

KR C-12030

Rev.2, 10. June 2020

터널지보재

2020. 06. 10



한국철도시설공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 터널지보재의 설계일반	2
3. 강지보재	2
4. 슛크리트	4
5. 록볼트	6
 해설 1. 터널지보재의 설계일반	9
1. 굴착과 지반거동 특성	9
2. 지보재 역할	10
3. 지보재의 형상과 규격의 선정	11
4. 지보재로서의 콘크리트라이닝의 역할	12
해설 2. 표준지보패턴	14
1. 표준지보패턴의 선정방법	14
2. 표준지보패턴의 선정	14
2.1 RMR 분류방법	14
2.2 Q-시스템 방법	15
3. 철도터널 표준지보패턴 사례	16
4. 현장계측 결과에 따른 표준지보패턴의 변경	20
해설 3. 강지보재	22
1. 강지보재의 역할	22
2. 강지보재의 종류와 선정	23
2.1 강지보재의 종류	23
2.2 강지보재의 선정	26
3. 강지보재의 설치형상과 재질	27
3.1 강지보재의 설치형상	27
3.2 강지보재의 재질	27
3.3 강지보재의 치수	28
4. 강지보재의 이음과 설치간격	28
4.1 강지보재의 이음	28
4.2 강지보재의 설치 간격	29



5. 강지보재의 간격재와 바닥판받침	29
5.1 강지보재의 간격재	29
5.2 강지보재의 바닥판받침	30
6. 강지보재의 품질관리	31
해설 4. 숏크리트	33
1. 숏크리트의 역할	33
2. 숏크리트의 종류와 선정	34
2.1 숏크리트의 종류	34
2.2 숏크리트의 선정	36
3. 숏크리트의 배합과 품질	37
3.1 숏크리트의 배합	37
3.2 숏크리트의 품질	40
3.3 숏크리트의 두께	41
3.4 급결제	42
4. 섬유보강 숏크리트	44
5. 숏크리트의 시공 및 장비계획	46
5.1 숏크리트의 시공	46
5.2 숏크리트의 장비계획	48
6. 숏크리트의 품질관리	49
6.1 숏크리트의 두께관리	50
6.2 숏크리트의 강도시험	50
7. 철망	52
7.1 철망의 역할	52
7.2 철망의 재질 및 규격	52
7.3 철망의 이음부	53
7.4 철망의 품질관리	54
해설 5. 록볼트	55
1. 볼트의 역할	55
2. 록볼트의 종류와 선정	57
2.1 록볼트의 종류	57
2.2 록볼트의 선정	57
3. 록볼트의 재질과 형상	58
3.1 록볼트의 재질	58
3.2 록볼트의 형상	59

3.3 지압판	59
4. 록볼트의 정착방법	60
4.1 록볼트의 정착방식	60
4.2 록볼트의 정착력	63
5. 록볼트의 배치와 길이	63
5.1 록볼트의 배치	63
5.2 록볼트의 길이	65
6. 록볼트의 품질관리	67
 RECORD HISTORY	 69

1. 용어의 정의

- (1) 계측 : 터널굴착에 따른 주변지반, 주변구조물 및 각 지보재의 변위 및 응력의 변화를 측정하는 방법 또는 그 행위를 말한다.
- (2) 내공변위 : 터널굴착으로 발생하는 터널 내공형상의 변화를 말하며 통상 내공단면의 축소량을 양(+)의 값으로 한다.
- (3) 록볼트(Rock Bolt) : 굴착암반면의 보강을 위하여 삽입하는 볼트이며, 암반을 일체화함으로써 원지반의 안정을 위하여 설치한다. 록볼트의 정착방식에는 선단정착방식, 전면정착방식 및 병용방식이 있다.
- (4) 록볼트 인발시험 : 록볼트의 인발내력을 평가하기 위한 시험을 말한다.
- (5) 록볼트 축력 : 지반에 설치된 록볼트에 발생하는 축방향 하중을 말한다.
- (6) 변형여유량 : 굴착에 따른 지반 변형이 있더라도 계획 내공단면이 확보될 수 있도록 미리 예상되는 지반 변형량 만큼 여유를 두어 굴착하는 내공 반경방향의 여유량을 말한다.
- (7) 보조지보재 : 굴착 시 지반의 지지능력을 보완해 주는 지보재로서 주지보재를 제외한 지보재의 총칭이다.
- (8) 쏿크리트(Shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 부착시켜 시공(타설)하는 콘크리트를 말한다.
- (9) 시스템 록볼트(System Rock Bolt) : 일정한 간격과 길이로 규칙적으로 배열하는 록볼트 설치형식을 말한다.
- (10) 이완영역 : 터널굴착으로 인해 터널 주변의 지반응력이 재분배되어 다소 느슨한 상태로 되는 범위를 말한다.
- (11) 일상계측 : 일상적인 시공관리를 위해 실시하는 계측으로서 지표침하, 천단침하, 내공변위 측정 등이 포함된 계측이다.
- (12) 정밀계측 : 정밀한 지반거동 측정을 위해 실시하는 계측으로서 주로 종합적인 지반거동 평가와 설계의 개선 등을 목적으로 수행한다.
- (13) 주지보재 : 굴착 후 시공하는 지보재로서 보조지보재 및 콘크리트라이닝을 제외한 지보재의 총칭이며 강지보재, 쏿크리트 및 록볼트 등으로 구성된다.
- (14) 지보재 : 굴착 시 또는 굴착 후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭을 말한다.
- (15) 지보패턴 : 터널굴진면의 지반 상태와 터널 천단부 및 그 상부의 지반 상태, 시공성 등을 고려하여 터널의 안정성이 확보되도록 적용되는 지보 형태를 말하며, 터널굴착 후 초기에 설치하여 터널의 안정을 피하기 위하여 설치하는 쏿크리트, 록볼트, 강지보공과 보조공법 등을 조합한 것이다.
- (16) 지중변위 : 터널굴착으로 인해 발생하는 굴착면 주변지반의 변위로서 터널 반경방향의 변위를 말한다.



- (17) 지중침하 : 터널을 굴착할 때 인접된 원지반은 침하변위를 일으키며 터널 천장부를 기점으로 하여 지표로 갈수록 각 지층의 침하량은 깊이별로 서로 다르게 나타나는데 이때의 깊이별 침하를 말한다.
- (18) 지표침하 : 터널굴착으로 인하여 지표면이 침하되는 현상을 말한다.
- (19) 천단침하 : 터널 굴착으로 인해 발생하는 터널 천장의 연직방향의 침하를 말하며, 기준점에 대한 하향방향의 절대 침하량을 양(+)의 천단 침하량으로 정의한다.
- (20) 천장부(Crown) : 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말한다.
- (21) 표준지보패턴 : 지반의 등급에 따라 미리 표준화한 지보패턴을 말한다.
- (22) 허용편차 : 변형 여유량에 시공상 피할 수 없는 오차를 합한 값을 말한다.

2. 터널지보재의 설계일반

- (1) 터널의 지보는 원지반의 지보능력을 적극적으로 활용함을 원칙으로 하되, 터널지보재는 터널주변의 지반거동 특성에 부합하도록 설계하여 시공 중이나 완공 후에도 터널의 안정을 유지할 수 있도록 해야 한다.
- (2) 지보재는 굴착지반을 조기에 안정시키며 지반굴착에 따른 영향이 인접구조물의 안정을 해치지 않도록 설계해야 한다.
- (3) 터널 내부에서의 작업효율성, 안정성을 고려하여 각종 지보재를 설계해야 한다. (4) 터널의 지보재는 강지보재, 록볼트, 슛크리트 등으로 구성되어 있는 주지보재와 굴착의 용이성 및 안정성 증진을 목적으로 주지보재에 추가하여 시공하는 강봉, 굴진면 슛크리트, 굴진면 록볼트, 주입재, 강관 등의 보조지보재로 구분하여 설계해야 한다.
- (5) 지보재의 설계에 있어서는 지반의 분류 등급과 해당 지보재의 선정에 대한 기준을 제시함으로써 시공 시 실제지반조건이 설계 시의 예측조건과 상이할 경우 적합한 지보재의 종류와 물량으로 변경할 수 있도록 해야 한다.
- (6) 지보설계는 단·복선 등 터널단면의 **규모와 터널 건설지역(일반구간, 도시지역 등) 특성에 따라** 암반 분류에 의한 표준 지보패턴 설계를 원칙으로 하되, 대규모 단층대, 함수 미고결층, 분기·확폭부 등의 대단면, 석회암층 통과부 및 기타 풍화가 용이한 암반층 등의 구간에서는 별도의 지보패턴을 설계해야 한다.

3. 강지보재

- (1) 강지보재의 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다.
 - ① 다음의 기능이 요구될 때 강지보재를 사용해야 하며, 강지보재의 역할이 필요 없는 경우에는 생략할 수 있다.
 - 가. 슛크리트 또는 록볼트의 지보기능이 발휘되기까지 굴착면의 안정을 도모

- 나. 굴진면 휘폴링 등 보조공법의 반력지지점
- 다. 큰 지압으로 인한 지보재의 강성 증가 필요
- 라. 지표침하 등 지반변위의 억제 필요
- ② 강지보재는 숏크리트, 록볼트 등의 다른 지보재와 일체가 되어 소요의 지보기능을 발휘하도록 규격과 배치간격을 정해야 한다.
 - ③ 강지보재의 이음은 시공순서 및 시공성을 고려하여 이음개소가 최소가 되도록 정하되 제거와 추가이음이 필요한 곳에는 시공이 가능하도록 설계에 반영해야 한다.
- (2) 강지보재의 형상 및 치수는 다음 사항을 준수해야 한다.
- ① 강지보재의 단면은 강지보재의 설치 후에도 숏크리트의 타설이 용이하고, 숏크리트와 일체화되기 쉬운 형상을 가진 것이어야 하며, H형강, U형강, 격자지보(Lattice Girder) 등을 사용해야 한다.
 - ② 강지보재의 치수는 작용하중 외에 숏크리트의 두께, 강지보재의 최소덮개, 굴착공법, 굴착방법 등을 고려하여 결정해야 한다. 또한, 소요의 강성이 발휘되고, 좌굴, 비틀림 및 국부적인 하중에 대하여 저항성이 크고 시공능률을 높일 수 있는 것이어야 한다.
- (3) 강지보재의 재질은 다음 사항을 준수해야 한다.
- ① 강지보재는 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호해야 한다.
 - ② H형 및 U형 강지보재의 재질은 KS D 3503에 규정된 SS400을 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘하는 구조용 강재로 해야 한다. 또한 격자지보형 강지보재의 재질은 KS D3504에 규정된 SD500W(항복강도 500MPa이상)를 표준으로 하며 이형봉강이나 원형봉강을 사용하여 이와 동등 이상의 성능을 발휘하고 부재간 완전한 용접 성능을 발휘할 수 있는 저탄소(탄소함량이 0.3% 이하) 용접구조용 강재로 해야 한다.
 - ③ 강재 대신 고강도 플라스틱, 복합부재 등을 지보재로 사용할 경우 강지보재와 동등 이상의 성능을 발휘해야 한다.
- (4) 강지보재의 이음 및 설치간격은 다음 사항을 따라야 한다.
- ① 강지보재는 운반, 거치 및 시공성을 고려하여 분할 제작하는 것을 원칙으로 하되 이음개소를 최소화하고 부재 상호간은 견고한 이음이 되도록 설계해야 한다. 특히 구조적으로 불리한 위치에서의 이음은 가능한 한 피하도록 해야 한다.
 - ② 팽창성 지반 등과 같이 내공변위가 크게 발생하는 지역에서는 강지보재의 이음을 가축변형(可縮變形)이 허용되는 조인트 구조로 할 수 있다. 이 경우에는 가축 허용량 산정에 주의해야 한다.
 - ③ 강지보재의 설치간격은 지반특성, 사용목적, 시공법 등을 고려하여 정해야 한다.
 - ④ 상반과 하반으로 나누어 굴착하는 경우 지반조건에 따라 상부 강지보재의 연직 지지점 확보가 가능하도록 조치한 후 하반의 강지보재를 일부 생략할 수 있다.



(5) 강지보재의 간격재와 바닥판 받침은 다음 사항을 준수해야 한다.

- ① 슛크리트에 따라 강지보재가 고정되기 전까지 전도를 방지하기 위하여 강지보재 사이에 적절한 크기의 강재 간격재를 일정한 간격으로 설치해야 한다. 이때 간격재의 형상은 슛크리트의 일체화에 저해되는 형상을 사용하여서는 안되며 그 설치간격은 2.0m 이내를 표준으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
- ② 강지보재 하단에는 바닥판을 붙이고 필요에 따라 받침을 설치하여 필요로 하는 지지력을 확보할 수 있도록 해야 한다.
- ③ 강지보재 바닥판의 받침으로는 목재, 철근 콘크리트 블록, 강판 등을 사용할 수 있으며 강지보재에 작용하는 하중이 큰 경우는 필요에 따라 바닥보강 콘크리트를 사용해야 한다.

4. 슛크리트

(1) 슛크리트 설계는 그 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여 지보재로서 다음 사항을 고려하여 설계해야 한다.

- ① 슛크리트는 일반 슛크리트와 고강도 슛크리트로 구분할 수 있다.
- ② 슛크리트는 지반과의 부착 및 자체전단 저항효과로 슛크리트에 작용하는 외력을 지반에 분산시키고, 터널 주변의 붕락하기 쉬운 암괴를 지지하며, 굴진부에서 지반아치가 형성될 수 있도록 한다.
- ③ 휨압축 또는 축력에 의한 저항효과로 주변 원지반에 내압효과를 발휘하도록 하여 굴착면 주변지반이 3축 응력상태를 유지하도록 한다.
- ④ 강지보재 또는 록볼트에 지반압을 전달하는 기능을 발휘할 수 있도록 한다.
- ⑤ 굴착된 지반의 굴곡부를 메우고 절리면 사이를 접착시킴으로써 응력집중 현상을 피할 수 있도록 한다.
- ⑥ 굴착면을 피복하여 풍화방지, 지하수 및 세립자 유출 등을 억제할 수 있도록 한다.

(2) 슛크리트는 다음과 같은 특성을 보유해야 한다.

- ① 설계목적과 기준에 부합하는 소요 강도를 확보해야 한다.
- ② 조기에 필요한 강도를 발휘할 수 있어야 한다.
- ③ 지반과 필요로 하는 부착성을 확보해야 한다.
- ④ 반발률(Rebound Ratio) 및 분진발생량을 최소화해야 한다.
- ⑤ 평활한 굴착면을 확보하여 방수 및 배수시공이 용이해야 한다.

(3) 일반 슛크리트의 배합 및 강도는 다음 사항을 준수해야 한다.

- ① 슛크리트는 설계목적에 적합한 조기 및 장기강도를 발휘해야 하며, 다음 사항을 고려하여 설계강도를 결정해야 한다.

가. 지반 강도 및 지보재로서의 기능

나. 배합재료의 품질 및 조달의 용이도

- ② 슛크리트용 시멘트는 보통 포트랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있으며, 잔골재에는 입경 0.1mm 이하의 세립물을 포함하지 않아야 하고, 굵은 골재의 최대 치수는 10mm 이하가 되어야 한다.
- ③ 슛크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호하며 재령 1일 압축강도가 10MPa 이상, 재령 28일 강도가 21MPa 이상 되도록 배합해야 한다.
- ④ 슛크리트 사용수(水)의 혼합방법에 따라 건식과 습식으로 구분하며 필요에 따라 강(鋼) 또는 기타 재질의 섬유(Fiber)도 혼합하여 사용할 수 있다.
- ⑤ 강섬유는 인장강도 700MPa 이상, 직경 0.3~0.6mm, 길이 30~40mm를 표준으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있으며, 슛크리트와의 부착성능이 양호하게 발현되고 슛크리트 타설 시 뭉침현상이나 막힘현상이 발생하지 않아야 한다.
- ⑥ 실제 벽면에 타설된 강섬유 혼입량은 30kg/m³ 이상이 되어야 하며, 설계 휨강도와 휨인성을 만족해야 한다. 이때 재령 28일의 강섬유 보강 슛크리트의 휨강도는 4.5MPa 이상, 그리고 휨인성을 나타내는 등가휨강도는 3.0MPa 이상이어야 한다. 강섬유 이외의 기타 섬유를 적용할 경우에는 상기 강섬유 보강 슛크리트의 성능기준 이상을 발현할 수 있도록 설계해야 한다.
- ⑦ 슛크리트의 조기강도를 위하여 급결제를 사용할 수 있다. 이때 사용되는 급결제의 사용량은 시멘트 중량의 5~10%를 표준으로 하며, 다음의 특성을 보유하여야 한다.

가. 콘크리트의 응결경화를 촉진해야 함

나. 장기강도의 저하가 적어야 함

다. 부착성이 우수해야 함

라. 강지보재를 사용하는 경우는 강재를 부식시키지 않아야 함

마. 사용상의 안전성이 확보되어 있어야 함

- ⑧ 장대터널에서는 콘크리트 배합부터 슛크리트 타설까지 상당한 시간이 소요되어 작업성이 저하될 수 있으므로 감수제의 사용을 검토해야 한다.

(4) 고강도 슛크리트의 배합 및 강도는 다음 사항을 따라야 한다.

- ① 고강도 슛크리트는 필요한 강도와 내구성이 확보되고 부착성과 시공성이 양호해야 하며, 재령 1일에 10MPa 이상 그리고 재령 28일 강도가 35MPa 이상이 되도록 배합해야 한다.
- ② 다음과 같은 경우에는 고강도 슛크리트를 사용할 수 있다.
 - 가. 콘크리트라이닝을 설치하지 않는 경우
 - 나. 터널의 조기 안정화가 요구되는 경우
 - 다. 장기내구성이 요구되는 목적구조물로서 활용되는 경우
 - 라. 대단면 터널에서 슛크리트 두께 축소를 목적으로 하는 경우



마. 안전성, 시공성, 경제성 향상을 목적으로 하는 경우

- ① 숏크리트의 강도 증진을 위하여 혼화재를 사용할 경우에는 실리카 흙, 메타카올린, 플라이애쉬 등과 같은 미분말 혼화재를 사용할 수 있다.
- ② 기타 사항은 일반 숏크리트에 대하여 제시된 내용에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
- (5) 터널의 지보재로 사용되는 숏크리트의 최소 두께는 사용 목적, 지반조건, 단면의 크기, 지보재 안정성 및 시공성 등을 고려해야 하며, 50mm 이상으로 하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
- (6) 타설된 숏크리트가 고정하중으로 인하여 박리될 가능성이 있는 경우 또는 숏크리트의 인장강도 및 전단강도 등 인성을 향상시키기 위하여 철망을 사용할 수 있다. 단, 강섬유 또는 기타 재질의 섬유를 혼합한 숏크리트의 경우는 철망을 생략할 수 있다. 철망의 재질 및 규격은 다음 사항을 따라야 한다.
 - ① 철망은 KS D 7017에 규정된 용접철망을 사용해야 하며, 철망의 지름은 5mm 내외, 개구크기는 100×100mm 또는 150×150mm인 철망을 표준으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있다.
 - ② 굴착면의 자립이 어렵고 숏크리트 타설 시 숏크리트 박리가 발생하는 경우에는 숏크리트와 지반과의 부착을 증진시키기 위하여 개구크기와 철선지름이 작은 철망을 사용할 수 있다.
 - ③ 철망은 종방향 및 횡방향으로 겹이음을 실시하며 터널 종방향으로는 100mm, 횡방향으로는 200mm 이상의 이음장을 표준으로 하되 현장조건에 따라 증감할 수 있다.

5. 록볼트

(1) 록볼트 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 록볼트 설계 시에는 록볼트 소재와 록볼트 자체의 항복하중과 정착방법을 면밀히 검토해야 한다.
- ② 록볼트의 설계에 있어서는 지반상태, 불연속면의 분포, 발생용수 등을 고려하여 다음에 언급한 효과가 사용 목적에 적합하도록 발휘되어야 한다.

가. 봉합작용 : 발파 등에 의해 이완된 암괴를 이완되지 않은 원지반에 고정하여 낙하를 방지하는 기능이다.

나. 보형성작용 : 터널 주변의 충을 이루고 있는 지반의 절리면 사이를 조여줌으로써 절리면에서 전단력의 전달을 가능하게 하여 합성보로서 거동시키는 효과이다.

다. 내압작용 : 록볼트에 작용하는 인장력과 동등한 힘이 내압으로 터널 벽면에 작용하면 2축응력 상태에 있던 터널 주변 지반이 3축응력 상태로 되는 효과가 있으며, 이것은 3축 시험시 구속력(축압)의 증대와 같은 의미를 가지며 지반의 강도 혹은

내하력 저하를 억제하는 작용을 한다.

- ③ 록볼트의 작용효과 중 특히 봉합작용이 강조되어 인장력이 발생하는 경우는 소요의 인발내력에 대하여 필요로 하는 안전율을 갖는 재질과 형상의 록볼트를 채택해야 한다.
 - ④ 록볼트의 재질, 지압판, 정착형식 및 정착재료 등을 선정할 경우에는 그 시공성을 고려해야 한다.
 - ⑤ 굴착으로 인한 응력해방에 따라 내공변위가 크게 발생하는 경우에는 선단정착형 또는 혼합형의 록볼트 형식으로 프리스트레스를 도입할 수 있다. 프리스트레스를 도입하는 경우에는 도입된 프리스트레스가 지속적으로 유지될 수 있는 지반조건이어야 하며, 프리스트레싱에 의한 록볼트의 응력이 항복강도의 80% 이내가 되도록 해야 한다.
 - ⑥ 대단면 터널, 터널 교차부 등과 같이 8m 이상의 긴 록볼트를 설치할 필요가 있는 경우에는 시공성 등을 고려하여 록볼트와 함께 케이블볼트를 조합하여 설계할 수 있다.
- (2) 록볼트 재질 및 형상은 다음 사항을 따라야 한다.
- ① 록볼트는 소요의 강도 이상을 가지는 이형봉강으로 제작하는 것을 기준으로 하나 강관, 팽창성 강관 또는 이와 동일한 강도와 기능을 가지는 섬유보강 플라스틱(FRP) 등 기타 소재의 록볼트도 사용할 수 있으며, 재질 및 강도는 한국산업규격(KS)에 적합한 것이어야 한다.
 - ② 록볼트의 재질은 원지반 조건 및 사용목적에 고려하여 정해야 하며, 영구지보재로 사용하는 경우는 장기 내구성이 우수한 것이어야 한다. 일반적으로 SD 350 이상의 강재로서 재질 인장강도 및 연신율이 큰 것이어야 한다. KS E 3132 및 KS D 3504에 제정되어 있는 봉강의 기계적 성질은 <표 1>과 같다.
 - ③ 지압판은 록볼트와 슛크리트를 일체화시키는 역할을 담당하며, 예상되는 응력에 대하여 필요로 하는 면적과 강도를 갖는 것이어야 한다. 지압판 두께는 6mm를 표준으로 하되 팽창성 지반의 경우는 9mm 이상을 사용해야 한다.

표 1. 록볼트로 사용되는 봉강의 기계적 성질

종 류	직 경 (mm)	재 질 기 호	기 계 적 성 질		
			항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
이 형 봉 강	22이상	SD600 이상	600 이상	710 이상	10 이상
		SD700 이상	700 이상	800 이상	10 이상
	25이상	SD350 이상	350 이상	490 이상	18 이상
		SD400 이상	400 이상	560 이상	16 이상



(3) 록볼트의 정착방법의 선정 시에는 다음 사항을 따라야 한다.

- ① 록볼트의 정착방법으로는 선단정착형, 전면접착형, 혼합형 등이 있으며 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여 정착방법을 선정해야 한다.
- ② 정착재료는 시멘트계와 수지계를 현장 여건에 따라 사용할 수 있다. 설치위치에 따라 정착재료의 흘러내림을 최대한 방지하도록 조치해야 한다.
- ③ 지반이 연약하여 록볼트 천공의 자립이 어려운 경우에는 자천공(自穿孔)형 록볼트를 사용할 수 있다.
- ④ 긴급한 록볼트 기능 도입이 요구되는 경우에는 마찰력을 즉시 발휘시킬 수 있는 구조의 록볼트를 사용해야 한다.
- ⑤ 록볼트의 정착재료는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경될 수 있으며, 사용하는 모래는 최대 직경이 2mm 이하의 입도가 양호한 모래를 사용해야 한다.

(4) 록볼트의 배치 및 길이 선정은 다음 사항을 따라야 한다.

