

## 제 7 장 굴착보조공법

### 7.1 일반사항

#### 7.1.1 보조공법의 개념

- (1) 보조공법은 굴착시 지반의상황이나 용수에 의해 시공이 곤란해지거나 지보효과가 저하되는 경우 안전하고 효율적으로 시공하기 위해 터널의 지보재와 병용하여 사용되는 공법을 말한다.
- (2) 터널보강의 적용대상
  - ① 토피가 작은 경우
  - ② 지반이 연약하여 지반의 자립성이 낮은 경우
  - ③ 터널 인접 구조물 보호를 위하여 지표나 지중변위를 억제하여야 할 경우
  - ④ 용수로 인한 지반의 열화 및 이완이 진행될 수 있어 터널의 안정성 확보가 필요할 경우
  - ⑤ 편압, 심한 이방성 지반이거나 특수조건에서 터널을 시공할 경우

#### 7.1.2 굴착보조공법의 분류

- (1) 보강목적에 따른 분류
  - ① 지반강화 및 구조적 보강
  - ② 지수 및 배수를 위한 공법
- (2) 보강대상에 따른 분류
  - ① 천단부 지반의 안정
  - ② 굴착면 지지

[표 7.1.1] 굴착보조공법의 분류

대책	막장의 안정		용수처리	
	천단안정	굴착면 안정	차수공법	배수공법
보조 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>•워폴링</li> <li>•경사볼트</li> <li>•파이프루프</li> <li>•강관다단그라우팅</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•굴착면지지코아</li> <li>•굴착면숏크리트</li> <li>•굴착면록볼트</li> <li>•프리그라우팅</li> <li>•동결공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•약액주입공법</li> <li>•동결공법</li> <li>•압기공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Deep Well공법</li> <li>•웰포인트 공법</li> <li>•수발용선진시추</li> </ul>

## 7.2 굴착 보조공법의 적용

### 7.2.1 지반에 따른 굴착 보조공법의 적용성

[표 7.2.1] 굴착보조공법의 적용성

대 책	목 적	공 법	원지반 조건			비 고
			경암	연암	토사	
지 반 강 화 및 구조적 보 강	천단 안정	파이프루프		△	△	
		경사 록볼트		△		
		포어폴링		△	△	철근, 강봉, 강관 등 사용
		다단그라우팅		△	○	
		약액주입공법			○	
	막장면 / 바닥면	막장면 슛크리트		△	○	
		막장면 록볼트		△	△	
		코어 핵		△	△	링컷
		약액주입공법			○	
		가인버트		△	△	
용수 대책	지수 / 배수	약액주입공법	△	○	○	
		물빼기공	△	○	○	월포인트, 딥 월공법 포함
		월포인트공법			○	
		딥 월공법			○	

주) ○ : 비교적 자주 사용되는 공법

△ : 보통 사용되는 공법

### 7.2.2 천단부 보강공법

#### (1) 포어폴링(forespoling)

① 포어폴링은 일시적 지보재로서 굴착전 터널 천단부에 종방향으로 설치하여 굴착전 단부의 안정을 도모하고 막장 전반의 지반보강 및 느슨함을 방지한다.

가. 지반에 강지보를 밀착시켜 2점 지지가 되도록 하여 터널 막장 전방에 빔을 형성시킨다.

나. 매막장 또는 2막장마다 설치하여 상호 중첩을 통한 강성을 증대시킨다.

다. 천공면은 몰탈 그라우팅 등으로 여굴 및 느슨함을 방지한다.

#### ② 설치기준<sup>1)</sup>

가. 터널 지반조사 결과에 따라 굴착지반의 자립이 불가능하다고 판단되는 지반에 워폴링 공법을 적용할 경우 굴착공법과 연계하여 설계한다.

