

# Tunnelling Technology

## 프리라이닝 공법의 개요 : 터널굴착보조공법

### Introduction to Pre-lining Method : an Auxiliary Method of Tunnel



**김선명**  
한북대학교  
에너지지원학과  
전임강사,  
공학박사/기술사



**이선복**  
동부건설  
연구소 부장  
공학박사

## 1. 개요

대표적으로 국내에 잘 알려져 있는 터널 굴착보조공법은 강관보강형 주입공법이다. 이 형태의 공법이 국내에 소개된 것은 1980년대이며 본격적인 적용은 1994년 한국건설기술연구원에서 수행한 “강관보강형 다단 그라우팅 공법의 개발”이라는 연구를 수행한 시점이라고 볼 수 있다. 그 후 유충식, 신승우 등(1995), 이봉렬, 김형탁, 김학문(1996) 및 김창용, 배규진, 문현구, 최용기(1998) 등은 이 공법의 효과 확인 및 설계를 위한 기초자료의 제공을 위하여 수치해석을 통한 연구를 수행하였다. 2000년대에 들어 와서는 도심지 터널 공사가 증가하며 이 공법의 적용이 더욱 활발해 졌으며 시공회사를 위주로 RPUM(Reinforced Protective Umbrella Method)공법 연구회라는 단체가 수립되어 강관보강형 주입공법과 관련된 체계적인 시공, 선진기술의 도입 및 연구활동을 활발히 벌이고 있다.

터널 굴착보조공법은 강관보강형 주입공법 외에 전방에 얇은 콘크리트 아치를 미리 시공하는 방법, 고압분사 그라우팅을 수평방향으로 수행하는 방법 등 많은 방법이 개발되어 있으며 보다 효과적인 공법을 개발하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다. 국내의 경우 시공여건 및 지질적 특성으로 인해 다른 공법의 적용은 미진한 상태이나 강관보강형 주입 공법의 적용은 매우 활발하며 시공기술 또한 상당히 발전되어 있는 상황이다.

막장전방에 수행하는 막장 선진 보강공법을 좀더 발전시키기 위해서는 이 공법에 대한 기초원리 및 응용기술에 관한 합리적이고 체계적인 분석 및 연구가 더욱 필요하다. 일본의 경우 특히 이 분야의 연구가 발전되어 높은 수준에 있으며 1990년대 후반에 들어서는 프리라이닝(Pre-lining)이란 개념을 도입하여 이러한 종류의 공법을 총괄적으로 분류하고 이 개념에 입각하여 각 공법을 구분하고 각론적인 연구를 활발히 수행하고 있다. 이 결과 MGF(Multi

ground fasten)공법, MJS(Metro jet system)공법, PLS (Pre-lining support method) 등의 다양한 공법이 개발되어 현장에 효과적으로 적용되고 있다.

국내의 경우 강관보강형 프리라이닝 공법에 대한 현장 적용이 활발한 상황이며 시공기술 또한 상당히 발전된 상태이나 이에 비해 상대적으로 연구실적은 적은 상태이다. 특히 개별공법에 대한 각론적인 접근에 비해 공법의 분류 및 용어의 정의와 같은 총론적인 개념에서의 연구는 더욱 부족한 상황이다.

따라서 본 고에서는 프리라이닝 공법을 정의하고 이 개념을 통하여 각 터널 굴착 보조공법을 분류하고 각 세부 공법의 개요를 설명하였다.

## 2. 프리라이닝 공법의 정의

굴착공법에 의해 시공되는 터널 막장전방 지반에 막장의 안정화를 위해 아치(Arch)상의 얇은 구조체를 선 시공하여 안전하고 효율적인 굴착을 수행하고, 이와 병행하여 지반의 침하방지 및 인접구조물에의 영향을 감소시키는 것을 목적으로하는 터널굴착 보조공법을 총칭하여 프리라이닝(Pre-lining)공법이라 칭한다.

초기의 프리라이닝 공법은 전방에 미리 설치하는 얇은 구조체가 아치셸(Arch shell)상의 슬릿 콘크리트(Slit concrete)로 만들어 진 형태만을 지칭하는 용어였다. 그러나 대다수의 고압분사 공법이나 강관보강형 주입공법 등은 터널 횡단방향에 긴 강관(Pipe)을 늘어놓아 아치셸(Arch shell)상을 형성하여 막장안정을 도모하기 때문에 기능적인 면에서 아치셸상의 콘크리트 구조물공법과 유사하다. 따라서 구조물의 기능과 목적으로부터 터널 전방에 아치상의 얇은 구조체를 형성하는 모든 공법을 프리라이닝(Pre-lining)공법이라고 정의하는 것이 보다 합리적일 것이다.

경우에 따라서는 프리라이닝 공법의 기능적인 측면을

좀더 세분하여 아치셸상의 콘크리트를 형성하는 공법을 협의의(狹義)의 프리라이닝공법이라고 하며 터널 종단방향의 들보 구조물로서의 기능이 강한 고압분사 공법이나 강관보강형 주입공법 등을 망라하여 광의(廣義)의 프리라이닝 공법이라고 하기도 한다.

본 연구에서는 특별히 언급하지 않는 한 광의의 프리라이닝 공법을 프리라이닝 공법(Pre-lining method)이라고 정의하며 이 공법에 의해 터널 막장전방에 구축되는 아치상의 얇은 구조체를 프리라이닝(Pre-lining)이라 정의한다.

특히 본 연구의 주 연구대상인 강관보강형 주입공법을 강관보강 주입형 프리라이닝 공법(Grouted spile pre-lining method)으로 정의하였다.

## 3. 프리라이닝 공법의 분류

굴착보조 공법은 슛크리트, 락볼트, 강재 지보공 등 막장 내부에서 시공되는 지보부재 만으로 막장의 안정을 얻지 못하는 경우 다음과 같은 목적을 위해 주로 사용된다.