- ① 록볼트는 굴착에 따라 영향을 받는 영역을 보강하도록 배치하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
- ② 록볼트의 배치 및 길이는 그 사용목적, 지반조건, 터널 단면의 크기 및 형상, 굴착방법, 절리의 간격 등을 고려하여 결정해야 한다.
- ③ 록볼트를 일정한 간격으로 배치할 필요가 있는 경우에는 터널단면의 방사선 방향으로 굴착면에 직각으로 설치하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있고, 절리가 발달하였으나 암질이 양호한 불연속면을 관통하는 경우에는 절리면을 고려한 방향으로 록볼트를 설치해야 하며, 인접한 록볼트 간에는 상호작용 발휘가 가능하도록 록볼트를 배치해야 한다. 단, 록볼트를 조기에 타설할 필요가 있는 경우에는 터널진행방향으로 경사진 경사록볼트 형식을 적용할 수 있다.
- ④ 록볼트의 길이는 굴착단면의 크기와 이완영역의 발달 깊이에 따라 조정해야 하며, 설치간격의 2배 정도를 표준으로 하고, 1회 굴진장 및 암반의 절리상태에 따라 조정해야 하며, 지반자체의 지보능력을 원활히 발휘할 수 있는 간격으로 배치해야 한다.
- ⑤ 록볼트의 직경은 1본의 록볼트가 지탱하는 암괴의 중량 또는 지반에 필요한 전단 보강력에 따라 결정할 수 있으나 일반적으로 D25의 규격을 표준으로 한다.
- ⑥ 터널 상부에 강관보강공법이 적용된 구간에서 록볼트에 의한 보강효과를 얻을 수 없거나 매우 저감되는 경우에는 지반조건을 면밀히 검토한 후 록볼트를 생략할 수 있다.

해설 1. 터널지보재의 설계일반

1. 굴착과 지반거동 특성

터널을 굴착하면 굴착 이전에 작용하던 초기응력이 재분배되어 굴착면 주변의 응력은 새로운 응력분포상태에 이르게 된다. 즉, 굴착면 주변의 지반은 터널굴착으로 인하여 원래의 3축응력 상태에서 새로운 2축응력상태가 되며, 이로 인해 소멸되는 지중응력 때문에 굴착면의 접선응력은 크게 증가하고 굴착면의 변위가 굴착공동 내측으로 발생하게 된다. 이때 증가된 접선응력이 지반의 강도보다 작으면 터널 주변지반은 적은 변위와 함께 조기에 안정되나, 발생하는 접선응력이 지반의 고유강도보다 크면 큰 변위가 발생되고 지보재로 지반을 지지하지 않으면 터널은 결국 붕괴될 수 있다. 지층구성이 다양하고 불연속면도 임의적으로 존재하는 경우에는 터널 거동양상도 매우 복잡하게 된다.

설계개념에서의 지보재의 역할과 지반의 거동특성은 「(1)~(6)」과 같다.

- (1) 굴착과 동시에 초기응력과 동일한 응력을 굴착면에 작용시키면 반경방향의 변위(벽면의 변위)는 발생하지 않으며, 지보재에 작용하는 하중은 초기응력(A_0)과 동일하다.
- (2) 굴착면의 변위를 허용하면 변위가 증가하면서 반경방향으로 작용하는 하중은 감소하나 어느 한계변위를 넘으면 지반은 이완되고 반경방향의 응력은 오히려 증가(<그림 1>의 곡선 b' 와 c 경우)한다.
- (3) 굴착면의 변위가 허용치를 넘지 않도록 적절히 조치하여 지보재에 가해지는 응력을 최소화해야 한다.
- (4) 지반이 자체지보 능력이 없다고 판단될 경우는 지반하중을 모두 지탱할 수 있는 지보재를 사용해야 한다.
- (5) 지보가 강하면(곡선 a') 비경제적이고 너무 약하면(곡선 b') 위험을 초래하게 되므로 적절한 시기에 적절한 강성의 지보를 설치하는 것이 이상적(곡선 b)이다.
- (6) 변위허용이 가능한 가축성 지보재를 사용하여 변위를 허용변위 이내로 허용하되 지반이 자체의 지보능력을 상실하지 않는 범위내에서 지보력과 지보재에 작용하는 지반응력이 평형상태가 되도록 설계하는 것이 합리적인 터널설계 개념이다.

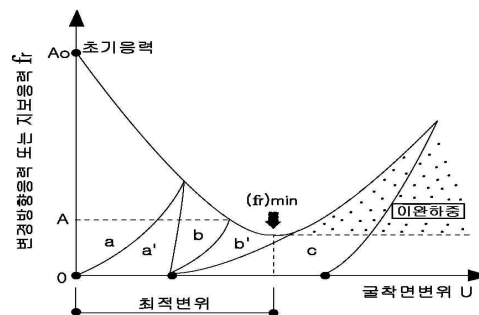


그림 1. 지보재에 작용하는 응력과 굴착면의 변위 관계



터널지보재를 설계함에 있어서 터널 주변지반의 공학적인 능력을 평가하는 방법에 따라 지반을 자체 지보능력이 없는 하중으로서의 지반과 자체 지보능력을 보유하고 있는 지반으로 분류할 수 있다. 자체 지보능력이 없는 하중으로서의 지반인 경우에는 터널의 지보재가 작용하는 모든 하중에 대해 충분한 안전율을 가지고 지탱하도록 설계하며(강한 부재 필요) 자체 지보능력이 있는 지반의 경우에는 지보재가 굴착공동 형상에 따른 이완하중을 지지하며 지반의 자체 지보능력을 최대한 활용하도록 설계해야 한다(약한 부재로 터널설계가 가능함).

2. 지보재 역할

터널에서의 지보재는 터널 시공시에는 물론 터널의 수명기간동안 터널 주변의 응력이나 변위 상태 등과 상호 연합하여 일체로 거동하여 터널의 안정성을 영구적으로 확보할 수 있도록 설계해야 한다. 즉, 지보재는 터널의 굴착으로 인하여 발생하는 새로운 응력 상태에 대하여 터널 주변지반과 일체가 되어, 안정된 상태에 도달하도록 설계되어야 한다. 특히, 터널 주변지반의 거동이 지표 및 지층의 주변 구조물에 영향을 미칠 위험이 있는 경우에는 터널 굴착의 영향이 최소화할 수 있는 지보재의 규격과 시공순서를 결정하며, 터널 내부에서의 작업효율성, 안정성을 고려하여 각종 지보재를 설계해야 한다. 일반적으로 터널의 지보재는 강지보재, 록볼트, 슛크리트 등으로 구성되어 있는 주지보재와 굴착의 용이성 및 안정성 증진을 목적으로 주지보재에 추가하여 시공하는 휘폴링, 막장면 록볼트 등의 보조지보재로 구분하여 설계되어야 한다.

터널은 지보재에 의해서 안정을 유지하기 때문에 일단 유지된 평형상태가 다시 상실되지 않는 한 요구되는 공간의 확보를 위해서 추가의 지보재를 필요로 하지 않는다. 터널 시공시 이루어진 지보재와 지반이 상호 연합하여 유지된 평형상태가 다시 상실하게 되는 「(1)~(3)」 세 가지 경우를 들 수 있으며, 이 경우에는 지반하중이 콘크리트 라이닝에 작용할 수 있으므로 설계단계에서 이 점을 대비해 두어야 한다.

- (1) 지반의 장기적 강도가 저하되는 경우 (특히, 시간의존성 보강재로 지반을 보강하여 시공할 경우)
- (2) 지보재의 장기적 강도가 저하되는 경우 (슛크리트 및 록볼트 등이 부식될 경우)
- (3) 터널 주변에 하중조건의 변화가 발생한 경우 (굴착 및 채하 등)

지보재의 설계는 복잡하게 변화하는 지반특성을 터널 굴착 전에 파악하기가 곤란하기 때문에 지반분류에 의해 설정된 지반의 등급에 따라 슛크리트, 록볼트, 강지보재 등 지보부재를 적절히 선정하고 표준이 되는 지보패턴을 설정하여 굴착 중 관찰, 계측 등의 결과에 따라 필요한 경우 지보패턴을 변경할 수 있도록 현장조건에 맞는 지보패턴을 설정해 놓아야 한다. 지보부재는 각각이 보유하고 있는 지보기능을 충분히 고려하여 선정하며, 지반조건에 따른 지보부재의 주요기능은 <표 2>와 같다. 지보구조의 선택에 있어서는 예상되는 지반에 대해 시공법이나 시공 설비의 대폭적인변경을 수반하지 않고 일관성 있는 시공이 되도록 해야 한다.

표 2. 지반조건에 따른 지보부재의 주요기능

지반조건	지보개념	지보목적	주 지 보	보조지보
극 경 압 및 경 압	<ul style="list-style-type: none"> · 주변지반이 영구 지보 기능담당 · 라이닝은 역학적 기능 불필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 암괴의 붕락방지 · 균열 선단 집중응력 감소 	<ul style="list-style-type: none"> · 슛크리트 · 랜덤 록볼트 	-
경 압 및 보 통 압	<ul style="list-style-type: none"> · 지보부재는 영구 구조물 · 라이닝은 안전을 향상 	<ul style="list-style-type: none"> · 암괴의 붕락방지 · 이완 토압지지 	<ul style="list-style-type: none"> · 슛크리트 · 시스템 록볼트 	-
연 압	<ul style="list-style-type: none"> · 지보부재는 영구 구조물 · 라이닝은 안전을 향상 	<ul style="list-style-type: none"> · 암괴의 붕락방지 · 초기 토압의 일부지지 · 내압 효과 	<ul style="list-style-type: none"> · 슛크리트 · 시스템 록볼트 · 강지보재 	<ul style="list-style-type: none"> · 프리그라우팅 (필요시)
풍 화 압	<ul style="list-style-type: none"> · 지보부재는 영구 구조물 · 라이닝은 안전을 향상 	<ul style="list-style-type: none"> · 초기 토압의 일부지지 · 내압 효과 	<ul style="list-style-type: none"> · 슛크리트 · 시스템 록볼트 · 강지보재 	<ul style="list-style-type: none"> · 휘폴링(필요시) · 프리그라우팅 (필요시) · 막장면 록볼트
토 사	<ul style="list-style-type: none"> · 지보부재는 영구 구조물 · 라이닝은 안전을 향상 	<ul style="list-style-type: none"> · 지반 변형 억제 · 이완 토압의 지지 	<ul style="list-style-type: none"> · 슛크리트 · 시스템 록볼트 · 강지보재 	<ul style="list-style-type: none"> · 휘폴링(필요시) · 프리그라우팅 (필요시) · 천단부 보강공법

3. 지보재의 형상과 규격의 선정

지보재는 기본적으로 터널주변의 원지반이 보유하고 있는 지보기능을 최대한 활용할 수 있도록 선정되어야 한다. 따라서 지보재의 선정에 있어서는 터널용도, 지반상태, 토 피, 지형, 용출수 상태, 안정성, 경제성, 시공성 등 제반의 설계조건을 종합적으로 고려 하여 합리적인 지보재가 될 수 있도록 해야 한다. 그 종류는 <표 3>과 같다.

표 3. 지보단계별 지보재의 종류 및 개요

구 분	종 류	지 보 개 념
1차 지보	스�크리트 록볼트 강지보재	<ul style="list-style-type: none"> · 터널굴착 후 주변지반이 지보기능을 발휘할 수 있도록 지반거동을 억제하여 안정상태에 이르도록 하기 위해 설치 · 터널굴착에 의해 발생하는 지반의 거동을 조기에 억제시켜 지반이 보유하고 있는 지지력 및 강도를 최대한 이용할 수 있도록 하고 지반을 안정시키므로써 안전하고 능률적인 갱내 작업이 가능토록 함
2차 지보	콘크리트라 이닝	<ul style="list-style-type: none"> · 배수형 터널의 경우 모든 지반 하중을 1차 지보가 담당하고 내부 라이닝은 터널 내부 시설물의 보호, 미관유지, 쾌적한 공간유지 등의 부수적 기능 담당 · 방수형 터널의 경우 지하수 배출을 차단하므로써 발생하는 수압을 지지
보조공법	휘폴링 파이프루프 막장면 록볼트	<ul style="list-style-type: none"> · 지반이 불량한 경우 막장부의 안정을 위해 설치하는 것으로 개념적으로는 1차 지보를 보강하는 것임



4. 지보재로서의 콘크리트라이닝의 역할

전술한 바와 같이 주변 지반이 극히 불량한 경우에는 콘크리트라이닝이 부분적으로 지보재 역할을 수행할 수 있다. 이렇게 지보재로 역할을 담당하는 콘크리트라이닝은 지보 구조물로서 특수한 성격을 갖고 있다. 즉, 터널의 안전성을 확보하기 위한 최종 지보 구조물로서 콘크리트라이닝의 적용은 주로 「①~③」과 같은 경우에 고려된다.

- (1) 터널의 안정성에 대한 안전율을 크게 하고자 할 경우에 콘크리트라이닝을 부분적으로 지보재로 설계할 수 있다. 지보재는 시공성을 고려하여 시공 중의 안정성을 확보하는데 중점을 두어야 할 때도 있지만 장기적으로 원지반의 강도를 유효하게 이용하기 위하여 필요로 하는 최소한의 지보재로서 터널 주변 지반의 응력 재배분을 완료시키는 것이 중요하다. 따라서 철도 터널로서의 필요한 안정성을 확보하지 못했을 경우도 있고, 파악이 힘든 지반 내부 지질구조의 불확실성이나, 지하수의 작용에 의해 장기간에 걸쳐 지반의 변화가 발생하는 경우도 있어 이러한 경우에 안전율을 고려한 대책으로 콘크리트라이닝을 적용할 수 있다.
- (2) 다른 지보재로는 변형을 제어하기가 곤란한 경우, 즉, 큰 내압이 필요할 때 콘크리트라이닝을 지보재 개념으로 사용해야 한다. 이때 콘크리트라이닝은 변위를 구속하여 터널의 안정화를 도모해야 한다.
- (3) 토피가 작아 굴착에 의한 영향이 지표면에 미치는 것을 막을 필요가 있을 때나, 지반의 자립효과를 기대하기 어렵고 변위를 최소한으로 억제해야 할 때 콘크리트라이닝을 사용해야 한다. 이때 콘크리트라이닝은 굴착 후 가급적 빨리 시공하고 토피에 따른 지반압을 고려해야 한다.

콘크리트라이닝에 지반응력이 작용하게 되는 경우는 콘크리트라이닝이 지반을 지지하는 지보부재로 활용되고 있는 경우와 숏크리트, 록볼트, 강지보재 등의 부식 및 지반 지내력 저하로 재변형이 발생할 경우이다. 이러한 조건이 발생되지 않는 한 콘크리트라이닝에는 지반응력은 작용하지 않는 것으로 간주해야 한다. 그러나 터널이 비배수형으로 구축될 경우에 콘크리트라이닝은 작용하는 수압을 지탱하여야 하며 자중 혹은 기타 부속물 부착에 따른 하중에 대해서도 충분한 안전율을 갖는 구조물로 설계해야 한다.

특히, 배수형 터널에서도 배수시설의 배수능력이 충분하지 않거나 시간이 경과하면서 배수능력이 저하하는 경우에는 콘크리트라이닝에 수압이 작용될 수 있음을 간과하여서는 안된다.

콘크리트라이닝의 기능에 대한 내용은 <표 4>에 자세히 설명하고 있다.

표 4. 콘크리트라이닝의 기능

기능	적용대상	내용
구조체로서의 역학적기능	쑈크리트 등으로 형성된 주지보재가 영구 구조물로서 충분한 안전율이 없다고 판단되는 경우	쑈크리트에 균열이 발생하고 록볼트에 큰 축력이 작용하여 응력 저항부에 크립 현상이 발생하거나 볼트의 부식으로 인하여 지반 응력이 콘크리트 라이닝에 전달될 가능성이 높은 경우에는 이를 고려해야 한다.
	현장 여건으로 인하여 지반변위가 수렴되기 전에 콘크리트 라이닝을 시공하는 경우	주지보 단계에서 변위가 수렴되어야 하나 공정 등의 이유로 콘크리트 라이닝을 변위 수렴전에 시공하는 경우에는 지반압을 지탱하는 구조체로서 설계해야 한다.
	토피가 작은 토사 지반 등에서 주변환경의 영향을 받기 쉬운 경우	토사 지반 등에서 토피가 작은 경우 지하 공동 구조물이 주변 환경에 영향을 받기 쉬우므로 적절한 상재하중에 의해 역학적 검토가 필요하며, 장차 토피의 경감이 예상되는 경우도 이를 고려해야 한다.
	운영중 배수시설의 기능 저하로 수압이 절릴 것으로 예상되는 경우	지하 공동 시공 후 주변 환경 조건에 의해 배수가 불가능해질 가능성이 있는 경우는 정수압을 고려하여 설계한다.
	비배수 터널 경우와 같이 완전 방수가 요구되는 경우	비배수 터널에서와 같이 방수쉬트를 사용 완전 방수를 실시하는 경우는 콘크리트 라이닝에 수압이 작용하므로 수압을 고려하여 설계한다.
영구구조물로서의 내구성 확보기능	주지보의 내구성이 우려되는 경우	주지보가 시간의 경과에 따라 강도 저하, 박리, 차량 및 열차 진동, 지진 등으로 내구성의 저하가 예상되는 경우 영구 구조물 기능에 비교적 신뢰도가 높은 콘크리트 라이닝을 설계한다.
내부시설물 보호 및 미관유지기능	유지 관리상 필요한 경우	터널내 시설물(전기, 설비 등) 보호 및 유지관리 기능 또는 미관상 습도조절 등의 경우에 콘크리트 라이닝을 설계한다.



해설 2. 표준지보패턴

1. 표준지보패턴의 선정방법

(1) 여러 시공실적에 근거하여 작성한 표준지보패턴을 참고로 하는 방법

여러 시공 실적에 근거하여 작성한 표준지보패턴을 참고하여 지보패턴을 선정하는 것은 간편하면서도 유효한 방법이 될 수 있다. 그러나 이 방법에 의해 지보패턴을 선정하는 경우에는 기존 시공실적 및 경험 등을 바탕으로 한 고도의 기술적 판단이 요구된다.

(2) 인접한 현장의 설계 및 시공 사례 혹은 지반조건이 유사한 경우의 설계 예를 참고로 하는 방법

기존의 설계사례 중 지반조건 및 단면형상 등의 조건이 유사하다고 판단되는 경우에는 그 설계 사례를 참고로 하여 지보패턴을 선정할 수 있다. 이 경우 이미 시공된 터널의 지반조건, 시공법 등의 설계조건 및 계측결과 등의 정보를 가능하면 많이 수집하여 이를 정밀 분석한 후, 기존 지보패턴에 검토된 내용을 반영시킨 적절한 지보패턴을 새로이 선정하여야 할 필요가 있다.

(3) 해석에 의해 지보패턴을 선정하는 방법

편압이나 통상의 변위량을 초과할 것이 예상되는 특수한 지반조건인 경우나, 굴착 단면이 특수한 형태를 가진 경우 등과 같이 유사 설계사례가 거의 없어 기존의 설계 사례만을 참고로 하여 지보패턴을 선정하기가 곤란한 경우 해석적 방법에 의해 지보패턴을 선정해야 한다.

2. 표준지보패턴의 선정

2.1 RMR 분류방법

RMR 분류에 의한 굴착 및 지보재에 대한 내용은 <표 5>와 같다.

표 5. RMR 분류에 의한 굴착 및 지보재¹⁾

등급	암반구분	굴 착	지 보 재		
			록 볼 트	쏿크리트	강지보재
1	매우 양호한 암반 RMR : 81~100	· 전단면 · 굴진장 3m 이상	필요한 장소에만 실시하는 국부적인 록볼트 외에는 일반적으로 지보가 필요 없음		
2	양호한 암반 RMR : 61~80	· 전단면 · 굴진장 1.0~1.5m · 막장부에서 20m에 지보 설치 완료	필요시 철망을 이용하여 천장에 길이 3m, 간격 2.5m로 설치	필요한 경우 천장에 두께 50mm	없음
3	보통의 암반 RMR : 41~60	· 반단면 및 벤치 · 굴진장은 1.5~3.0m · 매 발파마다 즉시 지보시공 · 막장부에서 10m에 지보설치 완료	천장에 철망을 이용하여 천장 및 측벽에 길이 4m, 간격 1.5~2.0m로 격자상으로 설치	천장에 두께 50~100mm, 측벽에 두께 30mm	없음

표 5. RMR 분류에 의한 굴착 및 지보재¹⁾(계속)

등급	암반구분	굴착	지 보 재		
			록 볼 트	쑏크리트	강지보재
4	불량한 암반 RMR : 21~40	<ul style="list-style-type: none"> 반단면 및 벤치 굴진장 1~1.5m 굴착과 동시작업으로 막장 부에서 10m에 지보를 시공 	철망을 이용하여 천장 및 측벽에 길이 4~5m, 간격 1~1.5m로 격자상으로 설치	천장에 두께 100~150mm, 측벽에 두께 100mm	필요한 지점에서는 강지보재를 1.5m 간격으로 설치
5	매우 불량한 암반 RMR : <20	<ul style="list-style-type: none"> 분할굴착 상부막장부의 굴진장 0.5~1.5m 굴착과 동시작업으로 지보를 설치. 발파후 될 수 있는 한 조기에 쑏크리트 타설 	철망을 이용하여 천장 및 측벽에 길이 5~6m, 간격 1~1.5m로 격자상으로 설치	천장에 두께 150~200mm, 측벽에 두께 150mm 및 막장부에 두께 50mm	필요한 경우, 강재 래깅(Lagging)과 함께 강지보재를 0.75m 간격으로 설치하고 인버트부는 폐합

¹⁾단면형상 : 마제형단면, 굴착폭 : 10m, 연직응력 : <25MPa. 굴착방법 : 발파굴착

2.2 Q-시스템 방법

Q값은 0.001~1,000 범위로서 매우 불량부터 매우 양호까지 9등급으로 분류하여 터널 폭과 Q값에 따른 지보방법을 제시하였다. Q값에 의한 지보방법은 터널의 유효크기(D_e)에 따라서 결정되며, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_e = \frac{B(\text{터널굴진장, 직경 또는 높이})}{ESR (\text{Excavation Support Ratio : 굴착지보비})}$$

여기에서 굴착지보비(ESR)는 시행착오에 의해서 계산되는 것인데 터널의 사용목적에 따른 안정성에 관계되는 수치로서 안전율(F_s)의 역수개념이다. 굴착의 종류에 따른 굴착지보비(ESR) 수치는 <표 6>과 같다. 따라서 산정된 터널의 유효크기(D_e)와 Q값을 이용하여 터널지보재 선정은 <그림 2>를 사용하여 이루어진다. <그림 2>의 Q-시스템은 노르웨이의 섬유보강 쑏크리트 강도기준(재령 28일 압축강도 35MPa 이상)에 근거하여 <표 7-1~8-2>의 터널 사용목적별 시공사례를 바탕으로 작성된 경험적인 지보설계법이다. Q-시스템에서 제안한 방법을 사용하여 지보량을 산정할 경우에는

쑏크리트 강도와 <표 6>의 터널 사용목적별 굴착지보비(ESR)을 종합적으로 고려해야 한다. 또한 섬유보강이 없는 일반 쑏크리트의 두께를 정하고자 할 경우에도 섬유보강 유무에 따른 쑏크리트의 특성을 감안하여 그 두께를 결정해야 한다.

