

8. 암반의 공학적 분류

8.1 암반분류체계

-암반의 경험적(공학적) 분류: 암반의 특성을 경험적 자료를 바탕으로 정량화하는 방법

-암반분류의 목적

- (1) 암반을 유사한 거동을 보이는 몇 개의 그룹으로 분류
- (2) 각 그룹의 특성을 이해하는데 필요한 기준을 제공
- (3) 공학적 설계를 위한 정량적 자료를 제공
- (4) 공학적 의사소통을 위한 공통적 기준 제공

-암반분류체계가 갖추어야 할 조건

- (1) 간편하고 이해하기 쉬움
- (2) 각 항목이 명확하고 널리 통용되는 용어
- (3) 암반의 중요한 특성을 포함
- (4) 각 분류 항목은 신속히, 적은 비용으로 측정할 수 있는 변수로 구성
- (5) 분류항목에 점수를 배당하여 상대적 중요성을 나타냄
- (6) 암반지보 설계를 위한 정량적 자료 제공

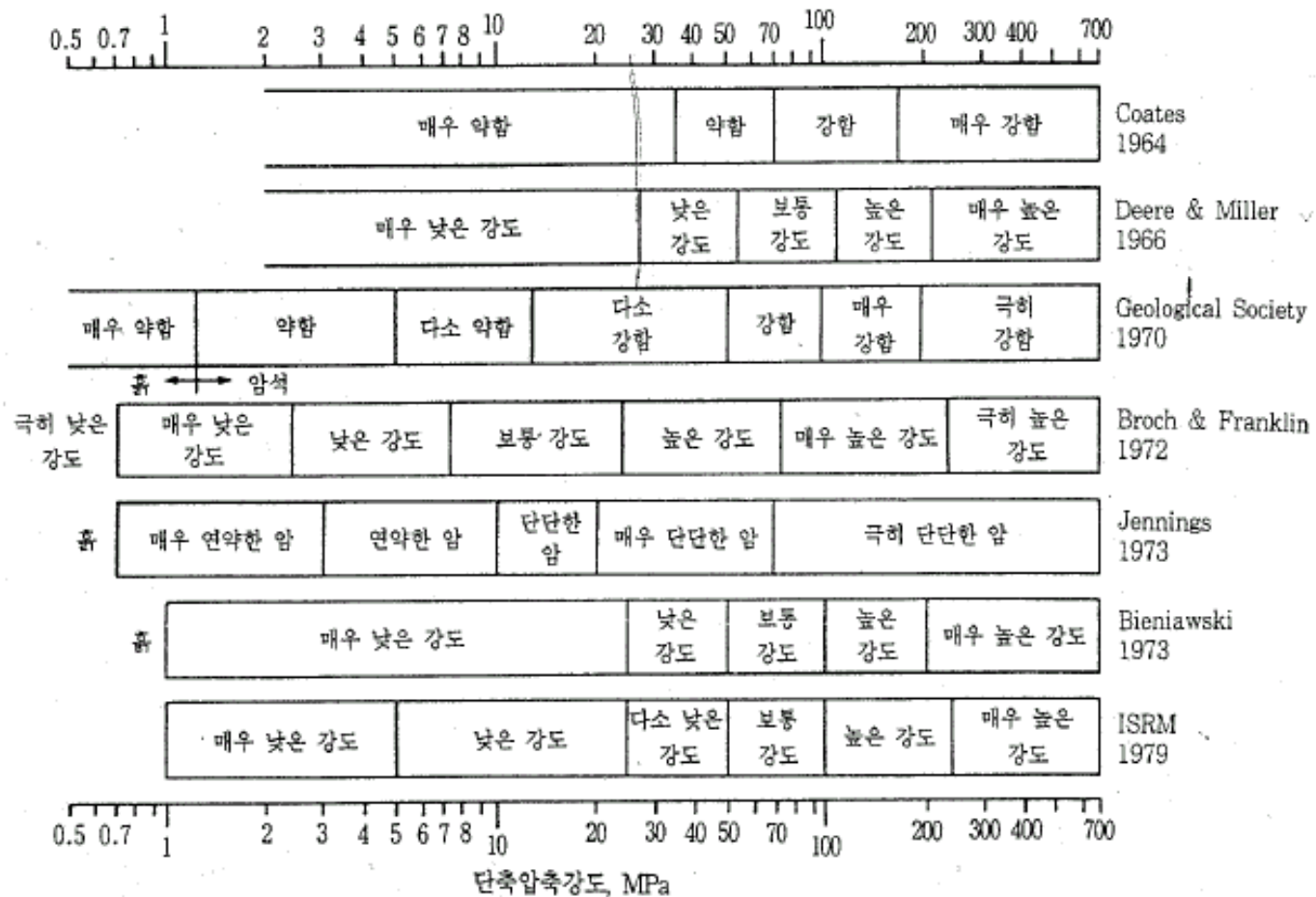
8.1 암반분류체계

-현재 사용되고 있는 주요 암반분류법

| 분류법 | 제안자, 연도 | 개발된 나라 | 적용범위 |
|-------------|----------------------|-----------|------------|
| 암반하중 | Terzaghi, 1946 | 미국 | 철재지보 터널 |
| 자립시간 | Lauffer, 1958 | 오스트리아 | 터널 |
| RQD | Deere, 1964 | 미국 | 코어주상도, 터널 |
| 무결암의 강도 | Deere & Miller, 1966 | 미국 | 정보교환 |
| RSR 개념 | Wickham 등, 1972 | 미국 | 터널 |
| RMR 분류 | Bieniawski, 1973 | 남아프리카, 미국 | 터널, 광산, 기초 |
| Q 분류 | Barton 등, 1974 | 노르웨이 | 터널, 대규모 공동 |
| 강도/블록크기 | Franklin, 1975 | 캐나다 | 터널 |
| 기초 지반공학적 분류 | ISRM, 1981 | 국제학회 | 범용 |