- 지반보강 및 침하방지
- 지하수 대책

따라서 공법의 분류도 이를 근거로 하는 것이 구분상 이해가 쉬우며 합리적일 것이다.

그러나 근래에 와서 시공되는 많은 보조공법이 지반보강과 차수의 목적을 겸하는 경우가 대부분이며 각 공법상의 추구하는 바가 유사하고 기능적으로도 공통적인 점이 있어 각 공법을 어떠한 기준에 따라 구분한다는 것은 간단한 문제가 아니다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 프리라이닝 공법의 위치 및 기능에 대한 이해를 높이기 위해 Table 1에 제시한 바와 같이 전체 굴착보조 공법의 구분을 위에 언급한 내용에 따라 분류하고 이 중 프리라이닝공법을 구분하여 나타내었다.

프리라이닝 공법의 개요 : 터널굴착보조공법

굴착보조 공법 중 막장 전방에 대한 선진보강공법은 포어폴링(국내의 경우 길이가 짧은 파이프루프 형태의 보강 방법을 Fore-poling으로 구분하고 있으나 외국의 경우 Table 1에 제시한 바와 같이 좀더 광의적인 의미에서 이 용어를 사용하고 있어 광의의 포어폴링이란 구분을 따로 제시하였다.), 파이프루프(Pipe roof), 강관보강형 주입공법(Grouted spiling), 수평 고압분사 공법(Horizontal jet-grouting), 슬릿콘크리트 공법(Slit concrete method) 등의 5가지 형태로 크게 구분할 수 있다.

가장 흔히 사용되는 공법 중 하나인 엄브렐라 공법(Umbrella method)과 프리라이닝 공법을 비교하면 엄브렐라 공법은 슬릿콘크리트 방식을 포함하지 않고 파이프루프 공법을 포함하는 것에 비하여 프리라이닝 공법은 반대로 파이프루프공법을 포함하지 않고 슬릿콘크리트 공법을 포함하는 것이 다른 점으로서 이는 두 공법 구분에 있어 매우 중요한 관점의 차이를 보여주는 것이다.

슬릿콘크리트 방식의 경우 횡단 방향의 강성이 큰 아치

효과를 주로 이용하는 공법이며 파이프루프 공법의 경우 종방향 휨에 대한 강성이 큰 보효과를 주로 이용하는 공법이다. 수평 고압분사 방식의 경우는 아치효과가 좀더 우수한 구조이며, 강관보강형 주입공법의 경우는 보효과가 좀더 우수한 형식이나 두 공법 모두 아치구조와 보구조의 특징을 복합적으로 가지고 있는 공법이라고 볼 수 있다.

따라서 엄브렐라 공법의 개념에서 접근하는가, 프리라이닝의 개념에서 접근하는가에 따라서 같은 공법을 적용함에 있어서도 그 효과에 대한 기대치가 차이를 나타낸다. 본 연구 대상인 강관보강형 주입공법의 경우 프리라이닝의 개념에서 접근하는 것이 어느 정도의 아치효과를 기대하는 것이므로 좀더 지반보강에 대한 기대가 높은 경우라 할 수 있다.

Table 2는 기능에 따라 프리라이닝 공법을 구분한 것이며, Table 3은 보강형태에 따라 엄브렐라 공법을 구분한 것이다.

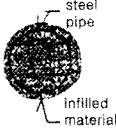
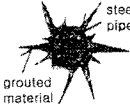

Table 1. Classification of tunnel reinforcing methods

Division	Classification of tunnel reinforcing methods			
Pre-reinforcement method	Pre-lining	Slit-concrete method		
		Horizontal jet-grouting method	Umbrella method	Fore-poling (wide sense)
		Grouted spiling method		
	Pipe-roof method			
Fore-poling				
Post-reinforcement method	Shotcrete, Rockbolt, Invert concrete			
Foot reinforcement method	Micropile, Jet-grouting, Fore-piling			
Water control method	Deep Well, Well Point, Grouting			

Table 2. Classification of Pre-lining Methods

Classification by pre-lining construction method	Expected effects
① Slit-concrete method	horizontal stiffness (arch structure)
② Horizontal jet-grouting method	↕
③ Grouted spiling method	longitudinal stiffness (beam structure)

Table 3. Classification of umbrella methods by reinforcement type

Ground improvement type (Shape)		TYPE A	TYPE B	TYPE C
				
Stiffness of material(Umbrella method)				
① Stiffness of steel pipe		○	○	
② Stiffness of steel pipe and infilled material		○	○	
③ Stiffness of improved ground			○	○
④ Stiffness of improved material				○
Type of stiffness		①+②	①+②+③	③+④
Pre-reinforcement method	Horizontal jet-grouting			○
	Grouted spiling		○	
	Pipe roof	○		

## 4. 프리라이닝 공법의 종류

### 4.1 슬릿콘크리트 방식

슬릿콘크리트 방식(Slit concrete method)은 Fig. 1과 같이 굴착에 앞서 막장 전방의 터널 외주부를 두께 20cm ~50cm의 아치 상태로 굴착한 후 또는 굴착과 병행해서 막장전방 지반내에 콘크리트를 충전하는 방식이다. 일반적으로 종단 방향의 콘크리트 근입 길이는 5m 이내이다. 이 방식에서는 터널 횡단방향에 아치상으로 연속한 강성이 큰 구조체가 확실하게 형성된다. 이 때문에 극단적으로 지반강도가 낮은 경우, 토피가 얇고 지표침하를 억제할 필요가 있는 경우, 중요구조물에 근접된 경우 등에 주로 적용된다.

