

제 5 장 지보 구조의 설계

5.1 개 요

5.1.1 지보 구조

- (1) 터널을 굴착하면 굴착면 주변의 응력은 새로운 응력 분포 상태에 이른다.
- (2) 지반의 강도가 이 새로운 응력 상태에 대해 충분치 못하거나 지반에 절리 등의 역학적 불연속면이 발달하고 있을 때는 지반의 붕괴가 발생하거나 굴착면의 변화가 이상하게 커질 때가 있다.
- (3) 터널의 지보 구조는 터널을 안전하게 굴착할 수 있도록 함과 동시에 완성 후에 터널의 단면을 유지하고 터널의 안정성을 확보하는 역할을 하고 있다.
- (4) 지보공은 지보 부재를 조기에 시공함으로써 주변 지반의 지보 기능을 최대한 이용할 수 있도록 함과 동시에 작업중 안전을 확보할 수 있도록 설계하여야 한다.
- (5) 지보공에 작용하는 하중은 굴착후 시간이 경과됨에 따라 증대하는 경우가 많으므로, 굴착후 신속히 시공할 수 있는 지보공으로 하여야 한다.
- (6) 지보공은 시공이 용이하고 능률적인 갱내 작업을 할 수 있는 것이라야 한다.
- (7) 지보공의 종류로는 슛크리트, 록볼트, 강지보재가 있으나 지반 조건이 극히 불량한 경우에는 라이닝이 지보공의 역할을 담당하는 경우도 있다.
- (8) 터널의 지보 구조로는 이들을 적당히 조합하여 사용하며, 조합 방법이나 각 구조 부재의 설계는 암질, 초기 지반 응력, 용수 상황 등의 지반 조건에 크게 좌우되므로 그 지점의 조건에 가장 적합한 지보 구조를 설계하여야 한다.

5.1.2 터널 굴착에 따른 지반의 거동

- (1) 터널 굴착을 역학적으로 보면 단순히 파낸다는 차원보다는 제거되는 암괴가 부담하고 있던 응력을 해방시킨다는 것이다.
- (2) 터널의 안정은 이 응력 해방이 지보 구조물의 설치에 따른 지반 안정에 기여하는 효과로써 결정된다.
- (3) 응력 해방에 따르는 응력의 재배분과 지보 효과와의 상호 관계를 해석하는 일이 터널 설계의 기본이다.
- (4) 지반 조건이란 터널을 굴착하려고 하는 지점의 응력 상태와 지반 구조 즉, 지질 분포와 그 경계와 절리의 불연속면 분포 및 각 암석이 갖는 탄성계수 등의 역학적 성질을 말한다.
- (5) 따라서, 터널에서는 경험적인 방법이나 표준적인 설계 방법이 많이 사용된다.
- (6) 그러나 터널의 지보 구조 설계는 터널을 굴착함에 따른 응력의 재배분이 기초가 되므로 개념적이거나 그 과정을 이해해 두는 것이 지보 구조 설계를 위해 필요하다.

5.2 지보구조의 선정

5.2.1 지보공의 설계

- (1) 지보공은 터널 주변의 원지반이 보유하고 있는 지보 기능을 최대한 활용할 수 있도록 설계하여야 한다.
- (2) 지보공의 설계는 지보 부재를 적절히 선정하고 필요한 경우 지보 패턴을 변경할 수 있도록 현장 조건에 맞는 지보 패턴을 설정해 놓아야 한다.
- (3) 지보 부재로는 슛크리트, 록볼트, 강지보재 외에 지반 조건에 따라 라이닝을 포함할 수 있다.

[표 5.2.1] 지반 조건에 따른 지보 부재의 주요 기능

구 분	종 류	개 념
1차 지보	• 슛크리트 • 록볼트 • 강지보공	• 터널굴착후 주변지반이 지보기능을 발휘할 수 있도록 지반거동을 억제하여 안정상태에 이르게 하기위해 설치 • 터널굴착에 의해 발생하는 지반의 거동을 조기에 억제시켜 지반이 보유하고 있는 지지력 및 강도를 최대한 이용할 수 있도록 하고 지반을 안정시킴
2차 지보	• 내부 라이닝	• 배수형 터널의 경우 모든 지반하중을 1차 지보가 담당하고, 내부 라이닝은 터널 내부 시설물의 보호, 미관유지, 쾌적한 공간유지 등의 부수적 기능 담당 • 비배수형 터널의 경우 수압을 지지
보조 공법	• 포어폴링 • 다단그라우팅 • 프리그라우팅 등 다수	• 단층파쇄대, 터널 사중점부, 용수대등 지반이 불량한 경우 터널굴착의 안정을 위해 설치하는 것으로 1차 지보의 보강기능

5.2.2 콘크리트 라이닝

- (1) 터널의 안정성을 확보하기 위한 지보 구조물로는 최종 단계의 것으로서 다음과 같은 경우에 사용된다.
 - ① 터널의 안정성에 대한 안전율을 크게 할 때
 - ② 다른 지보 구조물로는 변형을 제어하기가 곤란하고 변형을 제어하기 위해 큰 내압이 필요할 때
- (2) 토피가 작은 경우 등 지표면 침하를 최소한으로 억제하기 위해 지보 구조를 강한 구조로 할 필요가 있을 때 콘크리트 라이닝은 거의 ①의 경우에 사용한다.
- (3) 안전성 미확보, 지질구성의 불확실성, 지하수의 작용에 의해 장기간에 걸쳐 지반의 변화가 발생하는 경우 안전율을 고려한 대책으로 콘크리트 라이닝이 사용된다.

5.2.3 지보 패턴의 설정 방법

- (1) 여러 시공 실적에 근거하여 지보 패턴을 참고로 하는 방법
- (2) 근접된 현장의 사례 혹은 지반 조건이 유사한 경우의 설계 예를 참고로 하는 방법
- (3) 해석에 의해 지보 패턴을 설정하는 방법

5.2.4 지보패턴의 변경

- (1) 지보패턴의 변경이 필요한 경우
 - ① 굴착 구간에서의 계측 결과를 근거로 미굴착 부분의 설계를 변경하는 경우
 - ② 이미 굴착된 구간의 변위가 설계상 산정한 값과 크게 다르고, 지반의 안정에 문제가 있기 때문에 변경하는 경우
 - ③ 굴착후 변위가 수렴하지 않는 경우 그 대책으로는 슛크리트 두께의 증가, 록볼트의 추가 시공 등 지보 부재의 증가 방법과 주입 공법 등에 의한 지반 개량 보조 공법을 고려할 수 있다.
 - ④ 이러한 대책으로도 변위가 수렴되지 않는 경우에는 콘크리트 라이닝 설계시 역학적 개념을 도입하여 변위를 구속시키는 방법을 고려할 수 있다.
- (2) 지보패턴의 변경방법

[표 5.2.2] 설계의 변경 방법 및 검토 사항

현 상	변경방법	특 기 사 항
지보 변위량이 예상 변위량 보다 큰 경우	변형 여유량의 확대	• 슛크리트에 균열 등의 변형이 있는 경우 • 록볼트의 축력이 큰 경우 • 변형이 수렴하지 않는 경우
	지보 부재의 증가	• 슛크리트 두께, 록볼트의 길이 및 본수, 지보 패턴의 간격 • 파쇄대, 소성화가 현저한 지반에서는 지보공의 강성을 다 소 높여도 변위 억제에 효과가 없을 경우가 있다.
	단면의 폐합	• 변형 억제에 가장 효과적인 방법이지만 고가임 • 단면은 가능한 한 조기에 폐합함
	막장 및 막장 전방의 보강	• 경사 볼트, 미니 파이프 루우프, 막장면 슛크리트 타설, 막장 전면 록볼트 타설 • 팽창성 지반, 균열이 현저히 발달된 지반 • 위의 변경으로 효과가 없는 경우의 추가 보조공법
	분할 굴착 공법의 변경	• 벤치 길이, 벤치 수의 변경 • 링 커트 공법의 채용 • 기계 설비의 변경을 수반하는 경우가 많다.
지보 변위량이 예상 변위량 보다 작은 경우	지보 부재의 감소	• 지반 변위량 및 록볼트 및 축력, 슛크리트 응력 등이 작은 경우 • 암괴의 붕합 목적인 록볼트는 균열 상태에 따름 • 강지보재는 붕락 상태나 초기 변위 속도에 의함 • 슛크리트보다 록볼트를 우선적으로 감소시킴 • 지보패턴 간격을 연장하거나 지보패턴을 양호한 지반측으로 조정
	변형 여유량의 감소	• 충분한 정밀도로 검토한다.