8.1 암반분류체계

-무결암의 분류: 단축압축강도에 의한 분류



| 암반상태 | 암반하중 H_b (ft) | 비고 |
|----------------------------|--------------------------------------|--|
| 1. 경질의 무결암 | 0 | 스폴링이나 포핑이 일어날 경우에 한하여 얇은 라이닝. |
| 2. 경질의 층상 혹은 편상(schistose) | 0~0.5B | 스폴링 방지를 위한 간단한 지보. 암반하중은 지점에 따라 불규칙하게 변할 수 있음. |
| 3. 피상, 보통정도 절리가 발달 | 0~0.25B | |
| 4. 보통정도의 블록상, 균열상 | 0.25B~0.35(B+H _t) | 측압이 없음 |
| 5. 심한 블록상, 균열상 | (0.35~1.10)(B+H _t) | 측압이 아주 작거나 없음 |
| 6. 완전히 파쇄 | 1.10(B+H _t) | 상당한 측압. 지하수 유출로 터널바닥이 약화되는 경우, 철재지보의 바다 받침대를 설치하거나 원형 철재지보를 설치해야 함. |
| 7. 압착성 암반, 보통정도 심도 | (1.10~2.10)(B+H _t) | 큰 측압이 작용하며 인버트 버팀대가 필요. 원형 철재지보를 사용하는 것이 좋다. |
| 8. 압착성 암반, 대심도 | (2.10~4.5)(B+H _t) | |
| 9. 팽창성 암반 | 최대 250ft (B+H _t)와는 무관 | 원형 철재지보가 필요. 극단적인 경우 가축성 지보를 사용 |

| 절리 간격 (cm) | RQD(%) | 암 반 상 태 | 암반하중, H_p | | 비 고 |
|------------------|----------|------------------------|----------------|-----------------|--|
| | | | 초 기 | 최 종 | |
| 50 | 98 | 1. 경질의 무결암 | 0 | 0 | 스플링이나 포핑이 일어날 경우 에 한하여 얇은 라이닝 스플링이 통상적으로 발생 암층이 경사진 경우 측압이 존재, 기암석 스플링이 발생 측압이 아주 작거나 없음 상당한 측압, 지하수 침투시 연속적으로 연결된 지보재로 사용 치밀함 측압 $P_h = 0.3 \gamma (0.5 H_t + H_p)$ 느슨함 큰 측압, 연속적으로 연결된 지보재 사용 원형지보재 사용, 극단적인 경우 가축성 지보재 사용 |
| | | 2. 경질의 층상 혹은 편상 | 0 | 0.25B | |
| | 95 90 | 3. 피상, 보통정도 절리가 발달 | 0 | 0.5B | |
| 20 | 75 | 4. 보통정도 불룩상, 균열상 | 0 | 0.25B ~0.35C | |
| | | 5. 심한 불룩상, 균열상, 교란됨 | 0 ~0.6C | 0.35C ~1.1C | |
| 10 | 50 25 | 6. 완전히 파쇄됨 | | 1.1C | |
| | | 7. 자갈, 모래 | 0.54C ~1.2C | 0.62C ~1.38C | |
| 2 | 10 2 | | | 0.94C ~1.2C | 1.08C ~1.38C |
| | | 8. 압착성 암반, 보통정도 심도 | | 1.1C ~2.1C | |
| 연약, 점착성 | | 9. 압착성 암반, 대심도 | | 2.1C ~4.5C | |
| | | 10. 팽창성 암반 | | 최대 250ft | |

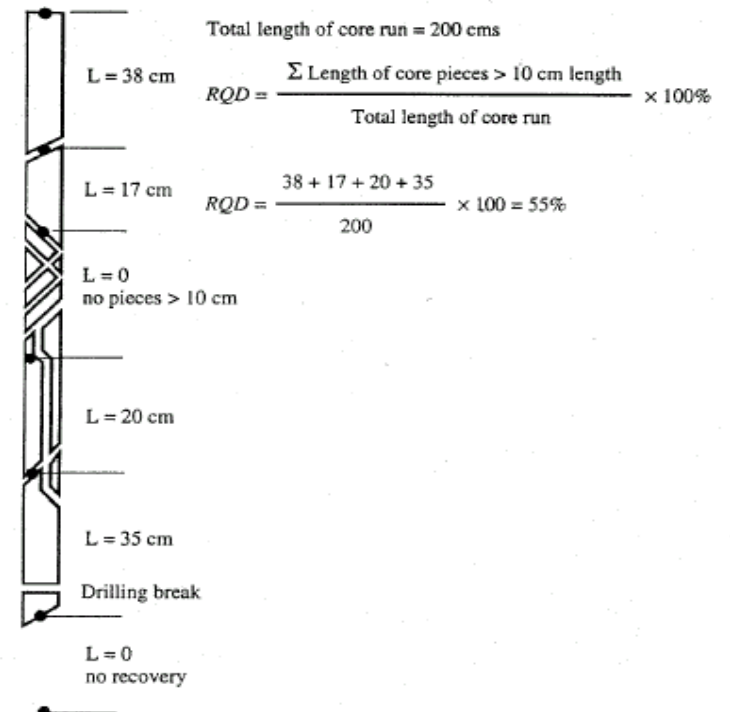
일반적으로 측압이 존재하지 않음,
지점에 따라 불규칙한 암반하중의 변화

- 주) 1. 암반등급 4,5,6,7에서 지하수면 상부에 터널이 위치하는 경우 암반하중을 50% 감소시킨다.
2. B는 터널의 폭, C = B + H, = 터널폭 + 터널의 높이
3. γ = 암반의 단위중량