터널 외주부를 아치상의 셸모양으로 굴착하는 방식으로는 체인커파(Chain cutter)를 사용하는 방법(Fig. 2)과 다축 오거(Auger)를 사용하는 방식(Fig. 3)이 있다. 어느 방법이든 전용의 굴착기를 필요로 하기 때문에, 도입을 할 경우에는 시공성, 경제성에 대해서 충분한 검토가 이루어져야한다.

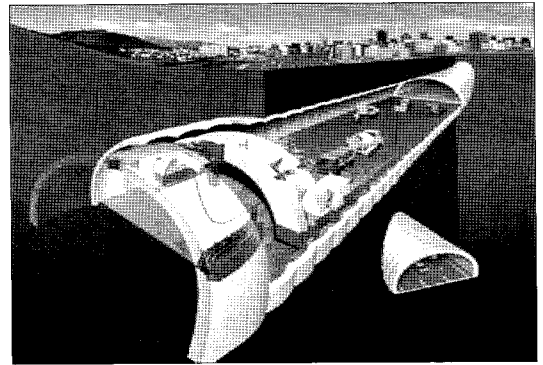


Fig. 1. Slit concrete pre-lining method

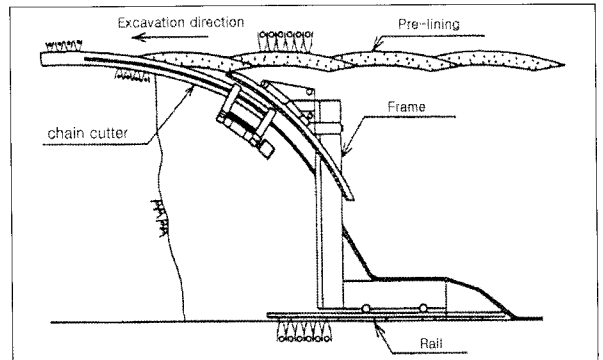


Fig. 2. Excavation method of the slit concrete pre-lining using chain cutter

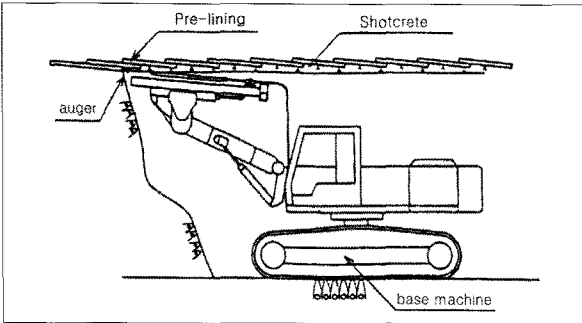


Fig. 3. Excavation method of the slit concrete pre-lining using auger

### 4.2 수평 고압분사 주입방식

수평 고압분사 방식(Horizontal jet-grouting method)은 Fig. 4에 나타난 것과 같이 굴착에 선행하여 막장전방의 터널 외주면부에 길이 10m~15m 정도의 파일상 개량체를 아치상으로 조성한 막장 선행보강 방법이다.

개량체의 조성은 막장측부터 천공과 동시에 주입재를 고압분사 교반하여 형성하는 방법과 선단까지 천공 후 막장측을 향해 고압분사 교반하여 형성하는 방법이 있다. 어느 방법에 의해서도 터널 횡단방향으로 강성의 아치를 연속적으로 조성하는 것이 가능하지만 슬릿콘크리트 방식에 비해 완전한 연속체를 형성하기는 어렵고, 또 지반의 특성에 따라 계획된 크기의 개량체가 조성되지 않는 경우가 있다.

최근에는 개량체의 조성과 동시에 보강강관을 삽입하고 종단방향의 강성을 높이는 공법도 개발되어 있다.

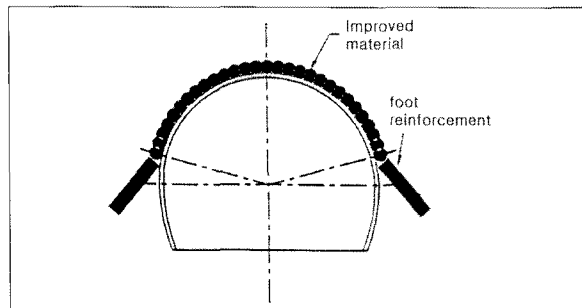
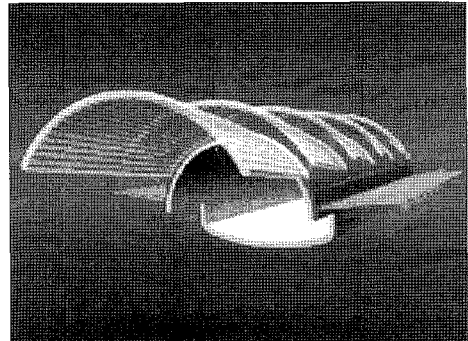


Fig. 4. Cross section of horizontal jet-grout pre-lining

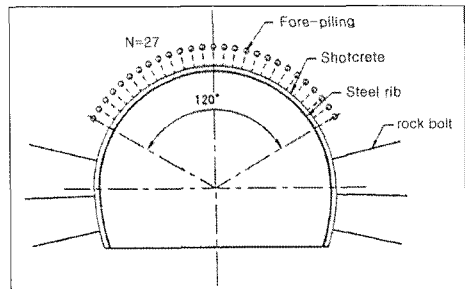
### 4.3 강관보강형 주입방식

강관보강형 주입방식(Grouted spiling)은 굴착에 선행하여 막장에서 전방을 향하여 터널 외주부에 길이 10m~15m, 직경 100mm 정도의 강관을 아치상으로 배치하여 타설하고 강관과 지반의 일체화를 위해 그 사이를 지반의 조건에 따라 주입재로 충전 또는 주입하는 방식이다.