5.3 쏫크리트

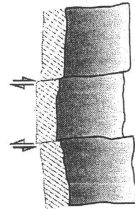
5.3.1 쏫크리트 일반

- (1) 쏫크리트는 굴착후 빠른 시간 내에 지반에 밀착되도록 시공이 가능하고 조기 강도를 얻을 수 있으며, 굴착 단면의 형상에 크게 영향을 받지 않고 용이하게 시공이 가능하므로, 가장 일반적으로 사용되는 지보 부재 중의 하나이다.
- (2) 쏫크리트 설계에 있어서는 그 사용 목적, 지반 조건, 시공성 등을 고려하여 배합, 강도, 두께 등을 결정한다.
- (3) 지보 부재로서의 필요 요건
 - ① 작용 하중에 대하여 충분한 강도를 지닐 것
 - ② 필요한 강도를 조기에 확보할 수 있을 것
 - ③ 지반과의 부착성이 양호할 것
 - ④ 충분한 내구성을 확보하여 터널의 공용기간 동안 소요 기능을 발휘 할 것
 - ⑤ 수밀성이 높을 것
 - ⑥ 반발률(rebound) 및 분진 발생량이 적을 것
 - ⑦ 평활한 굴착면을 확보하여 방배수 시공이 용이할 것

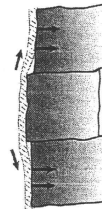
5.3.2 지반조건에 따른 쏫크리트 적용 개념

- (1) 낙반방지
 - ① 낙반을 방지하기 위한 쏫크리트는 굴착 직후, 뜯돌정리를 완료한 다음에 시공하는 1차 쏫크리트로도 충분한 효과가 있다.
 - ② 1차 쏫크리트는 지반의 이완을 조기에 억제하여 지반 자체의 자립력을 높여주는 것은 물론, 다음 굴착 사이클에서 현장 작업자의 안전 확보에도 큰 역할을 한다.
- (2) 내압효과
 - ① 쏫크리트는 쉘압력 및 축력에 대한 저항을 높여 주변 지반에 내압을 발생시킴으로써 지반의 강도약화를 방지한다.
 - ② 이러한 내압효과는 연암이나 토사 지반등에서 더 큰 효과를 발휘한다.
- (3) 응력집중의 완화
 - ① 쏫크리트는 지반의 오목한 부분을 메우고 연약층을 주변의 보다 양호한 지반과 함께 결합시킨다.
 - ② 응력집중을 막고 연약층을 보강하는 효과를 가진다.
- (4) 풍화 방지
 - ① 터널을 굴착하면 내부의 지반이 노출되게 되는데 이러한 내부지반을 피복한다.
 - ② 풍화를 방지할 뿐만 아니라 차수, 미립자 유출방지 등의 효과를 발휘한다.
- (5) 지반아치(ground arch) 형성
 - ① 쏫크리트는 지반과의 부착력에 의해 쏫크리트에 작용하는 외력을 지반에 분산시킬뿐만 아니라 록볼트와 함께 결합되어 시공된다.

- ② 터널 주변 지반에 있는 흙이나 균열의 전단저항을 증가시켜 터널 주변에 지반 아치를 형성시킨다.
- (6) 이외에도 슛크리트는 강지보재와 함께 시공되어 강지보재를 보완할 뿐만 아니라 강지보재의 좌굴을 방지하는 효과도 발휘한다.



(a) 전단저항

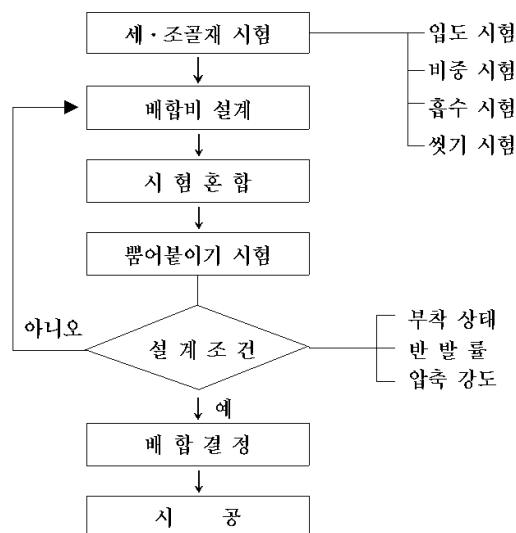


(b) 부착 및 인장 저항

<그림 5.3.1> 슛크리트 지지거동

5.3.2 슛크리트의 배합 및 강도

- (1) 슛크리트의 강도는 뽐어붙이기 방식, 시공 방법, 타설 위치, 슛크리트 두께, 지반 조건, 기온, 수온 등에 따라 달라진다.
- (2) 슛크리트의 설계 강도
- ① 일반 슛크리트 : 일축압축강도 $f_{ck}=20\text{MPa}$ ($f_t=10\text{MPa}$) 이상
 - ② 강성유 보강슛크리트 : 뽐강도 $f_{bk}=4.5\text{MPa}$ ($f_{t\ bk}=21\text{MPa}$) 이상
 - ③ 설계강도 결정시 주요 고려사항
 - 가. 지반 강도 및 지보 부재로서의 기능
 - 나. 배합 재료의 품질 및 조달의 용이도
 - 다. 시공성 및 기술 수준 등
- (3) 슛크리트 배합비의 결정



<그림 5.3.2> 슛크리트 배합비 결정 흐름도

5.3.3 슛크리트 설계

- (1) 슛크리트의 설계 두께는 그 사용 목적, 지반 조건, 단면의 크기에 따라서 결정한다.
- (2) 경암에서와 같이 토압이 전혀 작용하지 않고 암괴의 붕락 방지만을 목적으로 슛크리트를 시공하는 경우에는 설계 두께를 최소로 한다.
- (3) 팽창성 지반과 같이 변형이 크게 발생하고 작용하는 토압이 큰 경우, 미고결 지반의 경우, 토압이 작아 주변에의 영향을 극소화 할 필요가 있는 경우 등에는 설계 두께를 비교적 크게 할 필요가 있다.
- (4) 지반별, 단면 크기별 뽁어붙이기 콘크리트 두께 적용 실적은 다음과 같다.

[표 5.3.1] 지반별 단면 크기별 슛크리트 적용 범위

지반구분 단면크기	경암 이상	연 암	풍화암	토 사
30m ² 이하	50mm	50~100mm	50~100mm	100~150mm
30~40m ²	50~100mm	100~150mm	150~200mm	200mm내외
40~80m ²	50~100mm	100~150mm	150~200mm	200~250mm
80~120m ²	50~100mm	100~200mm	150~200mm	250mm내외

- (5) 한국도로공사에서 기준으로 하고 있는 터널 단면별 슛크리트의 두께는 다음과 같다.

[표 5.3.2] 터널 단면별 슛크리트 두께(예시)

구 분	Type-I	Type-II	Type-III	Type-IV	Type-V	Type-VI
두께(mm)	50	50	80	120	160	160

- (6) 슛크리트의 조기강도 발현을 위하여 급결제를 사용할 수 있다. 이때 사용되는 급결제의 사용량은 시멘트 중량의 5~10%를 표준으로 함을 원칙으로 하며, 다음의 특성을 보유했는 것이어야 한다.
 - ① 콘크리트의 용결경화를 촉진하여야 함.
 - ② 장기강도의 저하가 적어야 함.
 - ③ 부착성이 우수하여야 함.
 - ④ 강지보재를 사용하는 경우는 강재를 부식시키지 말아야 함.
 - ⑤ 사용상의 안전성이 확보되어 있어야 함.

5.3.4 슛크리트의 보강

슛크리트 보강재는 철망(wire mesh), 강섬유(steel fiber), 합성섬유(synthetic fiber) 등이 있으며 콘크리트 재료인 슛크리트의 인성을 향상시키기 위하여 사용한다. 현재 국내에서 널리 사용되고 있는 강섬유보강 슛크리트(SFRS, Steel Fiber Reinforced Shotcrete)의 경우는 일반 슛크리트에 비해 전단강도는 50~70% 정도 개선되고 인장강도나 휨강도는 20~40% 정도로 증가하나 압축강도의 개선효과는 미미한 것으로 보고되고 있다. 슛크리트 보강재의 특징을 비교하면 [표 5.3.4] 같다.