8.3 Deere의 RQD 분류

- RQD(Rock Quality Designation, 암질지수): 10 cm 이상 코어의 길이의 합을 백분율로 표시한 것.
- 장점: 신속하고 적은 비용 소요
- 단점: 절리의 방향성, 밀착성, 충전물 고려 못함

| | | | | | |
|---------|------|---------|---------|---------|----------|
| RQD (%) | < 25 | 25 - 50 | 50 - 75 | 75 - 90 | 90 - 100 |
| 암질 | 매우불량 | 불량 | 보통 | 양호 | 매우양호 |



- RQD에 의한 지보설계 (터널직경 6 ~ 12 m 기준)

| 암 질 | 굴착방법 | 선택가능한 지보 설계 | | |
|--|----------------------------|---|----------------------------|--|
| | | 철재지보 ² | 록볼트 ³ | 숏크리트 |
| 매우 양호 ¹ RQD > 90 | TBM | 불필요 혹은 경우에 따라 소형 철재지보. 암반하중(0.0~0.2)B | 불필요 혹은 경우에 따라 설치 | 불필요 혹은 경우에 따라 국부적으로 타설 |
| | 천공발파 | 불필요 혹은 경우에 따라 소형 철재지보 암반하중(0.0~0.3)B | 불필요 혹은 경우에 따라 설치 | 불필요 혹은 경우에 따라 국부적으로 타설, 두께 2~3in. |
| 양호 ¹ 75 < RQD < 90 | TBM | 경우에 따라 CTC5 ~ 6ft의 소형 패턴 철재지보 암반하중(0.0~0.4)B | 경우에 따라 CTC 5~6ft의 패턴 볼트 | 불필요 혹은 경우에 따라 국부적으로 타설, 두께 2~3in. |
| | 천공발파 | CTC5 ~ 6ft의 소형 철재지보 암반하중(0.3~0.6)B | CTC 5 ~ 6ft의 패턴 볼트 | 경우에 따라 국부적으로 타설, 두께 2~3in. |
| 보통 50 < RQD < 75 | TBM | CTC5 ~ 6ft의 소형 혹은 중형 철재지보 암반하중(0.4~1.0)B | CTC 4 ~ 6ft의 패턴 볼트 | 천장부에 타설, 두께 2~4in. |
| | 천공발파 | CTC4 ~ 5ft의 소형 혹은 중형 철재지보 암반하중(0.6~1.3)B | CTC 3 ~ 5ft의 패턴 볼트 | 천장부와 측벽부에 타설, 두께 4in. 이상 |
| 불량 ² 25 < RQD < 50 | TBM | CTC3 ~ 4ft의 중형 원형 철재지보 암반하중(1.0~1.6)B | CTC 3 ~ 5ft의 패턴 볼트 | 천장부와 측벽부에 타설, 두께 4~6in. 록볼트와 병용 |
| | 천공발파 | CTC2 ~ 4ft의 중형 또는 대형 철재지보 암반하중(1.3~2.0)B | CTC 2 ~ 4ft의 패턴 볼트 | 천장부와 측벽부에 타설, 두께 6in. 이상 록볼트와 병용 |
| 매우불량 ³ RQD < 25 | TBM | CTC 2ft의 중형 또는 대형 원형 철재지보 암반하중(1.6~2.2)B | CTC 2 ~ 4ft의 패턴 볼트 | 전체면에 타설, 두께 6in. 이상 중형 철재지보와 병용 |
| | (압착성 혹은 팽 천공발파 창성 암반제외) | CTC 2ft의 대형 원형 철재 지보. 암반하중(1.6~2.2)B | CTC 3ft의 패턴 볼트 | 전체면에 타설, 두께 6in. 이상 중형 또는 대형 철재지보와 병용 |
| 매우불량 ³ (압착성 혹은 팽 창성 암반) | TBM | CTC 2ft의 초대형 원형 철재지보. 암반하중 최대 250ft | CTC 2 ~ 3ft의 패턴 볼트 | 전면부분에 타설, 두께 6in. 이상 대형 철재지보와 병용 |
| | 천공발파 | CTC 2ft의 초대형 원형 철재지보 암반하중 최대 250ft | CTC 2 ~ 3ft의 패턴 볼트 | 전체면에 타설, 두께 6in. 이상 대형 철재지보와 병용 |

주) 1. 양호한 암반이나 매우 양호한 암반 조건에서의 지보량은 일반적으로 최소화되나 절리의 기하학적 형태, 터널직경, 절리와 터널의 상대적 방향성에 따라 달라진다.

2. 살창(lagging)은 매우 양호한 암반에서는 불필요하며, 양호한 암반조건에서는 25%, 매우 불량한 암반에서는 100% 까지 필요성을 갖는다.

3. 메쉬(mesh)는 매우 양호한 암반조건에서는 불필요하며, 양호한 암반에서는 필요에 따라 설치하며, 매우 불량한 암반에서는 100% 설치하여야 한다.