(가) 길 이 : 굴진장의 2.5~3배

(나) 간 격 : 횡방향 - 0.5m, 종방향 - 매굴진장 마다

(다) 범 위 : 굴착면 천정부에서 좌우 60범위



<그림 7.2.1> 워폴링 개요도

나. 다음은 2차로터널 기준 워폴링의 적용 예로서 현지암반의 특성을 고려하여 설치 간격과 길이, 범위의 조정하여 적용한다.

구 분		표준단면-Ⅳ	표준단면-Ⅴ	표준단면-Ⅵ
임분류		중화암	중화암(토)	갱구보강용
굴착공법		상하반 분할굴착		
1회굴진장(상부/하부)		1.5/3.0m	1.2/1.2m	1.0/1.0m
워 폴 링	길 이	4.0m	3.0m	3.0m
	간격	횡	0.5m	
		종	1.5m	1.2m
범 위		굴착면(SL) 천정부에서 좌우 60범위		

※ SL(Spring line) : 터널 상반 아치의 시작선, 터널 단면중 최대폭을 형성하는선, 상부하부 굴착면 기준선

1) 터널 포어폴링 설계기준 검토(설계처-590, 2006.03.10)

(2) 파이프루프/강관다단그라우팅

- ① 파이프루프/강관다단그라우팅 공법은 터널굴착에 따른 변위를 최대한 억제하고, 상부 시설물 보호 및 터널의 안정성 확보를 위해 적용하는 공법을 말한다.
- ② 규격 및 설치조건
  - 가. 재질 : 강관, FRP
  - 나. 길이 : 6m 이상
  - 다. 횡방향 설치간격 : 300~600mm
  - 라. 횡방향 설치범위 : 90° ~180°
  - 마. 종방향 설치각도 : 0° ~ 15° (갱구부는 저각 설치 가능)



<그림 7.2.2> 파이프루프(강관다단) 개요도

- ③ 중량에 비해 휨강성이 크고 취급이 용이하다.
- ④ 시멘트 주입 횟수에 따라 1회(일단) 주입시는 파이프루프, 다단주입시는 강관(FRP) 다단 그라우팅 공법으로 구분된다.
- ⑤ 점착력이 작은 토사지반에서도 보강효과가 탁월하다.
- ⑥ 고각으로 설치할 경우 굴착면 여굴 방지를 위해 휘폴링과 함께 적용한다.
- ⑦ 토사지반에서 천공홀의 자립의 유지가 곤란한 경우 직천공식 방법도 고려한다.
- ⑧ 다음과 같은 경우 록볼트 시공을 생략할 수 있다.<sup>2)</sup>
  - 가. 다단 그라우팅으로 고결된 굴착지반에 록볼트 시공시 고결체 지반 및 보강재(강관, FRP 등) 손상이 예상되는 경우
  - 나. 터널의 지반 및 지질조건, 시공조건 등에 따른 지반 안정성 검토 결과에 따라 다단 그라우팅 공법을 적용하고, 록볼트는 중복시공하지 않을 경우(단, 지반 및 지질조건에 따른 추가 안정성 검토결과(암반블록 형성 및 활동 등) 록볼트 보강이 필요한 경우 현장여건에 맞게 록볼트 보강 가능)

7.2.3 굴착면 자립공법

- (1) 연약한 지반에 위치하는 굴착면이 밀어냄이나 붕괴에 저항할 수 있도록 도와주는 공법을 말한다.

2) 터널 다단 그라우팅 보강구간 록볼트 적용기준 검토(설계처-1210, 2009.3.5)

(2) 지지 코아 설치

- ① 굴착면 중앙부에 지지 코아를 남겨두고 굴착한 후 지보를 설치한다.
- ② 토사지반에는 필수적이다.
- ③ 지지코아의 크기 및 후속 작업공정의 원활한 수행이 가능하도록 결정한다.