주로 터널 종단방향으로 타설하여 강관의 강성에 의한 보호과로 지반의 안정성 향상을 추구하는 방식이지만 주입효과에 따라서는 강관과 지반과의 복합강성이 지반보강에 중요하게 작용할 것이다. 프리라이닝 구조에 의한 횡방향의 아치효과는 슬릿콘크리트 방식이나 수평 고압분사 방식에 비해 적으나 지반 조건 및 개량정도에 따라서 그 효과가 달라 질 수 있다. Fig. 5는 강관보강형 주입방식의 모식도 및 횡방향 단면도이다.



(a) 3-D view



(b) Cross section

Fig. 5. Grouted spile pre-lining method

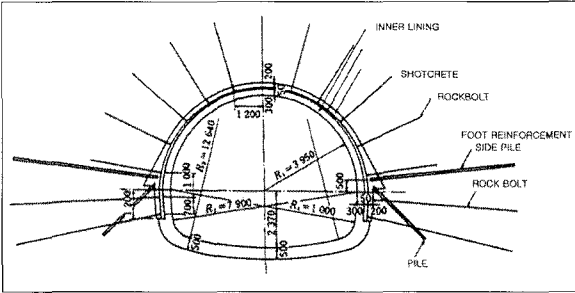


Fig. 6. Grouted pile pre-lining method

## 4.4 각부보강

터널 천단 및 그 주변 지반을 보강한 경우라도, 터널 각부의 지지력이 부족해 침하할 경우 터널 전체가 일체구조로 침하하고, 막장 천단 부근이 이완 함으로서 터널의 안전성이 크게 손상될 우려가 있다.

프리라이닝을 시공할 경우는 프리라이닝에 작용하는 지압이 강재 지보공 등 지보의 각부 또는 프리라이닝 자체의 각부에 전달된다. 또한, 막장 굴착에 선행해서 프리라이닝을 시공함으로써 막장 전방의 지압도 더해져서 큰 하중이 작용하게 되므로 프리라이닝 보강을 하지 않은 경우보다 큰 침하를 유발할 가능성이 있기 때문에 터널 막장 뿐만 아니라 터널 전체의 안전성을 위해 프리라이닝 공법에서의 각부보강(Foot reinforcement)은 매우 중요하다.

각부 보강방법으로는 각부를 록볼트, 고압분사 방식, 강관보강형 주입방식 등으로 보강하는 것이 일반적이며 시공여건에 따라 각부의 지지 면적을 확대하는 방법, 상반부의 인버트부를 임시 폐합하는 방법 등도 적용된다. Fig. 6 은 가장 일반적인 각부보강의 한 예를 보여주고 있다.

## 5. 프리라이닝의 작용 이론

프리라이닝 공법은 막장 부근에서의 일시적인 무지보 상태를 피함으로써 막장 전방에 대한 보강 효과를 발휘하

면서 횡단방향의 연속성에 의한 아치상의 지보효과를 동시에 발휘한다.

이러한 프리라이닝 공법의 주된 효과는 아래에 제시한 항목들로 구분하여 설명할 수 있다.

- ① 막장의 안정성 향상
- ② 굴착주변 지반의 이완 방지
- ③ 지표 침하의 억제

물론 이러한 효과들이 각 항목별로 독자적인 형태로 발휘되는 것은 아니며 서로 유기적인 관계를 가지고 밀접하게 연관되어 있다. 즉, 침하문제를 지반이완이나 막장의 안정성과 별개의 문제로 논하는 것은 어렵다.

프리라이닝의 작용효과를 좀더 구체적으로 설명하기 위해서는 위에 언급된 사항들을 개별적으로 검토할 필요가 있다. 또한 이러한 이론들은 유한요소해석결과에 대한 검토, 모형실험에 대한 검토 및 고찰 부분에서 다시 한번 언급 할 것이며 유기적으로 연관되어 설명될 것이다.

### 5.1 막장의 안정성 향상

막장 부근에 작용하는 하중의 분포도를 이용하여 막장의 안정성을 검토 할 수 있다. Fig. 7은 슛크리트와 강재 지보공을 주 지보부재로 하는 통상의 굴착식 터널에서 굴착 직후 터널 천단변위에 의한 작용하중의 분포를 보이고 있다. 실제 상황이 그림과 같이 단순한 하중분포 형태를 보이지는 않지만, 설명을 간단하게 하기 위해 터널 천단

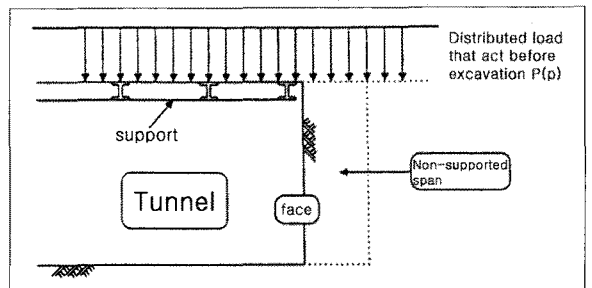


Fig. 7. Distributed load acting before excavation in the crown

프리라이닝 공법의 개요 : 터널굴착보조공법

위치에서는 등분포하중이 작용한다고 가정하였다. 이 상태의 지반에 대해 굴착을 진행 할 경우 프리라이닝 유무에 따른 작용하중의 변화에 의해 프리라이닝의 막장안정성 증가 효과를 설명할 수 있다.

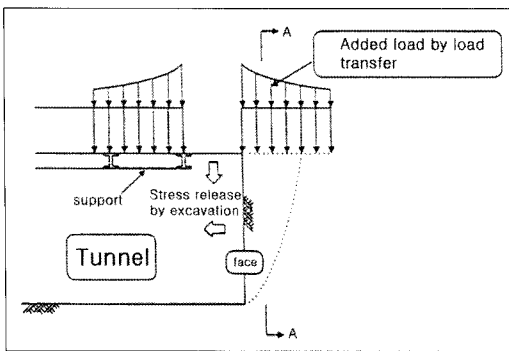
이때 작용된 하중은 터널 천단 위치의 작용하중을  $P$ , 작용하중 강도를  $p$ , 막장 전방 토괴 윗면에서의 작용하중을  $Q$ , 작용하중 강도를  $q$ 로 표시하였다.

