5-37. Rock Bolt의 시공효과를 3가지 이상 쓰고 간단히 설명

1. 개요

NATM에서 **암반이 주 지보재**로서 암반의 Arching(Ground Arching) 효과를 유지하지만 **보조 지보재**(지보재)를 사용하여 **암반의 Arching을 형성**하는 것을 도와준다. 보조 지보재로는 Shotcrete, Wire Mesh, Rock Bolt, Steel Rib가 있다.

2. 지보재의 설계방법

1) RQD

2) RMR : 무지보 유지시간(Stand Up Time)과 Span 관계

3) NGI 기준에 의한 Q-System(NGI 분류법)

4) 암반 반응곡선(지반 반력곡선)

3. 지보재 적정성 평가 방법(설계방법)(터널 안정에 미치는 효과 판단)

1) RQD 이용 : RQD 이용 경험적인 터널 지보방법(Merrit)

2) RMR 이용 : Bieniawski의 RMR에 의한 무지보 시간, 무지보 간격 결정법

3) 지보압($P=t/m^2$) 계산 이용

4) 암반 반응곡선 = 지반 반력곡선(= Ground Reaction Curve) : Deree가 제안

4. 지보재 설계 시 고려사항

1) 지보재

(1) 강지보 : 강성, 단면계수

(2) Rock Bolt : 축저항

(3) 숏크리트 : 인장강도

2) 지반(암반)

(1) 강도정수(C, ϕ)

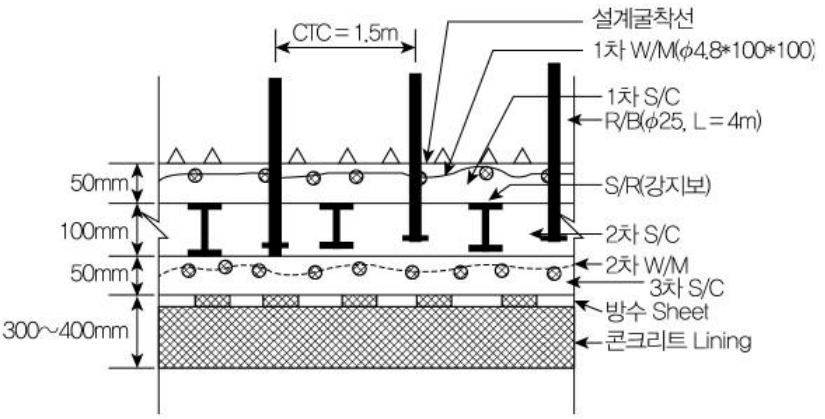
(2) 변형계수(E)

(3) 지하수

(4) 불연속면의 특성

iolligo 아이올리고 www.iolligo.com

5. Rock Bolt(보조 지보재) 설치 종·단면도 예



6. Rock Bolt의 효과(기능)

1) 개요 : Rock Bolt의 기능(작용, 효과)는

① **봉합작용**, ② **보형성**, ③ **내압작용**, ④ **아치형성**, ⑤ **지반보강(개량)**

2) Rock Bolt의 기능과 작용 효과

(1) **봉합작용** : 터널, 사면 보강 : 이완 지반을 견고한 지반에 매다는 효과(결합)

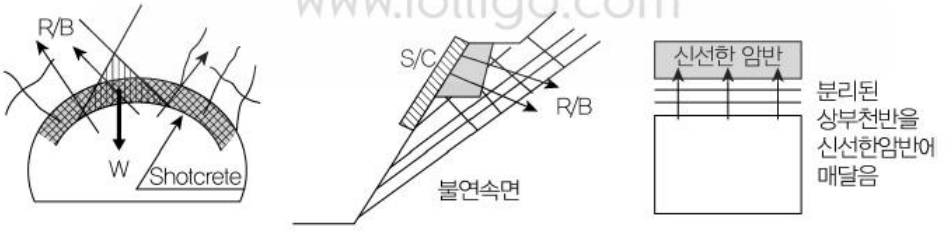
① 발파등에 의한 불연속면 이완으로 발생한 암괴를 이완되지 않은 원지반에 고정하여 낙하방지