4. B = 터널의 폭

8.4 RSR (Rock Structure Rating)

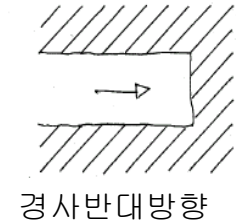
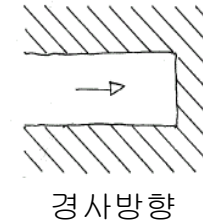
- Wickham 등(1972)에 의해 개발된 여러변수를 고려한 (최초의) 정량적 분류법
- 평가변수
 - A 암반구조의 일반적 평가: 암석의 생성기원, 강도, 지질구조
 - B 굴진방향에 대한 불연속면의 영향: 절리간격, 절리방향, 터널굴진방향
 - C 지하수 유입에 의한 영향: 전반적 암질상태, 절리상태, 출수량
- TBM (Tunnel Boring Machine)의 경우는 RSR값 조정

A. 일반적인 지질조건

| | 기본 암반 종류 | | | | 과상 | 지 질 구 조 | | |
|------|----------|-----|-----|-----|----|-------------------|---------------------|------------------|
| | 경 암 | 중경암 | 연 암 | 파쇄암 | | 약간의 단층 혹은 습곡작용 | 보통정도의 단층 혹은 습곡작용 | 심한 단층 혹은 습곡작용 |
| 화성암 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| 변성암 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| 퇴적암 | 2 | 3 | 4 | 4 | | | | |
| 종류 1 | | | | | 30 | 22 | 15 | 9 |
| 종류 2 | | | | | 27 | 20 | 13 | 8 |
| 종류 3 | | | | | 24 | 18 | 12 | 7 |
| 종류 4 | | | | | 19 | 15 | 10 | 6 |

B. 절리형태, 굴진방향

| 평균 절리가격 | 주향 ⊥ 굴진방향 | | | | | 주향 굴진방향 | | | | |
|-----------------------|------------|---|---------|----|----|------------|----|-----|----|---|
| | 굴진방향 양쪽 | | 경사반대 방향 | | | 굴진방향 양쪽 | | | | |
| | 주요절리의 경사 * | | | | | 주요절리의 경사* | | | | |
| | 수 | 평 | 경사짐 | 수 | 직 | 수 | 평 | 경사짐 | 수 | 직 |
| 1. 매우조밀(2 in. | 9 | | 11 | 13 | 10 | 12 | 9 | 9 | 7 | |
| 2. 조밀, 2~6 in. | 13 | | 16 | 19 | 15 | 17 | 14 | 14 | 11 | |
| 3. 보통, 6~12in. | 23 | | 24 | 28 | 19 | 22 | 23 | 23 | 19 | |
| 4. 보통 내지 블록상 1~2ft | 30 | | 32 | 36 | 25 | 28 | 30 | 28 | 24 | |
| 5. 블록상 내지 괴상 2~4ft | 36 | | 38 | 40 | 33 | 35 | 36 | 34 | 28 | |
| 6. 괴상)4 ft | 40 | | 43 | 45 | 37 | 40 | 40 | 38 | 34 | |



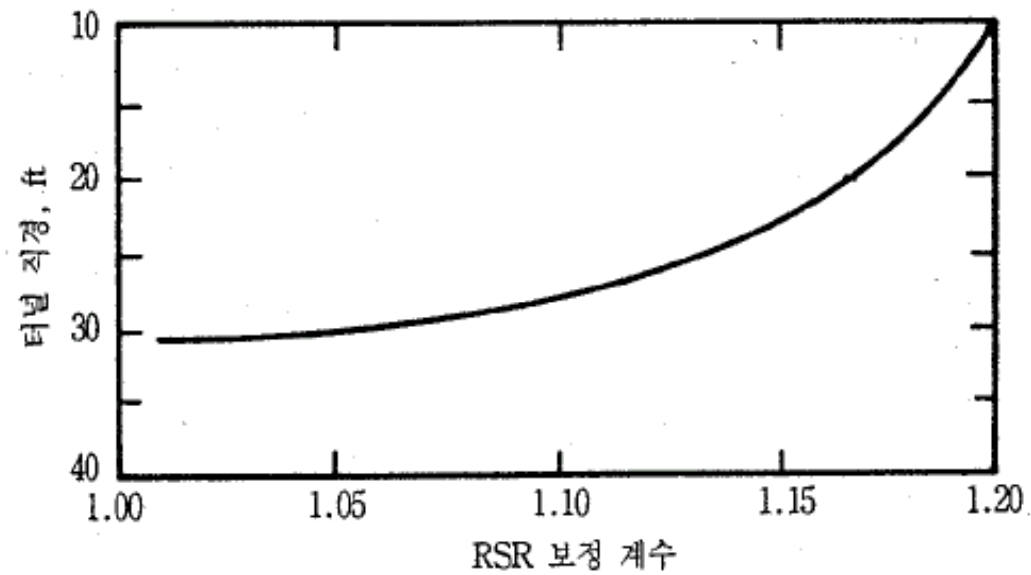
C. 지하수, 절리상태

| 예상 출수량 (gpm/1000ft) | A+B | | 45-75 | | | |
|------------------------|---------|---|-------|---|----|---|
| | 절리상태 ** | | | | | |
| | 양 | 호 | 보 | 통 | 불 | 량 |
| 출수 없음 | 22 | | 18 | | 12 | |
| 소량 < 200 gpm | 19 | | 15 | | 9 | |
| 보통 < 200 ~ 1000 gpm | 15 | | 11 | | 7 | |
| 다량 > 1000 gpm | 10 | | 8 | | 6 | |