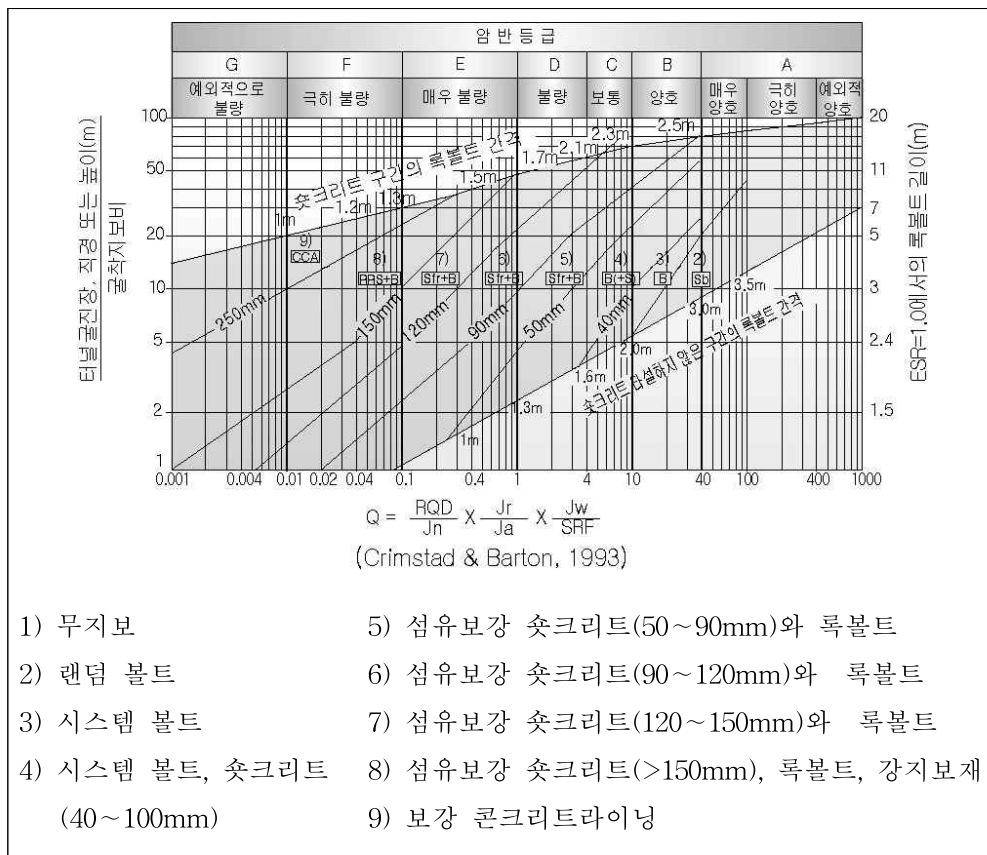


그림 2. Q-시스템에 의한 터널지보재 선정

표 6. 터널 사용목적에 따른 굴착지보비(ESR)

굴 착 용 도	굴착지보비(ESR)
A. 일시적으로 유지되는 터널	약 3~5
B. 영구적 광산터널, 도수터널(지하수로), 대단면 지하굴착을 위한 시험터널, 운반갱도	1.6
C. 지하저장소, 소규모 고속도로 및 철도터널, 완충수조, 진입터널	1.3
D. 지하철전소, 대규모 고속도로 및 철도터널, 터널교차부, 방공호	1.0
E. 지하원자력발전소, 지하정류장, 지하경기장	0.8

3. 철도터널 표준지보패턴 사례

철도터널의 일반적인 설계의 경우 굴착 암반의 공학적 특성치와 터널천단 상부의 토 피고 및 지반조건, 주변현황 등에 따라 표준지보패턴과 굴착공법은 <표 7-1~8-2>과 같이 적용할 수 있다.

그러나 이를 적용할 때에는 현장조사 결과에 나타난 암반의 특성(절리, 강도, 방향성 등)과 기존 적용사례 등을 비교, 검토하고 이에 대한 정성적, 정량적 평가를 확인한 후 책임기술자의 판단에 의해 굴착공법, 굴진장, 지보재량 및 설치간격 등을 조정하거

나 적절한 보조공법을 추가 적용하는 것이 바람직하다. 또한 경사갱, 기재갱, 교차통로 등의 특수구간은 별도로 조정할 수 있다.

아울러, 철도터널 표준지보패턴 “예”(표 7-1~7-4)에 대한 적용은 「철도터널 설계·시공 가이드라인(한국철도시설공단, 2020)」을 참고할 수 있으며, 다양한 현장상황에 알맞게 대처하기 위하여 기술자의 판단과 검토결과에 따라 “예”로 제시한 지보패턴을 변경하여 적용할 수 있다.

편도압, 저토피, 풍화대가 깊은 구간 등 지반조건이 불리하거나 응력조건에 영향을 받는 구간에서는 RMR과 Q-system에 의한 지보량을 비교하여 안전측의 지보설계를 반영한다. 특히 단면의 크기(단선, 복선, 대단면 터널), 응력수준에 의해 터널 거동이 영향을 받는 구간 등은 Q-System에 의한 지보설계가 안전측이 될 수 있으므로 검토 후 적정 지보패턴을 설계에 반영하도록 한다.

표 7-1. 철도터널 표준지보패턴 사례(일반구간 복선타널 지보패턴 “예”)

지보패턴		PD-1	PD-2-1	PD-2-2	PD-3-1	PD-3-2	PD-4-1	PD-4-2	PD-5-1	PD-5-2
RMR		81이상	71~80	61~70	51~60	41~50	31~40	21~30	11~20	10이하
굴진장(m)		4.0	3.0	2.5	2.2	2.0	1.5/(3.0) ¹⁾	1.5/3.0	1.2/2.4	1.2/2.4
굴착방법		전단면	전단면	전단면	전단면	전단면	전단면 ¹⁾	반단면	반단면	반단면
췁크리트 두께(cm)		5(일반)	5(Sfrc)	6(Sfrc)	8(Sfrc)	9(Sfrc)	12(Sfrc)	12(Sfrc)	16(Sfrc)	16(Sfrc)
록볼트 (m)	종간격	Random	3.0	2.5	2.2	2.0	1.5	1.5	1.2	1.2
	횡간격	Random	2.3	2.0	1.8	1.5	1.5	1.2	1.2	1.0
	길 이	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
강지보재		-	-	-	-	-	LG-50	LG-50	LG-70	LG-70
인버트		-	-	-	-	-	필요시 인버트	필요시 인버트	인버트	인버트
보조공법							필요시 휘폴링	필요시 휘폴링	휘폴링, 필요시 강관보강	강관 보강
라이닝 (mm)		300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근) ²⁾	300 (무근) ²⁾	400 (철근)	400 (철근)

¹⁾ 지보패턴 PD-4-1 : 인버트 설치 시에는 상하분할굴착(반단면)

²⁾ 지보패턴 PD-4-1, 4-2 : 인버트 설치 시에는 철근보강



표 7-2. 철도터널 표준지보패턴 사례(일반구간 단선터널 지보패턴 “예”)

지보패턴		PS-1	PS-2-1	PS-2-2	PS-3-1	PS-3-2	PS-4-1	PS-4-2	PS-5-1	PS-5-2
RMR		81 이상	71~80	61~70	51~60	41~50	31~40	21~30	11~20	10 이하
굴진장(m)		4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5/(3.0) ¹⁾	1.5/3.0	1.2/2.4	1.2/2.4
굴착방법		전단면	전단면	전단면	전단면	전단면	전단면 ¹⁾	반단면	반단면	반단면
쏟크리트 두께(cm)		5(일반)	5(Sfrc)	5(Sfrc)	8(Sfrc)	8(Sfrc)	12(Sfrc)	12(Sfrc)	16(Sfrc)	16(Sfrc)
록볼트 (m)	종간격	Random	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.2	1.2
	횡간격	Random	2.3	2.0	1.8	1.5	1.5	1.5	1.2	1.0
	길 이	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0
강지보재							LG-50	LG-50	LG-70	LG-70
인버트							필요시 인버트	필요시 인버트	인버트	인버트
보조공법							필요시 휘폴링	필요시 휘폴링	휘폴링, 필요시 강관보강	강관보강
라이닝 (mm)		300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근) ²⁾	300 (무근) ²⁾	400 (철근)	400 (철근)

1) 지보패턴 PS-4-1 : 인버트 설치 시에는 상하분할굴착(반단면)

2) 지보패턴 PS-4-1, 4-2 : 인버트 설치 시에는 철근보강

표 8-1 철도터널 표준지보패턴 사례(도시지역 복선터널 지보패턴 “예”)

지보패턴		PD-1	PD-2-1	PD-2-2	PD-3-1	PD-3-2	PD-4-1	PD-4-2	PD-5-1	PD-5-2
RMR		81 이상	71~80	61~70	51~60	41~50	31~40	21~30	11~20	10 이하
굴진장(m)		3.5	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5/3.0	1.2/2.4	1.2/1.2	1.0/1.0
굴착방법		전단면	전단면	전단면	전단면	전단면	반단면	반단면	반단면	반단면
쏟크리트 두께(cm)		5(일반)	8(Sfrc)	8(Sfrc)	8(Sfrc)	10(Sfrc)	12(Sfrc)	12(Sfrc)	16(Sfrc)	16(Sfrc)
록볼트 (m)	종간격	Random	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.2	1.2	1.0
	횡간격	Random	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.0
	길 이	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
강지보재		-	-	-	-	-	LG-50	LG-50	LG-70	H-100
인버트		-	-	-	-	-	인버트	인버트	인버트	인버트
보조공법							필요시 휘폴링	휘폴링	휘폴링, 필요시 강관보강	강관 보강
라이닝 (mm)		300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	350 (철근)	350 (철근)	400 (철근)	400 (철근)

표 8-2 철도터널 표준지보패턴 사례(도시지역 단선터널 지보패턴 “예”)

지보패턴		PS-1	PS-2-1	PS-2-2	PS-3-1	PS-3-2	PS-4-1	PS-4-2	PS-5-1	PS-5-2
RMR		81 이상	71 ~ 80	61 ~ 70	51 ~ 60	41 ~ 50	31 ~ 40	21 ~ 30	11 ~ 20	10 이하
굴진장		3.5	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5/3.0	1.2/2.4	1.2/1.2	1.0/1.0
굴착방법		전단면	전단면	전단면	전단면	전단면	반단면	반단면	반단면	반단면
shotcrete 두께(mm)		5(일반)	5(Sfrc)	8(Sfrc)	8(Sfrc)	10(Sfrc)	12(Sfrc)	12(Sfrc)	16(Sfrc)	16(Sfrc)
록 볼 트 (m)	종간격	Random	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.2	1.2	1.0
	횡간격	Random	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.0
	길 이	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
강지보재							LG-50	LG-50	LG-70	H-100
인버트							인버트	인버트	인버트	인버트
보조공법							필요시 휘폴링	휘폴링	휘폴링, 필요시 강관보강	강관보강
라이닝 (mm)		300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	300 (무근)	350 (철근)	350 (철근)	400 (철근)	400 (철근)



4. 현장계측 결과에 따른 표준지보패턴의 변경

터널을 안전하고 경제적이며 합리적으로 시공하기 위해서는 막장부 및 터널내 관찰을 포함한 현장 계측 결과를 어떻게 설계에 반영시키느냐가 중요한 과제이다. 따라서 막장부 및 터널내 관찰, 계측 결과를 검토하여 지보재를 변경할 필요가 있다고 판단되는 경우에는 지체 없이 변경해야 한다. 지보재의 변경은 주로 「①~②」 2가지 경우에 해당한다.

(1) 굴착된 구간에서의 계측 결과에 근거하여 미굴착 구간의 설계를 변경하는 경우

지반조사 결과에 의해 선정된 지보패턴은 표준적인 것이며, 이것은 시공 중 계측 결과에 의해 현장 상황에 맞게 수정하거나 변경할 필요가 있다. 이 경우 지반조건 및 변위량 등이 설계상 산정한 값과 다른 정도에 따라 지보재의 변경 내용이나 규모가 달라지며, 변경을 위한 주의사항 및 검토사항은 <표 9>과 같다.

(2) 이미 굴착된 구간의 변위가 설계시 예측된 값과 크게 다르고 지반의 안정에 문제가 있다고 예상되는 경우

굴착 후 변위가 수렴하지 않는 경우, 그 대책으로는 숏크리트 두께의 증가, 록볼트의 추가 설치 등의 지보재의 증가방법과 주입공법 등에 의한 지반개량 보조공법을 고려할 수 있다. 이러한 대책으로도 변위가 수렴되지 않는 경우에는 콘크리트라이닝 설계시 역학적 개념을 도입하여 변위를 강제적으로 구속시키는 방법을 고려할 수 있다.

지보재를 교체하거나 변경할 경우에는 변상에 따른 원인, 지반의 상태, 작업의 안전성, 교체·변경 이후의 지반 변형 등을 검토하여 적절한 조치를 강구해야 하며, 단면을 조기에 폐합할 수 있어야 한다.

표 9. 표준지보패턴의 변경 방법 및 검토 사항

현 상	변경방법	상세 대책안	주의 및 검토사항
지보변위량이 예상변위량보다 크게 예상되는 경우	변형 여유량의 확대	-	단, 다음과 같은 상황일 때 적용해야 한다. · 슛크리트에 균열 등의 변형이 없는 경우 · 록볼트의 축력이 작은 경우 · 변형이 수렴하는 경우
	지보재의 증가	슛크리트의 두께, 록볼트의 길이 및 본수, 지보 패턴의 간격을 조정해야 한다.	파쇄대, 소성화가 현저한 지반에서는 지보재의 강성을 다소 높여도 변형억제에 효과가 없을 경우가 있다.
	단면의 폐합	가인버트 설치 혹은 가급적 조기에 상·하 단면을 폐합해야 한다.	변형 억제에 효과적인 방법이지만 일반적으로 공사비가 많이 든다.
	막장부 및 막장부 전방의 보강	· 경사볼트, 미니 파이프루프, 막장부 전면 슛크리트 타설, 막장부 전면 록볼트 타설 등의 공법을 고려해야 한다. · 위의 변경으로 효과가 없는 경우에는 지반 개량공법 등 보조공법을 고려해야 한다.	팽창성지반, 균열이 현저히 발달된 지반의 경우에 주의해야 한다.
	굴착단면 분할굴착공 법의 변경	· 벤치 길이, 벤치 수의 변경을 고려해야 한다. · 링컷공법의 적용을 검토해야 한다.	기계장비의 변경을 수반하는 경우가 많다.
지보변위량이 예상변위량보다 작게 예상되는 경우	지보재의 감소	· 암괴의 봉합 목적인 록볼트는 균열상태에 따라 적용해야 한다. · 강지보재는 봉락 상태나 초기 변위속도에 따라 적용한다. · 슛크리트보다 록볼트를 우선적으로 감소시킨다. · 굴진장을 증가시키고 지보패턴 간격을 연장시키거나 혹은 지보패턴을 양호한 지반등급 측으로 상향 조정해야 한다.	지반변위량 및 록볼트의 축력, 슛크리트 응력 등이 작은 경우에 적용해야 한다.
	변형 여유량의 감소	-	충분한 정밀도로 검토해야 한다.



해설 3. 강지보재

1. 강지보재의 역할

강지보재는 숏크리트, 록볼트 등과 함께 터널 안정에 필요한 지보재 중의 하나이다. 강지보재의 사용 목적은 터널 단면의 형상 및 크기, 굴착면의 자립성, 지반압의 크기, 지표 침하량의 제한 등에 따라 다르나 일반적으로 「(1)~(4)」같이 구분할 수 있다. 단, 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 생략할 수도 있으나 이러한 경우 세심한 안정성 검토를 수행해야 한다.

- (1) 숏크리트 또는 록볼트의 지보기능이 발휘하기까지 굴착면의 안정을 도모할 필요가 있는 경우

강지보재는 설치와 동시에 충분한 강도를 갖는 지보재이므로 굴착면의 자립시간이 짧은 토사 지반이나 균열이 발달된 지반에서 숏크리트나 록볼트의 소요강도가 발휘되기 전에 지보효과가 발휘된다. 그러나 설치시에 지반과의 간격이 생기기 때문에 그 배면 공극을 숏크리트 등으로 충전하거나 빠른 시간내에 콘크리트 등으로 일체화 시공을 하지 않으면 굴착면의 조기 안정에 효과가 없게 되는 점에 주의해야 한다.

- (2) 막장면 휘폴링 등 보조공법의 반력 지지점이 필요한 경우

굴착면의 자립성이 나쁜 지반에서 굴착면 전방의 지반을 보강하기 위하여 휘폴링이나 경사볼트 등의 보조공법을 사용하는 경우가 있는데, 이때 이들의 반력 지지점으로 강지보재가 필요한 경우가 있다. 이러한 경우, 일반적으로 강지보재의 규격이 커지면 경사볼트 등의 경사각이 커져서 여굴을 증대시킬 우려가 있으며, 반면에 강성이 작은 강지보재를 사용할 경우에는 경사볼트 등에서 전달되는 하중에 의해 처짐이 커질 우려가 있으므로 이러한 점을 주의해야 한다.

- (3) 큰 지압으로 인해 지보재의 강성을 증가시킬 필요가 있는 경우

숏크리트는 초기 재령에서 변형계수가 작기 때문에 변형하기 쉽고 또한 강도도 작기 때문에 지반조건에 따라서는 강지보재를 사용하여 숏크리트와 일체화함으로써, 지보재의 강성, 강도 등을 증가시킬 필요가 있는 경우가 있다. 즉, 붕락이 발생하기 쉬운 지반이나 지반압이 매우 큰 지반의 경우에는 숏크리트의 두께를 증가시키고 철망 등과 함께 강지보재를 사용하여 지보재의 강도 및 인성 등을 향상시킴으로써 터널의 안정을 도모할 수 있다.

- (4) 지표침하 등 지반변위의 억제가 필요한 경우

토사 지반 등에서 터널 변형이나 지표침하를 극히 제한할 필요가 있는 경우에는 강지보재를 사용하여 숏크리트와 일체화함으로써 지반변위의 억제를 도모할 수 있다. 이러한 기능은 터널의 단면형상 유지 기능과 같은 의미로 강지보재로서 장기간 터널 단면의 형상을 유지시켜 줄 수 있다.

2. 강지보재의 종류와 선정

2.1 강지보재의 종류

2.1.1 H형 강지보재

H형 강지보재는 강지보재가 지면과 밀착된 경우 지반과 강지보재 사이에 슛크리트의 타설이 용이하지 않아 이 부분에 공극이 발생할 수 있고, 슛크리트의 두께가 얇은 경우에는 슛크리트와 강지보재의 일체성이 떨어질 수 있다는 약점이 있으나, 강성이 타 지보재보다 크고 시공실적이 많다는 장점이 있다.

일반적으로 많이 사용하고 있는 대표적인 단면 형상 및 특성은 <그림 3>과 <표 10>에 나타낸 바와 같다.

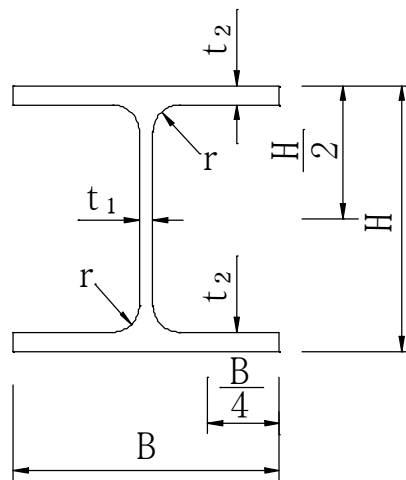


그림 3. H형 강지보재의 단면 형상

표 10. H형 강지보재의 치수 및 단면 특성 예

치수 (mm)	표준단면치수 (mm)				단위중량 (kg/m)	단면적 (mm ²)	단면2차모멘트 (mm ⁴)		단면계수 (mm ³)	
	H×B	t1	t2	r			Ix	Iy	Zx	Zy
100×100	100×100	6	8	10	17.2	2,190	3,830,000	1,340,000	76,500	26,700
125×125	125×125	6.5	9	10	23.8	3,030	8,470,000	2,930,000	136,000	47,000
150×150	150×150	7	10	11	31.5	4,010	16,400,000	5,630,000	219,000	75,100
200×200	200×200	8	12	13	49.9	6,350	47,200,000	16,000,000	472,000	160,000
250×250	250×250	9	14	16	72.4	9,220	108,000,000	36,500,000	867,000	292,000



2.1.2 U형 강지보재

U형 강지보재는 H형 강지보재의 약점을 보완해 줄 수 있는 이점이 있으나, 강성은 떨어진다. U형 강지보재의 불룩한 쪽을 지반층을 향해 설치함에 따라 강지보재와 지반사이에 슛크리트 타설이 용이하다. U형 강지보재의 이음부는 밴드 등으로 고정하는 방법이기 때문에 플레이트를 맞추어 볼트에 접속하는 방법보다 시공성이 좋고 가축성 이음이 용이하다. U형 강지보재 중 대표적인 MU-29형의 단면 형상 및 특성은 <그림 4>와 <표 11>에 나타낸 바와 같다.

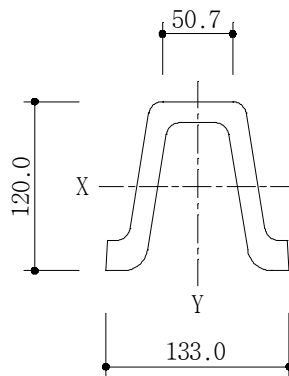


그림 4. 대표적인 U형 강지보재(MU-29)의 치수 및 단면 형상

표 11. 대표적인 U형 강지보재(MU-29)의 치수 및 단면 특성 예

단면적 (mm ²)	단위중량 (kg/m)	단면2차모멘트(mm ⁴)		단면계수(mm ³)	
		I _x	I _y	Z _x	Z _y
3,700	29.0	5,810,000	6,340,000	97,400	95,800

2.1.3 격자지보재(Lattice Girder, LG)

격자지보재는 강봉을 삼각형 또는 사각형으로 엮어 만들어 터널형상에 맞도록 제작한 강지보재의 한 종류로서, 다른 강지보재에 비해 가벼워 취급이 용이하고 인력과 장비소요가 적다. 또한, 휘폴링이나 파이프 루프 설치시 격자지보재 사이를 통과하도록 설치할 수 있으므로 휘폴링 설치각도를 최대한 줄일 수 있어 시공성이 좋아진다. 그러나 H형 강지보재에 비해 강성은 다소 떨어진다.

격자지보재는 일반적으로 표준형 삼각단면 3개 강봉과 사각단면 4개 강봉으로 구분된다. 삼각단면 3개강봉은 삼각형모양으로 3개의 강봉으로 구성되어있고 단면형상 및 특성을<그림 5>와 <표 12>에 예시하였다. 사각단면 4개강봉은 단면형상이 사각형 모양으로 4개의 강봉으로 구성되어 있고, 터널하부 지지지반이 연약한 경우 바닥지지재로 주로 사용되고 있다. 사각단면 4개 강봉의 단면형상 및 특성을 <그림 6>과 <표 13>에 예시하였다.