프리라이닝이 없을 경우, 터널 굴착에 의해 종단면 및 횡단면에서의 작용하중  $P(p)$ 의 분포는 Fig. 8과 같이 변할 것이며 막장 전방에서는  $P(p)=Q(q)$ 의 상태 즉, 토괴에 전달되는 하중과 천단부의 작용하중이 동일 한 상태가 될 것이다.

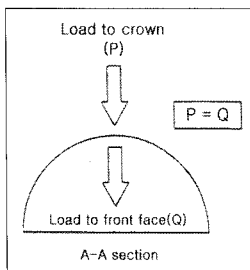
Terzaghi(1948), Protodyanokov(in Szechy, 1970) 등에 의해 제시된 고전적인 터널 이론에 의하면 사질토 지반에 굴착된 터널 천단부 부분의 연직토압은 지반의 arching effect(arching effect)작용으로 초기토압보다 감소되

며, 측벽부는 그의 반작용으로 연직토압이 초기치보다 증가하게 된다. 이 때문에 막장 근방에서는 슛크리트나 강제 지보공의 지보 부분 및 막장 전방 토괴 부분에 굴착으로 인해 재 분배된 하중이 직접 작용하게 된다. 재분배된 하중은 측벽부 뿐 아니라 Obert와 Duvall(1967)의 연구 결과에 의한 막장면 근처의 응력분포에서 보인 바와 같이 터널전방의 토괴에도 전이된다. 이는 권혁민, 이상덕(2001)의 실험결과에서도 잘 볼 수 있다.

Fig. 9는 막장 전방 토괴의 힘의 평형상태를 나타낸 것이다. 설명을 간단히 하기 위해서 면을 직선으로 표시하였다. 막장 토괴의 작용하중  $Q(q)$ 의 증가에 의해 막장 전방 토괴의 활동력이 커지고, 막장의 안정성이 저하한다. 지반의 강도가 작은 경우에는 Fig. 10과 같이 막장이 붕



(a) longitudinal section



(b) cross section

Fig. 8. Redistribution of distributed load after excavation (Non-prelining state)

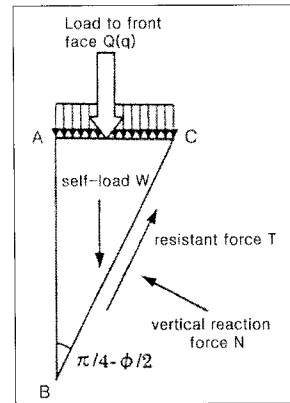


Fig. 9. Force diagram of soil block in front of the tunnel face

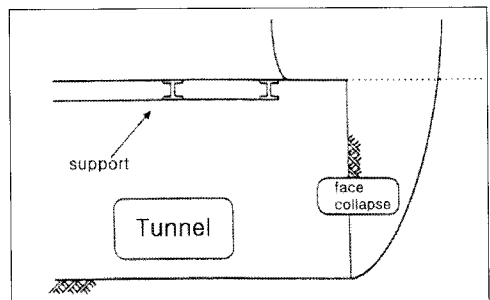


Fig. 10. Collapse of the tunnel face after excavation in case of non-prelining and soft ground

과하는 것도 생각할 수 있다.

한편 프리라이닝을 시공하는 경우에는 프리라이닝에 의해 굴착구간의 연직응력 해방이 억제되어 Fig. 11에 제시한 것 같이 하중이 분산되며, 극단적인 응력집중이 없어지고, 막장 전방에서의 작용하중 P(p)의 증가량이 작아지게 된다.

또한 Fig. 11의 횡단면도에 나타낸 것처럼 프리라이닝이 그 상부의 작용하중 P(p)의 일부를 담당하게 되어 막장전방 토괴 상부의 작용하중 Q(q)는 작아지며, 막장의 안정성이 향상된다. 극단적인 경우 프리라이닝이 작용하중 P(p)의 전체를 지지할 수 있다면 막장전방 토괴 상부의 작용하중 Q(q)는 0이 될 것이다.

## 5.2 지반의 이완 방지

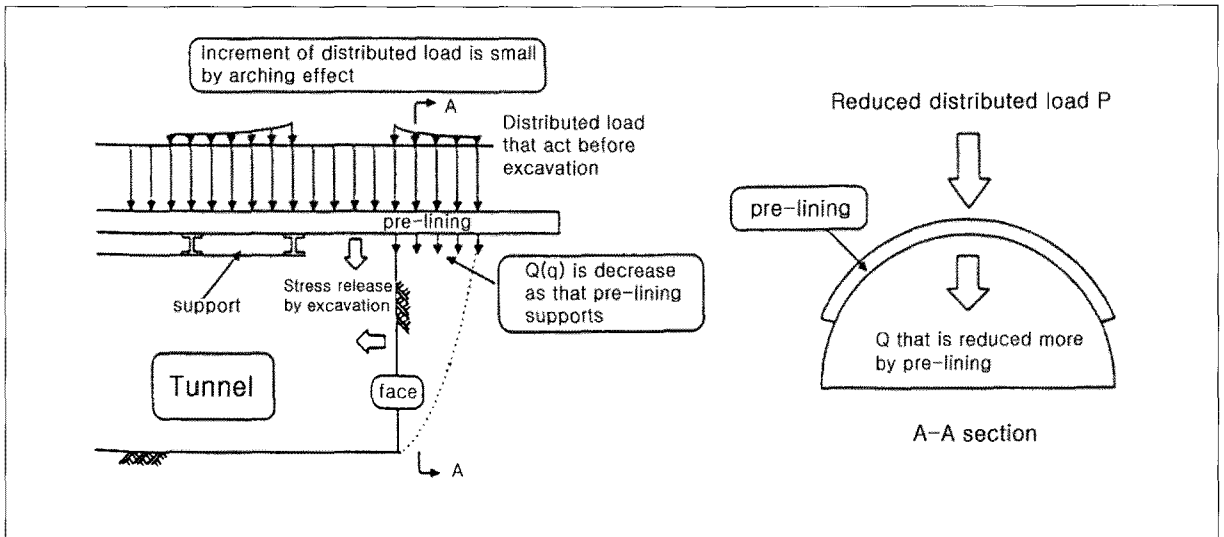
터널을 굴착할 때 굴착면에는 접선 응력이 증가하고, 반경방향 응력이 감소한다. 이 결과 굴착면의 응력은 지