* 경사 : 수평: 0~20도: 경사짐: 20~50도: 수직: 50~90도

** 절리 상태: 양호 = 밀착 혹은 고결됨: 보통 = 약간 풍화되거나 변질됨: 불량 = 심하게 풍화되거나 변질 혹은 벌어짐

8.4 RSR (Rock Structure Rating)



TBM 굴착에 대한 **RSR** 보정

8.5 RMR (Rock Mass Rating)

- Bieniawski(1973)에 의해 개발됨
- 5가지의 평가항목 + 1가지 보정항목: 무결암강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 불연속면 방향
- 분류평점 합계에 의한 암반등급

| | | | | | |
|-------|----------|---------|---------|---------|-------|
| 평점 합계 | 100 ~ 80 | 80 ~ 61 | 60 ~ 41 | 40 ~ 21 | < 20 |
| 암반 등급 | I | II | III | IV | V |
| 암반 상태 | 매우 양호 | 양호 | 보통 | 불량 | 매우 불량 |

- 암반등급의 의미

| 암반 등급 | I | II | III | IV | V |
|---------|----------------|---------------|---------------|------------------|---------------|
| 평균 자립시간 | 15m 폭으로 20년 | 10m 폭으로 1년 | 5m 폭으로 1주일 | 2.5m 폭으로 10시간 | 1m 폭으로 30분 |
| 암반의 점착력 | > 400 kPa | 300 ~ 400 kPa | 200 ~ 300 kPa | 100 ~ 200 kPa | < 100 kPa |
| 암반의 마찰각 | < 45° | 35° ~ 45° | 25° ~ 35° | 15° ~ 25° | < 15° |

8.5 RMR (Rock Mass Rating)

- RMR 변수 및 평점

| 변 수 | | 평 점 범 위 | | | | | | | |
|-----|-------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|---|---|---------------------------|------------|-----------|
| 1 | 무결암의 강도 | 점하중강도지수 | > 10MPa | 4~10MPa | 2~4MPa | 1~2MPa | 이 범위에서는 단축압축강도 시험이 필요함 | | |
| | | 단축압축강도 | > 250MPa | 100~250MPa | 50~100MPa | 20~50MPa | 5-25 MPa | 1-5 MPa | <1 MPa |
| | 평 점 | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| 2 | R Q D | 90 ~ 100% | 75 ~ 90 % | 50 ~ 75% | 25 ~ 50% | < 25% | | | |
| | 평 점 | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | | |
| 3 | 절리간격 | > 2m | 0.6 ~ 2m | 200~600mm | 60~200mm | < 60mm | | | |
| | 평 점 | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | | |
| 4 | 절리상태 | 매우 거침. 연속성이 없음. 벌어짐이 없음. 절리면이 풍화되지 않음. | 약간 거침. 분리틈새<1mm 절리면이 약간 풍화. | 약간 거침. 분리틈새<1mm 절리면이 심하게 풍화. | 매끄러운면 또는 충전물<5mm 두께 또는 분리틈새 1~5mm 연속적 인 절리면 | 연약한 충전물> 5mm 두께 또는 분리틈새>5mm 연속적 인 절리면 | | | |
| | 평 점 | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | | |
| 5 | 지 하 수 | 터널길이 10m당 출수량 | 없음 | <10 리터/분 | 10-25 리터/분 | 25-125 리터분 | > 125 | | |
| | | 비 | 또는 0 | 또는 0.0 ~ 0.1 | 또는 0.1 ~ 0.2 | 또는 0.2 ~ 0.5 | 또는 > 0.5 | | |
| | | 절리수압 최대주응력 | 또는 | 또는 | 또는 | 또는 | 또는 | | |
| | 일반상태 | 완전 건조 | 습 기 | 젖은 상태 | 물방울 떨어짐 | 홀리내림 | | | |
| 평 점 | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | | |

8.5 RMR (Rock Mass Rating)

- 불연속면의 방향에 따른 평점 보정

| 절리의 주향과 경사 | | 매우 유리 | 유 리 | 보 통 | 불 리 | 매우 불리 |
|------------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|
| 평 점 | 터 널 | 0 | -2 | - 5 | -10 | -12 |
| | 기 초 | 0 | -2 | - 7 | -15 | -25 |
| | 사 면 | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |

| | | | | |
|---|-------|------------|----------------------------|------------|
| 주향이 터널의 축방향에 수직 경사 방향으로 굴착 경사 45°~90° | | 경사 20°~45° | 경사 반대방향으로 굴착 경사 45°~90° | 경사 20°~45° |
| 매우 유리 | 유리 | 보통 | 불리 | |
| 주향이 터널축과 평행 경사 20°~45° | | 경사 45°~90° | 주향과 무관한 경우 경사 0°~20° | |
| 보통 | 매우 불리 | 보통 | | |