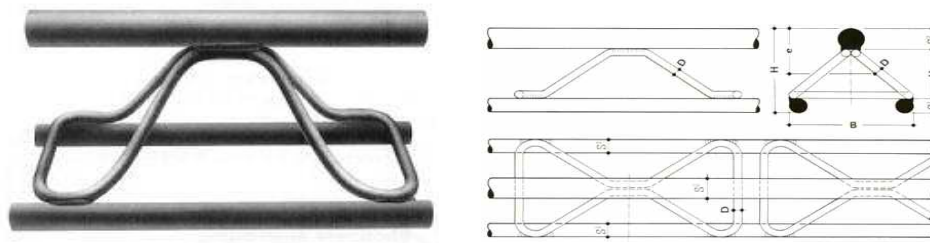


그림 5. 삼각단면 3개강봉의 단면형상 예

표 12. 삼각단면 3개강봉의 치수 및 단면특성 예

형태	단면치수(mm)					단면적 (mm ²)	단위 중량 (kg/m)	단면2차모멘트(mm ⁴)		단면계수(mm ³)	
	S1	S2	H	B	D			I _x	I _y	Z _x	Z _y
50	18	26	94	100	10	1,040	10.0	1,380,000	890,000	29,000	18,000
	20	30	100	100	10	1,335	12.3	1,930,000	1,060,000	38,000	21,000
70	18	26	114	140	10	1,040	10.2	2,230,000	1,920,000	39,000	27,000
	20	30	120	140	10	1,335	12.5	3,060,000	2,320,000	51,000	33,000
	22	32	124	140	10	1,564	14.3	3,750,000	2,720,000	60,000	39,000
	26	34	130	140	10	1,970	17.5	5,010,000	3,560,000	71,000	51,000
95	18	26	139	180	10	1,040	10.7	3,590,000	3,370,000	51,000	37,000
	20	26	141	180	10	1,159	11.7	4,050,000	4,060,000	53,000	45,000
	20	30	145	180	10	1,335	13.1	4,850,000	4,070,000	66,000	85,000
	22	32	149	180	10	1,564	14.9	5,890,000	4,820,000	78,000	54,000
	26	34	155	180	10	1,970	18.2	7,740,000	6,410,000	92,000	71,000
115	18	26	159	220	12	1,040	11.7	4,910,000	5,210,000	61,000	47,000
	20	30	165	220	12	1,335	14.1	6,580,000	6,340,000	78,000	58,000
	22	32	169	220	12	1,564	15.9	7,950,000	7,520,000	94,000	68,000
	26	34	175	220	12	1,970	19.2	10,400,000	10,100,000	109,000	92,000
130	18	26	174	220	12	1,040	11.7	6,030,000	5,210,000	69,000	47,000
	20	30	180	220	12	1,335	14.1	8,050,000	6,340,000	87,000	58,000
	22	32	184	220	12	1,564	15.9	9,710,000	7,520,000	105,000	68,000
	26	34	190	220	12	1,970	19.2	12,640,000	10,100,000	122,000	92,000

※ 현재 우리나라에서 주로 생산되는 형태

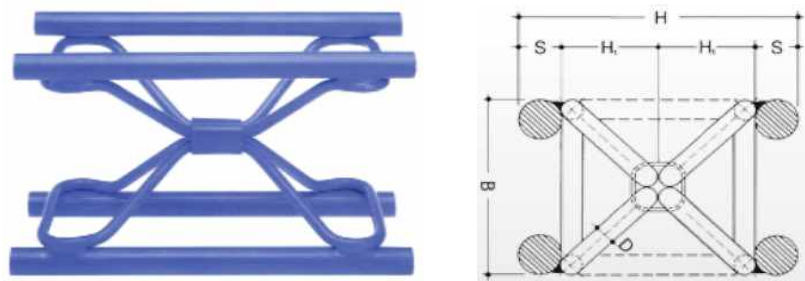


그림 6. 사각단면 4개강봉의 단면형상 예



표 13. 사각단면 4개강봉의 치수 및 단면특성 예

형태 (H1)	단면치수(mm)				단면적 (mm ²)	단위 중량 (kg/m)	단면2차모멘트(mm ⁴)		단면계수(mm ³)	
	S	H	B	D			I _x	I _y	Z _x	Z _y
100	18	136	100	10	1,020	11.33	3,560,000	1,730,000	52,000	35,000
	20	140	100	10	1,256	13.21	4,560,000	2,040,000	65,000	41,000
	22	144	100	10	1,520	15.22	5,700,000	2,340,000	79,000	47,000
	26	152	100	10	2,124	19.98	8,510,000	2,990,000	112,000	59,000
	30	160	100	10	2,828	25.53	12,100,000	3,020,000	151,000	72,000
140	18	176	140	10	1,020	11.72	6,370,000	3,810,000	72,000	54,000
	20	180	140	10	1,256	13.60	8,070,000	4,560,000	90,000	65,000
	22	184	140	10	1,520	15.64	10,020,000	5,340,000	109,000	76,000
	26	192	140	10	2,124	20.40	14,720,000	6,990,000	153,000	100,000
	30	200	140	10	2,828	25.95	20,590,000	8,710,000	206,000	124,000
180	18	216	180	10	1,020	12.67	9,990,000	6,700,000	93,000	74,000
	20	220	180	10	1,256	14.55	12,600,000	8,070,000	115,000	90,000
	22	224	180	10	1,520	16.59	15,550,000	9,530,000	139,000	106,000
	26	232	180	10	2,124	21.35	22,620,000	12,680,000	195,000	141,000
	30	240	180	10	2,828	26.87	31,330,000	16,060,000	261,000	178,000
220	18	256	220	12	1,020	14.58	14,430,000	10,400,000	113,000	95,000
	20	260	220	12	1,256	16.46	18,830,000	13,990,000	139,000	127,000
	22	264	220	12	1,520	18.50	22,310,000	14,950,000	169,000	136,000
	26	272	220	12	2,124	23.26	32,220,000	20,070,000	237,000	182,000
	30	280	220	12	2,828	28.78	44,340,000	25,670,000	317,000	233,000

2.2 강지보재의 선정

강지보재는 산정된 작용 하중을 부담할 수 있도록 규격 및 배치 간격을 결정함과 동시에 다른 지보재, 특히 숏크리트와 일체가 되어 지보 기능을 효과적으로 발휘할 수 있도록 해야 한다.

강지보재의 형상은 강지보재의 설치후에도 지반과 강지보재 사이의 공극에 숏크리트 타설이 용이하고, 숏크리트와 일체화되기 쉬운 것이 좋다. 또한, 큰 하중이 작용하는 경우에는 좌굴에 대하여 저항성이 큰 형상이 바람직하다.

강지보재의 이음은 시공순서 및 시공성을 고려하여 이음개소가 최소가 되도록 정하되 제거와 추가 이음이 요구되는 곳에는 원활한 시공이 가능하도록 설계에 이를 반영해야 한다.

팽창성지반 등과 같이 내공변위가 크게 발생하는 지역에서는 강지보재의 이음을 가축변형이 허용되는 조인트 구조로 할 수 있다. 이 경우에는 가축 허용량 산정에 주의해야 한다.

3. 강지보재의 설치형상과 재질

3.1 강지보재의 설치형상

강지보재의 설치는 굴착단면과 유사한 형상이며, 숏크리트 등에 대하여 하중을 양호하게 전달하고, 휨모멘트의 발생을 극소화할 수 있는 것이어야 한다. 강지보재의 설치형상은 <그림 7>과 같이 반원형, 마제형, 전주 마제형, 전주 원형 등이 있으며, 지반조건, 작용하중의 크기 및 방향, 시공법 등을 고려하여 결정해야 한다.

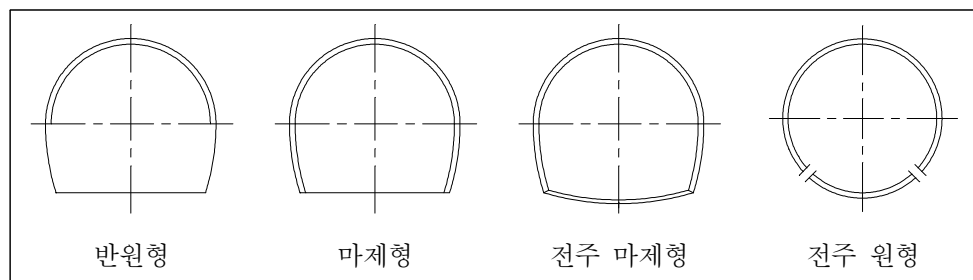


그림 7. 강지보재의 각종 설치형상

3.2 강지보재의 재질

강지보재는 열간 가공보다 냉간 가공 시에 그 흠을 발견하기 쉬우며 열간 가공시에는 열관리가 곤란하므로 냉간 가공하는 것을 원칙으로 해야 한다. 따라서 냉간으로 상당히 큰 원호로 구부려 가공한다는 점에서 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호한 강재를 쓰는 것이 좋다. 참고로, H형 강지보재의 냉간 가공시 최소 곡선 반경의 표준 및 단면적, 단면계수 등은 <표 14>에 나타낸 바와 같다.

표 14. H형 강지보재의 냉간 가공시 최소 곡선 반경의 표준

치수(mm)	단면적(mm ²)	단위중량(kg/m)	최소곡선반경(mm)
H - 100 × 100	2,200	17	1,200
H - 125 × 125	3,000	24	1,600
H - 150 × 150	4,000	32	2,200
H - 175 × 175	5,100	40	3,500
H - 200 × 200	6,400	50	4,500
H - 250 × 250	9,200	72	5,500

강지보재는 연성이 크고 휨과 용접 등의 가공성이 양호한 강재를 쓰는 것이 좋다. 강지보재는 지지하여야 할 하중의 크기뿐만 아니라 숏크리트의 두께, 터널 단면의 크기, 시공법 등을 고려하여 적당한 강도, 강성을 가진 것을 선정해야 한다. H형 및 U형 강지보재의 재질은 KS D 3503에 규정된 SS 400을 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘



하는 구조용 강재로 해야 한다.

또한 격자지보형 강지보재의 재질은 KS D3504에 규정된 SD500W(항복강도 500MPa 이상)를 표준으로 하며 이형봉강이나 원형봉강을 사용하여 이와 동등 이상의 성능을 발휘하고 부재간 완전한 용접성능을 발휘할 수 있는 저탄소(탄소함량이 0.3% 이하) 용접구조용 강재로 해야 한다.

강재대신 고강도 플라스틱, 복합부재 등을 강지보재로 사용할 경우에는 강지보재와 동등 이상의 성능이 발휘되어야 한다.

3.3 강지보재의 치수

강지보재의 치수는 작용하중 외에 숏크리트의 두께, 강지보재의 최소 피복, 굴착공법, 굴착방법 등을 고려하여 결정해야 한다. 또한, 소요의 강성을 발휘하고, 좌굴, 비틀림 및 국부적인 하중에 대하여 저항성이 크고 시공능률을 높일 수 있는 것이어야 한다.

4. 강지보재의 이음과 설치간격

4.1 강지보재의 이음

강지보재는 운반, 거치 및 시공성을 고려하여 분할 제작하되 이음개소를 최소화하고 부재 상호간은 견고한 이음이 되도록 설계해야 한다. 특히 구조적으로 불리한 위치에 서의 이음은 가급적 피하도록 하며, 지보재와 이음판과의 접합은 확실히 하도록 설계해야 한다. 대표적인 H형(H 100×100), U형(MU-29) 및 격자지보형(표준형 삼각단면 3개강봉) 강지보재의 이음부 설계 예를 각각 <그림 8>, <그림 9> 및 <그림 10>에 나타내었다.

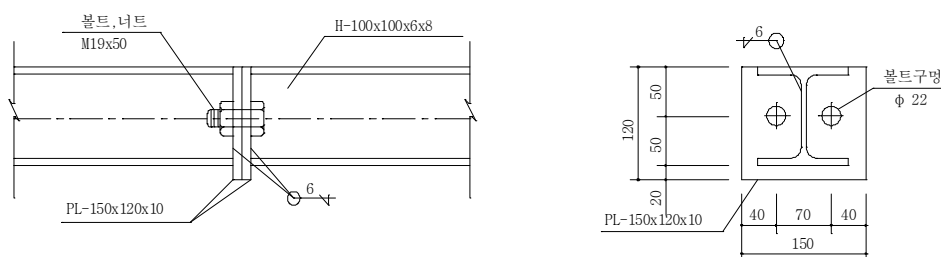


그림 8. H형(H 100×100) 강지보재의 이음부 설계 예

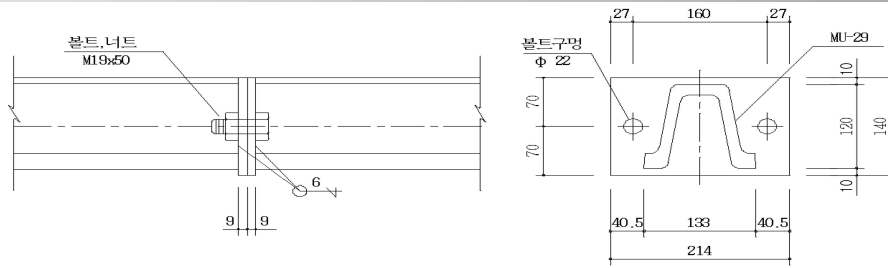


그림 9. U형(MU-29) 강지보재의 이음부 설계 예

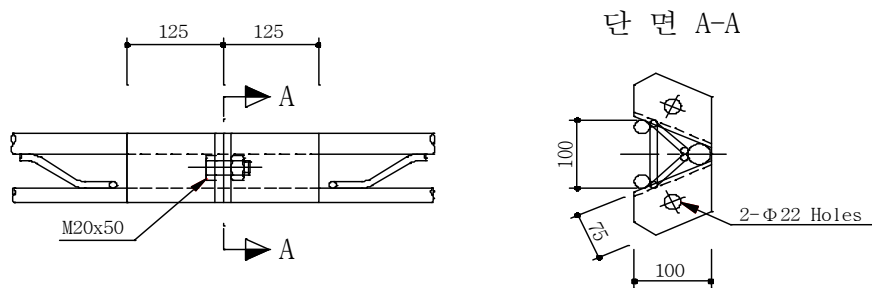


그림 10. 격자지보형(삼각단면 3개강봉) 강지보재의 이음부 설계 예

4.2 강지보재의 설치 간격

강지보재의 설치 간격은 지반특성, 사용목적, 시공법 등을 고려하여 결정하여야 한다. 상반과 하반으로 나누어 굴착하는 경우 지반조건에 따라 상부 강지보재의 수직지지점 확보가 가능토록 조치한 후 하반의 강지보재를 일부 생략할 수 있다. 일반적으로 강지보재의 설치가 필요한 경우에는 그 설치간격을 한 굴진장 이하로 하는 것이 적절하다.

5. 강지보재의 간격재와 바닥판받침

5.1 강지보재의 간격재

강지보재는 설치 후 숏크리트에 의해 일체화로 고정되기 전까지 전도를 방지하기 위하여 강지보재 사이에 적절한 크기의 강재 간격재를 일정간격으로 설치해야 한다. 이때, 간격재의 형상은 숏크리트의 일체화에 저해되는 형상을 사용하여서는 안되며 횡방향 설치간격은 1.5~2.0m로 하는 것이 좋다. 여기서, 일체화에 저해되는 형상이란 파이프 또는 L형 등 숏크리트 타설시 타설방향 뒤쪽의 숏크리트 상태가 다른쪽 숏크리트와 성질이 다르게 됨에 따른 영향과 연결재의 크기가 숏크리트 두께에 비해 필요 이상으로 커짐에서 비롯된 일체성 저해 요인을 초래하는 형상을 의미한다. 대표적인 H형(H 100×100) 및 격자지보형(삼각단면 3개강봉) 강지보재의 간격재 설



계 예를 각각 <그림 11> 및 <그림 12>에 나타내었다. U형 강지보재는 현재 국내에서 거의 사용되지 않으므로 여기에서 생략하였다.

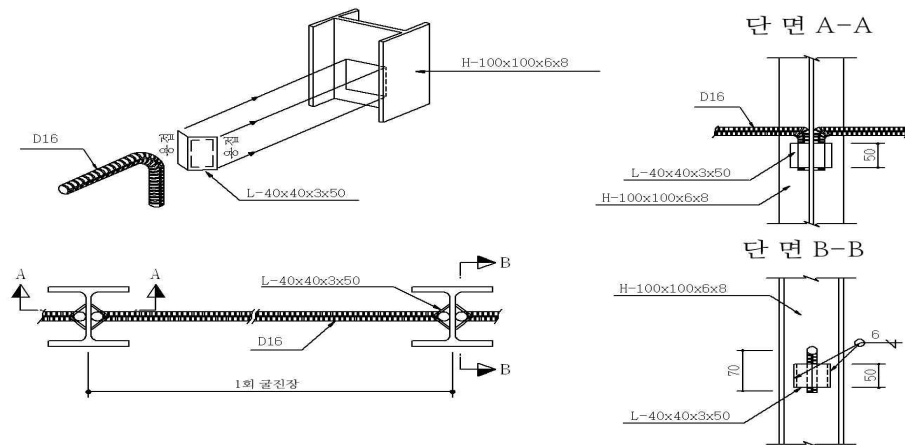


그림 11. H형(H 100×100) 강지보재의 간격재 설계 예

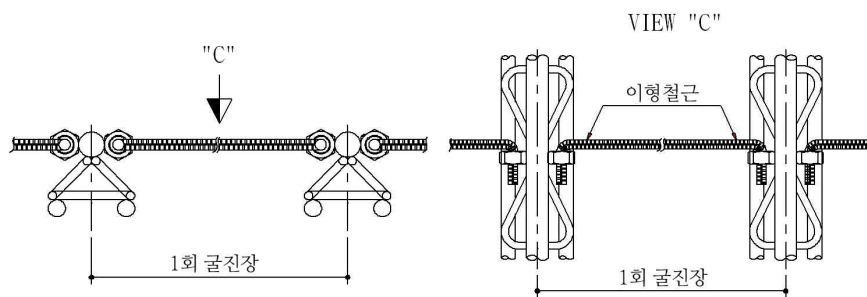


그림 12. 격자지보형(삼각단면 3개강봉) 강지보재의 간격재 설계 예

5.2 강지보재의 바닥판받침

작용하중에 의한 침하를 방지하기 위하여 강지보재 하단에는 바닥판을 붙이고 필요에 따라 받침을 설치하여 충분한 지지력을 확보할 수 있도록 해야 한다. 이러한, 강지보재 바닥판 받침에는 목재, 철근 콘크리트 블록, 강판 등을 사용할 수 있으며 강지보재에 작용하는 하중이 큰 경우는 필요에 따라 바닥보강 콘크리트를 사용해야 한다. 대표적인 H형(H 100×100) 및 격자지보형(삼각단면 3개강봉) 강지보재의 바닥판받침 설계 예를 각각 <그림 13> 및 <그림 14>에 나타내었다.

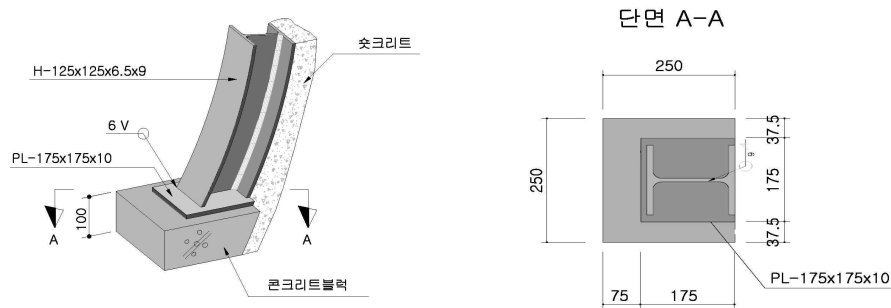


그림 13. H형(H 125×125) 강지보재의 바닥판받침 설계 예

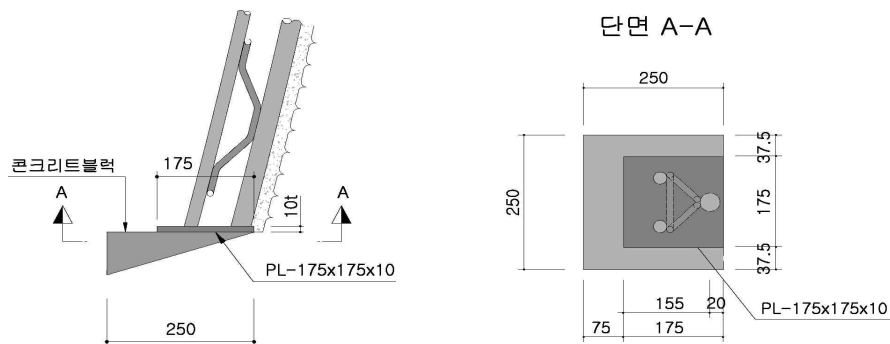


그림 14. 격자지보형(삼각단면 3개강봉) 강지보재의 바닥판받침 설계 예

강지보재가 상·하로 연결되는 바닥부분의 지반이 연약하여 처짐이 발생할 가능성이 있는 경우 자중 및 상부 지반의 하중을 분배하여 침하를 억제할 수 있는 하중분배빔 (Load Distribution Beam, LDB)을 강지보재의 바닥판받침(콘크리트 블록 설치부)에 종방향으로 설치하여 사용할 수 있다.

또한 측벽지반이 연약하여 강지보재의 하단부가 캔틸레버형상으로 변위가 발생하여 내측으로 밀려 들어오는 경우 숏크리트를 타설하여 가인버트로 폐합하거나 바닥면에 H형강을 설치하여 버팀보로서 지지할 수도 있다.

6. 강지보재의 품질관리

강지보재는 시공전 및 시공후 <표 15>와 같은 사항을 품질 관리해야 한다.



표 15. 강지보재의 현장 품질관리 사항

관 리 항 목	관리내용 및 시험	시험빈도
형상 및 치수	소정의 형상 및 치수대로 가공되었는가의 확인	물품반입시
변형 및 손상	변형 및 녹 등의 이물질 부착여부 확인	시 공 전
시공정확도	소정의 위치, 수직도, 높이 등을 확인	시공직후
밀 착	원지반 또는 숏크리트와의 밀착여부 확인	시공직후
이음 및 연결상태	이음볼트 및 연결재 등의 시공상태 확인	시공직후

해설 4. 숏크리트

1. 숏크리트의 역할

숏크리트란 압축공기를 이용하여 굴착된 지반면에 뿜어 붙여지는 모르타르 혹은 콘크리트로서 터널 지보 부재 중 가장 중요한 부재라 할 수 있다. 숏크리트는 굴착 후 빠른 시간내에 지반에 밀착하여 조기 강도를 얻을 수 있으며, 굴착단면의 형상에 크게 영향을 받지 않고 용이하게 시공이 가능한 특징을 가지고 있다.

또한, 지반자체를 터널의 지보재로 활용하는 터널공법에서 가장 우선적으로 적용하는 주지보재이며 굴착과 동시에 굴착면에 즉시 시공하여 콘크리트 아치를 형성함으로써 「(1)~(5)」와 같은 역할을 한다.

- (1) 지반의 이완을 방지하여 원지반 강도 유지
- (2) 콘크리트 아치로서 하중을 분담
- (3) 응력의 국부적인 집중방지
- (4) 암괴의 이동방지 및 낙반의 방지
- (5) 굴착면의 풍화방지

이와 같은 기능을 발휘하기 위해서는 굴착면에 밀착하여 시공하는 것이 필수적이다.

숏크리트 적용개념은 지반조건, 사용목적, 시공성 등에 따라 다르나, 일반적으로 <표 16>에서 나타낸 바와 같은 작용효과를 기대할 수 있다.

지반내 층리, 절리 등의 불연속면이 터널 지반의 거동을 지배하는 경우나 경암지반에서와 같이 절리 등의 간격이 비교적 큰 경우의 숏크리트는 국부적인 암괴의 붕락 방지 및 약층의 보강 효과를 기대할 수 있으며, <표 16>중의 「①, ④, ⑤」가 그 주된 작용효과이다. 또 절리 등의 간격이 작고 입상체와 같은 거동을 하는 경우에는 내압을 주는 구속효과, 링 아치효과 등을 기대할 수 있으며, <표 16>중 「②, ③, ⑤」가 그 주된 작용효과이다. 지반의 강도가 터널 거동을 지배하는 경우에는, <표 16>중 「②, ③」의 효과가 기대된다. 이 경우에는 특히 록볼트 및 강지보재 등 기타 지보재와 병용하여 각각의 지보재와 숏크리트의 상호 작용을 고려하여 설계할 필요가 있다.

최근 비교적 견고한 지반에 있어서 콘크리트라이닝을 시공하지 않고 숏크리트를 영구 라이닝으로 시공하는 경우도 있다. 터널의 사용목적 및 지반조건에 따라 숏크리트를 영구 라이닝으로 사용할 수 있으나, 이 경우 설계에 있어서는 숏크리트의 내구성, 수밀성, 장기강도, 지하수 유입영향 등을 충분히 고려해야 한다.



표 16. 숏크리트의 작용효과

숏크리트의 작용효과	개 념 도
<p>① 지반과의 부착력, 전단력에 의한 저항</p> <p>지반과의 부착 및 자체 전단 저항효과로 숏크리트에 작용하는 외력을 지반에 분산시키고, 터널 주변의 붕락하기 쉬운 암괴를 지지하며, 굴착면 가까이에 지반아치가 형성될 수 있도록 해야 한다.</p>	
<p>② 휨압축 또는 축력에 의한 저항</p> <p>지보재에 의한 지반변위가 구속되는 현상으로 인해 굴착면에 내압을 가함으로써, 굴착면 주변지반을 3축응력상태로 유지시켜 지반 강도저하를 방지한다. 연암이나 토사 지반등에 작용효과가 크다. 비교적 두꺼운 숏크리트가 한 개의 부재로서 원지반을 지지하기 때문에 될 수 있으면 빨리 링으로 폐합하는 것이 바람직하다.</p>	
<p>③ 지반 응력의 배분 효과</p> <p>강지보재 또는 록볼트에 지반압을 전달하는 기능을 발휘한다.</p>	
<p>④ 약층의 보강</p> <p>굴착된 지반의 굴곡부를 매우고 절리면 사이를 접착시킴으로써 응력집중현상을 피하도록 하고 약층을 보강하는 효과가 있다.</p>	
<p>⑤ 피복효과</p> <p>굴착면을 피복하여 풍화방지, 지수, 세립자 유출방지 등의 피복효과가 있다.</p>	

2. 숏크리트의 종류와 선정

2.1 숏크리트의 종류

숏크리트는 시공방법, 보강재료 및 성능에 따라 「가.~다.」와 같이 구분된다.