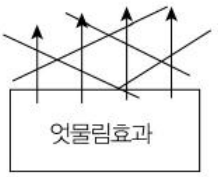
② 균열, 절리가 발달한 암반에서 Shotcrete와 병행

③ 매달기 효과(Suspension Effect)

④ 엇물림 효과(Keying Effect) : 경사진 절리군, 취약면을 Bolting하여 변위제어, 암반고정 → 천반 안정

www.iolligo.com



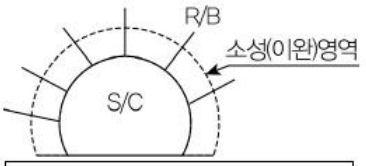


(2) **보형성 작용**(터널, 사면)

① 터널주변 층상(절리) 암반 → 분리 → 겹침보 거동

② Rock Bolt로 절리면 사이를 조임 → 전단력의 전달 가능 → 합성보로 거동케 함 → 마찰효과 (Friction Effect)

③ 마찰효과(Friction Effect) : 자체지지력이 없는 층들을 함께 묶어 마찰력을 증가시켜 각 층들의 개별적 거동 저지 → 자체지지력을 증가시킴



① 이완응력 → S/C, R/B로 전이
→ 이완방지, 강도유지
② 2축 응력 → 3축 응력 환원

[1차 구속 : 원지반 강도 유지]

(3) **내압작용(구속압 증대)**

: 내공 변위 방지, 3축 응력 상태 유지, 내하력이 높은 Arch 형성 효과

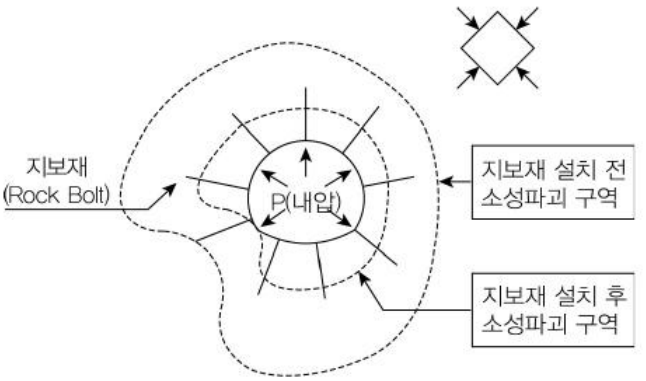
① Rock Bolt의 인장력과 동등한 힘이 터널 벽면에 내압으로 작용

② **2축 응력 상태 → 3축 응력 상태 환원 효과**

: 구속압(측압)의 증대효과

③ 지반강도 or 내하력 저하 억제

④ 터널 안쪽에서 Rock Bolt 등으로 내압(P)을 가하면 구속압력 상승으로 전단강도 증가, 취성파괴 형태에서 연성파괴 형태로 바뀐다.



[그림] 터널 지보재가 소성파괴 구역에 미치는 영향(지하 600m)

