인 Shotcrete 타설시 강지보 배면의 공동을 배제할 수 있어 이로인한 터널이완을 방지할 수 있다. 그리고 Pilot터널 등 임시 터널의 지보로 사용시 제거가 용이하여 외국에서는 많이 사용되고 있지만 국내의 경우 주문제작하여야 하므로 시험시공 외에는 시공실적이 없지만 향후 사용 빈도가 높아질 것으로 전망된다.

▶ 시공사례

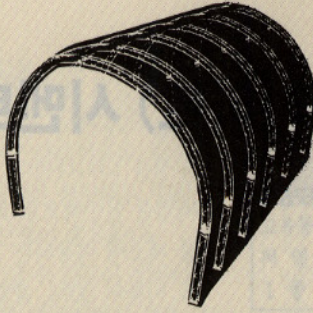
- 공 사 명 : 서울지하철 8-11공구
- 현장현황 : 도로 및 건물 하부 통과
- 공 법 : 삼각지보
- 지 층 : 암반층
- 시공현황 : 설치가 용이하고 Shotcrete 타설 효과 매우 양호

(3) Steel Fiber

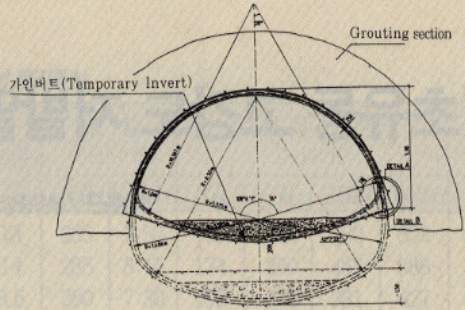
Shotcrete를 강섬유에 의하여 보강한 것으로 콘크리트의 취성적 약점을 보완하여 점성이 있는 성질로 개량할 경우에 사용된다. 이공법은 고가인 강섬유를 1%Vol(80kg/m³) 정도 사용하기 때문에 공사비가 고가이지만, 진동 충격에 강하고 인성이 풍부한 콘크리트를 얻을 수 있기 때문에 국부적인 보강이나 보수 등에 유효하다. 시공시에는 반죽할 때 꺾어짐이나 Fiber-Ball 등에 유의해야 하며 투입시 강섬유가 분산되도록 조치하고 반죽한 용량을 통상 60

터널보조공법 비교

METHOD 구분	Mini Pipe Roof	Micro Pipe (Root Pile)	PUIF (우레탄 주입)	L/W 주입	복합약액주입 (S.G.R)	강관단단 Grouting	고압분사주입 (JSP,JET)
공법개요	터널 Crown부에 천공후 소구경관을 일정간격으로 설치하고 주입으로 지반과 강관이 일체가 되게하여 일련의 Mini Pipe Roof를 형성	지상에서 수직 및 경사시공으로 천공후 Hole내에 응력재와 주입관을 설치하고 압력주입으로 소형말뚝의 형성과 말뚝주변의 지반을 보강함.	Fore Piling시공과 동일하게 착암기에 의한 천공과 중공압입볼트를 설치하여 1.5Shot 방식에 의한 우레탄 주입으로 주변지반을 경화시킴.	천공 후 지중에 PVC Pipe 설치와 seal재 주입 및 별도 주입관에 의한 1.5 shot 방식으로 L/W재를 주입	천공후 지중에 이중관 주입관을 설치하고2.0 shot 방식에 의한 급결, 완결제의 복합주입으로 목적 범위내에 균열한 지반개량	터널 CROW부에 천공후 소구경관을 일정간격으로 설치하고 더블패커에 의한 주입으로 지반과 강관을 일체가 되게한다. 강관 및 지반의 Beam작용	막장 전용 장비에 의한 5~10' 경사 천공과 주입시 ROD의 연속적인 회전과 동시에 200~500kg/cm ² 의 초고압 분류수에 의한 주입제와 지반의 교반으로 개량주름 형성
보강 및 주입재료	강관, Cement Milk	철근, 강관, Cement Milk	중공압입 Bolt, 우레탄	규산, Cement	규산, Cement, 약제	규산, Cement	Cement, 혼화제
목적	지반보강	지반보강	지반보강및 차수	지반보강및 차수	지반보강및 차수	지반보강및 차수	지반보강및 차수
적용지반	모든지반	모든지반	파쇄대 암반층	세사, Silt층을 제외한 모든 지층	모든지반	세사, Silt층을 제외한 모든 지층	미고결층(silt, 모래, 모래자갈 등)
1회 막장 개량 길이(갱내시공)	3~12m	노상시공	3.0m	노상시공	20.0m	5~15m	13~15m
Overlap 길이	1.5~3.0m	-	1.0~1.5m	-	5.0m	2~6m	3.0m
시공성	- 토사층이나 암반층에서 이완트압의 경감, 낙반방지, 지보효과를 기대할 수 있음. - 철도횡단, 중요구조물횡단, 갱구부 보강 등에 효과적 - 토피가 적을 경우의 보강에 유리	- 시공이 간편 - 공사목적에 따라 다양하게 적용할 수 있음. - 지반보강은 양호하나 차수효과는 기대할 수 없음. - 건물이나 매설물의 보강 및 Under Pinning용으로 적용가능	- 낙반이 예상되는 조건하에서 시공효과 확실 - 장비간단(천공, 주입) - 착암에 의한 천공으로 터널굴진과 병행 작업가능	- 공극이 다소 큰 지반에서의 지반보강 효과 - 시공 실적이 많고 장비간편 - 주입압력 10~15kg/cm ²	- 주입관 설치가 용이하며 막장내에서 상향경사 시공용이 - 급결과 완결주입이 자유로운 복합주입 - 차수효과 양호 - 저압주입	- 강관 및 주변지반의 Beam 작용에 의해 터널에 가해지는 상쇄하중, 토압 등의 분산효과 및 경감효과 - 주입간격 및 주입영역에 따라 차수효과가 기대 - 국내 대부분의 현장에서 적용	- N<35의 미고결층 개량효과 양호 - Hole내에 강관을 상입 하면 Fore Piling 선풍 - 타공법에 비해 개량장도가 크다
	- 차수를 위해서는 별도의 주입공법을 병행 - 구경이 다소크고 시공경이가 길 경우에는 막장전용 장비가 필요	- 차수를 위해서는 별도의 주입공법을 병행 - 심도가 깊을 경우에는 공사비 증가	- 1회 작업가능 길이가 짧다. - 막장전면 및 하부에서 유출되는 유수에 대해서는 별도 처리가 필요 - 토사층에서는 효과 불확실 - 주입량이 많을 경우 비경제적임	- 막장내에서는 상향경사 시공으로 주입관 설치가 곤란 - Gel Time 조절 안됨(2~3분) - 세사층 이하의 지층에서는 주입효과 불확실	- 타 공법에 비해 개량장도가 다소 떨어지므로 개량 Zone이 커진다.	- 약액주입 공사에 비하여 차수효과 떨어짐 - 10m 이상 시공시 터널내 천공공에 의한 Overlap 구간은 최소 3m 이상의 이격이 발생하므로 중간에 별도의 Fore Piling 공사가 필요하다 (길이 3m 정도)	- 5~10' 경사시공으로 터널굴착 단면이 연속적으로 변화됨.(강지보 Lining Conc 증가) - 상부반단면에서 하부 단면개량불가(상부반단면 시공후 터널내에서 별도 하부시공을 요함) - 수입이 크게 작용하는 현장여건에서는 시공효과 불확실 - 주입중 많은 양의 Slime이 발생 - 국내 시공실적이 적다. - 타공법에 비해 고가