[표 5.3.3] 슛크리트 보강재의 특징

구 분	철 망	강 섬 유	합성섬유
재 질	강 재	강 재	고성능 폴리머, 폴리프로필렌 등
내구성	불 량 (부식가능성 있음)	불 량 (부식가능성 있음)	우 수
시공성	• 국내 적용사례 다수 • 설치작업이 불편 • 평면적 보강으로 균열 확 대 억제 가능	• 국내 적용사례 다수 • 작업성 편이 • 슛크리트 장비 및 호스 손상 우려	• 국내 적용기준 부재 • 작업성 편이 • 다량혼합시 작업성 저하

5.3.5 관리 기준¹⁾²⁾

- (1) 터널공사에 적용되는 슛크리트는 습식 슛크리트 타설 공법을 적용한다.
- (2) 터널공사에 적용하는 슛크리트는 Type-1을 제외한 나머지 지보패턴에서는 강섬유보강 슛크리트 타설을 원칙으로 한다.
- (3) 슛크리트의 배합기준은 다음의 표에 의한다.³⁾⁴⁾

[표 5.3.4] 슛크리트 배합설계 기준

구 분	Gmax (mm)	슬럼프 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료량(kg/m ³)							강도기준 (MPa)
					W	C	S	G	강섬유	급결제	유동화제	
일반	10	100	43	60	190	441	1014	694	-	22.05	4.41	f _{ck} =20
강섬유	10	100	44	60	211	480	962	659	40	24.00	4.80	f _{bk} =4.5

1) 터널 슛크리트 공법 검토(설계기 16203-111, 1994.07.16)

2) 강섬유 보강 슛크리트 적용방안(설계기 16201-356, 1995.12.29)

3) 터널지보공 관련 품질기준 개정(잠정) 및 시공시 유의사항(도연재 15404-31906, 2002.10.14)

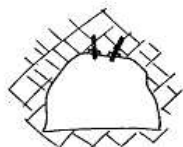
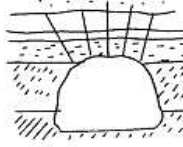
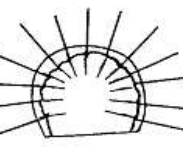
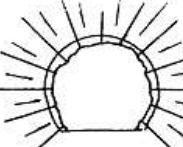
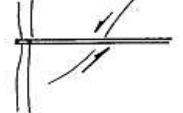
4) 터널 슛크리트 품질기준 개선(안)(도교시 15404-18, 2003.11.25)

5.4 록볼트

5.4.1 록볼트 일반

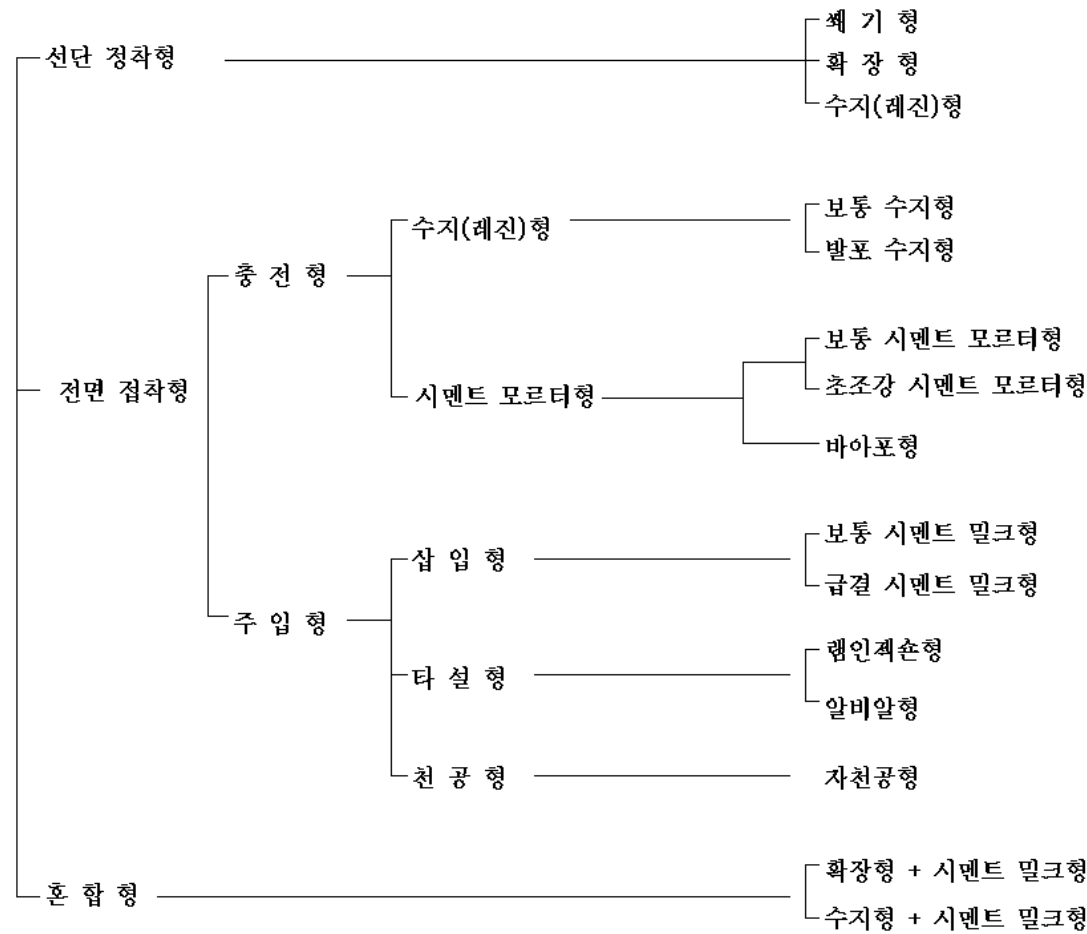
- (1) 충리 및 절리가 발달된 중경암, 경암의 경우에 록볼트의 작용 효과로는 암괴의 붕락이동을 억제하고 암반을 일체화시키는 봉합 작용 및 지반 개량 효과 등이 기대된다.
- (2) 강도가 작은 연암 이하의 지반에서는 아치 형성 작용, 내압 작용, 지반 개량 작용 등을 기대할 수 있다.

[표 5.4.1] 록볼트의 작용 효과 개념

기 능	작 용 효 과	개 념 도
봉합작용 · 매달음 작용	발파 등에 의해 이완된 암괴를 이완되지 않은 원지반에 고정하여 낙하를 방지하는 것으로 가장 단순한 효과이다. 균열·절리가 발달된 지반에 있어서 스킨크리트와 병용하면 비교적 작은 균열에 대해서도 효과가 있다.	
보형성 작용	터널 주변의 층을 이루고 있는 원지반은 충리면에서 분리되어 겹침보로서 거동하나 록볼트로 층사이를 조여줌으로써 충리면에서의 전단력의 전달을 가능하게 하여 합성보로서 거동시키는 효과가 있다.	
내압작용	록볼트의 인장력에 맞먹는 힘이 내압으로 터널 벽면에 작용하면 2축 응력 상태에 있던 터널 주변 지반이 3축 응력 상태화 되는 효과가 있다. 이것은 3축 시험시 구속력(축압)의 증대와 같은 의미를 가지며 지반의 강도 혹은 내하 능력의 저하를 방지하는 작용을 한다.	
아치형성 작 용	시스템 록볼트에 의한 내압 효과로 일체화되어 내하 능력이 높아진 원지반은 내공축으로 일정하게 변형하는 것에 의해서 내하력이 큰 지반아치를 형성한다.	
지반개량 작 용	지반 내에 록볼트를 타설하면 지반의 전단 저항 능력이 증대하여 지반의 내하 능력이 증대될 뿐만 아니라 지반의 항복 후에도 잔류 강도가 증가 한다. 이와 같은 현상은 록볼트에 의해 지반 전체의 공학적 특성치가 개선되는 것을 의미한다.	

5.4.2 록볼트 형식

(1) 정착 방식에 의한 분류

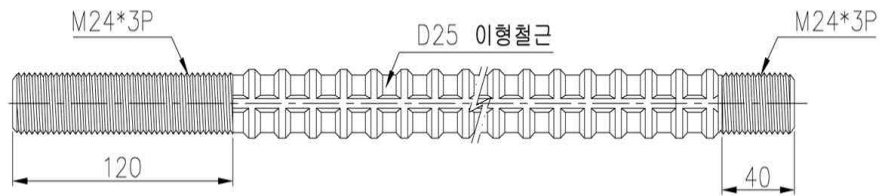


<그림 5.4.1> 정착 방법별 록볼트의 분류

(2) 정착 방식별 정착 방법

[표 5.4.2] 록볼트의 정착 방식

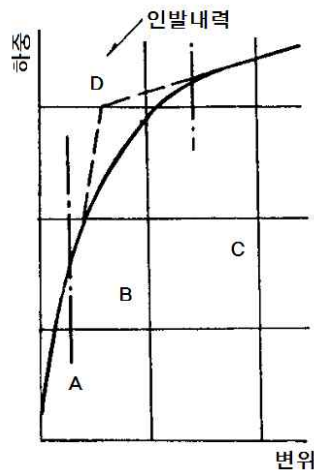
정착 방법	선단정착식	전면접착식	혼합형
정착 재료	쐄기형, 확장형, 레진형	시멘트 몰탈, 고착제, 밀크 및 레진형 등	선단정착식 정착제 + 시멘트 밀크, 몰탈 등
개요	록볼트의 선단을 정착재료로서 정착	록볼트 전장에 걸쳐 정착재료로서 정착	선단정착식 + 전면접착식
시공 순서	1. 천공 2 볼트 삽입 3 Pre-Stress도입	1. 천공 2. 레진 삽입 3. 볼트 삽입 4. 볼트 체결	1. 천공 2. 볼트 삽입 3. Pre-Stress도입 4. 몰탈 주입



<그림 5.4.2> 이형철근 록볼트 일반도

(3) 록볼트 인발시험

- ① 록볼트의 정착력이 충분한지 여부는 인발 시험을 통하여 판단한다.
 - ② 인발 내력은 통상 지반과 정착제 사이에 발생하는 마찰력에 의해 얻어지기 때문에 지반 조건, 정착 형식, 정착제, 볼트 길이, 공경 등에 따라 달라진다.
 - ③ 록볼트는 지반에 정착되어 주로 인장 부재로 작용하기 때문에 인발 내력은 록볼트 설계에 있어서 가장 기본적인 사항이 된다.
 - ④ 볼트의 항복 축력 및 정착부의 정착력에 대해서도 충분한 검토가 필요하다.
 - ⑤ 록볼트의 인발 시험 결과는 <그림 5.4.3>과 같이 표시된다.
- 가. 그림의 C영역은 볼트의 정착 효과가 기대되지 않는 영역으로 간주한다.
- 나. 인발 내력은 D점으로 본다.