2.1.1 시공방법에 따른 구분

숏크리트의 종류는 배합 및 작업방법에 따라 건식과 습식으로 구분하며 필요에 따라 강(鋼) 또는 기타 재료의 섬유를 혼합하여 사용할 수 있으며 이때에는 철망을 생략할 수 있다.

건식 숏크리트는 물 이외의 재료(결합재, 모래, 자갈)를 압축공기로 노즐까지 보내어, 노즐에서 물과 합류시켜 뿜어 붙이는 공법이고, 습식 숏크리트는 모든 재료를 믹서로 비빈 후 압축공기와 스크류만으로 뿜어 붙이는 공법이다.

각 공법의 타설 흐름도는 <그림 15>와 같고, 각각의 특성은 <표 16>과 같다.

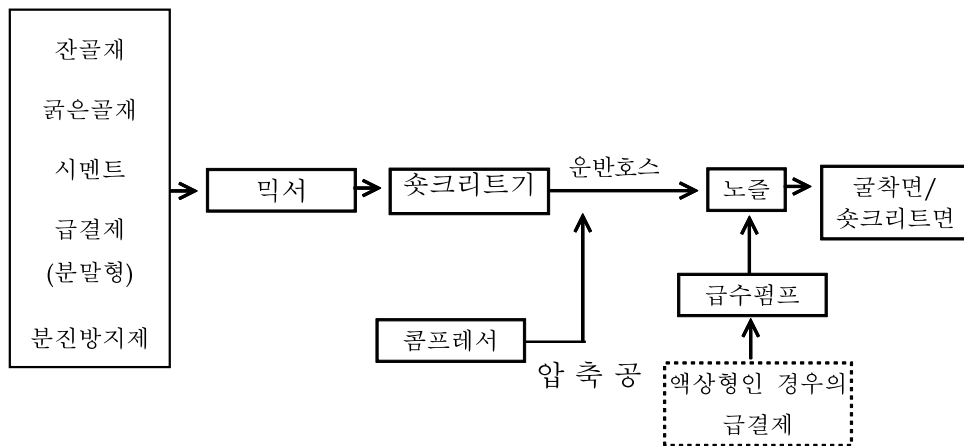
2.1.2 보강재료에 따른 구분

숏크리트의 취성파괴 특성을 보완하고 인성(Toughness)을 확보하기 위하여 강섬유

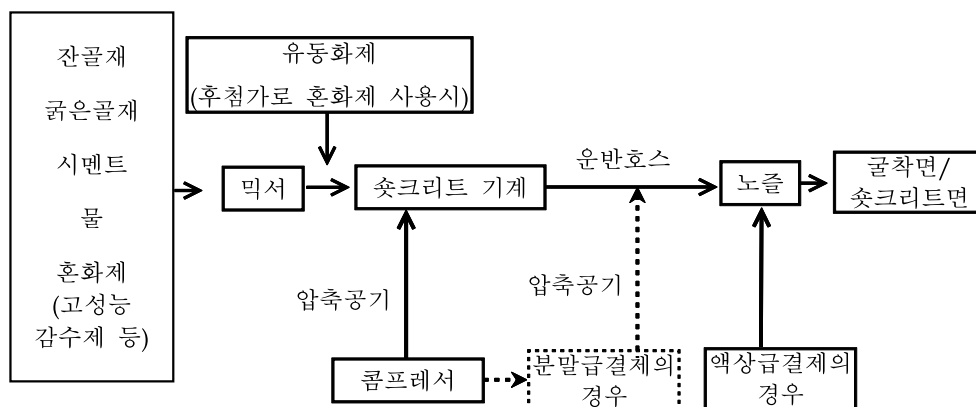
(Steel Fiber) 또는 철망(Wire-Mesh)이 사용될 수 있다. 최근 들어서는 부식으로 인한 내구성 저하를 방지하고 높은 인성을 확보할 수 있는 고성능의 합성섬유(Synthetic Fiber)가 일부 활용되고 있다. 대표적인 합성섬유로는 폴리프로필렌(Polypropylene) 섬유를 들 수 있다.

2.1.3 성능에 따른 구분

-shotcrete에 요구되는 성능에 따라 일반강도 shotcrete와 고강도(또는 고성능) shotcrete로 구분할 수 있다. 일반 shotcrete는 재령 28일 압축강도 기준이 21MPa인 현행의 shotcrete를 의미하며, 고강도 shotcrete는 재령 28일 압축강도가 35MPa 이상인 shotcrete를 의미한다. 일반적으로 고강도 shotcrete는 내구성이 우수하므로 터널 지보재를 영구지보재로 적용하고 콘크리트라이닝을 생략하는 NMT(Norwegian Method of Tunnelling)과 같은 싱글셀 터널에서는 고성능 shotcrete(High-Performance Shotcrete)로 불리기도 한다. 고강도 shotcrete의 적용 목적과 적용 분야는 「가~마」와 같다.



(a) 습식



(b) 습식

그림 15. shotcrete 타설 흐름도



표 17. 숏크리트 타설 방법에 따른 비교

구 분	건 식	습 식
콘크리트의 품질	노즐에서 물과 재료가 혼합되기 때문에 품질은 작업의 숙련도, 능력에 따라 좌우된다.	물을 혼합한 각 재료들을 미리 정확하게 계량하고, 또 충분히 혼합할 수 있으므로 품질관리가 용이하다.
작업의 제약	재료의 공급에 제한을 받지 않는다.	재료의 공급에 제한을 받는다.
압송거리	길다	짧다
분 진	비교적 많다	적다
소요 공기량	적다	많다
공 기 압	크다	작다
기계의 크기	작다	비교적 크다

- 가. 콘크리트라이닝을 설치하지 않는 경우
- 나. 터널의 조기 안정화가 요구되는 경우
- 다. 장기내구성이 요구되는 목적구조물로서 활용되는 경우
- 라. 대단면 터널에서 경제성과 시공성 향상을 목적으로 하는 경우
- 마. 안전성, 시공성, 경제성 향상을 목적으로 하는 경우

2.2 숏크리트의 선정

숏크리트 설계에 있어서는 그 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여 배합, 강도, 두께 등을 결정할 필요가 있으나, 지보재로서 충분한 기능을 발휘하기 위하여 「①.~⑥」과 같은 요건을 만족시킬 수 있도록 설계해야 한다.

- (1) 작용하중에 대해 충분한 강도 확보
- (2) 조기에 필요한 강도 발휘
- (3) 지반과 충분한 부착성 확보
- (4) 충분한 내구성을 확보하여 터널의 공용기간동안 소요의 기능 발휘
- (5) 반발률 및 분진발생량 최소화
- (6) 평활한 굴착면을 확보하여 방수 및 배수시공 용이

숏크리트 공법선정은 터널연장, 굴착단면크기, 굴착방법, 용출수, 작업효율, 품질관리, 작업환경 및 공해, 반발률 등을 고려하여 선정해야 한다.

습식 숏크리트는 건식에 비해 분진이 거의 발생하지 않으므로 작업환경이 개선되고, 품질관리가 확실하며, 반발률 감소, 시공능력 향상으로 경제적으로 유리하다. 또한, 습식공법에 의한 기계화 시공은 건식공법보다 시공성, 환경 측면, 경제성 등에서 충분한 효과가 있으나 터널의 굴착규모와 작업조건에 맞는 타설방법을 선정해야 한다.

3. 숏크리트의 배합과 품질

3.1 숏크리트의 배합

숏크리트는 콘크리트와는 달리 일반적으로 적용할 수 있는 배합 설계법이 확립되어 있지 않으나, 터널지보재로서 필요한 강도를 얻을 수 있도록 배합을 결정할 필요가 있으며, 그 절차는 <그림 17>과 같다. 숏크리트용 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것을 원칙으로 하며 잔골재는 입경 0.1mm 이하의 세립물을 포함하지 않아야 하고 굵은골재의 최대 입경은 10mm 이하가 되어야 한다. 굵은골재 및 잔골재의 규격, 입도기준과 재료별 배합비율은 설계시방배합에 따라야 하며 현장배합시험 결과에 따라 조정해야 한다. 재료별 배합은 중량배합으로 하여야 하며, 섬유를 혼합할 경우에는 섬유가 숏크리트에 균질하게 분포될 수 있도록 혼합해야 한다. 지보재로서 숏크리트에 요구되는 성능은 「①~④」와 같으며, 이와 같은 숏크리트 요구 성능을 만족시키기 위한 재료 선정과 배합 설계시의 주요 대책을 정리하면 <표 18>과 같다.

- (1) 부착된 숏크리트가 즉시 지반을 지지하기 위해 초기강도의 발현이 뛰어나야 한다.
- (2) 장기간에 걸쳐 지반을 지지하고 터널을 구조체로서 유지하기 위해 충분한 장기강도를 가져야 한다.
- (3) 지반과 일체화되기 위해 부착력이 뛰어나야 한다. 또한 용출수 구간에서도 양호한 부착력이 얻어질 수 있어야 한다.
- (4) 리바운드와 분진의 발생이 적어야 한다. 또한 분사 과정에 있어서 재료분리가 일어나지 않아야 하며, 재료 호스가 막히지 않아야 하고, 시공을 양호하게 수행할 수 있는 배합이어야 한다.

또한 숏크리트의 성능을 좌우하는 주요 배합조건들을 요약하면 <표 19>와 같다.



표 18. 슛크리트에 요구되는 성능과 그에 따른 주요 배합설계 대책

요구 성능	세부적인 요구 성능	주요 대책
노즐까지의 양호한 압송 성능	재료호스가 막히지 않아야 함	재료분리가 발생하지 않는 콘크리트
	맥동이 발생하지 않아야 함	균질한 콘크리트(압송기계의 선정)
노즐에서의 균질 혼합성	안정적이고 연속적인 콘크리트 공급	정상적인 콘크리트 압송
	급결제와 물의 연속적인 첨가	분산성이 좋은 재료의 적용
	노즐부분에서의 양호한 혼합	노즐부의 개량
리바운드와 분진의 제어	최대골재크기의 제한	조골재의 입도 및 최대크기의 변경
	분리저항성이 높은 콘크리트	미립분, 증점제 등의 첨가
	재료의 안정성과 연속공급	일정 이상 품질의 콘크리트 공급
	안정적인 분사	숙련된 노즐맨 등
낙반방지와 초기강도	초기강도의 향상(급결제)	적절한 급결제의 선정
	분사각도, 속도, 분사량의 제어	분사방법의 선정
	타설면의 요철	배합과 분사방법의 선정
장기강도와 내구성	결합재의 응결	급결제의 성능
	혼화재료 등에 의한 내구성 개선	적절한 혼화재료의 사용
	분사에 의한 채움 효과	계획적인 연속 분사 수행

표 19. 주요 배합조건에 따른 슛크리트의 성능

요구 성능	조골재 최대치수		세골재율 (S/a)		단위 시멘트량		단위수량		급결제 첨가율	
	대	소	대	소	대	소	대	소	대	소
장기 강도	증가	저하	-	-	증가	저하	저하	증가	저하	증가
초기 강도	-	-	-	-	증가	저하	저하	증가	증가	저하
부착 특성	-	-	증가	저하	증가	저하	저하	증가	증가	저하
압송성	호스 파열 등	순조 로움	순조 로움	호스 막힘 등	맥동 등 발생	-	-	-	-	-
분진	-	-	저하	증가	증가	저하	저하	증가	증가	저하
리바 운드	증가	저하	저하	증가	저하	증가	저하	증가	저하	증가
경제성	양호	악화	악화	양호	악화	양호	-	-	악화	양호

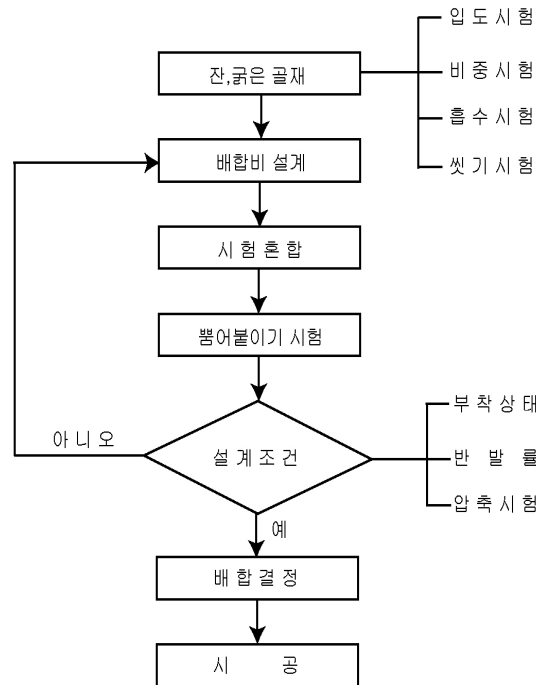


그림 16. 슛크리트 배합비 결정 흐름도

스�크리트의 배합설계시 유의해야 할 사항들을 정리하면 「①~④」와 같다.

① 시멘트량

<그림 18>에 제시한 바와 같이 시멘트량이 너무 적으면 리바운드가 증대하여 초기 강도의 발현이 늦어지고, 너무 많으면 비경제적으로 될 뿐만 아니라 호스에 폐색, 분진발생량이 증가하는 등 시공성이 떨어진다. 따라서 단위시멘트량은 $350 \sim 400 \text{kg/m}^3$ 이 적당하며, 용출수가 있는 경우는 400kg/m^3 정도를 사용하는 경우가 많다.

② 물-시멘트비(W/C)

단위수량이 증가하면 습식의 경우 기계 내의 유동성은 좋아진다. 그러나 수량이 너무 많으면 강도가 저하되고 한 번 부착한 콘크리트가 쉽게 떨어진다. 한편, 너무 적으면 분진이 발생하고 리바운드량이 증대된다. 일반적으로 물-시멘트비는 45~55%의 범위에서 사용하고 있다.

③ 골재

강도 및 밀도가 큰 콘크리트를 얻기 위해서는 입도가 적절한 골재를 사용하는 것이 중요하다. 잔골재율(일명 : 세골재율)이 너무 적으면 리바운드량이 증대하고 너무 크면 강도가 저하된다. 일반적으로 잔골재율(S/a)은 55~60%, 조립율은 2.8~3.2 정도의 것을 사용해야 한다.

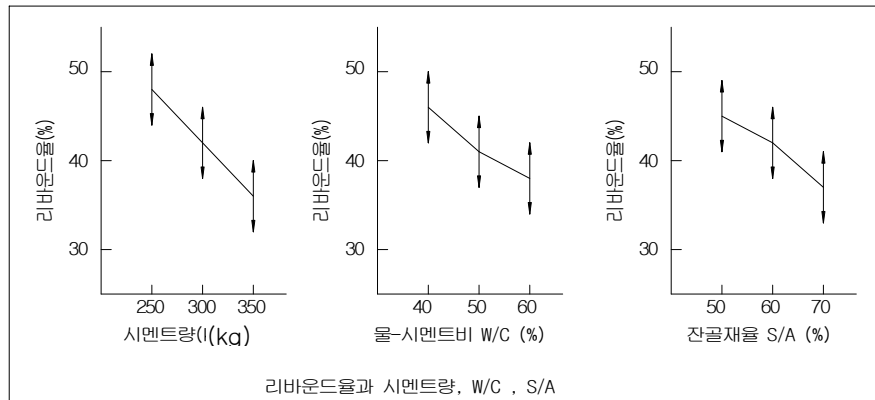


그림 17. 리바운드율과 시멘트량, 물-시멘트비(W/C), 잔골재율(S/a)

④ 재료배합

췌크리트 재료의 계량은 배합에 의거해서 정확히 실시되어야 한다. 계량은 원칙적으로 중량계량이 바람직하지만, 용적계량에 의한 경우는 중량이 소정의 범위에 들어 있는 것을 장기적으로 확인할 필요가 있다. 계량시에 발생하는 오차는 「가~다」와 같다.

가. 계량기 자체의 오차

나. 계량장치의 기계적 동작 오차

다. 재료공급의 동작 오차

따라서 정하중 검사 및 동하중 검사를 실시하는 것이 필요하며, 이때 용적변경장치, 표면수 보정 장치, 기타 관리기구 등에 대해서도 같이 검사해야 한다. 반죽은 계량된재료가 균등하게 혼합되도록 충분히 하는 것이 중요하다. 반죽에 사용하는 믹서는 배치믹서(Batch Mixer)가 일반적이지만, 연속적으로 계량, 반죽, 배출을 할 수 있는 연속믹서(Continuous Mixer)도 사용되고 있다. 기계성능의 향상에 따라 반죽성능은 향상되었기 때문에 어느 쪽 방식(건식, 습식)에 의해서도 큰 차이는 없을 정도로 개선되어 있다. 반죽의 성능은 날개의 마모 등에 의해 변화하기 때문에 검사, 수리, 교환 등을 정기적으로 실시하는 것도 중요하다.

3.2 췌크리트의 품질

췌크리트는 굴착 종료 후 즉시 타설하여 굴착 주변 지반의 강도 열화를 억제해야 하기 때문에, 작업 능률이 좋고 부착된 콘크리트가 자중에 의해 굴착면으로부터 떨어지지 않으며, 발파 등의 진동에 의해 건딜 수 있도록 조기에 경화시켜 강도를 발현시킬 필요가 있다. 또한, 장기적으로 지반을 지지하고 구조물로서의 기능을 유지하기 위해서는 필요한 강도 및 내구성을 가져야 한다. 췌크리트의 강도는 뿔어붙이기 방식, 시공방법, 타설 위치, 췌크리트 두께, 지반조건, 기온, 수온 등에 따라 달라진다.

췌크리트의 재령 28일 설계기준강도는 일반췌크리트의 경우 21MPa이상, 고강도췌크리트의 경우 35MPa 이상이고 재령 1일 강도는 10MPa이상이 되도록 해야한다.

현재 적용강도 예는 <표 20>과 같다. 숏크리트의 장·단기 강도 특성을 <그림 18>에 나타내었다.

설계강도 결정시 고려사항은 「①~③」과 같다.

- ① 지반 강도 및 지보재로서 기능
- ② 배합재료의 품질 및 조달의 용이도
- ③ 시공성 및 숏크리트 타설 작업의 숙련도

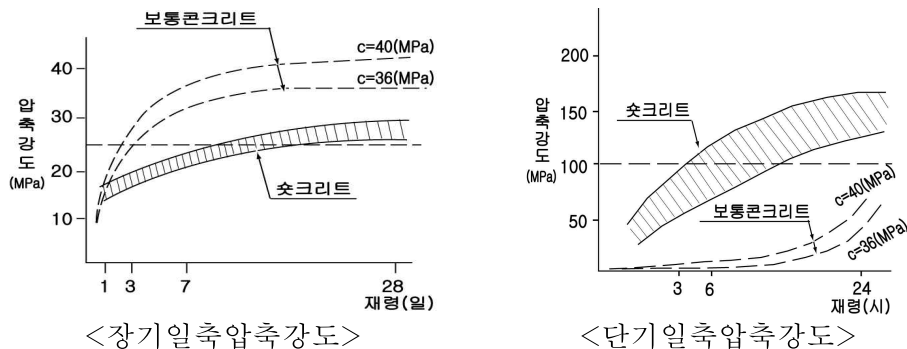


그림 18. 숏크리트 장·단기 강도 특성

표 20. 숏크리트 적용강도(28일 강도)의 적용 예

구 분	서울시지하철 건설본부	터널표준시방서	유 럽
설계기준강도(MPa)	21	21	25

3.3 숏크리트의 두께

숏크리트의 설계두께는 그 사용목적, 지반조건, 단면의 크기 등에 따라서 결정된다. 경암에서와 같이 지반압이 전혀 작용하지 않고 암괴의 붕락방지 만을 목적으로 숏크리트를 시공하는 경우에는 설계두께를 최소로 하는 것이 좋다. 또한, 팽창성지반과 같이 변형이 크게 발생하고 작용하는 지반압이 큰 경우, 미고결지반의 경우, 주변에 대한 터널 굴착 영향을 줄여야 할 필요가 있는 경우 등에는 설계두께를 비교적 크게 할 필요가 있다. 현재까지 숏크리트 두께를 결정하기 위해 제시된 이론적·해석적인 기준은 없으며, 숏크리트의 작용효과를 고려하고 지금까지의 설계, 시공 실적을 감안하여 설계두께를 경험적으로 결정하여 해석적인 검증을 실시하여 확정하고 있는 실정이다. 지보재로 사용되는 숏크리트의 구조적 역할 및 시공성을 고려하여 전체 및 1회 타설 최소두께는 50mm 이상으로 하는 것이 바람직하다. 설계두께를 고려하는 개념으로는, 터널단면 어느 부분의 두께도 설계두께 이상이 되어야 한다는 최소두께 개념과, 단면 내의 평균두께가 설계두께 이상이면 부분적으로 설계두께를 만족하지 않아도 좋다고 보는 평균두께 개념이 있다. 일반적으로 설계두께는 최소두께 개념에 의해 결정되나 경암지반에서는 굴착면의 굴곡이 심하기 때문에 최소두께 개념을 적용하면 숏크리트량이 필요 이상으



로 증가할 우려가 있기 때문에 평균두께 개념에 의해 설계두께를 결정하는 경우가 있다. 일반적인 표준지보패턴에서 슛크리트 두께는 <표 19>, <표 20>를 참고하기 바람직하며 막장부 임시 보강용 또는 단면의 크기가 소형이며 여굴이 거의 없고 굴착면이 고른 경우나 평균두께 개념에서 부분적으로 안정성에 지장이 없는 범위 내에서는 50mm 이하(이 경우 최소 30mm)로 할 수도 있다.

3.4 급결제

급결제는 작업능률을 높이고 부착된 슛크리트가 자중에 의해 박락하는 것을 방지하는 효과와 작업성을 좋게 하기 위해서 사용된다. 급결제의 사용량은 환경과 압축강도등을 고려하여 시멘트 중량의 5~10%를 표준으로 기온, 지반조건, 용출수, 급결제의 특성에 따라 조정해야 한다. 급결제는 슛크리트의 조기강도 발현효과를 높이고 부착에 의한 반발률 감소 등의 시공성을 좋게 하기 위하여 「①~⑨」와 조건이 만족되어야 한다.

- ① 콘크리트의 응결경화를 촉진시키며, 장기강도에 영향을 주지 않을 것
- ② 인체에 영향이 적으며, 조기강도를 발현시킬 것
- ③ 콘크리트의 부착성을 높일 것
- ④ 용출수 출현시 충분한 효과를 거둘 것
- ⑤ 급결제량이 다소 변화하더라도 응결시간이 급변하지 말 것
- ⑥ 강지보재를 사용하는 경우는 강재를 부식시키지 않을 것
- ⑦ 사용상의 안전성이 확보되어 있으며, 흡수성이 적고 보존성이 좋을 것
- ⑧ 반발률을 감소시킬 것
- ⑨ 알칼리-골재반응을 일으키지 않아야 할 것

급결제를 형상에 따라 분류하면 액상형과 분말형으로 구분할 수 있다. 습식 슛크리트에는 액상형급결제가, 건식 슛크리트에는 분말형 급결제가 사용되는 것이 일반적이지만 반드시 그런 것은 아니다. 습식 슛크리트에 분말형 급결제가, 그리고 건식 슛크리트에 액상형 급결제가 사용되는 경우도 많다. 특히 결합재 광물계 급결제와 같이 재료 특성상 액상형이 존재 할 수 없는 경우도 있다. 결제를 성분으로 분류하면 실리케이트계(Silicate), 알루미늄이트계(Aluminate), 알칼리프리계(Alkali-Free), 결합재광물계 등으로 구분할 수 있으며, 슛크리트를 영구부재로 설계할 때는 장기적인 내구성 확보가 가능한 급결제를 사용해야 한다. 급결제 각각의 특성을 정리하면 <표 21>과 같다.