보공의 시공시 까지 일축응력 상태에 가까운 상태로 된다. Fig. 12는 프리라이닝이 없는 경우 터널 천단과 측벽부 부근의 응력 상태를 Mohr의 응력원으로 나타낸 것이다.

여기서는 초기응력 상태를 연직응력  $\sigma_v$ 가 수평응력  $\sigma_H$ 보다 큰 경우로 가정한다. 터널 굴착에 의해 천단부에서는 연직응력  $\sigma_v$ 가 감소하고, 수평응력  $\sigma_H$ 가 증가한다. 이때 터널 천단부에서는 연직응력  $\sigma_v$ 가 최소 주응력, 수평응력  $\sigma_H$ 가 최대 주응력으로 간주 할 수 있다. 한편 측벽 부근에서는 수평응력  $\sigma_H$ 가 감소하고, 연직응력  $\sigma_v$ 가 증가한다. 터널 측벽부에서는 수평응력  $\sigma_H$ 가 최소 주응력, 연직응력  $\sigma_v$ 가 최대 주응력으로 된다고 할 수 있다.

이 결과 응력상태가 파괴 포락선에 근접하게 되고 지반의 강도가 낮은 경우에는 파괴가 발생한다.

일반적으로 터널 굴착면에서는 구속압의 근소한 증가로 파괴를 방지하는 것이 가능하게 된다. 프리라이닝 공법은 굴착에 앞서 지반내에 아치형 구조물을 구축함으로써 이러한 효과를 가지게 된다. 이 아치 구조물에 의해 막



(a) longitudinal section

(b) cross section

Fig. 11. Redistribution of distributed load after excavation (pre-lining state)



프리라이닝 공법의 개요 : 터널굴착보조공법

장 주변 지반의 변형을 구속하여 내압효과를 얻고, 지반은 3차원적인 응력상태로 유지된다.

측벽부의 응력상태는 프리라이닝이 없는 경우에서 검토한 가정과 같이 연직응력  $\sigma_v$ 가 수평응력  $\sigma_H$ 보다 큰 초기 응력 상태로 간주하여 Mohr의 응력원으로 나타낸 것이다.