<그림 5.4.3> 록볼트 인발 시험(하중-변위 곡선)

5.4.3 록볼트의 재질 및 강도

(1) 록볼트의 재질

- ① 록볼트의 재질은 지반 조건과 사용 목적에 따라 필요한 강도 및 신장 특성을 가진 것을 사용한다.
- ② 록볼트는 인장재로 사용되기 때문에 인장강도가 큰 것을 사용한다.
- ③ 지반의 급격한 붕괴를 방지하기 위해서는 연성(ductility) 이 큰 신장 특성을 갖는 재료를 사용하여야 한다.

- ④ 원형 강봉은 이형 강봉에 비하여 인발 저항력이 훨씬 작기 때문에 록볼트 재료로는 통상 이형 강봉을 사용한다.
- ⑤ 이형 강봉은 강도 및 신장 특성을 고려할 때 KS D 3504에 규정되어 있는 SD30, SD35, SD40 를 사용한다.
- ⑥ 볼트 직경은 록볼트의 작용 효과, 시공성에 따라 결정되어야 하며 실용적으로 볼 때 D22 ~ D29정도가 무난하며 국내에서는 대부분 D25 규격의 것을 사용한다.
- ⑦ 록볼트 재료 선정 기준
- 가. 암괴의 붕합 등 록볼트에 큰 축력이 작용하지 않을 것으로 예상되는 경우 SD30, SD35 정도의 재질을 사용하며, 직경은 D22~D25 정도가 적합하다.
- 나. 내압 효과 및 아치 형성 등을 목적으로 하고 지반의 변형이 그다지 크지 않을 경우 SD35, D25 정도의 것을 사용한다.
- 다. 지반의 변형이 클 것으로 예상되는 경우 록볼트에 큰 축력이 발생되어 록볼트의 내하력을 향상시킬 필요가 있으므로, 단면적이 크고 인장강도가 큰 재료(D25 이상, SD35 이상)를 사용하며, 사용 개수를 늘리는 방안을 검토한다.
- ⑧ 막장의 안정성을 확보하기 위한 막장 볼트나 확폭 예정 구간에 있어서 굴착중 안정성을 위해 사용되는 볼트 등은 시공성을 고려하여 유리섬유(glass fiber)등을 재료로 한 볼트를 사용하기도 한다.

[표 5.4.3] 록볼트용 이형 강봉의 내력표

재 질	규 격	단면적 (cm ²)	허용 응력 (MPa)	허용 내하력 (kN)	항복 강도 (MPa)	항복 내하력 (kN)
SD30	D22	3,871	150	58	300	116
	D25	5,067	150	76	300	152
	D29	6,424	150	96	300	193
SD35	D22	3,871	175	68	350	135
	D25	5,067	175	89	350	177
	D29	6,424	175	112	350	225
SD40	D22	3,871	180	70	400	155
	D25	5,067	180	91	400	203
	D29	6,424	180	116	400	257

(2) 지압판(bearing plate)

- ① 지압판은 록볼트와 슛크리트를 일체화 시키는 중요한 부재이므로 예상되는 응력에 대하여 충분한 면적과 두께, 강도를 가져야 한다.
- ② 슛크리트가 지압판에 대체적 혹은 부가적인 역할을 담당하는 것도 생각할 수 있으므로 이를 고려할 필요도 있다.

- ② 평판을 사용할 경우 $10 \times 150 \times 150\text{mm}$ 정도의 규격이면 충분하나 지반의 변형이 큰 경우에는 록볼트가 파단되는 정도의 축력이 발생하는 경우도 있으므로 이 경우에는 지압판의 두께와 강도에 대하여는 별도로 검토한다.

5.4.4 록볼트의 배치 및 길이

(1) 설치간격

- ① 록볼트의 간격을 결정할 때 인접하는 볼트가 서로 유효하게 작용효과를 발휘할수 있도록 이들 상호관계를 고려하여야 한다.
- ② 다음과 같은 경우 록볼트를 추가 설치하는것이 바람직하다.
- 가. 터널벽면의 변형이 록 볼트 길이의 약 6%가 된다고 판단되는 경우
 - 나. 록볼트의 인발시험 결과로부터 충분한 인발내력이 얻어지지 않는 경우
 - 다. 록볼트 길이의 반 이상으로부터 지반 심부까지의 사이에 축력분포의 peak치가 존재하는 경우
 - 라. 소성영역의 확대가 록볼트 길이를 넘는다는 판단되는 경우

(2) 록볼트의 배치

- ① 랜덤볼팅
- 가. 지반이 불량한 부분을 국부적으로 록볼트로 보강하는 개념
 - 나. 굴착후 막장 상태에 따라 볼트 배치를 결정하는 방법
- ② 시스템 볼팅방법
- 가. 터널 단면에 미리 정해진 형식의 록볼트를 배치하여 지반을 지보하는 개념
 - 나. 지질상태를 상정하고 미리 록볼트의 배치를 결정하는 방법
- ③ 시스템 록볼트의 배치 개념

[표 5.4.4] 지반 조건에 따른 시스템 록볼트 배치 개념

주요 기능	적용 지반	배 치 개 념	개 념 도
붕합 효과	경암 } 연암	- 암괴를 붕합하여 붕락방지 - 아치부에만 배치	
내압 및 아치형성 효과	연암 } 풍화암	- 시스템 록볼트로 내압 및 보 형성 효를 기대 - 터널 아치부 및 측벽부에 배치 - 팽창성 지반에서는 인버트부에도 배치	
전단 저항 효과	토사	- 연약 지반의 전단 파괴가 지하 공동 측벽부에서부터 발생하므로 초기에 이를 방지하는 개념 - 아치 천단부를 제외한 아치 및 측벽부에 배치	

(3) 록볼트의 길이

- ① 록볼트의 설치간격의 2배 이상인 2.0~4.0m 정도가 가장 많이 사용되고 있다.
- ② 강도가 작은 지반에서는 표준적으로 설정된 볼트 패턴보다 볼트의 개수를 증가시키거나 볼트의 길이를 증가시켜 시공하는것이 적정하다
- ③ 록볼트의 작용 효과 중 봉합 작용 및 보 형성 효과를 기대하는 경우에는 이완 영역 이상의 길이를 가진 록볼트를 사용하여야 한다.
- ④ 내압 효과, 아치 형성 효과 및 지반 개량 효과를 기대하는 경우에는 필요한 정착력을 확보하기 위한 길이를 사용하여야 한다.
- ⑤ 록볼트 길이와 배치 간격(Rabcewicz의 경험적, 실험적 산정식)

가. 록볼트의 길이(L)

$$L \geq \frac{W}{3} \sim \frac{W}{5} \quad \text{또는} \quad L \geq t \quad [\text{식 5-4-1}]$$

여기서, W : 터널 단면폭, t : 막장면과 지보 구간과의 거리

나. 록볼트의 간격(P)

$$P \leq 0.5L \quad \text{또는} \quad P \geq 3D \quad [\text{식 5-4-2}]$$

여기서, D : 블록화할 암괴의 평균 치수

다. [식 5.4.1]의 조건은 이완이 생길 영역에 대한 조건이고 [식 5.4.2]의 조건은 록볼트의 영향범위가 중첩되기 위한 추정이다.

라. 식 $P \geq 3D$ 의 조건은 각 블록 상호간의 볼팅 작용으로써 서로 관련시킬 수 있는 조건이다

5.4.5 품질 기준⁵⁾

(1) 이형강봉

직경(mm)	재질	항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)	시험빈도
φ 25mm 이상	SD 350 이상	350 이상	490 이상	18 이상	6,000개마다

(2) 인발시험은 50분당 1개소 또는 터널 연장 20m마다 천장, 아치, 측벽 각 1개씩 실시한다.