표 21. 급결제 종류별 주요 특성 비교

구분	실리케이트계 ¹⁾	알루미네이트계 ²⁾	알칼리프리계 ³⁾	결합재광물계 ⁴⁾
성분	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{NaAlO}_2, \text{KAlO}_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ $4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$
급결 기구	· 자체의 겔화에 의한 풀효과(Glue Effect)	· 결합재의 수화 반응 촉진	· 결합재의 수화 촉진 반응 및 에트링자이트 형성으로 급격한 응결, 경화	· $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 및 SO_3 와 반응, 에트링자이트 형성으로 급격한 응결, 경화
인체 유해 성	· pH 11~13의 강염기성으로 호흡시 인체내 축적	· pH 14의 강염기성으로 작업시 화상 위험	· 저자극성(pH 2.5~8)	· 결합재와 유사한 자극성
환경 오염 성	· 장기적으로 물유리가 분해, 용출되어 환경오염 발생	· 강염기성으로 용출수에 의한 환경오염 발생	· 환경오염 적음	· 환경오염 적음
장점	· 시공성 우수 · 결합재의 품질변화에 민감하지 않음 · 알루미네이트계 와 같은 사용량 사용시, 알루미네이트계 보다 장기강도 양호	· 시공성 우수 · 실리케이트계 보다 초기강도 발현에 우수하고 리바운드가 적음 · 용출수 부위에도 사용 가능	· 액상이므로 분진량이 적음 · 수화반응에 작용하여 빠른 응결특성 · 초기강도 및 장기강도 발현 우수	· 용출수부위에서 숏크리트 타설이 용이 · 다른 급결제를 사용할 경우보다 결합재 사용량을 낮출 수 있음 · 초기강도 및 장기강도 발현 우수
단점	· 리바운드 및 분진량이 많음 · 사용량 과다로 인한 장기강도 저하(40~60% 이상) · 초기강도 발현에 취약 · 지하수가 많은 조건에 취약	· 강염기성으로 작업자의 안전 위험 · 실리케이트계보다 최종강도가 더 급격히 감소 · 결합재의 품질에 민감 · 30~50% 이상의 장기강도 감소 발생 가능	· 알루미네이트 급결제보다 고가 · 콘크리트의 단위수량관리에 유의해야 함 · 약산성인 관계로 장비의 급결제 펌프 개조 및 일부 라인의 교체 필요	· 알루미네이트 급결제보다 고가 · 분말형이므로 노출에 급결제를 공급하기 위한 별도의 장치 필요 · 숏크리트 타설 시간이 액상에 비해 오래 걸림

- 1) 소듐실리케이트가 주성분인 알칼리성 액상급결제
- 2) 소듐알루미네이트 또는 포타슘알루미네이트가 주성분인 알칼리성 액상급결제
- 3) 알루미늄 화합물을 주성분으로 하고 알칼리(Na_2O , K_2O)함량이 1% 이하인 급결제
- 4) 결합재광물에 알칼리(Na_2O , K_2O)를 포함하지 않는 무기염을 첨가하여 제조한 분말급결제



4. 섬유보강 슛크리트

섬유보강 슛크리트는 강도증가를 포함한 지보능력의 향상을 위해 기존의 일반적인 슛크리트에 섬유(Fiber), 강섬유(Steel Fiber), 유리섬유(Glass Fiber), 플라스틱 섬유(Plastic Fiber) 등을 첨가한 슛크리트로서, 이의 사용에 있어서는 시험시공 등을 통하여 효과와 안정성, 경제성을 충분히 검토한 후 사용해야 한다.

강섬유보강 슛크리트는 일반 슛크리트에 비하여 「①~④」와 같은 특성이 있다.

- (1) 열의 발생에 대한 저항력이 크고, 또 균열의 확대에 대한 저항력이 크다.
- (2) 인장강도, 휨강도 및 전단강도가 높아진다(<그림 19> 참조).
- (3) 동결·융해 작용에 대한 저항력이 크다.
- (4) 내마모성, 내충격성 및 내부식성이 크다.

강섬유를 혼입하여 타설한 슛크리트의 전단강도는 50~70% 정도 증가되고, 인장강도나 휨강도는 20~40% 정도로 증가하며, 압축강도는 약간 밖에 증가되지 않는 것으로 보고되고 있다. 따라서 지보재로서 강섬유를 사용하는 것은 주로 인장강도의 증대를 목적으로 해야 한다. 그러나 이러한 강섬유를 사용할 경우, 절단(절단기 이용), 갈아냄(그라인더이용), 드레인보드 설치, 일반 모르타르로 강섬유 피복 등과 같은 방법으로 강섬유에 의한 방수막 찢어짐 방지대책을 강구해야 한다.

강섬유보강 슛크리트는 설계휨강도와 휨인성(등가휨강도)을 기준으로 배합설계 해야한다. 일반적으로 사용하는 강섬유의 인장강도는 700MPa 이상이어야 하고, 길이는 40mm 이하이고 지름은 0.3~0.6mm 이며, 길이와 지름의 비는 40~60 정도이다. 슛크리트에 첨가되는 강섬유의 양은 전체 용적의 1~2% 정도 혹은 전체 중량의 3~6% 정도가 적당하며 용적비 2%를 넘어서면 재료준비 및 타설이 어려워지므로 시공성이 떨어진다. 실제 터널 벽면에 타설된 강섬유의 혼입량은 30kg/m³ 이상이 되어야 한다(건설교통부, 2007). 또한, 강섬유는 그 길이(l) 및 길이와 지름의 비(l/d)에 따른 한계 혼입률을 초과하면 강섬유가 휘거나 부러지는 현상을 보이므로 이를 고려해야 한다. <그림 20>은 강섬유의 한계 혼입률과 섬유 길이와의 관계를 나타낸 것이다.

강섬유의 혼입률은 일반적으로 용적비로 따져서 0.5~1.5%범위 내에 있다. 강섬유 혼입량 시험은 터널내에 시공된 슛크리트에서 직접 코어(Φ100mm이상)를 채취한 후 KS F 2781 슛크리트용 강섬유보강 콘크리트의 강섬유 혼입률 시험방법에 따라 시험을 실시한다. 단, 적용된 슛크리트가 목표로 하는 휨강도, 휨인성을 만족할 경우 혼입량 검사를 생략할 수 있다.

강섬유보강 슛크리트는 갱구부 및 파쇄대 등 지반조건이 나쁘고 큰 지반압이 작용하는 경우나 교차부, 확폭부 등과 같이 구조적으로 큰 응력이 발생하는 경우에 주로 사용된다. 일반적인 무보강 슛크리트는 무근 콘크리트와 같이 인장응력이나 변형에

대해 취약한 측면을 보이며 취성거동을 나타내게 된다.

강섬유는 이러한 단점을 보완하기 위해 첨가되는 것으로서, 숏크리트의 균열에 대한 저항력이나 연성, 에너지 흡수성, 충격에 대한 저항력 등을 향상시키며, 무보강 숏크리트와 비교하여 볼 때 강섬유가 첨가된 숏크리트는 균열발생률이 현저하게 낮아진다. 일반적으로 무보강 숏크리트는 철망과 함께 시공되는데, 철망이 사용된 숏크리트와 강섬유보강 숏크리트의 거동에 대한 비교를 <그림 21>에 나타내었다.

압축강도에 있어서는 각각의 경우 별다른 차이가 발생하고 있지 않으나, 항복하중을 넘어선 이후나 최초 균열발생 이후에는 많은 차이가 나타나고 있음을 <그림 21>로부터 알 수 있다.

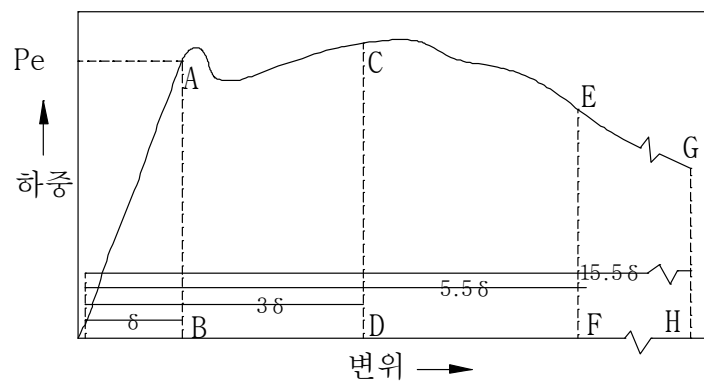


그림 19. 강섬유보강 숏크리트의 하중-변위 특성 곡선

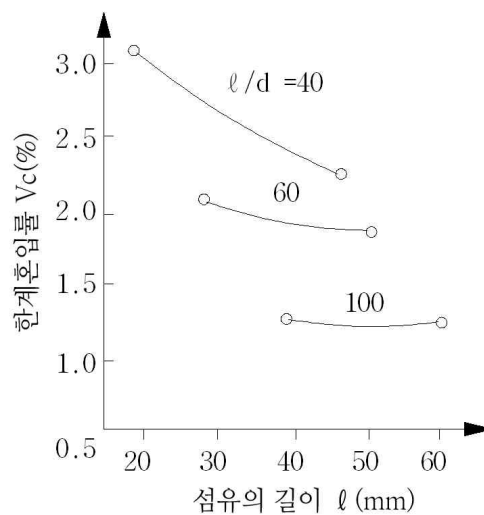


그림 20. 강섬유의 길이에 따른 한계 혼입률

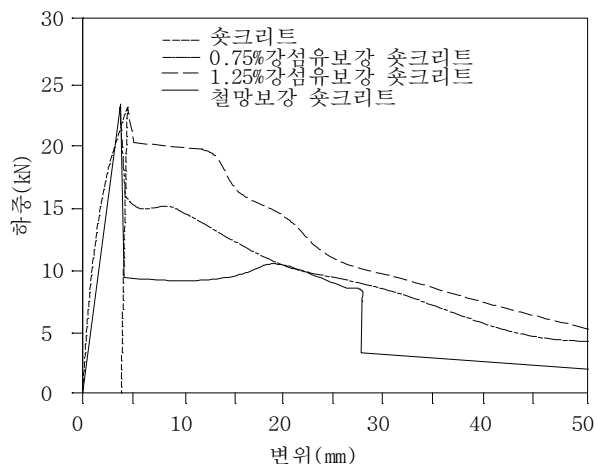


그림 21. 철망과 강섬유를 사용한 경우의 하중-변위 관계

5. 췁크리트의 시공 및 장비계획

5.1 췁크리트의 시공

굴착면으로부터 췁크리트의 부착을 저해하는 뜯돌 등의 요인들을 제거하여야 하고, 잔골재는 호스의 폐쇄가 생기지 않고 먼지의 발생이 적도록 표면수를 함유해야 한다. 굴착면이나 이미 타설한 췁크리트면에 용출수가 있을 경우에는 용출수대책을 강구한 후 췁크리트를 타설하여야 하고, 용출수대책으로는 배수관을 이용한 배수, 결합재량이나 급결재량의 증가, 사용용출수량의 감소 등의 방법을 적용할 수 있다.

강지보재가 있는 경우에는 췁크리트와 강지보재가 일체가 되도록 주의해서 뿔어붙여야 하며, 췁크리트를 타설한 후 저온, 건조, 급격한 온도변화 등 해로운 영향을 받지 않도록 보호하고 양생을 해야 한다. 작업장 주위의 조명은 충분한 조도를 유지하여야 하며 췁크리트 기계 작업자와 타설 작업자간의 거리는 상호 수신호가 가능한 거리 이내이어야 한다. 췁크리트의 타설 작업시에는 철망, 철근, 강지보재 등의 배면에 공극이 발생되지 않도록 하여야 하며, 철망, 철근은 췁크리트 타설로 인하여 이동, 진동 등이 생기지 않도록 고정해야 한다. 췁크리트의 1회 타설 두께는 100mm 이내가 되도록 타설하고, 췁크리트가 지반과의 밀착은 물론 나누어 시공된 췁크리트 각층 상호간도 밀착되도록 타설해야 한다. 췁크리트 타설 작업장은 분진처리를 하여야 하며, 췁크리트 타설시 발생된 반발재는 굳기 전에 제거해야 한다.

췁크리트는 다른 목재지보공 및 강재지보공과 비교해서 시공단면의 크기나 시공시기에 제약이 적고 굴착 후 즉각 형틀 등을 사용하지 않고 시공할 수가 있다. 빠른 시기에 시공된 췁크리트는 암반의 초기 변형을 억제하고, 낙석(Spalling) 등을 제어할 수 있기 때문에 다른 막장부 작업의 안정성을 향상시키는 효과가 있다.

따라서 굴착면을 덮는 통상의 뿔어붙이기 뿐만 아니라 막장부의 자립성을 높이기

위한 막장면 뿔어붙이기나 빠른 시기에 단면 폐합을 도모하기 위한 가설 인버트(Temporary Invert) 등에도 사용될 수 있다. 숏크리트는 터널의 지보로서 중요하며, 또한 고가의 재료이기 때문에 합리적인 시공을 하기 위하여 「①~④」의 사항에 유의해야 한다.

5.1.1 타설면의 처리 및 방호

타설면에 먼지, 흙, 부석 등이 남아 있는 것은 암반과 숏크리트와의 부착을 지극히 손상시키기 때문에 뿔어붙이기 전에 청소를 하는 것이 중요하다. 또한, 벽면은 가급적 평면이 되도록 마무리하며 적당한 습윤 상태로 유지하는 것이 반발율이나 분진의 발생을 억제하는 것에 효과적이다. 암반이 토사에 가까운 연약상태에서는 숏크리트 타설 압력에 의해 암반이 교란되는 경우가 있다. 이와 같은 암반에서는 시트 등으로 암반 표면을 방호하여 대처하는 경우도 있다.

5.1.2 숏크리트 타설 압력

반발량이 적은 양질의 콘크리트를 얻기 위해서는 뿌림재료의 암반에 부딪히는 충돌 속도가 적당해야 한다. 따라서 압송거리, 배관지름, 재료의 상태, 암반의 상태 등을 고려하여 적절한 숏크리트 타설 압력을 조절하고 이것을 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 건식 숏크리트 타설의 경우 공기압은 노즐 상단에서 0.1~0.2MPa, 숏크리트 타설 기계의 압력에서는 0.2~0.4MPa 정도가 양호한 결과를 얻을 수 있다.

5.1.3 숏크리트 타설 각도와 거리

숏크리트 타설 각도는 가급적 숏크리트면에 직각에 가깝도록 뿔어붙이는 것이 반발량 감소를 위해 효과적이다. 또한, 노즐과 숏크리트면과의 거리는 숏크리트 타설 방식, 숏크리트 타설 압력, 암반의 상태, 숏크리트 재료의 배합 등에 의해 다른 경우도 있지만 대략 0.75~1.25m 정도가 적당하며 1m 떨어짐이 가장 리바운드율이 작다(<그림 22> 참조). <그림 23>은 숏크리트 타설 뿔어붙이기 위치와 리바운드율과의 관계를 나타내며 숏크리트 타설 위치가 수평보다 위를 향함에 따라 리바운드율은 크게 되는 경향이 있다. 또한, 아치부에서는 리바운드율이 10~20% 정도 차이가 있으며, 숏크리트의 자중 때문에 뿔어붙인 직후에 떨어지는 경우가 있으니 주의해야 한다. 현장에서는 수평으로부터 천단에 걸쳐 급결제량을 증가하여 숏크리트의 급결성을 높이는 경우도 있다.

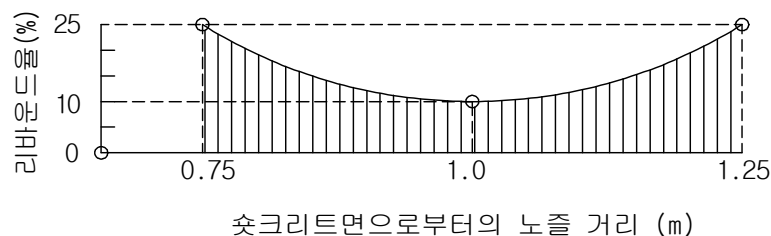


그림 22. 리바운드율과 노즐거리와의 관계

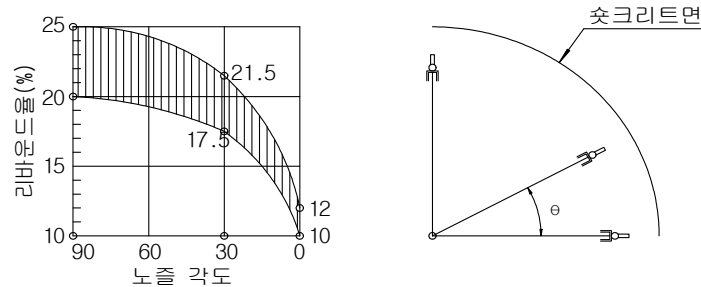


그림 23. 리바운드율과 각도와의 관계

5.1.4 슛크리트 타설두께와 횡수

1회에 타설되는 슛크리트 두께가 너무 크면 박락현상 등이 발생하기 쉽기 때문에 적당한 두께로 유지할 필요가 있다. 따라서 일반적인 슛크리트 두께에 대해서 1~2회의 타설 횡수로 마무리되는 경우가 많다. 슛크리트 타설 횡수와 리바운드율의 관계는 1회의 슛크리트 리바운드율이 큰 것에 대해서, 2회째에는 감소하는 경향이 있기 때문에 얇은 슛크리트 두께의 경우 리바운드율이 크게 된다. 습식에서는 아치부의 부착이 잘 되도록 주의를 해야 한다.

5.2 슛크리트의 장비계획

스�크리트 타설기계는 내압에 대한 안전성, 내구성은 물론 양호한 기계적 특성 보유 유무, 시공조건 등을 검토하여 소정의 배합재료를 연속하여 압송할 수 있는 것을 선정해야 한다. 또한 굴착면 인접부까지 접근이 가능하여야 하며 요구되는 기능을 발휘할 수 있는 부속기기를 갖추어야 하고, 슛크리트 타설 방법은 지반조건, 터널 연장, 굴착방법, 용출수의 유무, 경제성 등을 검토하여 건식 또는 습식타설방법을 선정해야 한다.

스�크리트 타설기계 종류에는 챔버형, 로터형, 펌프형 등 많은 종류가 있으며, 슛크리트 재의 반송에 의해 관내폐쇄 등 내압이 일시적으로 고압으로 되는 경우가 있으므로 내압에 충분히 안전한 것으로 하고, 특히 호스설치부, 기기의 연결부, 노즐 등의 취급에 주의할 필요가 있다.

스�크리트 타설기계에 재료를 균등하게 연속해서 압송가능한 기능이 없으면, 소요의 품질과 양호한 마무리면이 얻어지지 않을 뿐만 아니라 작업의 능률에도 영향을 준다. 특히, 건식에서는 연속한 균등한 압송이 이루어지지 않으면 균질한 슛크리트를 얻는 것이 곤란할 뿐만 아니라 대량의 분진발생 원인이 된다.

스�크리트 혼합기계에는 경동식, 강제식, 연속식 등의 각종 방식이 있으며, 혼합기계의 선정에 있어, 건식·습식 등의 뿜어붙임 방식과 정착식·이동식 혹은 갱내·외 등의 설치장소의 시공조건을 충분히 검토할 필요가 있다.

급결제 투입장치에 대해 분말형, 액상 등의 급결제 및 숏크리트 타설기계의 종류에 따라, 첨가율을 임의로 조정가능하고 연속해서 일정량을 공급가능한 장치 등이 필요하다.

6. 숏크리트의 품질관리

숏크리트는 설계기준강도가 발휘되도록 하고 반발률을 적게 하며 양호한 작업성을 갖도록 관리해야 한다. 숏크리트는 시공 중 및 시공 후 <표 22>과 같은 사항을 관리해야 한다.

표 22. 숏크리트의 현장 품질관리 사항

종별	관리항목		관리내용 및 시험	시험빈도	비 고
일상 관리	배 합		배합비 및 사용량의 검사	매 타설시	현장배합시험물 기준
	시공상태		숏크리트의 부착, 성상, 반발, 분진발생등의 관찰	매 타설시	
	두 게		핀 등에 의한 확인	매 타설시	
	변 상		변형 및 균열 등의 관찰	매 일	현장계측결과에 따라 대책을 강구
정기 관리	두 게		숏크리트 두께의 검측	터널연장 20m 마다	아치부 5개소 측벽좌우 각 1개소
	강 도	재령1일 강 도	압축강도시험	· 빔 거푸집 : 1회/200m ²	
		재령28일 강 도	압축강도시험 휨강도 및 휨인성 시험 (보강섬유를 사용할 때)	· 빔 거푸집 : 1회/200m ² · 코어채취 : 1회 /1,000m ²	빔 거푸집 (KS F 2422) 직접코어채취 압축강도시험 (KS F 2405) 휨강도시험 (KS F 2408) 휨인성시험 (KS F 2566)
기 타	강 도		단기재령 압축강도 시험 장기재령 압축강도 시험	· 공사착수전 · 골재원, 급결제 및 현장 배합설계가 바뀔 때마다 1회 · 필요할 때마다	빔 거푸집 (KS F 2422)
	반 발 률		반발률의 측정		

6.1 숏크리트의 두께관리

숏크리트의 두께는 시공시에는 핀 등을 이용하여 측정하고 정기관리를 위해서는 천공하여 측정해야 한다. 숏크리트의 두께는 설계두께를 기준으로 하여 검측된 평균두



께가 설계두께 이상이어야 하며 검측된 최소두께는 설계두께의 75% 이상이어야 한다. 숏크리트의 두께 측정결과 두께가 설계두께에 미달되는 구간은 좌우 1m 범위 내에서 재측정하여 판정하고 재측정결과 판정기준에 미달하면 표본면적으로 대표된 전면적을 설계두께 이상으로 보완하여야 하며 보완시공의 최소두께는 30mm 이상으로 해야 한다.

6.2 숏크리트의 강도시험

시공전의 강도시험용 시료성형은 콘크리트의 휨강도 시험용 몰드(150mm×150mm×530mm : KS F 2422)를 사용하여 반발재가 유출되도록 70° 경사지게 한 후 뿔어붙인다. 뿔어붙인 후 몰드의 윗부분을 조심하여 평탄하게 고르고 압축강도시험 및 휨강도시험용의 공시체를 사용하도록 한다.

시공후 압축강도시험용의 시료채취는 숏크리트 타설 후 28일 경과시 코어시추머신(Core Boring Machine)을 이용하여 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 또는 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 의 규격으로 1회 시험당 3개씩의 원주형 시료를 채취하고 시료의 양단면은 콘크리트 절삭기 등으로 직각으로 절단하거나 KS F 2403에 준하여 캡핑해야 한다.

굳지 않은 숏크리트의 시간에 따른 강도발현 상태를 파악하기 위하여 단기 및 장기 재령강도시험을 시행하여야 하며 단기 재령강도시험은 24시간, 장기재령강도는 28일로 해야 한다. 숏크리트 기준강도는 $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 규격의 성형시료를 기준으로 한 값이며, 시험시료의 크기가 달라질 경우에는 보정하여야 한다. 현장채취코어를 통한 숏크리트의 압축강도 및 강섬유보강 숏크리트의 시험은 1회 시험당 3개의 코어시료를 채취하고, 채취한 모든 시료의 시험강도는 설계강도의 75%보다 작아서는 안 되며, 산술평균강도는 설계강도의 85% 이상이어야 한다. 또한 시료를 성형하는 경우는 3개의 시험결과 중 2개 이상은 설계 강도 이상이어야 하며 나머지 1개는 설계강도의 85%보다 작아서는 안되며, 평균강도는 설계강도 이상이어야 한다.

이때 재령 28일의 강섬유보강숏크리트의 휨강도는 4.5MPa 이상, 그리고 휨인성을 나타내는 등가휨강도는 3.0MPa이상으로 한다. 강섬유 이외의 기타 섬유를 적용할 경우에는 장기 강섬유 보강 숏크리트의 성능기준 이상을 발현할 수 있도록 설계해야 한다.

굳지 않은 콘크리트의 단기 및 장기 재령강도시험에서 미달되는 경우는 재료의 변경 또는 현장배합설계를 조정하여 설계강도를 확보할 수 있도록 해야 한다.

시공된 숏크리트의 재령 28일 압축강도가 1차 시험에서 미달되는 구간은 좌우 5m 범위 내에서 재시험용 코어를 채취하여 판정하고 재시험결과 판정기준에 미달시에는 보완시공 또는 재시공 해야 한다.

숏크리트의 리바운드율(반발률) 측정은 현장에서 숏크리트를 타설하고 바닥에 떨어진 숏크리트(반발재)를 수거, 계량하여 다음 식에 따라 리바운드율을 산출해야 한다.

$$\text{리바운드율} = \frac{\text{반발재의 전중량}}{\text{숏크리트 재료의 전중량}} \times 100\%$$

숏크리트의 강도 관리는 배합, 암반의 상황, 종업원의 기능 등에 좌우되며, 흠어짐이 커서 관리가 곤란한 경우가 많다. 강도의 목표치는 숏크리트의 지보재로서 요구되는 지보효과의 발휘시기를 생각해서 결정해야 한다. 따라서 재령 28일 강도만 관리하는 것이 아니라, 필요에 따라 수일 또는 수시간이란 약령시의 강도로 관리하는 경우도 발생한다. 강도 관리의 구체적인 방법은 「가~라」와 같으며 숏크리트 관리기준 예는 <표 23>와 같다.