Fig. 13은 프리라이닝이 있는 경우이다. 터널 천단과

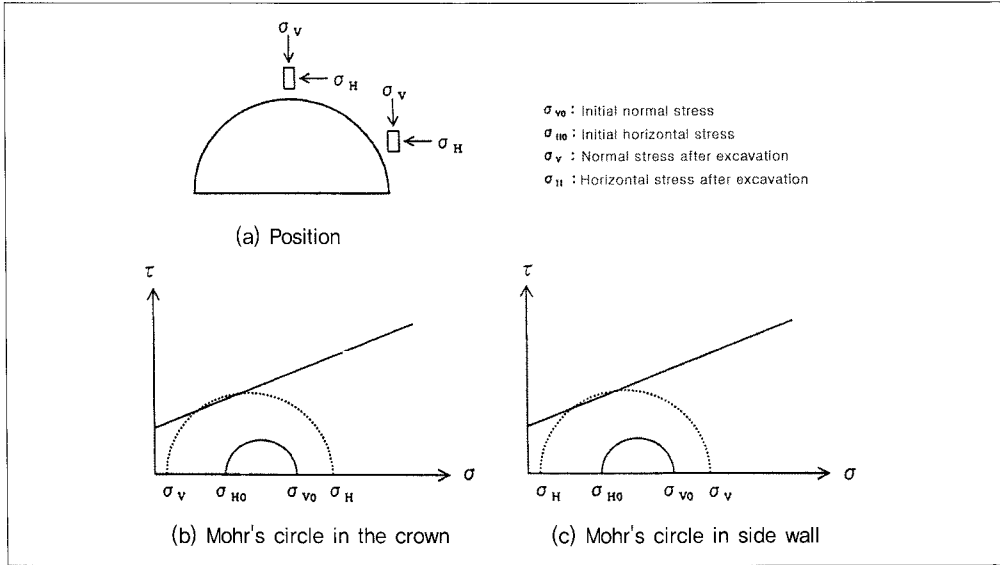


Fig. 12. Stress conditions around the tunnel in case of non-prelining

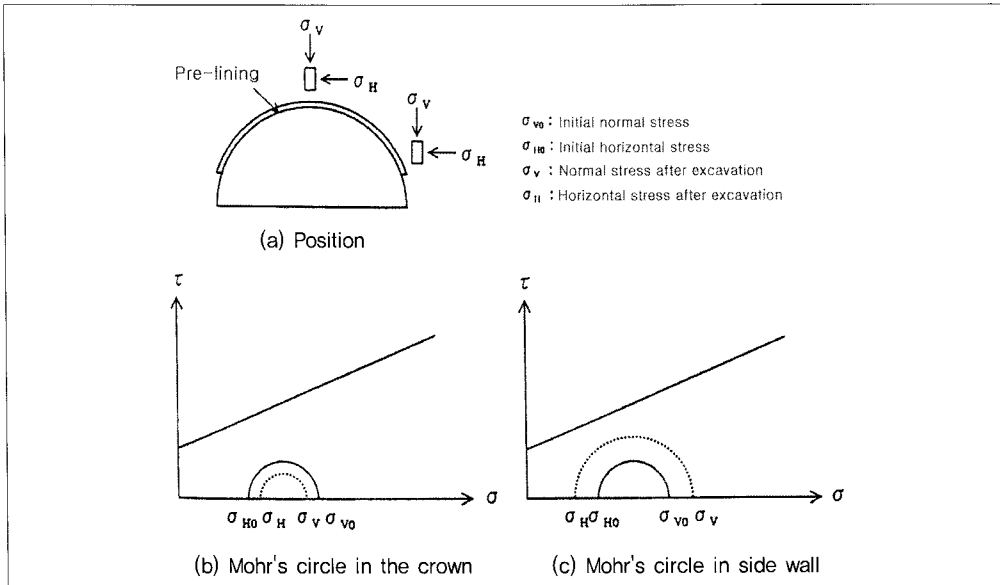


Fig. 13. Stress conditions around the tunnel in case of pre-lining

터널 굴착에 의해 천단부에서는 연직응력  $\sigma_v$ 가 감소하고 수평응력  $\sigma_H$ 가 증가하지만, 프리라이닝이 있는 경우에는 변화가 적고 초기응력 상태에 가까울 것이다. 한편, 측벽부에서는 수평응력  $\sigma_H$ 가 감소하고 연직응력  $\sigma_v$ 가 증가하지만, 이의 변화량도 역시 적을 것이다. 따라서 프리라이닝이 있는 경우에는 초기응력 상태로부터 변화가 적고 지반은 안정될 것이다. 특히, 프리라이닝의 각부에 침하가 생기지 않는다면 내공변위나 천단침하가 작게 발생하므로 지반은 초기상태에 가깝게 유지될 것이다.

프리라이닝의 유무에 의한 터널 굴착의 영향범위의 차이를 생각해보면 프리라이닝이 없는 일반적인 굴착터널에서는 일시적인 무지보 상태가 생기기 때문에 굴착의 영향범위는 Protodyanokov(in Szechy, 1970)에 의해 제시된 포물선형 이완영역과 같은 형태가 될 것이다. Fig. 14 (a)는 이를 그림으로 나타낸 것이다. 프리라이닝이 있는 경우에는 터널 측벽부 지반이 이완하지 않아 주변 지반이

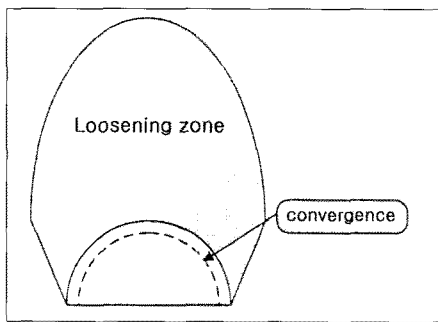
안정되고, Fig. 14 (b)에 제시한 것 같이 굴착의 영향범위는 좁아 질 것이다.

### 5.3 지표침하의 억제

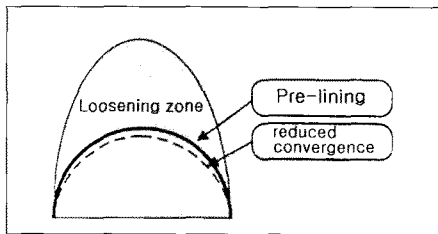
터널 굴착 시에는 막장주변의 연직응력 및 수평응력이 해방된다. 이 결과 Fig. 15에 제시한 것처럼 통상의 굴착터널에서는 무지보 구간 천단부와 막장면에서 큰 변위가 발생한다. 도시아키(石村, 1998) 등과 요네야마(米山, 1998) 등의 프리라이닝의 작용메카니즘에 대한 모형실험 결과를 보면 막장의 안정이 유지되고 있는 상태에서는 이러한 변위 중 수평응력 해방에 의한 지표침하의 영향은 작고, 연직응력 해방에 의한 천단침하의 영향이 큰 것으로 알려져 있다.

프리라이닝이 침하 억제에 효과가 있다는 것은 막장을 안정시키고, 연직응력의 해방을 억제하기 때문이라고 생각된다. 이 결과 프리라이닝이 있는 경우에는 Fig. 16에 제시한 것처럼 굴착구간의 연직변위와 수평변위가 적어지고, 지표면의 선행침하가 억제된다. 또한 프리라이닝의 지보효과로 지보의 강성이 높아져 막장면 뒤쪽의 후속침하도 감소한다.