(3) 록볼트용 수지(resin)

- ① 수지(주제+경화제) 길이 : 650mm
- ② 수지용량 : φ 26mm일 경우 210ml, φ 32mm일 경우 325ml
- ③ 주제와 경화제의 배합비율(무게비) : 1:1~1:1.2
- ④ 품질품질 시험은 매 반입시마다, 또는 제조회사별 3개월 이상 저장시 시행g하며 기준은 다음과 같다.

5) 터널지보공 관련 품질기준 개정(잠정) 및 시공시 유의사항(도연재 15404-31906, 2002.10.14)

구 분	기 준		실내시험 (예)						색상
			제조사 기준(㎖) [φ 32㎜]	용량 및 배합비(평균, ㎖)				발포 배율 (배)	
	인발력 (kN)	발포 배율 (하한치)		계	주제	경화제	배합비 (무게기준)		
급결용	200	2	325	292	146	146	1:1	3.2	검정
선단용	150	2	325	302	147	155	1:1	3.3	빨강
충전용	100	4	325	304	146	158	1:1	10.5	초록

(4) 록볼트 정착 방법⁶⁾

- ① 터널 록볼트 정착방법 및 정착재료는 시공시 현장여건을 고려하여 선정한다.
- ② 시공시 록볼트 시험시공, 인발시험 등을 실시후 기준에 적합한 터널 록볼트 정착방법 및 정착재료 선정한다.
- ③ 선단 정착식은 현재 사용하지 않고, 지반상태에 따라 정착력 감소, 록볼트 부식 우려 등으로 선정 제외한다.
- ④ 수지(레진)형은 용수발생구간에서 정착기능이 미흡하므로 용수발생구간에서는 선정 제외한다.

5.5 강지보재

5.5.1 강지보의 설계 개념

(1) 강 슛크리트, 록볼트를 주로 한 지보로서 이들과 조합하여 터널의 안정을 도모하는 경우

① 초기 지보 효과

가. 슛크리트가 충분한 강도를 발휘할 때까지 일시적인 초기 지보 효과를 얻어 굴착한 곳의 안정을 도모하기 위해 사용한다.

나. 일반적으로 가벼운 강지보를 사용한다.

② 내압효과

가. 실토압 내지 팽창성 토압이 작용하는 원지반에서 슛크리트와 일체성을 유지하고 내압 효과를 기대하기 위해 사용하는 경우 사용한다.

나. 지보재의 주요한 부분으로 사용되는 것이므로 부재 단면이 큰 H형강이 사용된다.

다. H형강을 사용할 경우 지반의 변형이 클 때는 시공 순서·시공 시기에 주의함과 동시에 그에 따라 지보공에 축소할 수 있는 기구를 만들어 변형을 조절하는 방법도 검토해야 한다.

라. 갱구에서 토피가 얇고 아치 효과를 기대 할 수 없을 때나 지표면 침하가 많이 발생할 때에는 강한 지보 구조로 하고 이때에는 강지보재를 주체로 하는 설계로 하여야 한다.

6) 터널 록볼트 집착재료 적용방안(건설기 13105-29, 2002.02.28)

7) 터널 록볼트 정착기준 개선(설계처-1106, 2007.04.17)

(2) 강널판 등과 병용하는 경우

- ① 용수가 특별히 많아 슛크리트를 사용할 수 없을 때 부득이 강지보재와 강 널판류를 병용하여 설계하는 것을 말한다.
- ② 강지보재는 굴착 후 즉시 세울 수가 있고 라이닝 공사 완료시까지의 사이에 하중을 안전하게 지탱할 수 있는 것이어야 한다.
- ③ 터널의 안전을 도모하기 위해 강지보재에 접해 있는 주위의 암석이나 토사를 지지하기 위해 지반 조건에 따른 강널판류를 설계한다.
- ④ 강널판을 타입하여 토압을 강지보재에 전달하여 지반이 느슨해짐에 따라 하중이 증가하는 것을 방지 하여야 한다.
- ⑤ 이 경우 지반이 이완되는 것을 방지하기 위해 지반과 강지보재 사이의 뺨기로 충분히 다지는 것이 대단히 중요하다.

5.5.2 가공방법 및 재질

(1) 강지보재의 가공방법

- ① 강지보재는 열간 가공보다 냉간 가공 시에 그 흠을 발견하기 쉬우며 열간 가공시에는 열판리가 곤란하므로 냉간 가공하는 것을 원칙으로 한다.
- ② 냉간으로 상당히 큰 원호로 구부려 가공한다는 점에서 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호한 강재를 사용한다.

(2) 강지보재의 재질

- ① H형 및 U형 강지보재의 재질은 KS D 3503에 규정된 SS 400을 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 하여야 한다.
- ② 격자지보형 강지보재의 재질은 소요의 강도를 충분히 발휘 할 수 있는 특수강을 사용하여 KS D 3504에 규정된 SD500W를 표준으로 한다.

5.5.3 강지보재의 종류

(1) 일반사항

- ① 단면 형상은 강지보재의 설치 후에도 지반과 강지보재 사이의 공극에 슛크리트 타설이 용이하고, 슛크리트와 일체화되기 쉬운 것이 좋다.
- ② 큰 하중이 작용하는 경우, 좌굴에 대하여 저항성이 큰 형상이 바람직하다.
- ③ 강지보재로 사용되는 대표적인 단면 형상에는 H형, U형, 격자지보형(lattice girder) 등이 있다.
- ④ 강지보재의 치수는 작용하중 외에 슛크리트의 두께, 강지보재의 최소 덮개, 굴착공법, 굴착 방법 등을 고려하여 결정한다.
- ⑤ 또한, 소요의 강성을 발휘하고, 좌굴 비틀림 및 국부적인 하중에 대하여 저항성이 크고 시공능률을 높일 수 있는 것이어야 한다.

(2) 격자지보재

① 격자지보의 종류

가. 표준형 3개강봉 : 대각선 모양으로 3개의 강봉으로 구성된 형상

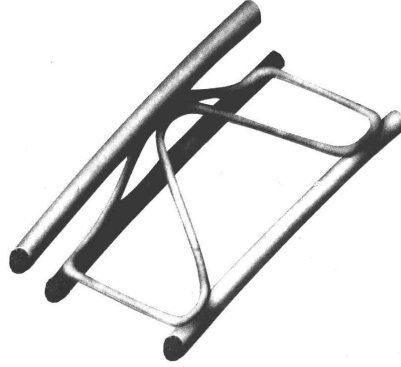
나. 보강형 3개강봉 : 표준형과 형태상 동일하나 상부에 강봉하나를 더 결합한 형태

다. 침하방지용 4개 강봉 : 터널하부 지지지반이 연약한 경우 바닥지지재로 주로 사용

② 격자지보의 적용⁸⁾

가. 2차로 터널의 강지보재로 H형 강지보재 외에도 격자지보재도 설계에 적용한다

나. 3차로 이상의 대단면 터널은 현장여건에 따라 적용 여부를 검토한다.

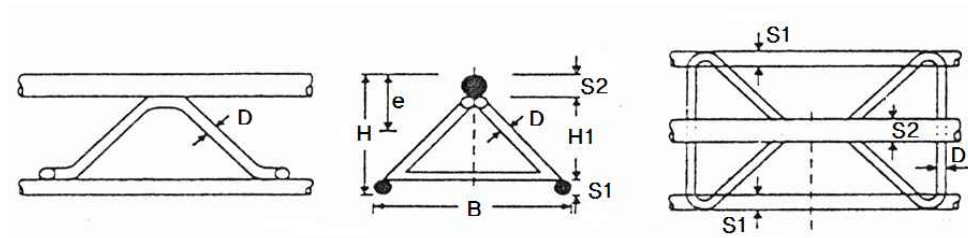


<그림 5.5.1> 표준형 3개강봉의 단면형상

[표 5.5.1] 표준형 3개강봉의 치수 및 단면특성

형태	단 면 치 수(mm)					단면적 (cm ²)	단위 중량 (N/m)	단면2차모멘트 (cm ⁴)		단면계수 (cm ³)	
	S1	S2	H	B	D			Ix	Iy	Zx	Zy
50	18	26	94	100	10	10.4	100	138	89	29	18
	20	30	100	100	10	13.6	123	193	106	38	21
70	18	26	114	140	10	10.4	102	223	192	39	27
	20	30	120	140	10	13.6	125	306	232	51	33
	22	32	124	140	10	15.6	143	375	272	60	39
	26	34	130	140	10	19.7	175	501	356	71	51
95	18	26	139	180	10	10.4	107	359	337	51	37
	20	26	141	180	10	11.6	117	405	406	53	45
	20	30	145	180	10	13.4	131	485	407	66	85
	22	32	149	180	10	15.6	149	589	482	78	54
	26	34	155	180	10	19.7	182	774	641	92	71
115	18	26	159	220	12	10.4	117	491	521	61	47
	20	30	165	220	12	13.6	141	658	634	78	58
	22	32	169	220	12	15.6	159	795	752	94	68
130	18	34	175	220	12	19.7	192	1040	1010	109	92
	20	26	174	220	12	10.4	117	603	521	69	47
	22	30	180	220	12	13.6	141	806	634	87	58
	26	32	184	220	12	15.6	159	971	752	105	68
	26	34	190	220	12	19.7	192	1264	1010	122	92