표 23. 숏크리트의 관리기준 예(일본)

종 별	시 험 간 격	관 리 항 목	시 험 빈 도	비 고
두 께	랜덤 또는 20~50m 마다	최소 두께 평균두께와 최소두께	1단면 3~5개소 이상	핀 또는 바늘의 ø20~30mm의 전기드릴 등
강 도	50~200m³ 마다	재령 1, 3, 7, 28일 압축강도와 인장강도 및 전단강도	1시험에 대하여 3공시체 이상	ø50~100mm의 코어압축 실린더비 : 2종류

(1) 빔(Beam) 거푸집을 사용하는 경우

시료의 시험은 주로 콘크리트 휨 시험용 빔상 거푸집(150mm × 150mm × 530mm)을 기대어 세워놓고, 이 속에 직접 숏크리트 타설을 실시한 뒤 이를 강도 시험용 공시체로 해야 한다. 이때 끝 판자를 떼어내 리바운드재가 흘러나갈 수 있도록 준비할 필요가 있다. 이와 같은 구형 강도 시험은 유럽 등에서는 일반적이다. 이는 일본의 주류인 원주형 공시체에 의한 시험보다 수치가 20% 정도 상회하는 것에 유의해야 한다.

(2) 코어(Core)에 의한 방법

터널 내에서 실제로 뚫어붙인 콘크리트 또는 패널(Panel) 숏크리트로 부터 코어시추(Core Boring)에 의해 ø50mm×100mm의 원주형 공시체를 채취하여 압축강도시험을 실시해야 한다. 이 방법에는 3일 이상의 재령이 아니면 코어 채취가 곤란한 것으로, 숏크리트 두께가 얇아서 공시체의 높이가 조건에 만족하지 못했을 때의 보정 및 코어채취의 위치 등을 고려해야 한다.

(3) Pull Out에 의한 방법

이 시험은 숏크리트 타설 전에 매설된 핀을 단기의 재령으로 인발하여 파단면적과 인발강도로부터 숏크리트의 전단강도를 구하는 방법이다. 압축강도와와의 관계는 사전에 전단강도와와의 관계를 구해놓고, 이 관계로부터 추정하는 방법을 취하지만 약령(수일 또는 수시간)시에 있어서는 대략 $q_u = 4\tau$ (τ : 전단강도)의 관계에 가깝



다고 알려져 있다. 시험방법은 간단하지만 쏫크리트 두께의 흠어짐 등에 의한 영향이 발생하기 쉽고 강도의 추정에 정확성이 없는 점이 문제이다.

(4) 슈미트 해머(Schmidt Hammer)에 의한 방법

슈미트 해머(Schmidt Hammer)에 의한 반발경도와 압축강도의 상관성을 이용해서 약령(수일 또는 수시간)시의 강도를 추정하는 방법이다. 시험은 뽐어붙이기 후 12시간 후에 핸드그라인더로 반경 500mm 정도의 평평한 면을 만들고 소정의 시간경과 후에 슈미트 해머로 10회 시험을 실시한 예가 있다. 10회의 시험치 평균을 반발경도 R_0 로 하여 $q_u = c_1 + c_2 R_0$ (여기서, c_1 , c_2 는 상수)의 관계로부터 압축강도를 추정해야 한다.

쏫크리트 시공 후 조사는 쏫크리트에 발생한 균열은 이완 응력에 의한 터널 주변 암반의 거동을 나타내므로 이 균열을 관찰하여 대규모의 낙반이나 파괴를 예방하기 위하여 실시하며, 안정성 점검시 또는 균열발생 의심지역은 균열을 관찰하여 기록하고 분석해야 한다. 조사결과 균열이 발생한 곳은 균열의 정도, 발생 원인 등을 고려하여 추가 또는 보완 보강공사를 시행해야 한다.

7. 철망

7.1 철망의 역할

철망의 주된 역할은 쏫크리트와 지반과의 부착력을 증대시키고 쏫크리트에 작용하는 휨응력에 대한 인장 보강재의 역할과 경화시까지의 강도 및 자립성을 유지시켜 주며 시공이음부를 보강하고 균열을 방지하는 것을 담당한다. 철망은 토사 지반에서 경암에 이르기까지 각종 지반조건에 사용되고 있으나 지반조건에 따라 그 사용목적이 다르다. 예를 들면 쏫크리트와 부착성이 약한 토사, 풍화암, 연암지반에서는 철망이 시공성을 향상시키는 목적으로 사용되고 있다. 특히 토사지반의 경우 원지반의 강도가 약하여 쏫크리트 중량에 의해 원지반으로부터 박락되는 사례가 많으므로 이 경우 눈금이 비교적 작은 철망을 사용하여 박락 현상을 방지할 수 있다.

철망은 타설된 쏫크리트가 자중으로 인해 박락될 가능성이 있는 경우나 팽창성지반과 같은 큰 변형이 발생하는 지반에 쏫크리트의 많은 균열이 발생하여 국부적으로 박락되는 경우 또는 쏫크리트의 인장강도 및 전단강도를 향상시키기 위하여 사용할 수도 있으며 이러한 용도로 섬유보강 쏫크리트를 사용할 경우에는 철망을 생략할 수 있다.

7.2 철망의 재질 및 규격

경암에서 절리 및 균열이 많은 경우 돌발적인 암괴의 붕락에 대하여 쏫크리트의 전단강도의 보강 및 인성 향상을 목적으로 철망을 사용해야 한다. 따라서 지반조건에 따라 기대되는 철망의 효과, 시공성 등을 고려하여 철망의 종류를 선정해야 한다.

철망은 일반적으로 KS D 7017에 규정된 용접철망을 사용하되 철선의 지름은 5mm 내외, 개구크기는 100mm×100mm 또는 150mm×150mm 인 철망을 표준으로 하나, 150mm×150mm의 규격의 철망이 바람직하다. 일반적인 철망의 규격은 다음 <표 23>에 나타내고 있다. 일반적으로 부착성 및 시공성 증대를 목적으로 하는 경우는 $\phi 3.2\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 정도의 것이 사용되며, 전단 및 인장보강을 목적으로 하는 경우는 $\phi 4.8\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 혹은 $\phi 4.8\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 정도의 것이 주로 사용되고 있다. 굴착면의 자립이 어렵고 숯크리트 타설시 숯크리트 박리가 발생 하는 경우에는 숯크리트와 지반과의 부착을 증진시키기 위하여 개구크기와 철선지름 이 작은 철망을 사용할 수 있다.

철망 사용시 「①~④」의 문제점이 있으므로 사용에 충분한 검토가 요망된다.

- ① 굽은골재의 반발률이 높아지며, 숯크리트에 공극이 생기기 쉽다.
- ② 숯크리트 층 사이에 위치하여 숯크리트 타설시 철망에 진동을 줌으로써 층 분리현상이 발생할 수 있다.
- ③ 철망의 정착이 어려운 경우가 많다.
- ④ 지하수에 의한 부식이 가능하다.

표 24. 철망의 종류

직 경	망의 격자(mm)
$\phi 5.8$	150 × 150
$\phi 5.8$	100 × 100
$\phi 4.8$	150 × 150
$\phi 4.8$	100 × 100
$\phi 4.0$	150 × 150
$\phi 4.0$	100 × 100
$\phi 4.0$	50 × 50
$\phi 3.2$	150 × 150
$\phi 3.2$	100 × 100
$\phi 3.2$	50 × 50

7.3 철망의 이음부

철망은 일반 철근 콘크리트 구조물에서와 같이 숯크리트의 보강재로서 종방향 및 횡방향의 겹침이음을 적절히 시행해야 한다. 겹침이음은 1차 철망의 경우 횡방향 2격자(200mm 이상), 종방향 1격자(100mm 이상), 2차 철망의 경우 종·횡방향 공히 2격자(200mm) 이상 시행해야 한다. 특히 상반과 하반, 하반과 인버트간의 시공이음부에 각별히 주의를 기울여 시공해야 하며, 상반과 하반의 철망 겹침이음을 위해 철근(D13)을 이용할 수도 있으며 그 경우의 겹침이음 상세도는 <그림 25>와 같다.

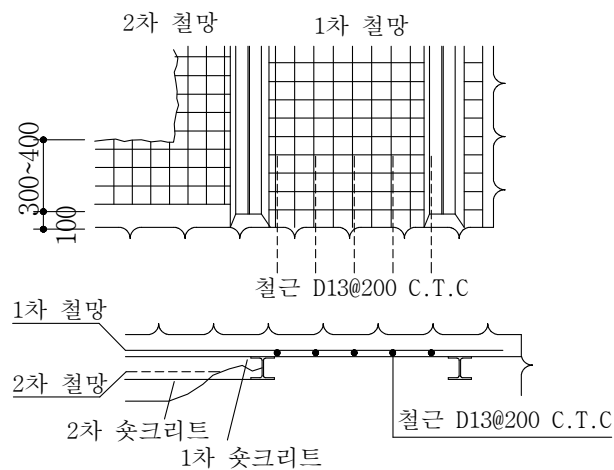


그림 24. 상반과 하반의 철망 겹침이음 예

상·하반 시공이음부의 2차철망을 겹침이음 하기 위해서는 상반 시공시 하단으로부터 약 400mm 정도 2차 숏크리트를 타설하지 말아야 하며, 하반굴착동안 겹침이음을 적절히 수행한 후 숏크리트를 타설해야 한다.

7.4 철망의 품질관리

철망은 시공전 및 시공후 <표 25>와 같은 사항을 관리해야 한다.

표 25. 철망의 현장 품질관리 사항

종별	관리항목	관리내용 및 시험	시험빈도
일상 관리	보관 및 청소상태	변형, 녹, 이물질의 부착상태 확인	물품반입후 및 시공전
	고정상태	콘크리트못, 앵커핀, 록볼트 등에 의해 흔들리지 않게 고정이 되었는지 확인	숏크리트 타설전
	밀착상태	굴착면 또는 숏크리트면에 밀착되었는지 확인	숏크리트 타설전
	겹침이음상태	겹침이음이 확실히 되었는지 확인	숏크리트 타설전

해설 5. 록볼트

1. 볼트의 역할

록볼트는 오래전부터 사용해 온 지보부재로서, 터널굴착에 의한 응력재분배가 암반강도를 넘으면 굴착자유면 부근의 암반은 소성화하지만, 록볼트는 슛크리트 등의 다른 지보부재와 일체화 되어 암반을 삼축응력상태로 유지하고, 소성영역의 내하력 감소를 방지하여 터널을 안정시킨다.

사용초기 단계에서는 경암지반을 대상으로 한 선단 정착방식이 대부분이었으나 그 후 전면접착형의 록볼트가 개발되고 경암지반 뿐만 아니라 연약지반의 영역에서도 뛰어난 지보효과가 있다는 것이 차차 경험적으로 분명해져 현재는 광범위한 지반조건하에서 터널의 지보재로 사용되고 있다.

록볼트는 주변지반의 지보기능을 유리하게 활용하기 위한 중요한 지보재이므로 지반과 일체화되어 그 효과를 충분히 발휘할 수 있도록 지반거동에 대한 작용효과를 고려하여 설계해야 한다. 록볼트의 주요 작용효과를 개념적으로 나타내면 <표 25>와 같다.

층리 및 절리가 발달된 경암의 경우에는 암석 자체의 강도가 크므로 응력상의 문제는 발생하지 않으나 균열 등의 불연속면이 있는 암괴는 붕락이동 등의 불안정성 문제가 발생할 수 있다. 이 경우 록볼트의 작용효과로는 암괴의 붕락이동을 억제하고 암반을 일체화시키는 봉합작용 및 지반보강작용 등이 기대된다.

한편, 강도가 작은 연암 이하의 지반에서 터널의 굴착에 의해 주변 지반의 응력이 암석의 강도를 초과하여 넓은 영역까지 소성화되어 비교적 큰 변형이 발생하는 경우에는 록볼트로 지반의 변형을 억제하고 소성영역의 확대를 억제함으로써 지반의 안정성을 증가시킬 필요가 있다. 이 경우의 록볼트의 작용효과로는 아치형성작용, 내압작용, 지반보강작용 등을 기대할 수 있다.

록볼트 설계시에는 (1)~(7)을 고려해야 한다.

- (1) 록볼트 자체의 항복하중과 정착방법을 면밀히 검토하고, 또한 시공성 및 시공시간 단축 등을 고려하여 1회전 시공시간(Cycle Time)에 대한 것도 검토해야 한다.
- (2) 슛크리트, 강지보재 등 기타 지보재와 병용하는 경우에는 각각의 지보효과를 고려하여 종합적인 지보 기능을 평가한 후 록볼트를 설계할 필요가 있다.
- (3) 록볼트의 작용효과를 장기적으로 기대하는 경우에는 록볼트가 부식되지 않도록 충분한 검토가 필요하며, 특히 강산성지반(온천, 산성용출수 등이 존재하는 지반) 및 해수의 영향을 받는 지역에서는 내부식성 재료 등을 사용하는 등의 대책을 강구해야 한다.
- (4) 록볼트의 작용효과 중 특히 봉합작용이 강조되어 인장력이 발생하는 경우는 발생 축력을 검토하여 볼트의 재질 및 형상을 결정하여야 하며 소요의 인발내력에 대해서 검토해야 한다.



- (5) 록볼트의 재질, 지압판, 정착형식 및 정착재료의 선정 등에 있어서 시공성을 검토해야 한다.
- (6) 굴착으로 인한 응력개방에 따라 내공변위가 크게 발생하는 경우에는 선단정착형 또는 혼합형의 록볼트 형식으로 프리스트레스를 도입할 수 있다. 프리스트레스를 도입하는 경우에는 도입된 프리스트레스가 지속적으로 유지될 수 있는 지반조건이어야 하며 프리스트레스에 의한 록볼트의 응력이 항복강도의 80% 이내로 하는 것이 바람직하다.
- (7) 암반이 파쇄되어 있거나 지하수 유출로 인하여 정착이 곤란한 지반에는 그 목적에 맞는 특수조건하의 록볼트를 검토하여 선정해야 한다.

표 26. 록볼트의 작용효과 개념

기 능	작 용 효 과	개 념 도
봉합 작용 또는 매달음 작용	발파 등에 의해 이완된 암괴를 이완되지 않은 원지반에 고정하여 낙하를 방지하는 것으로 가장 단순한 효과이다. 균열, 절리가 발달된 지반에 있어서는 슛크리트와 병용하면 비교적 작은 균열에 대해서도 효과가 있다.	
보형성 작용	터널 주변의 절리를 이루고 있는 원지반은 절리면에서 분리되어 겹침보로서 거동하나, 록볼트로 층을 이루고 있는 지반의 절리면 사이를 조여줌으로써 절리면에서의 전단력의 전달을 가능하게 하여 합성보로서 거동시키는 효과이다.	
내압작용	록볼트의 인장력과 동등한 힘이 내압으로 터널벽면에 작용하면 2축응력 상태에 있던 터널 주변 지반이 3축응력 상태로 되는 효과가 있다. 이것은 3축 시험시 구속력(축압)의 증대와 같은 의미를 가지며 지반의 강도 혹은 내하력 저하를 억제하는 작용을 한다.	
아치형성 작용	시스템 록볼트에 의한 내압 효과로 일체화되어 내하 능력이 높아진 굴착면 주변의 지반은 내공측으로 일정하게 변형하는 것에 의해 내하력이 큰 그랜드아치를 형성한다.	
지반보강 작용	지반 내에 록볼트를 타설하면 지반의 전단 저항능력이 증대하여 지반의 내하력이 증대될 뿐만 아니라 지반의 항복후에도 잔류강도가 증가한다. 이와 같은 현상은 록볼트에 의해 지반 전체의 공학적 특성치가 개선되는 것을 의미한다.	

2. 록볼트의 종류와 선정

2.1 록볼트의 종류

록볼트는 많은 종류가 있으나 현재 널리 사용되고 있는 종류를 그 정착방법에 의해 분류하면 선단정착형, 전면접착형, 혼합형으로 대별된다(<그림 25> 참조). 이러한 정착방법은 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여 선정해야 한다. 종래에는 경암지반에서는 선단 정착방식, 연암지반에서는 전면 접착방식의 록볼트가 주로 사용되어 왔으나 최근에는 경암지반에서도 전면 접착방식이 채택되고 있다.

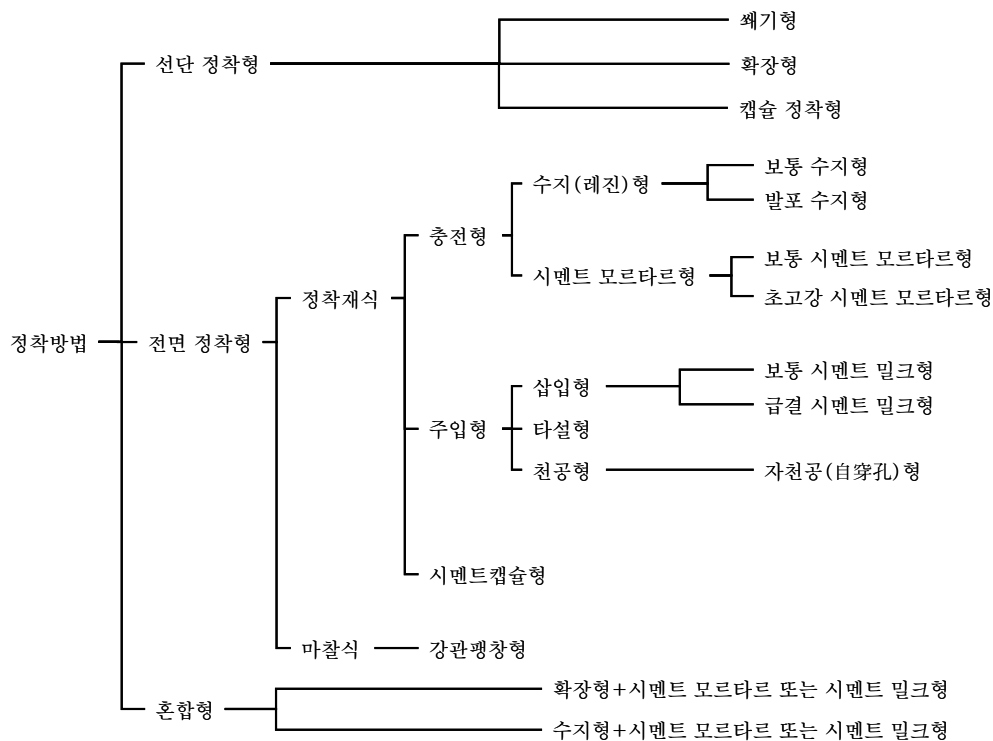


그림 25. 정착 방법별 록볼트의 분류

2.2 록볼트의 선정

록볼트를 선정하기 위해서는 사용목적, 지반조건, 시공성 등을 고려하여야 하며, 「①~⑪」 항목을 검토해야 한다.

- ① 원지반의 강도
- ② 절리, 균열의 상태
- ③ 용출수상태
- ④ 천공홀벽의 자립 정도
- ⑤ 설계내력 및 록볼트의 길이
- ⑥ 1 싸이클의 시공 수량
- ⑦ 타설방향



- ⑧ 작업성(시공관리의 난이)
- ⑨ 프리스트레스의 도입여부
- ⑩ 정착의 확실성
- ⑪ 경제성(작업시간까지 포함)

3. 록볼트의 재질과 형상

3.1 록볼트의 재질

록볼트의 재질은 원지반 조건 및 사용 목적에 따라 필요한 강도 및 인장 특성을 가진 것을 사용해야 한다. 록볼트는 일반적으로 인장재로 사용되기 때문에 인장강도가 큰 것을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 지반의 급격한 붕괴를 방지하기 위해서는 연성(Ductility)이 큰 인장 특성을 갖는 재료를 사용해야 한다.

록볼트의 지름은 1본의 록볼트가 지탱하는 암괴의 중량 또는 지반에 필요한 전단보강력에 의해 결정할 수 있으나, 일반적으로 볼 때 D22~D29 정도가 무난할 것으로 보이며, 그동안 국내에서는 거의 대부분 D25 규격의 것이 사용되어 왔고, 이 규격을 표준으로 하고 있다.

록볼트 재료 선정시 일반적인 기준은 없으나 사용 목적과 시공 적용사례에 따라 그 사용지침을 제시하면 「①~④」와 같다.

- ① 암괴의 붕합 등 록볼트에 큰 축력이 작용하지 않을 것으로 예상되는 경우 록볼트의 직경은 D22~D25 정도가 적합하다.
- ② 내압효과 및 아치형성 등을 목적으로 하고 지반의 변형이 그다지 크지 않을 경우 SD350, D25 정도의 것을 사용해야 한다.
- ③ 지반의 변형이 클 것으로 예상되는 경우에는 록볼트에 큰 축력이 발생되어 록볼트의 내하력을 향상시킬 필요가 있으므로, 단면적이 크고 인장강도가 큰 재료(SD350 이상, D25 이상)를 사용하며, 사용개수를 늘리는 방안을 검토해야 한다.
- ④ 록볼트의 재질 및 강도는 한국산업규격(KS E 3132와 KS D 3504)에 제정되어 있는 바와 같이 인장강도와 연신율이 큰 것이어야 한다. 록볼트로 사용되는 이형 봉강의 주요 기계적 성질을 요약하면 <표 27>과 같다.

표 27. 록볼트로 사용되는 이형 봉강의 기계적 성질

종 류	재질 기호	기계적 성질		
		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%) (시험편 2호 기준)
이형봉강	SD 350	350 이상	490 이상	18 이상
	SD 400	400 이상	560 이상	16 이상

막장부의 안정성을 확보하기 위한 막장용 볼트나 단면확폭 예정구간에 굴착중 안정성을 위해 사용하는 볼트 등은 시공성을 고려하여 섬유보강 플라스틱(FRP), 유리섬유(Glass Fiber) 등 기타소재의 재료를 사용할 수 있다.

현재 터널에서 주로 사용하고 있는 이형봉강의 허용인장응력을 기준(철도설계기준(노반편)참조)으로 각 재질별 및 규격별로 허용응력, 허용내하력, 항복강도 및 항복내하력은 <표 28>과 같다.

표 28. 록볼트용 이형봉강의 내력표

재 질	규 격	단면적 (mm ²)	허용응력 (MPa)	허용내하력 (kN)	항복강도 (MPa)	항복내하력 (kN)
SD350	D22	387.1	175	68	350	135
	D25	506.7	175	89	350	177
	D29	642.4	175	112	350	225
SD400	D22	387.1	180	70	400	155
	D25	506.7	180	91	400	203
	D29	642.4	180	116	400	257

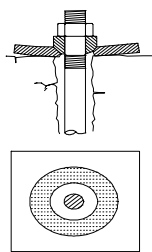
3.2 록볼트의 형상

실험 결과에 의하면 이형봉강은 원형봉강에 비하여 인발 저항력이 훨씬 크기 때문에 록볼트 재료로는 통상 이형봉강을 사용하고 있으며, 국산 이형봉강 중 강도 및 인장특성을 고려할 때 KS E 3132와 KS D 3504에 규정되어 있는 SD350 이상이 적합하다. 이와 같이 록볼트는 소요의 강도 이상을 가지는 이형봉강으로 제작하는 것을 원칙으로 하나 강관, 팽창성 강관 또는 이와 동일한 강도와 기능을 가지는 섬유보강 플라스틱(FRP)등 기타 소재의 록볼트도 사용할 수 있으며, 재질 및 강도는 한국산업규격(KS)에 적합한 것이어야 한다.

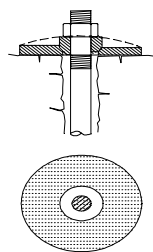
3.3 지압판

지압판은 록볼트와 슛크리트를 일체화시키는 중요한 부재이므로 예상되는 응력에 대하여 충분한 면적과 두께, 강도를 가져야 한다.

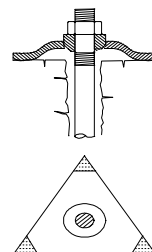
일반적으로 평판을 사용할 경우 지압판 면적은 150×150mm 정도의 규격이 적당하며, 두께는 통상 6mm 정도가 적당하나, 팽창성지반의 경우는 9mm 정도의 두께로 하는 것이 좋다. 그러나 지반의 변형이 큰 경우에는 록볼트가 파단되는 정도의 축력이 발생하는 경우가 있으므로 이 경우에는 지압판의 두께와 강도에 대하여 별도의 검토가 필요하다. 일반적으로 사용하고 있는 지압판의 예를 <그림 26>에 나타내었다. 한편, 축력이 크거나 굴착면과 수직으로 록볼트의 설치가 어려운 경우에는 원형강판을 고려해야 한다.