8.5 RMR (Rock Mass Rating)

CHART A 두결암의 강도에 대한 평점

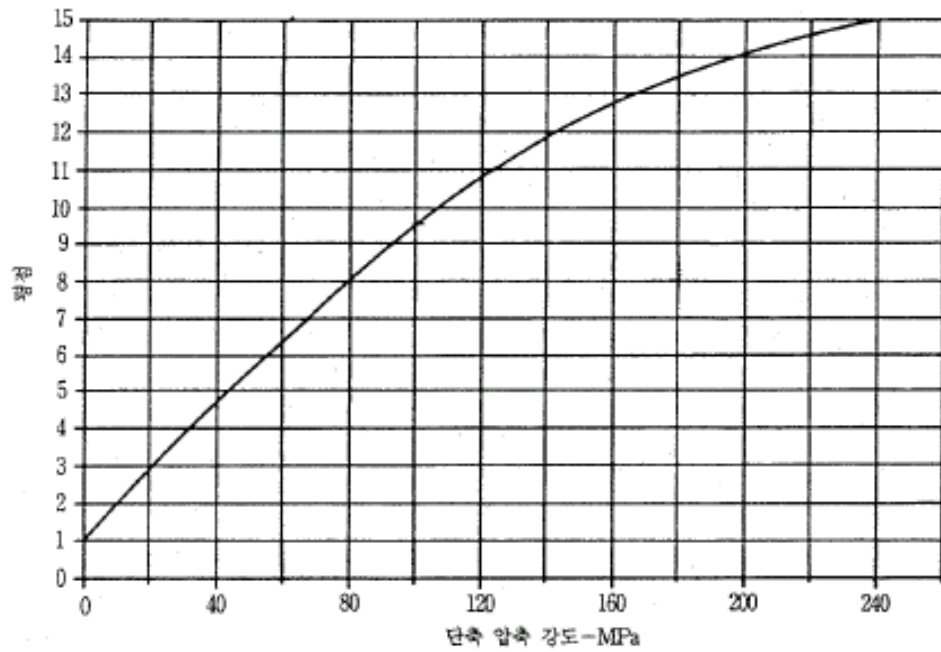
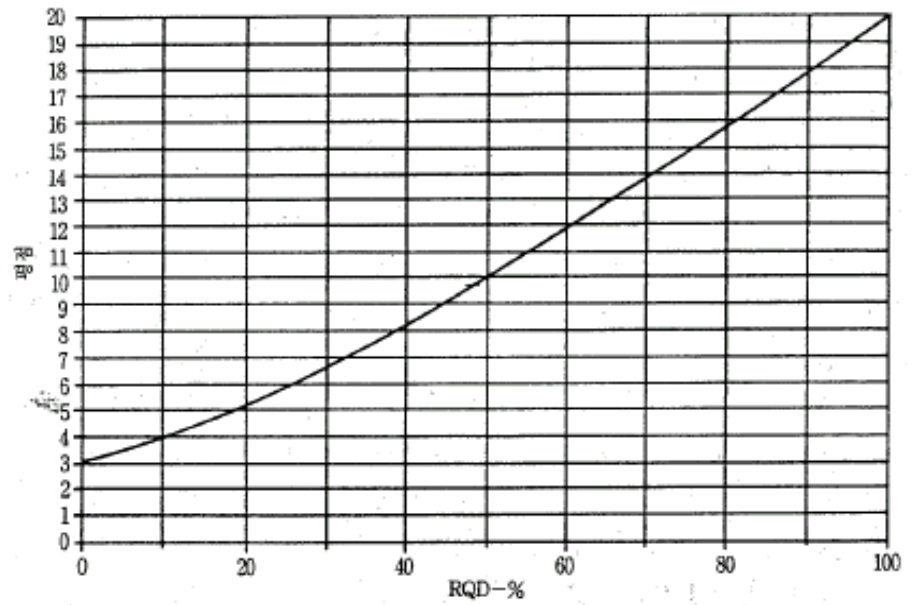