〈그림 9〉 삼각지보



〈그림 10〉 가인버트 시공 상세도

~70%로 감소시킨다.

국내에서는 암사면 안정에 일부 사용되고는 있으나 터널의 경우 사용 실적은 없다. 향후 사용빈도가 높아질 것으로 사료된다.

(4) 가인버트(Temporary Invert)

통상 중단면 이상에서 지반의 변형을 적극 제어하면서 시공성을 높이기 위하여 Bench 길이를 길게 할 필요가 있을 경우, 터널 굴착에 따른 변형이 계속 증가시에 Bench 상부에 소정량의 假Invert를 형성시켜 조기폐합으로 막장에 안정을 기하며 굴진하는 공법이다. 본 공법은 Bench의 길이를 크게 할 수 있으나 상반 시공 속도가 크게 저하(Shotcrete 타설시간, 경화시간, 버력되메우기 시간 등) 된다.

(5) 연약터널 분할굴착

터널 굴착시 굴착에 따른 지반 이완을 최소화 하기 위하여 터널 단면을 여러 단계로 분할 굴착하며 필요에 따라서 가인버트 시공 또는 하중분배빔을 함께 사용하여 안전한 시공을 할 수 있다. 그 예는 아래 그림과 같다.

〈시공순서〉

1A 굴착 → 1A Shotcrete → 1B 굴착 → 1B S/C → 1차 Wire Mesh → Steel Rib → L.D.Beam 설치 → 1C 굴착 → 1C S/C → 1D 굴착 → 1D S/C → 1차 Wire Mesh → Steel Rib → L.D.Beam → 2차 S/C → 2A 굴착 → 1차 S/C → 1차 W/M → S/R → 2차 S/C → 2B 굴착 → 1차 S/C → 1차 W/M → S/R → 2차 S/C → 가인버트 시공 → 상반(S.L 상부) 진행후 하반 시공

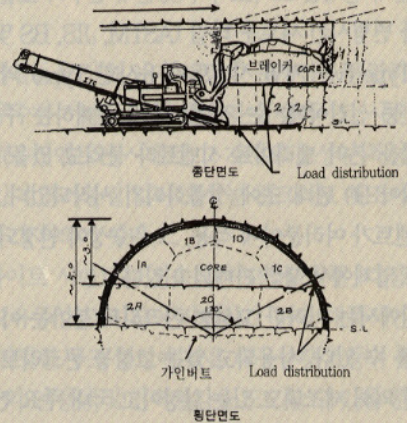
▶ 시공사례

- 공사명 : 서울지하철 5-17공구

- 현장현황 : 터널 붕괴 구간 및 풍화토 구간
- 공 법 : 분할 굴착
- 지 층 : 토사
- 시공현황 : S.G.R Grouting 및 강관 보강 공사와 병행하여 시공

맺음말

터널 굴착에 따른 문제점을 해결하기 위해서는 주어진 현장여건, 지반조건, 굴착단면 등을 고려하여 최적의 터널 굴착 Pattern과 굴착 방법이 선행되어야 한다. 또한 공사 목적과 각 보조공법의 특성 및 시공성을 이해하고 적합한 보조공법이 채택되어야 경제적이고 안전한 공사를 수행할 수 있을 것이다. **SS**



〈그림 11〉 분할굴착