또한 Fig. 15 및 Fig. 16에 나타낸 바와 같이 프리라이닝이 없는 경우 만일 활동파괴면이 형성된다면 막장은 붕



(a) Non-prelining



(b) Pre-lining

Fig. 14. Comparison of loosening area

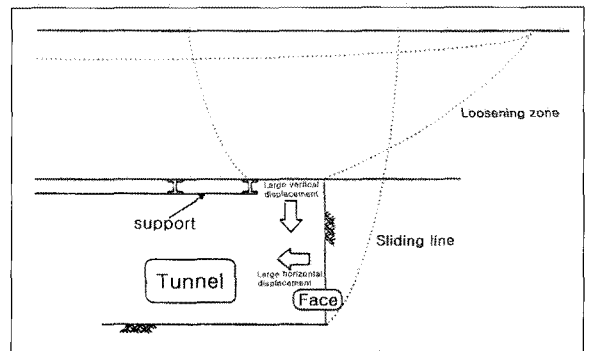


Fig. 15. Deformation of non-supported zone in case of non-prelining

프리라이닝 공법의 개요 : 터널굴착보조공법

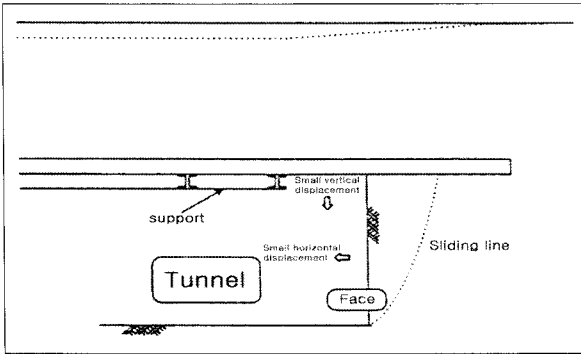


Fig. 16. Deformation of non-supported zone in case of pre-lining

과 될 것이며, 프리라이닝이 있는 경우에는 근입장의 길이에 따라 파괴는 방지 될 수 있다.

## 6. 맺음말

프리라이닝 공법은 불량한 지반조건에서 Conventional Tunnelling 공법(TBM을 적용하지 않는 Sequential Excavation Method로 국내에서는 주로 NATM으로 통칭)에 의해 터널을 굴착할 때 효과적인 보조공법이다. NATM의 지보재인 록볼트가 횡단면상 지반보강방법인 것에 비해 프리라이닝 공법은 횡단방향의 보강효과 뿐만 아니라, 막장 전방 지반의 보강효과를 동시에 기대할 수 있어, 적용성이 뛰어나며 그 중, 강관보강형 주입공법은 국내에서 가장 활발하게 이용되는 불량지반 통과방안이다.

전술한 바와 같이, 프리라이닝 공법의 이론적 효과는 굴착으로 인해 막장주변에 유발되는 지반응력의 분산과 구속응력 증진에 의한 내압효과 발현이며 그로인해 지표 침하를 억제할 수 있고, 부가적으로 지하수 거동 조절효과를 기대할 수도 있다.

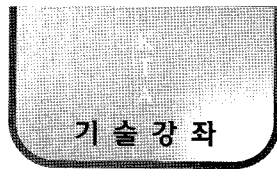
그러나, 이러한 이론적 효과는 슬릿콘크리트 방식, 수평고압분사 주입방식 및 강관보강형 주입방식 중, 어떤 방법을 적용하느냐에 따라 효과발현 정도에 차이가 나타

나게 되며, 그 차이를 보강영역 지반 강성과 강도의 개량 정도에 관한 역학적 판단으로부터 정량화하여 적용성을 판단하여야 한다. 즉, 터널 보조공법으로서 프리라이닝 공법의 적용을 검토할 때에는 터널주변 지반의 응력 수준, 개량 대상지반의 재료적 특성 뿐만 아니라 굴착방법, 횡단면상 지보공법 및 추가적으로 조합·적용할 보조공법과 연관되어 거동하는 메커니즘을 종합적으로 고려하여 프리라이닝의 세 가지 방식에 대한 적용효과와 그 한계를 설정하는 것이 합리적이고 안전한 접근방법이라 하겠다.

이상과 같이, 슬릿콘크리트공법, 수평고압분사 주입공법 및 강관보강형 주입공법을 프리라이닝 공법의 일종으로 개념 정립하고 이론적 배경을 검토해 보았다. 본고의 내용이 향후, 불량지반을 통과하는 터널의 보조공법 적용에 있어 경제성 및 안정성을 확보하는데 미소하나마 도움이 되기를 기대해본다.

## 참고문헌

1. 권혁민, 권재동, 이성혁, 이상덕 (2001), "사질토 지반에서 터널굴착에 의한 아원영역 규명", 대한토목학회 2001년도 학술발표회 논문집.
2. 권혁민, 양재범, 변광욱, 이상덕 (2001), "사질토 지반에서 터널굴착에 의한 하중전이", 대한토목학회 2001년도 학술발표회 논문집.
3. 김창용, 배규진, 문현구, 최용기 (1998), "Umbrella Arch 공법이 적용된 터널의 3차원 유한요소 해석에 관한 연구", 터널과 지하공간, 한국암반공학회 논문집, Vol. 8, 1998, pp. 209-2251.
4. 유충식, 신승우, 김영준, 김연정 (1995), "3차원 유한요소해석에 의한 Umbrella Arch 공법으로 보강된 터널의 거동 해석", 한국지반공학회 학술발표회 논문집.
5. 이봉렬, 김형탁, 김학문 (1996), "3차원 터널해석에 의한 강관보강형 다단그라우팅의 보강효과", 한국지반공학회지, 제12권, 제4호, pp. 5-20.
6. 이선복(2003), "비점성토 지반의 얇은터널에 적용된 프리라이닝 공법의 유효성 평가", 인하대학교 박사학위 논문
7. Kalory Szechy (1970), "The art of tunnelling", Akademiai-kiado, Budapest.
8. Obert L., Duvall W. I. (1967), "Rock mechanics and the



## 기술강좌

프리라이닝 공법의 개요 : 터널굴착보조공법

- Design of structures in Rock”, John Wiley & Sons, New-York, p. 650.
9. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948), “Soil Mechanics in engineering Practise”, John Willy & Sons, New York.
  10. 石村利明, 真下英人 等 (1998), “トンネル先受工の地盤変状抑制効果に関する三次元掘削模型実験”, トンネル工学研究論文報告集第8巻 pp. 199-204.
  11. 米山秀樹, 田口善文 等 (1998), “プレライニングの先受け支保機構に関する模型実験”, 土木学会論文集 No. 589/III-42, pp. 109-120.