8) 터널 격자지보재의 적용성 검토(설계기 15212-287, 1998.03.05)

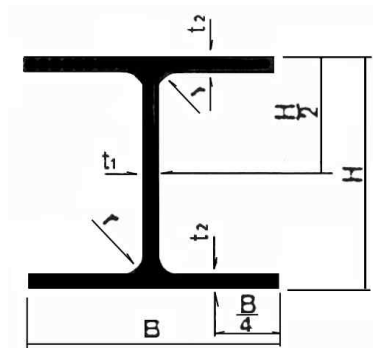


(3) H형 강지보재

- ① H형 강지보재는 국내현장에서 가장 널리 사용되고 있는 강지보재의 한 유형이다.
- ② 배면에 공극이 발생될 수 있고, 슛크리트의 두께가 얇은 경우에는 슛크리트와 강지보재의 일체성이 떨어질 수 있는 약점이 있다.
- ③ 일반적으로 많이 사용되어지고 있는 대표적인 H형 강지보재dml 단면 형상 및 특성은 다음과 같다.

[표 5.5.2] H형 강지보재의 치수 및 단면 특성

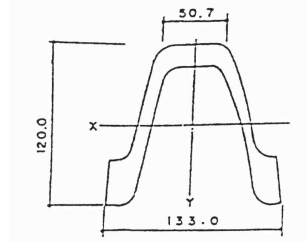
치 수 (mm)	표준단면치수 (mm)				단위 중량 (N/m)	단면적 (cm ²)	단면 2차모멘트 (cm ⁴)		단면계수 (cm)	
	H × B	t1	t2	r	W	A	Ix	Iy	Zx	Zy
100×100	100×100	6	8	10	172	21.9	383	134	76.5	26.7
125×125	125×125	6.5	9	10	238	30.3	847	293	136	47
150×150	150×150	7	10	11	315	40.1	1,640	563	219	75.1
200×200	200×200	8	12	13	499	63.5	4,720	1,600	472	160
250×250	250×250	9	14	16	724	92.2	10,800	3,650	867	292



<그림 5.5.2> H형 강지보재

(4) U형 강지보재

- ① H형 강지보재의 약점을 보완해 줄 수 있는 이점이 있으나, 강성은 떨어진다.
- ② 강지보재와 지반사이에 슛크리트 타설이 용이하다.
- ③ 이음부를 밴드(band) 등으로 고정하는 방법이기 때문에 플레이트를 맞추어 볼트에 접속하는 방법보다 시공성이 좋고 가축성 이음이 용이하다.
- ④ U형 강지보재 중 대표적인 MU-29 형의 단면 형상 및 특성



<그림 5.5.3> 대표적인 U형 강지보재(MU-29)치수 및 단면 형상

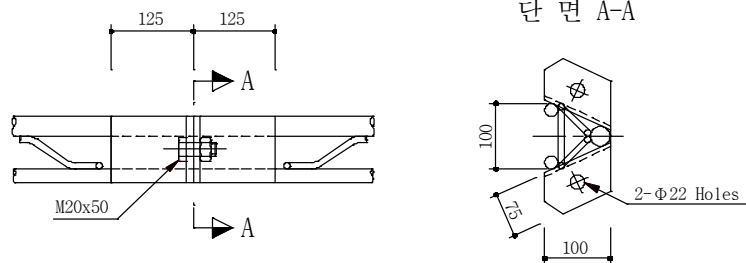
[표 5.5.3] 대표적인 U형 강지보재(MU-29)의 치수 및 단면특성

단면적 (cm^2)	단위중량 (N/m)	단면2차모멘트(cm^4)		단면계수(cm^3)	
		Ix	Iy	Zx	Zy
37.0	290	581.0	634.0	97.4	95.8

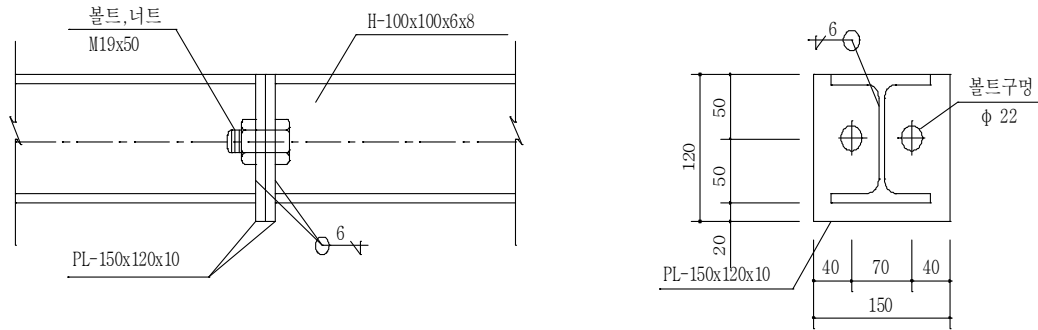
5.5.4 강지보재의 이음 및 설치간격

(1) 강지보재의 이음

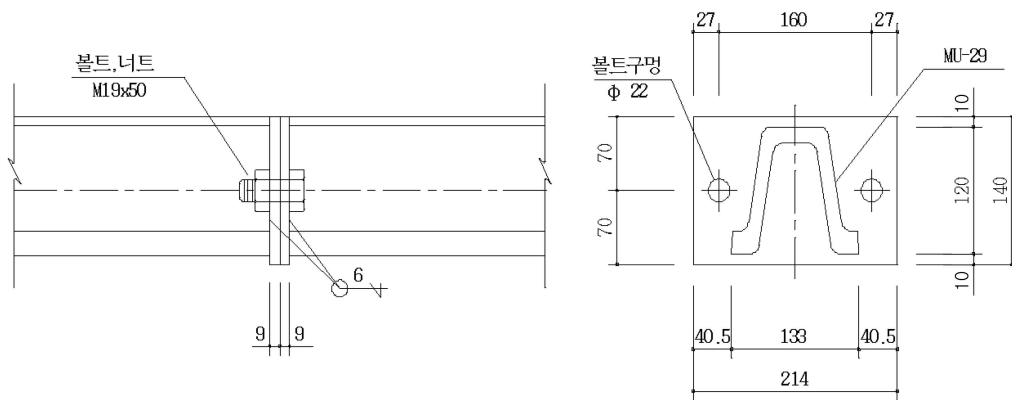
- ① 강지보재는 분할 제작하되 이음개소를 최소화 하고 부재 상호간은 견고한 이음이 되도록 설계하여야 한다.
- ② 특히 구조적으로 불리한 위치에서의 이음은 가능한 한 피하도록 한다.
- ③ 지보재와 이음판과의 접합은 확실히 하도록 설계하여야 한다.
- ④ 팽창성 지반 등과 같이 내공변위가 크게 발생하는 지역에서는 강지보재의 이음을 가축변형이 허용되는 조인트 구조로 할 수 있으나 이 경우에는 가축 허용량 선정에 주의하여야 한다.
- ⑤ 강지보 종류별 이음 예



<그림 5.5.4> 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 이음부 설계 예



<그림 5.5.5> H형(H 100×100) 강지보재의 이음부 설계 예



<그림 5.5.6> U형(MU-29) 강지보재의 이음부 설계 예

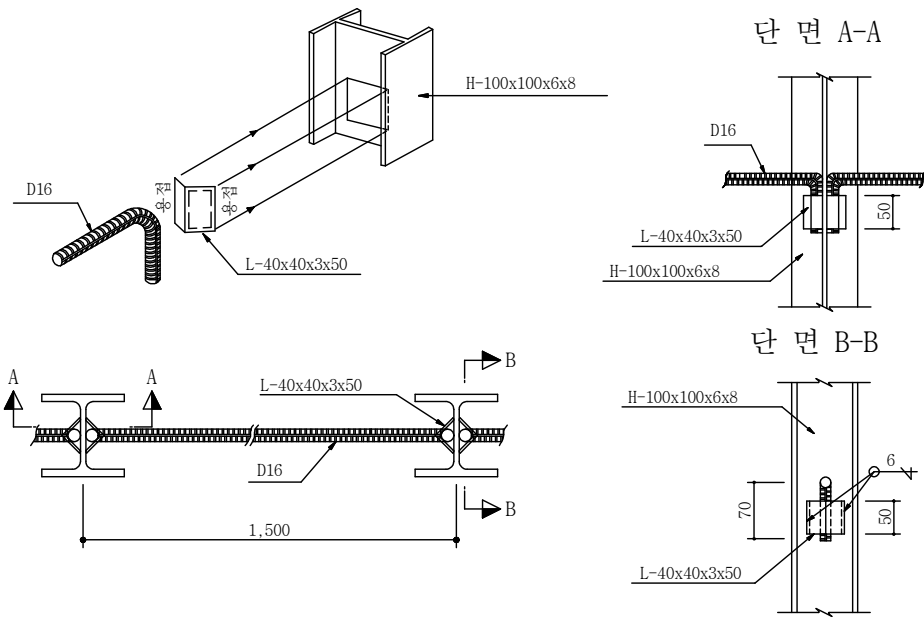
(2) 강지보재의 설치 간격

- ① 지반특성, 사용목적, 시공법 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- ② 상반과 하반으로 나누어 굴착하는 경우 지반조건에 따라 하반의 강지보재를 일부 생략할 수 있으며 강지보재의 설치가 필요한 경우에는 그 설치간격을 한 굴진장 이하로 함이 적절하다.