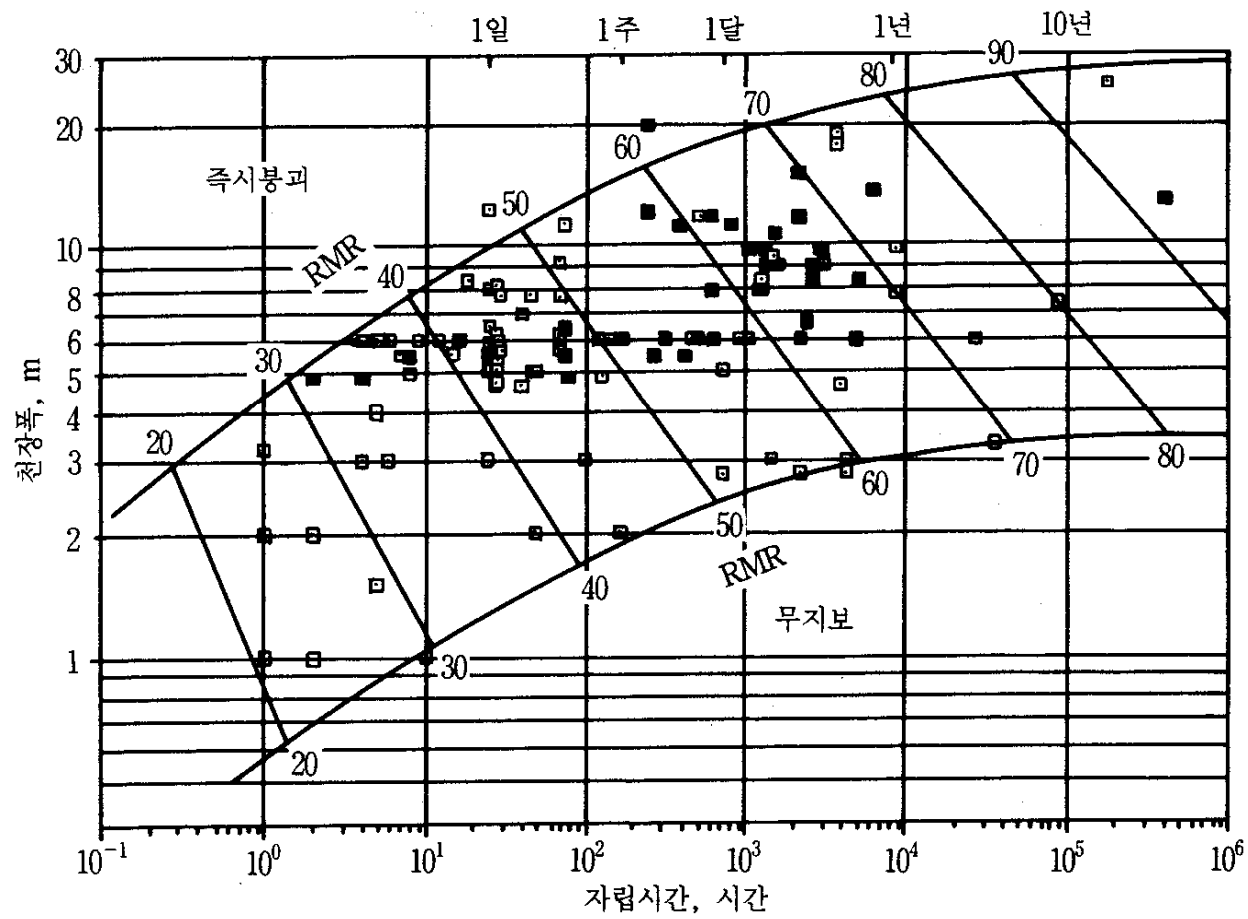
CHART B RQD에 대한 평점



- RMR평점에 의한 터널의 굴착 및 지보 (말굽형 터널, 폭 10m, 수직응력 25 MPa이하, 천공발파)

| 암반 등급 | 굴착 형태 | 지보 | | |
|--------------------------------|---|--|---|---|
| | | 록볼트 (20mm 지름의 전면 접촉형) | 숏크리트 | 철재 지보 |
| 1. 매우 양호한 암반 RMR : 81 - 100 | 전단면 : 3 m 굴진 | 경우에 따라 국부적으로 록볼트 설치 이외의 지보설치는 일반적으로 불필요 | | |
| 2. 양호한 암반 RMR : 61 - 80 | 전단면: 1.0 ~ 1.5m 굴진; 막장 20m 후방까지 완전한 지보 | 천장부에 길이 3m, 간격 2.5m 록볼트를 설치 경우에 따라 와이어메쉬도 함께 설치 | 천장부의 필요한 곳에 50mm 두께로 타설 | 불필요 |
| 3. 보통의 암반 RMR : 41 - 60 | 계단식(top heading & bench) : 상단면이 1.5 ~ 3m 씩 굴진; 발파직 후 지보 설치 시작; 막장에서 10m 후방까지 완전한 지보 | 길이 4m, 간격 1.5 ~ 2m 의 록볼트를 천장부 및 측벽에 체계적으로 설치, 천장부는 와이어 메쉬 설치 | 천 장 부 에 50 ~ 100mm 두께, 측벽부에 30mm 두께로 타설 | |
| 4. 불량한 암반 RMR : 21 - 40 | 계단식 : 상단면이 1.0 ~ 1.5m 씩 굴진 ; 굴착과 동시에 지보설치-막장 10m 후방 | 길이 4 ~ 5m, 간격 1 ~ 1.5m 의 록볼트를 와이어메쉬와 함께 천장부 및 측벽부에 체계적으로 설치 | 천 장 부 에 100 ~ 150mm 두께. 측벽부에 100mm 두께로 타설 | 필요한 곳에 1.5m 간격의 소형 철재지보 설치 |
| 5. 매우 불량한 암반 RMR : < 20 | 복수터널을 이용한 굴착: 상단면이 0.5 ~ 1.0m 씩 굴진; 굴착과 동시에 지보설치 ; 발파후 가능한 빨리 숏크리트 타설 | 길이 5 ~ 6m, 간격 1 ~ 1.5m의 록볼트를 와이어메쉬와 함께 천장부 및 측벽부에 체계적으로 설치. 인버트에도 볼트 설치 | 천 장 부 에 100 ~ 200mm 두께. 측벽부에 150mm 두께, 막장면에 50mm 두께로 타설 | 0.76m 간격의 중형 또는 대형 철재지보를 철재살창(lagging)과 함께 설치. 필요하다면 포어폴(forepole)설치. 인버트 폐합. |

- RMR평점과 터널자립시간



8.5 RMR (Rock Mass Rating)

- RMR과 지보하중

$$P = \frac{100 - RMR}{100} \gamma B$$

여기서, B 는 터널(m), γ 는 암석의 밀도(kg/m³)

- RMR과 암반변형계수

$$E_M = 2 \times RMR - 100 \text{ (GPa), } RMR > 50 \text{ 일 경우 (Bieniawski, 1978)}$$

$$E_M = 10^{\frac{RMR-10}{40}} \text{ (GPa), } RMR < 50 \text{ 일 경우 (Serafim Pereira, 1983)}$$

8.5 RMR (Rock Mass Rating)

- 예제: 다소 풍화된 규암에서 폭이 6m인 터널을 굴착한다고 할 때 이 터널의 무지보자립시간과 지보방법, 암반의 변형계수를 구하시오

| 항 목 | 측 정 치 | 평 점 |
|---|-------------------|-----|
| 1. 무결암의 강도 | 152 MPa | |
| 2. RQD | 80 ~ 90 % | |
| 3. 불연속면의 간격 | 0.3 ~ 1 m | |
| 4. 불연속면의 상태: 연속적인 절리 다소 거친 절리면 분리틈새 1mm 면이 심하게 풍화됨 충전물은 없음 | | |
| 5. 지하수 | 보통정도 출수(젖은 암반) | |
| | 암반의 기본 평점 | |
| 6. 절리의 방향 | 보통 | |
| | 최종 RMR 값 | |
| | 암반등급: II - 양호한 암반 | |