(3) 굴착면 슛크리트 타설

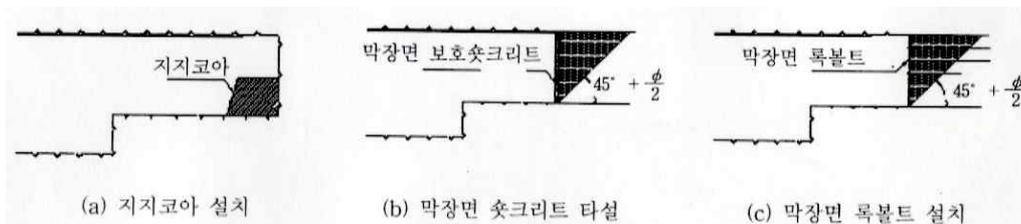
- ① 미고결 지반이나 팽창성 지반이 1cycle 사이에 현저히 열화하여 작은 붕락으로부터 큰 붕괴로의 연결이 예상될 경우 30mm 이상(최소 50mm 추천)의 슛크리트를 막장면에 타설한다.
- ② 장기간 공사중지시 필수적이다.
- ③ 시공이 용이하고 효과가 빠르다.

(4) 굴착면 록볼트

- ① 타설길이는 굴진장의 3배 이상 확보해야 한다.
- ② 연약지반은 굴착면 슛크리트와 병용하면 효과가 증대된다.
- ③ 절단이 용이한 록볼트 적용이 바람직하다.
- ④ 베어링 플레이트를 설치하여 록볼트를 정착한다.
- ⑤ 천공홀은 모르터나 시멘트 그라우트로 충전이 필요하다.

(5) 기타

- ① 수발공으로 용수 처리(수압제거)
- ② 굴착단면 축소(분할굴착) : 무지보 Span 길이를 최소화



<그림 7.2.3> 굴착면 자립공법

7.2.4 그라우팅 공법

- (1) 주입재를 지반에 주입시켜 지반의 강도증진, 지수성 증진, 변위억제 등을 유도하여 구조물을 보호하고 시공의 용이성, 안정성을 도모하는 공법을 말한다.

(2) 적용목적

- ① 지반의 강도 증진, 기초지반의 지지력 증대, 터널 굴착시 주변지반 붕괴방지, 인접구조물 보호, 토압의 경감 등
- ② 지반의 지수성을 증진시켜 터널 굴착시 용수방지 및 지하수위 저하 방지
- ③ 지반의 변위 억제

(3) 영향 요소

- ① 대상 지반의 불균질성, 균열, 투수성과 주입재의 종류에 따른 점성, 켈타임, 화학적 성질 및 주입압력, 시공방법

## 6-7-6 | 제6편 터널공

- ② 여러 가지 주입재 및 주입방법의 특성을 파악하여 사용 목적과 대상지반에 적합한 공법을 선정 후 철저한 시공관리와 주입효과의 확인 필요

### (4) 주입재의 조건

- ① 침투성이 좋을 것(토립자 간극에 침투)
- ② 켈 반응 종료와 동시에 고강도를 발휘할 것
- ③ 켈화 또는 고화한 주입재는 수축 등을 일으키지 않고 지반을 불투성화 할 것
- ④ 환경 오염 문제를 일으키지 않을 것
- ⑤ 취급, 조합 등이 간단하고 켈타임 조정이 용이할 것
- ⑥ 고화 및 켈화시 지반의 물리 화학적 성질에 대해 영향을 적게 받을 것

### (5) 주입공법의 분류

- ① 주입 약액에 따른 분류 : SGR, LW, MSG, 우레탄 등
- ② 주입관 설치방법에 따른 분류 : 룯드주입, 스트레이너주입, 이중관 더블패커주입, 이중관 룯드주입, 이중관 복합주입 등
- ③ 혼합방식에 의한 분류 : 1.0 shot, 1.5 shot, 2.0 shot
- ④ 주입방법에 의한 분류 : 상향식, 하향식, 수평식, 상·하향 절충식
- ⑤ 주입 메커니즘에 의한 분류 : 충전, 활렬 경계, 침투 주입