5.5.5 강지보재의 간격재와 바닥판받침

(1) 강지보재의 간격재

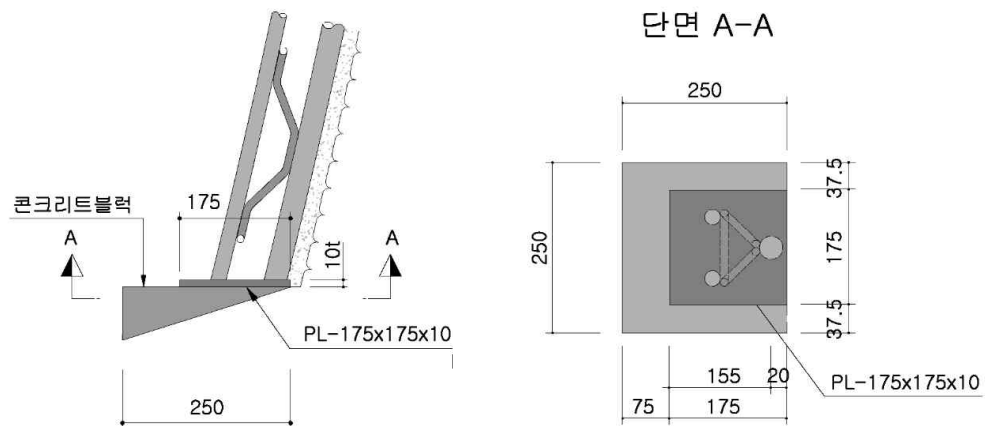
- ① 강지보재는 설치후 슛크리트에 의해 고정되기 전까지 전도를 방지하기 위하여 강지보재 사이에 적절한 크기의 강재 간격재를 일정 간격으로 설치하여야 한다.
- ② 슛크리트와의 일체화에 저해되는 형상을 사용하여서는 안되며 그 설치간격은 1.5~2.0m로 한다.



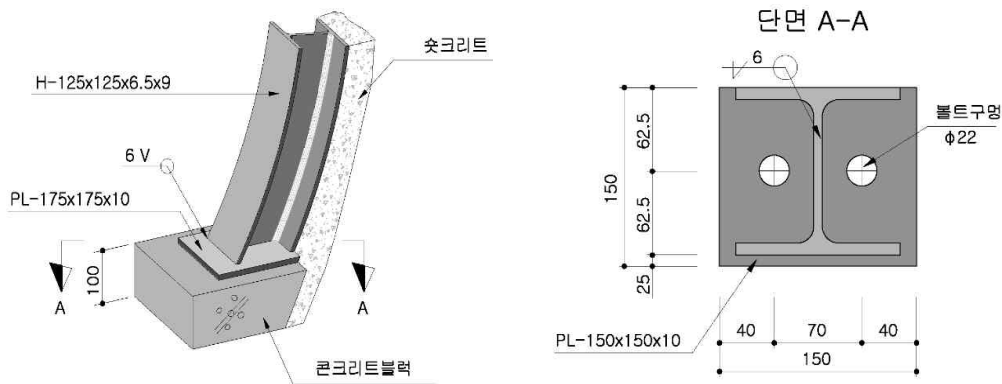
<그림 5.5.7> H형(H 100×100) 강지보재의 간격재 설치 예

(2) 강지보재의 바닥판받침

- ① 작용하중에 의한 침하를 방지하기 위하여 강지보재 하단에는 바닥판을 붙이고 필요에 따라 받침을 설치한다.
- ② 강지보재 바닥판 받침에는 목재, 철근 콘크리트 블록, 강판 등을 사용할 수 있다.
- ③ 강지보재에 작용하는 하중이 큰 경우에는 필요에 따라 바닥보강 콘크리트를 사용하여야 한다.



<그림 5.5.8> 격자지보형(표준형 3개강봉) 강지보재의 바닥판받침 설치 예



<그림 5.5.9> H형 강지보재의 바닥판 받침 설치 예

5.6 지보구조의 설계방법

5.6.1 표준 지보 형식의 적용

(1) 표준 지보 패턴

① 터널 설계 방법

가. 이완하중의 개념에 따라 지보재나 콘크리트라이닝에 작용하는 하중을 추정하는 방법을 말한다.

나. 터널 굴착에 따른 주변 원지반의 응력 상태를 해석적으로 검토하여 지보 구조를 설계하는 방법이다.

② 이완하중에 의한 개념은 주로 현장의 관측이나 경험에서 출발하고 지반 조건과 이완 하중의 크기, 지보 구조의 규모와 관련되는 방법으로 발전하여 과거 가장 실용적인 설계 방법으로 일반에 보급되어 왔다.

③ 원지반 응력의 해석적 지보구조 설계 방법은 다양한 검토를 했지만 각종 지보재의 작용 효과가 명확하게 증명되어 있지 않고 원지반의 성질을 대표하는 물성치의 추정이나 초기 원지반 응력의 파악이 어려워 일반적인 설계 방법이라 하기가 힘들다.

(2) 수치 해석의 이용 해석적 방법에는 수치 해석법과 라프세비치 등 몇 사람의 연구가 제안하고 있는 몇 가지 이론적인 해석법이 있다.

① 실용성이 높은 것은 유한요소해석(FEM) 및 유한차분법(FDM)에 의한 수치 해석법으로 해석용 프로그램은 범용화되어 있다.

② 적절히 선택하여 사용하면 설계에 큰 도움이 된다.

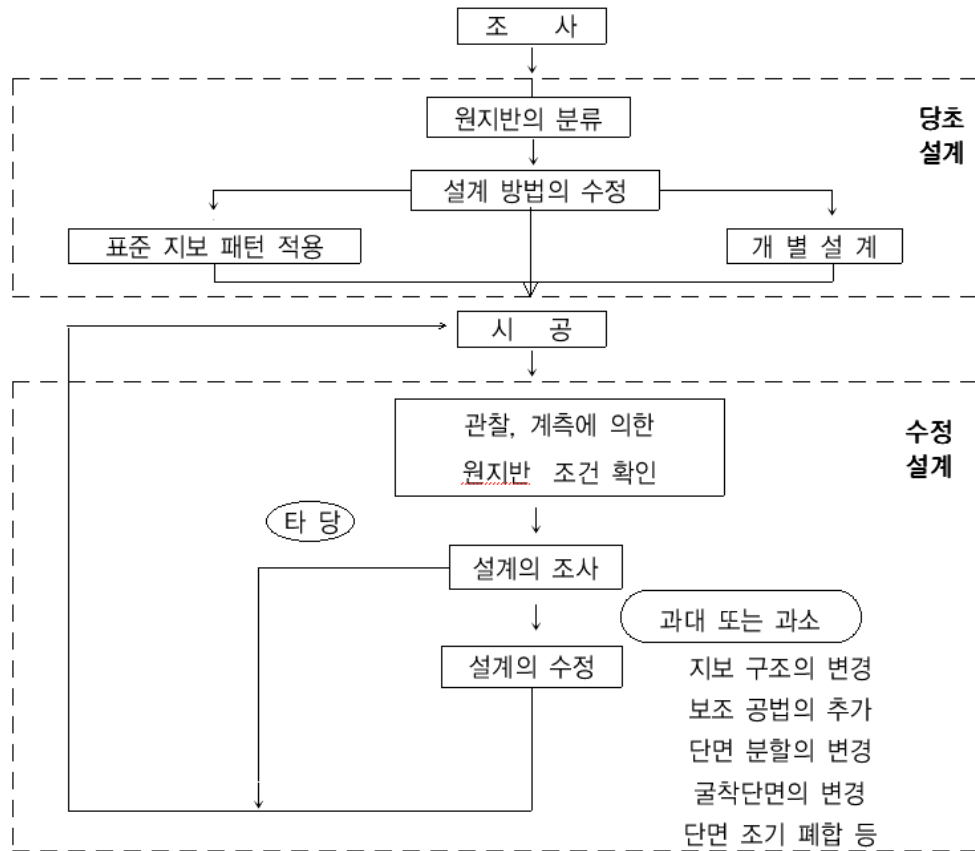
(3) 대단면 및 소단면의 지보 패턴 방법

① 대단면 및 소단면의 지보 패턴에 대해서는 단면의 크기와 모양을 고려하여 별도로 설계하는 것이 바람직하다.