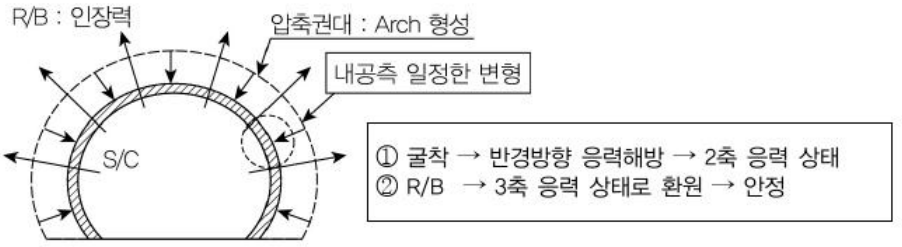
(4) **Arch 형성 효과**

① System Rock Bolt 의 내압효과로 일체화 → 내하능력 증대

iolligo
아이올리고
www.iolligo.com

② 굴착면 주변지반은 내공 측으로 일정하게 변형 → 내하력이 큰 **Grand Arch 형성**

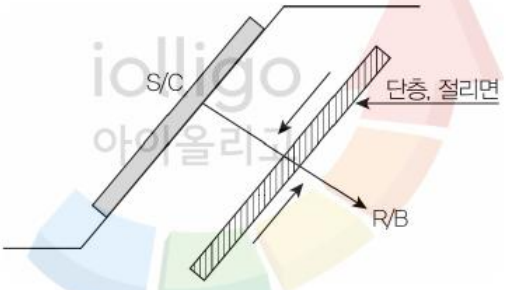
③ Rock Bolt 설치 후 인장력 가하면(Pretensioned Bolt), 주변 암반에 압축권이 형성, 각 Bolt에 의한 압축권은 서로 연결되어 아치형태의 압축대 형성



(5) **지반보강(개량)**(사면) : 불연속면 보강

① 지반의 전단저항 증대 → 내하력 증대 → 지반 항복 후에도 잔류강도증가

② 지반 전체가 공학적 특성치 증대



iolligo
아이올리고
www.iolligo.com

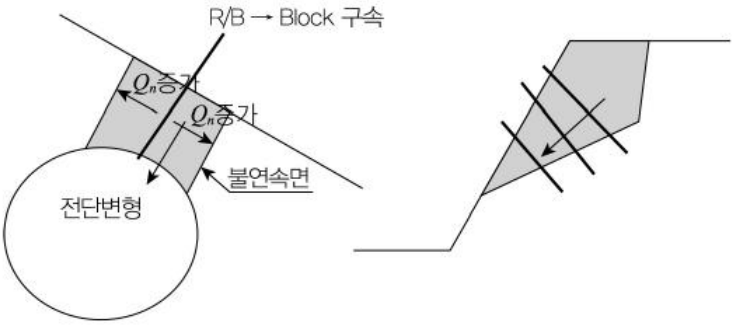
7. Rock Bolt 보강력 발휘 메커니즘

1) Rock Bolt 시공에 의한 전단변형 구속효과

(1) 전단변형 시에는 불연속면에 수직방향으로 팽창하려 하나, 수직방향이 완전히 구속되어 있으므로 팽창 대신 수직응력(σ_n)이 증가한다.

(2) Rock Bolt로 구속된 불연속 블록은 전단변형이 발생하면서 전단강도가 증가한다.

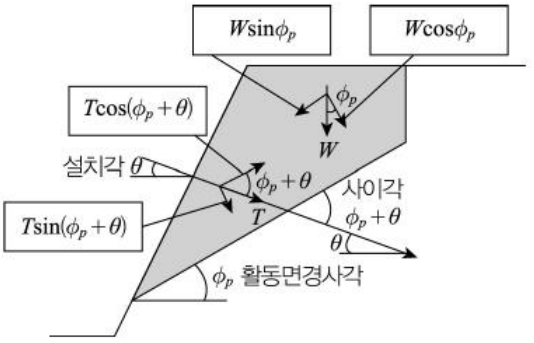
$\tau_f = \sigma_n \tan\phi$: σ_n의 영향으로 τ_f(터널 내부로부터 내압)을 가한 효과



2) R/B와 암반과의 부착력

3) 매달기 효과 : 소성변형 구간 대폭 축소 → 안정화

4) 사면의 Rock Bolt 메커니즘(Anchor도 동일)



① 전단응력=활동면 평행성분
$= W\sin\phi_p - T\cos(\phi_p+\theta)$
② 전단저항=수직성분
$= W\cos\phi_p + T\sin(\phi_p+\theta)$

$$F_s = \frac{CA + [W\cos\phi_p + T\sin(\phi_p+\theta)]\tan\phi}{W\sin\phi_p - T\cos(\phi_p+\theta)}$$

(1) 설치각도 $\theta\uparrow$: F_s 증가, 지나치게 크면 활동력 증가

(2) 가장 효율적인 설치각도 : $\theta = \phi - \phi_p$

8. Rock Bolt 설계 시 Q값의 활용

1) 터널 지보 방법 제시

Q치와 터널의 등가 치수 제안(터널의 유효 크기), Q값에 의한 지보 방법은 터널의 유효 크기 D_e 에 따라 결정됨

$$D_e = \frac{B(\text{터널굴진장, 직경, 높이})}{ESR}$$

(1) ESR(Excavation Support Ratio)