평판
(Flat Plate)



원형강판
(Domed Plate)



삼각형강판
(Triangular Bell Plate)

그림 26. 지압판의 예

4. 록볼트의 정착방법

4.1 록볼트의 정착방식

록볼트의 정착방식별 정착방법, 특징, 적용범위는 <표 29>에 나타난 바와 같다.

표 29. 록볼트의 정착방식

정착방식	정 착 방 법	특 징	적 용 범 위
선단정착형	기계적으로 정착하는 쐼기형 및 확장형과 캡술에 의한 접착형이 있으며 록볼트의 선단 정착 후 너트로 조인다.	쐼기형은 자주 사용하지 않는다. 확장형 및 캡술정착형은 봉합 효과를 목적으로 하는 경우에 사용한다. 기계식의 경우에는 정착부의 원지반 상태에 따라 정착력이 부족하거나 발파에 따라 이완 등의 문제가 발생할 수 있다. 그러나 확장형은 발파후 적당히 다시 조이기를 하면 적용할 수 있는 경우도 있다.	절리 또는 균열 발달이 비교적 적은 경암 또는 보통암 층에서 일부 사용된다.
전면접착형	정착재료로 수지, 결합재 모르타르 등을 사용하거나 기계적인 방법으로 록볼트 전장을 원지반에 정착시킨다.	록볼트 전장에서 원지반을 구속한다. 원지반의 강도, 절리, 균열의 상태, 지하수의 유입상태 및 막장부의 자립성 등에 따라 여러 종류가 있다.	경암, 보통암, 연암, 토사 원지반에서 팽창성 원지반까지 적용 범위가 넓다.
혼 합 형	선단을 기계적으로 정착 후 결합재 밀크를 주입하는 방법과 전면접착형의 정착재료 충전 시 선단에 급결용의 캡술을 사용하는 방법 등이 있다.	선단 정착형과 전면 접착형을 혼합한 것으로 시공 공정이 2단계에 걸쳐 이루어지며, 시공에 따라서는 선단의 급결성이 얻어지지 않는 경우도 있다.	선단을 기계적으로 정착하는 록볼트는 많이 사용되고 있지 않다. 팽창성 원지반 또는 프리스트레스를 도입하는 경우에 유효하다.

4.1.1 선단정착형

(1) 쐼기형(Wedge Type)

볼트 선단을 두 개로 쪼갠 슬릿(Slit)중에 쐼기가 타입되어 볼트선단이 벌어져서 암반

에 압착해야 한다. 록볼트로서는 가장 구형이며 비교적 싸고 취급이 용이하지만, 타입력의 부족에 의해 볼트 선단이 충분히 벌어지지 않아 정착력 부족에 의해 볼트가 빠져나가는 단점이 있고, 정착력의 흠어짐이 있기 때문에 현재로서는 많이 사용하고 있지 않다.

(2) 확장형(Expansion Type)

테이퍼(Taper)를 붙인 볼트 선단부가 셸(Shell) 내로 끌려 내려가면서 셸을 확대하여 암반에 압착하여 정착하는 것이다. 구조는 회사마다 차이가 약간씩 있지만 취급은 비교적 쉽고, 정착력은 켜기형보다 안정되지만 천공구경이 크게 되는 단점이 있다.

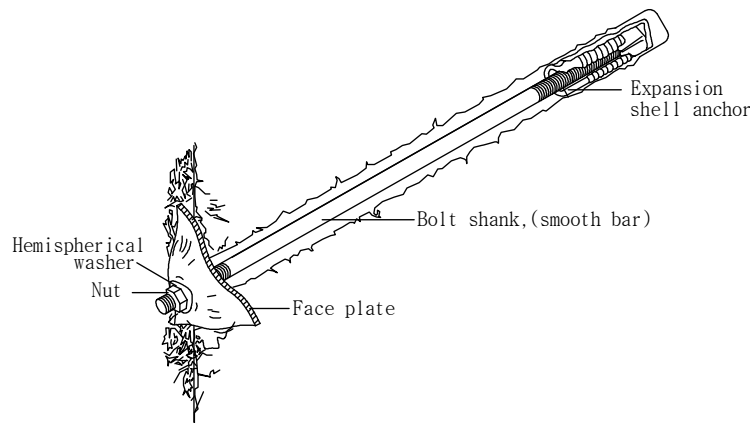


그림 27. 선단정착형(확장형) 록볼트의 예

4.1.2 전면접착형

록볼트와 암반과의 공극을 정착재(모르타르, 결합재 밀크, 수지)로 충전시키는 방법이며, 볼트 삽입 이전에 충전하는 방법과 이후에 충전하는 방법이 있다. 일반적으로 NATM에서는 모르타르 정착형이 가장 많이 사용되고 있다.

표 30. 전면접착형의 충전재료

구 분	개 요
레 진 형	<ul style="list-style-type: none"> • 레진과 경화제가 혼합된 캡슐 타입이며, 구멍에 레진 캡슐을 넣은 다음 록볼트를 회전 삽입하므로써 캡슐을 분쇄하고 캡슐속의 레진과 록볼트 및 암반을 서로 결합시킨다. • 사용레진의 종류에 따라 보통 레진과 발포성 레진으로 구분한다.
충 전 형	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 NATM 시공시 널리 사용되고 있으며 천공-모르타르 충전-록볼트 타입순으로 시공된다. • 종류에는 보통 결합재를 사용하는 SN록볼트와 초조강 결합재를 사용하는 AS볼트가 있다.
주 입 형	<ul style="list-style-type: none"> • 결합재 밀크와 급결제의 2가지 액을 따로 펌프로 압송하여 록볼트 가까이에서 혼합한 후 록볼트에 장치되어 있는 파이프를 통하여 주입한다. 주입을 완전히 하기 위해서 또는 록볼트를 고정하기 위해서는 천공구멍 입구에 포장재의 패커를 사용해야 한다. • SN볼트의 시공이 어렵거나 불가능한 경우로써 갱 내로 유입되는 용출수량이 많을 경우 또는 구멍 내에 암파편으로 인해 주입호스를 삽입하기 어렵거나 함몰되기 쉬운 경우 등에 적용될 수 있다.

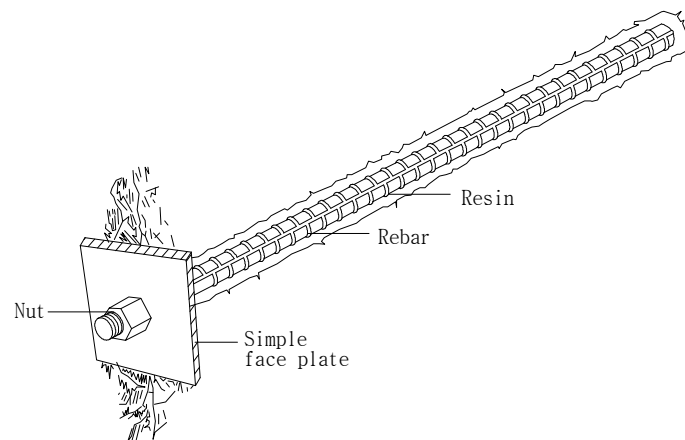


그림 28. 전면접착형(레진형) 록볼트의 예

4.1.3 혼합형

선단정착형과 전면접착형의 병용이며, 너트를 조인 후 볼트와 천공과의 공극을 전체 길이에 걸쳐서 결합재 밀크 등으로 주입하는 형식의 것이다.

혼합형은 선단정착방법과 전면접착방법의 장점을 살릴 수 있으며, 록볼트에 프리스트레스를 도입하는 경우에 유리하다. 터널의 토피가 작은 경우 록볼트에 프리스트레스를 도입하여 지반에 강제적으로 압축영역을 형성시킴으로써 지반의 안정성을 향상시킬 수 있으나, 이 경우에는 록볼트의 선단을 확실하게 지반에 정착시켜야 하며, 선단의 정착에는 기계식 혹은 모르타르 급결제를 이용하여 조기에 경화시키는 방법 등이 사용되고 있다.

조임과 그라우트에 따라 비교적 장기에 걸쳐 안정된 정착력이 얻어지지만 일손이 많이 들고 취급이 곤란하다.

정착재료로 사용되는 결합재 모르타르는 흘러내림을 방지할 수 있는 배합비를 사용하여 시공하여야 하며, 특히 천장부에 설치되는 록볼트의 경우에는 록볼트 전면부에 캡 등을 설치하여 모르타르가 흘러내리는 것을 최대한 방지해야 한다. 또한, 록볼트 시공시 천공홀이 붕괴되어 로트 회수와 볼트 삽입이 불가능한 풍화암 이하의 연약한 지반에는 로트검용 볼트의 선단에 비트를 조합하여 소정의 위치까지 천공한 후 볼트 중공형상을 이용하여 결합재 모르타르로 그라우트하여 내부를 충전시켜 정착을 확보하는 자천공형 록볼트를 사용할 수 있다. 이러한 록볼트의 정착재료는 보통 포틀랜드 결합재를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 사용하는 모래는 최대지름 2mm 이하의 입도가 양호한 모래를 사용해야 한다. 그리고 긴급한 록볼트 기능 도입이 요구되는 경우 (파쇄대나 지하수 용출이 심한 구간)에 천공구멍 내에서 고압수에 의해 팽창되고 전면 에 걸쳐 구부러진 철관이 완전히 밀착되므로 볼트 전길이에 걸쳐 마찰력(Friction)과 상호 잠김작용(Interlocking)에 의해 암반을 강하게 결합시켜 지지하는 Swellex 록볼트 등을 적용할 수 있다.

4.2 록볼트의 정착력

록볼트의 정착력이 충분한지 여부를 알기 위해서는 인발시험을 통하여 그 내력을 판단해야 한다. 인발내력은 통상 지반과 정착재료사이에 발생하는 마찰력에 의해 얻어지기 때문에 지반조건, 정착형식, 정착재료, 볼트길이, 공경 등에 따라 달라진다.

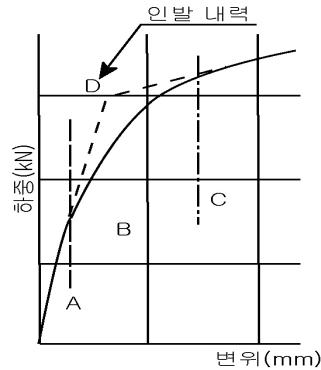


그림 29. 록볼트 인발시험(하중-변위 곡선)

록볼트의 인발시험 결과는 <그림 29>와 같이 표시된다. 일반적으로 그림 중 C영역은 볼트의 정착효과가 기대되지 않은 영역으로 간주하며, 인발내력은 D점으로 본다.

그러나 소요의 인발내력을 시험결과를 통하여 얻었다할지라도 D점에 이르는 변위량이 록볼트의 길이에 비하여 과도한 경우에는 현장조건에 따른 충분한 검토가 필요하다. 록볼트는 지반에 정착되어 주로 인장부재로 작용하기 때문에 인발 내력은 록볼트 설계에 있어서 가장 기본적인 사항이며, 볼트의 항복 축력 및 정착부의 정착력에 대해서도 충분한 검토가 필요하다.

5. 록볼트의 배치와 길이

5.1 록볼트의 배치

록볼트의 배치는 사용목적에 따라 다르며, 지반조건, 강도, 절리간격 및 길이, 용출수의 유무, 지반의 초기응력, 터널 단면의 크기 및 형상, 굴착 공법등에 따라 결정된다. 록볼트는 원칙적으로 터널 굴착에 따라 영향을 받는 영역을 보강할 수 있도록 배치하는 것이 바람직하다.

록볼트의 설계는 암반 절리 및 균열의 간격, 길이, 크기에 의해 암괴의 붕락 가능성을 산정하고 붕락이 발생하지 않도록 록볼트의 본수, 간격을 결정하는 경우와 1본의 록볼트에 의해 지보 가능한 하중 및 지보하여야 할 하중의 관계로부터 본수, 간격을 결정하는 경우가 있다. 또한 록볼트의 배치에 있어서는 터널 단면의 방사선 방향으로 굴착면에 직각으로 타설하는 것을 원칙으로 하며 인접한 록볼트간에는 상호 작용발휘가 가능하도록 록볼트를 배치해야 한다. 단, 록볼트를 조기에 설치할 필요가 있는 경우에는 터널진행 방향으로 경사진 경사록볼트 배치형식을 적용할 수 있다.



록볼트의 배치에는 랜덤(Random) 볼팅과 시스템(System) 볼팅 방법이 있다. 랜덤 볼팅은 굴착후 막장부 상태에 따라 볼트 배치를 결정하는 방법으로 지반이 국부적으로 불량한 부분을 록볼트로 보강하는 개념이며 시스템 볼팅은 지질 상태를 파악하여 미리 록볼트의 배치를 결정하는 방법으로 터널 단면에 미리 정해진 형식의 록볼트를 배치하여 지반을 지보하는 개념이다. 어떤 경우에도 지반조건이 크게 변화하는 경우에는 신속하게 록볼트 배치를 변경해야 한다. <표 31>은 지반조건에 따른 시스템 록볼트의 배치 개념을 나타낸 것이다. 록볼트의 타설형식은 지반조건, 시공방법 등에 따라 다르며, <표 32>은 그 대표적인 형식을 나타낸 것이다.

역학적인 불연속면을 보강하고 암반을 일체화하여 터널의 안정을 도모하는 경우, 록볼트 설계는 암반의 균열 상태에 따라 다르지만, 일반적으로 작은 균열이 많이 존재하는 경우 록볼트를 촘촘히 배치하고, 그 반면에 균열이 적고 개개 암반의 크기가 비교적 큰 경우 록볼트 간격을 넓게 배치하는 것도 좋다. 터널의 안전성을 지배하는 암반의 불연속면을 알고 있는 경우나 암반의 강도-변형특성의 이방성이 현저하다고 생각되는 경우에는 랜덤 볼팅에 의해 암반 보강을 하는 것도 좋지만, 통상은 시스템 볼팅으로 하는 것이 일반적이다.

표 31. 지반조건에 따른 시스템 록볼트 배치 개념

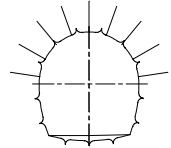
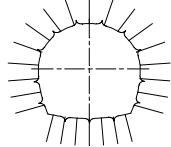
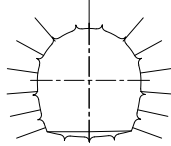
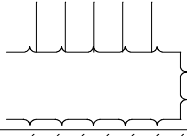
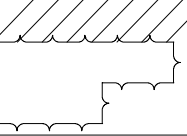
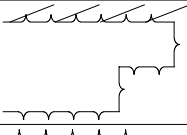
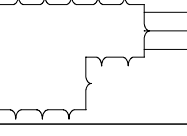
주요기능	적용지반	배 치 개 념	배 치 개 념 도
붕합 효과	경암~ 연암	<ul style="list-style-type: none"> • 암괴를 붕합하여 붕락 방지 • 아치부에만 주로 배치 	
내압 및 아치형성 효과	연암~ 풍화암	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 록볼트 배치로 내압 및 보형성 효과를 기대 • 터널 아치부 및 측벽에 배치 • 팽창성지반에서는 인버트부에도 배치 	
전단저항 효과	토 사	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반의 전단파괴가 지하 공동 측벽부에서 부터 발생하므로 초기에 이를 방지하는 개념으로 배치 • 아치 천단부를 제외한 아치 및 측벽부에 배치 	

표 32. 록볼트의 타설 형식

타설형식	형식도	타설목적
일반형		터널에서 사용하는 가장 기본적인 형태이다.
경사볼트		막장부에 코어를 남겨 록볼트 작업공간이 부족하나 록볼트를 조기에 시공할 필요가 있는 경우 등에 적용하며, 경사각은 통상 45°~ 60°로 해야 한다.
휘폴링		막장부 천단부의 안정을 위하여 적용하며 경사각은 통상 15°미만으로 해야 한다. (예, 10~30°, 도로설계요령)
막장볼트		막장부 안정을 위해 적용하며, 유리섬유(Glass Fiber) 재질의 록볼트를 사용할 수 있다.

5.2 록볼트의 길이

록볼트의 길이는 원칙적으로 굴착에 의한 영향 범위를 보강할 수 있도록 결정하는 것이 바람직하다. 록볼트의 길이는 지반조건, 주요 작용효과, 굴착단면의 크기, 이완 영역의 발달 깊이 등에 따라 조정되며 일반적으로 시공성을 고려하여 록볼트 설치간격의 2배 정도를 표준으로 하고, 1회 굴진장 및 암반의 절리상태에 따라 조정하여야 하며 지반 자체의 지보능력을 원활히 발휘할 수 있는 간격으로 배치해야 한다.

강도가 작은 지반에서는 록볼트의 효과를 보다 유리하게 발휘시키기 위하여 표준적으로 설정된 볼트 패턴보다 볼트의 개수를 증가시키거나 볼트의 길이를 증가시켜 타설하는 경우가 있다. 록볼트의 길이는 기대하는 작용효과에 따라 다르다. 록볼트의 작용효과 중 봉합작용 및 보형성 작용을 기대하는 경우에는 이완 영역 이상의 길이를 가진 록볼트를 사용해야 한다.

내압, 아치형성 및 지반보강 작용을 기대하는 경우에는 록볼트 및 지반이 일체로써 작용하는 구조체를 형성하기 때문에 이완영역 외까지 록볼트 길이를 확보하는 것이 반드시 필요하지는 않으나 터널 주변 지반변형을 억제하고 작용하는 지반압을 록볼트의 인장력에 의해 지지하고자 할 경우에는 필요한 정착력을 확보하기 위한 길이를 사용해야 한다. 록볼트 길이와 배치 간격은 Arch Theory 설계식, 광탄성 실험식 및 굴착지보비(ESR)를 이용한 경험식 등이 있으며, 본 편람에서는 경험적, 실험적 산정식을 몇 가지 소개한다. 산정방법은 「①~②」와 같다.

5.2.1 록볼트의 길이 (L)

$$L \geq \frac{W}{3} \sim \frac{W}{5} \quad \text{또는} \quad L \geq t \quad (\text{Rabcewicz}) \quad (1)$$



여기에서, W : 터널 단면폭(m)

t : 막장면과 지보 구간과의 거리(m)

$$\text{천장부 } L = 2 + 0.15 B / ESR \quad (\text{Barton외, 1980}) \quad (2)$$

$$\text{측벽 } L = 2 + 0.15 H / ESR \quad (\text{Barton외, 1980}) \quad (3)$$

여기에서, B : 터널폭(m)

H : 터널높이(m)

ESR : 굴착지보비

$$L = 1.40 + 0.184 B \quad (\text{노르웨이 IFF에 의한 식}) \quad (4)$$

여기에서, B : 터널폭(m)

$$L = 2 S \quad S : \text{볼트간격(m)} \quad (\text{미공병단에 의한 식}) \quad (5)$$

$$L = 3 C \quad C : \text{불안정암괴 길이(m)} \quad (\text{미공병단에 의한 식}) \quad (6)$$

SL상부의 공동폭이 6m 이하 일 때

$$L > 0.5 B \quad B : \text{터널폭(m)} \quad (\text{미공병단에 의한 식}) \quad (7)$$

SL상부의 공동폭이 18m 이하 일 때

$$L > 0.25 B \quad B : \text{터널폭(m)} \quad (\text{미공병단에 의한 식}) \quad (8)$$

5.1.2 록볼트의 간격(P)

$$P \leq 0.5 \times L \quad \text{또는} \quad (\text{Rabcewicz}) \quad (9)$$

$$P \leq 3 \times D \quad (\text{Rabcewicz}) \quad (10)$$

여기에서, L : 록볼트 길이(m)

D : 블록화할 암괴의 평균 치수

식(10.5.1)의 조건은 이완이 생길 영역에 대한 조건이고, 식(10.5.9)의 조건은 록볼트의 영향 범위가 중첩되기 위한 추정이며, 식(10.5.10)의 조건은 각 블록 상호간의 볼팅 작용으로써 서로 관련시킬 수 있는 조건이다.

$$D = -0.227 \ln Q + 0.839$$

$$D = -0.0214 R + 1.68$$

$$P = \frac{1}{D^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{Choquet-Charette, 1988}) \quad (11)$$

여기에서, P : 록볼트 간격(m)

D : 록볼트 분포 밀도

$$P = \frac{1}{(10F)^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{Barton외, 1980}) \quad (12)$$

여기에서, P : 록볼트 간격(m)

F : 지보압(MPa)

6. 록볼트의 품질관리

시공 중 및 시공후 <표 33>와 같은 사항을 품질관리 해야 한다.

표 33. 록볼트의 현장 품질관리 사항

종별	관리항목	관리내용 및 시험	시험빈도	비 고
일상 관리	시공 정밀도	소정의 위치 ^(주) , 천공지름, 깊이로 시공되어 있는가의 확인	매타설시	록볼트의 검측
	충전상태	충전재가 록볼트와 원지반사이에 확실히 채워져 있는가를 확인	매타설시	해머 타격 확인
	정착효과	시공후의 정착효과를 확인 (토크렌치로 조임 등)	매타설시	해머 타격 확인
	변 형	지압관의 변형 등을 관찰	매 일	현장계측결과 등에 따라 대책을 강구
정기 관리	강 도	록볼트 인발시험	터널연장 20m 마다	3개/20m (천장, 양측벽 각 1개)
기타	유 동 성	모르타르의 플로우값 측정	필요할 때	KS F 2432
	강 도	모르타르의 압축강도 시험	마다	KS F 2426

(주) 록볼트가 슛크리트에 매입되었을 경우에도 소정의 위치에 시공되었는지 여부 등을 육안으로 확인할 수 있도록 식별표시를 하여야 한다.

인발시험을 실시할 록볼트는 시험 구간내에서 임의로 선택하며 선정된 록볼트의 지압관은 록볼트의 축과 직각을 이루도록 석고 또는 모르타르 등으로 처리해야 한다. 인발시험은 충분한 정착효과가 얻어진 후에 실시하여야 하며 인발하중의 재하속도는 10kN/분 내외로 하여야 하고, 하중 단계별로 변위를 측정하여 하중 변위 곡선을 작성하고 판정시의 변위가 설계에서 고려한 록볼트의 효과를 발휘할 수 있는 범위 이내 인지를 확인하여 합격여부를 판정해야 한다.

록볼트 인발시험은 사용된 록볼트와 동종인 록볼트 자체에 대한 사전 인발시험을 실시하여 인발내력을 확인하고, 시공된 록볼트에 대한 실제 시험시에는 설계인발내력의 80%에 달하면 합격하는 것으로 본다.

인발시험결과 불합격될 경우는 불합격 부위(천장, 아치, 측벽)에서 5개를 추가 시행하여 5개중 3개 이상이 불합격되면 표본구간으로 대표된 전구간에 대하여 설계와 동일수량의 록볼트를 재시공해야 한다.

「(1)~(4)」의 경우는 록볼트를 추가 시공해야 한다.

- (1) 내공변위 또는 지중변위 측정 등의 계측결과로부터 얻어진 터널측면의 변형이 록볼트 길이의 5%를 초과하는 경우



- (2) 록볼트 두부로부터 록볼트 길이의 1/2지점과 록볼트 단부사이에 록볼트 축력의 최대치가 발생하는 경우
 - (3) 소성영역의 확대가 록볼트 길이를 넘는다고 판단되는 경우
 - (4) 숏크리트의 균열, 지압판의 변형, 과다변위 응력발생 등 록볼트의 추가시공이 필요하다고 판단되는 경우
- 지반조건이 매우 불량하여 특정구간 전체에서 소요의 인발내력이 얻어지지 않거나 록볼트를 시공할 수 없는 경우에는 정량적 평가에 의해서 책임기술자의 판단하에 다른 조치를 강구할 수 있다.

RECORD HISTORY

- Rev.0('12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둠.
- Rev.1('14.11.17) 슛크리트 타설 후에도 록볼트가 소정의 위치에 시공되었는지 여부와 적용패턴 및 수량과약 등 육안으로 확인이 가능하게 식별표시를 하도록 명시
- Rev.2('20.06.10) “철도 터널설계 선진화 용역” 성과를 반영하여 철도터널 지보패턴 세분화, 일반구간과 도시지역으로 구분하여 표준지보패턴 제시