② 따라서, 설계에서는 앞서 말한 슛크리트, 록볼트의 개개 지보 구조물의 적용 방법에 따라 가장 합리적인 것이 되도록 하여야 한다.

5.6.2 설계의 수정

(1) 설계의 수정과정



<그림 5.6.1> 터널 설계의 순서

(2) 시공시 발생하는 현상과 관계되는 수정 방법

① 설계 지보량을 경감하는 경우

가. 관찰되는 현상

- 변위량 적음
- 록볼트의 축력이 적음
- 숏크리트에 응력이 작고 또한 변화가 없음
- 막장이 안정되어 있음

나. 지보 변경시 검토사항

- 절리의 발달 정도
- 용수의 많고 적음
- 원지반 강도비

다. 지보 수정 방법

- 지보 구조의 경감한 1굴진 길이의 연장
- 단면 분할의 변경
- 변형 여유량의 감소

② 설계 지보량을 증가시키는 경우

가. 관찰되는 현상

- 변위량이 큼
- 숏크리트에 변화가 있음
- 록볼트에 과대한 축력이 작용하고 있음
- 강지보재에 변화 있음
- 막장이 안정하지 못함

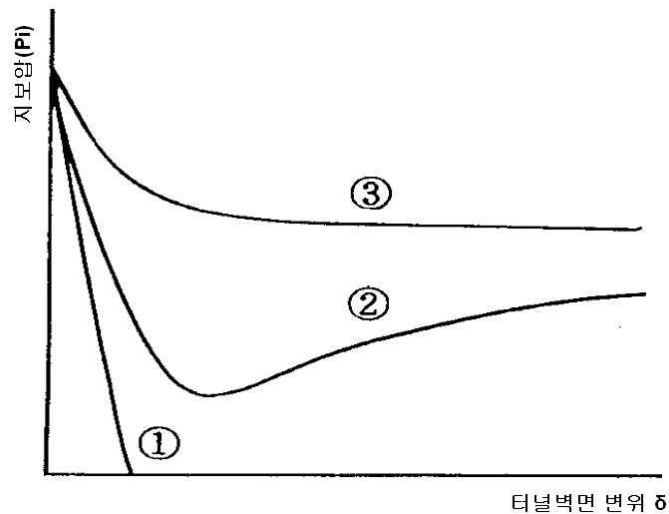
나. 지보 변경시 검토사항

- 초기의 변위 속도
- 변위의 구속성
- 원지반의 응력변위 상태
- 이완 영역의 크기
- 막장의 지립성
- 용수의 과다

다. 지보 수정 방법

- 지보 구조의 증가
- 판곳 부근의 보강(포어폴링, 막장 부위의 뿔어붙이기 등)
- 단면의 조기 폐합
- 단면 분할의 변경
- 굴착 단면의 변경(인버트의 곡률을 크게 하는 등)
- 변형 여유량 늘리기

(3) 설계수정의 기본적인 방법



<그림 5.6.2> 터널 벽면 변위와 지보구조에 작용하는 토압과의 관계

① 탄성적 거동을 나타낼 때

가. 주로 굴착면에서의 균열 발달 정도, 즉 층리의 방향이나 절리의 크기 및 빈도를 고려하여 원지반의 일체성을 유지한다.

나. 과도한 이완이 생기지 않도록 지보 구조를 설계할 필요가 있다.

다. 지보재에 응력이 발생하지 않는다고 해서 즉시 이들을 생략하는 것은 좋지 않다.

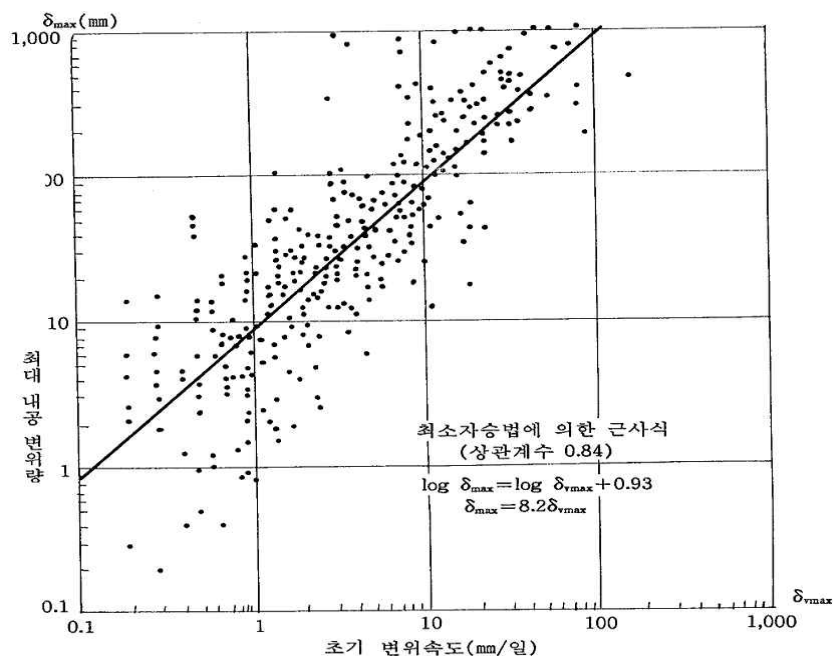
라. 지보 목적을 달성할 수 있는 범위 내에서 지보 구조를 최소의 설계로 변경하도록 노력하는 것이 중요하다.

마. 원지반이 안정되어 있고 굴착한 곳이 충분히 자립되었을 때에는 강지보재는 생략하는 것이 바람직하다.

② 보통의 지보 구조로 터널을 안정시킬 수가 있을 때

가. 변위량 외에 록볼트의 축력이나 슛크리트의 응력을 고려하여 변경한다.

나. 변위량에 대해서는 설계 경험에 의한 초기 변위량과 최종 변위량 사이의 관계를 참고하여 굴착 후 빠른 시기에 최종 변위량의 개략치를 추정할 수 있다.



<그림 5.6.3> 최대 내공 변위량과 초기 변위 속도의 관계(참고)

다. 각 지보 구조물의 역할을 고려하여 기본적인 수정 방법

(가) 슛크리트나 록볼트에 적당한 응력이 발생하고 변위가 수렴될 경우

- 굴착한 곳의 안정 정도를 관찰하여 굴착 현장의 보강 증감
- 일 굴착장의 증감, 강지보재의 생략을 검토한다.

(나) 변위량의 크기와 비교하여 록볼트의 축력이 아주 작은 경우

- 록볼트에 의한 원지반 강도 개량의 효과가 작다
- 슛크리트나 강지보재를 주체로 한 지보 설계를 검토한다.

(다) 반대로 내공 변위가 좀처럼 수렴되지 않아 축력이 크고 볼트에 의한 원지반 강도의 개선이 인정될 경우

- 원지반 강도를 최대한으로 발휘시킨다.
- 볼트 개수의 증가, 긴 볼트의 사용 등

(라) 원지반 강도비가 작고 $(qu/\gamma \cdot h) < 2$] 또한 내부 마찰각이 작을 때 $(\phi < 20^\circ)$

- 소성영역이 심하게 확대되고 변위도 크게 되는 경향 발생
- 임의로 록볼트를 늘리지 말고 강성이 높은 지보 구조로 변경하여 내압을 크게 하여야 한다.

③ 보통의 지보 구조로는 터널이 안정되지 않는 특수한 경우

가. 지보 구조를 큰 내압을 주고 또한 변형 능력이 큰 구조로 변형하는 것이 바람직하다.

나. 단면을 조기 폐합, 대형 강지보재를 사용하는 등 강성이 높은 지보 구조를 채택할 필요가 있다.

다. 큰 변형 능력에 대처하기 위해서는 지보 구조에 신축 기구를 주는 등의 검토가 필요하게 된다.

라. 팽창성 토압의 크기를 지배하는 기본 요소{원지반 강도비 $(qu/\gamma \cdot h)$, 원지반의 파괴 이후의 강도}를 충분히 고려하여 설계 변경을 해야 한다.

마. 이러한 경우에 있어서는 단면의 조기 폐합, 굴착단면 형상의 변경, 도강공법 등도 포함하여 검토할 필요가 있다.