=굴착 지보율=터널 용도에 따라 요구되는 안정성 지수=안전율의 역수 개념

(2) D_e 가 결정되면 이에 상응하는 38개의 영구적인 보강 방법 제시

2) Rock Bolt 길이 제안

(1) 터널 천정부

$$L = \frac{2 + 0.15B}{ESR}$$

(2) 터널 측벽부

$$L = \frac{2 + 0.5H}{ESR}$$

[B : 터널 폭, H : 터널 높이]

9. Rock Bolt의 분류

1) 정착(고정) 방법별 분류

(1) 선단 정착(고정)형 : 지반압축, 봉합효과, 견고한 지반(경암, 보통암)

iolligo 아이올리고 www.iolligo.com

① 쐐기형(Wedge Type)

② 레진형(Resin Type)

③ 익스펜션형(Expansion Type)

(2) 전면접착형 : 전장을 지반에 정착, 토사~경암

충전형(Cement Mortar)

주입형(Cement Milk)

(3) 혼합형 : 선단, 전면 병용형

(4) Swellex

2) 재질별 분류

(1) 이형철근 : D22~29

(2) 유리섬유(Glass Fiber) : 터널 막장면

(3) FRP

(4) 철관(Swellex)

10. Rock Bolt의 시공

1) 타설 패턴(배치)

(1) Random Bolt : 필요 부분만 설치, 선단정착식 사용

(2) System Bolt : 일률적으로 설치, 전면접착식 사용

2) Rock Bolt의 제원(배치 간격 및 길이)

(1) 이완영역 이상

타설 길이(L) > 1/3~1/5× 터널폭(B) or L > t(지보면과 막장면까지 거리)

(2) Bolt 영향범위 중첩 : 타설 길이(L) > 2× 타설 간격(P : 간격=Pitch)

∴ 간격(P) < 0.5L

(3) 봉합작용 : 간격(P) ≤ 3D(암괴의 평균수치)

(4) 절리 관계 : 타설 길이(L) > 3× 절리 평균 간격

(5) 보통 L=4m

(6) 타설 길이 계산식 : L=1.4+0.18B [B : 터널폭]

(7) Rock Bolt 개수 계산식

$N = F \cdot W/B$

[N : 개수, B : 록볼트 인장강도, W : 록볼트 재하하중, F : 안전율]

(8) 직경 : ϕ = 25mm

3) 재료

(1) Bolt : 인장 특성이 좋은 재질 사용, SD30, SD35 이상의 것, 직경 16~25mm 사용

(2) 정착 재료 : Cement 밀크, Cement 모르타르, Cement 계 고착재, Resin

iolligo
www.iolligo.com

11. Rock Bolt 시공 관리(시공 시 유의사항)

1) Rock Bolt 길이는 지반에 따라 Random으로 하는 것이 좋음 : 3~6m

2) 설치시기 : 지반에 따라 다르나 2~3 막장 이내가 좋음

3) 설치간격 및 배치

갱구부, 수직구 등 굴착 초기에는 종방향 간격을 촘촘하게 함 : 약 50cm 간격, 매 막장마다 엇갈리게 (Zig Zag) 배치

4) 정착재, Rock Bolt 등의 재료는 사용 전 품질 확인함

5) 타설 : 굴착면에 직각으로 타설

12. 맺음말

시공 관리 주안점

NATM은 1) 계측 실시하여 막장 자립 시간, 지반 상태 확인하여 2) 안전하고, 경제적 시공

■ 참고문헌 ■

1. 도덕현 외 2인(2003), 암반공동의 설계와 시공, 건설정보사.
2. 지반공학 시리즈 7(터널)(1997), 지반공학회.
3. 서진수(2006), Powerful 토목시공기술사(1, 2권), 엔지니어즈.
4. 김승렬(1998), 터널 일반설계, 토목시공 고등기술강좌 Series 11, 대한토목학회, pp.131~170.

iolligo
아이올리고
www.iolligo.com