8.6 Q-system

- 노르웨이 지반공학 연구소(NGI)의 Barton 등(1974)에 의해 개발됨
- 6가지의 평가항목: RQD, 절리군의 수, (가장 불리한 방향의)불연속면 거칠기, (가장 약한) 절리의 변질 또는 충전정도, 출수, 응력조건(SRF:Stress Reduction Factor)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

- (1) $\frac{RQD}{J_n}$: 암반블록의 크기
- (2) $\frac{J_r}{J_a}$: 절리면 전단강도
- (3) $\frac{J_w}{SRF}$: 활동성 응력(active stress)

- RMR과의 비교: J_n, J_r, J_a 가 절리의 방향에 따른 영향보다 더 중요한 역할을 하므로 절리 방향에 관련된 변수를 포함시키면 분류법의 일반성이 감소하는 것으로 간주함. 그러나 보통 J_r, J_a 를 가장 불리한 방향의 절리 대하여 측정하게 되므로 절리 방향성의 영향이 내포됨.

1. 변수 RQD에 대한 설명 및 평점

| RQD | (RQD, %) |
|----------|----------|
| A. 매우 불량 | 0 ~ 25 |
| B. 불량 | 25 ~ 50 |
| C. 보통 | 50 ~ 75 |
| D. 양호 | 75 ~ 90 |
| E. 매우 양호 | 90 ~ 100 |

주:

- (i) RQD 값이 0 을 포함한 10 이하일 때는 10으로 간주하여 Q값을 산정한다.
- (ii) RQD 값은 100, 95, 90 등과 같이 5단위 간격의 수치를 사용하여도 충분히 정확하다.

2. 변수 J_n 에 대한 설명 및 평점

| 절리군 수에 관련된 변수 | (J_n) |
|---|-----------|
| A. 피상, 절리가 없거나 극소수 | 0.5 ~ 1.0 |
| B. 1개 절리군 | 2 |
| C. 1개 절리군 + 산발적인 절리 | 3 |
| D. 2개 절리군 | 4 |
| E. 2개 절리군 + 산발적인 절리 | 6 |
| F. 3개 절리군 | 9 |
| G. 3개 절리군 + 산발적인 절리 | 12 |
| H. 4개 이상의 절리군, 산발적인 절리, 심하게 절리가 발달된 상태, '각설탕' 형태 등. | 15 |
| J. 심하게 파쇄된 암반, 흩갈은 암반 | 20 |

주:

- (i) 터널교차 지점에 적용하는 경우 ($3.0 \times J_n$)을 사용
- (ii) 터널 입구에 적용하는 경우 ($2.0 \times J_n$)을 사용

3. 변수 J_r 에 대한 설명 및 평점

| 절리면 거칠기에 관련된 변수 | (J_r) |
|---------------------------------|-----------|
| a) 절리 벽면의 접촉 | |
| b) 10cm 전단까지 절리 벽면의 접촉 | |
| A. 불연속적 절리 | 4 |
| B. 거칠거나, 불규칙하고, 기복상(undulating) | 3 |
| C. 매끄럽고, 기복상 | 2 |
| D. 전단마찰면(미끄러움), 기복상 | 1.5 |
| E. 매끄럽고, 평탄함 | 1.0 |
| F. 전단마찰면(미끄러움), 평탄함 | 0.5 |

주:

- (i) 설명은 소규모의 특징과 중간규모의 특징에 대해 순서적으로 언급한 것임.

| | |
|----------------------------------|-----|
| c) 전단되었을 때 절리면이 접촉되지 않음 | |
| H. 점토광물의 충전두께가 절리 벽면의 접촉을 방해할 정도 | 1.0 |

주:

(ii) 해당 절리군의 평균간격이 3cm 이상이면 1.0을 더한다.

(iii) 평탄하고 미끄러운 절리에 선구조(lineation)가 최소강도 방향으로 발달된 경우, (J_r)은 0.5를 사용할 수 있다.

4. 변수 J_a 에 대한 설명 및 평점

| 절리면의 변질에 관련된 변수 | (J_a) | (ϕ_r) |
|---|------------------|--------------|
| a) 절리 벽면의 접촉 | | (근사값) |
| A. 매우 견고하고 맞물려 있고, 단단하며, 연화되지 않은 불투수성의 충전물 즉, 석영, 녹렴석(epidote) | 0.75 | (-) |
| B. 절리면이 변질되어 있지 않고, 표면에 얼룩만이 존재 | 1.0 | (25~35°) |
| C. 절리면이 약간 변질, 비연화광물의 피복, 사질입자, 점토를 포함하지 않은 파쇄암석 등 | 2.0 | (25~30°) |
| D. 실트질 혹은 사질 점토의 피복, 소량의 점토(비연화성) | 3.0 | (20~25°) |
| E. 연화성 혹은 마찰력이 작은 점토성 광물의 피복(고령토, 운모, 형석, 활석, 석고, 흑연 및 소량의 팽창성 점토) | 4.0 | (8~16°) |
| b) 10cm 전단까지 절리 벽면의 접촉 | | |
| F. 사질입자, 점토를 포함하지 않은 파쇄암석 등 | 4.0 | (25~30°) |
| G. 심하게 과압밀된 연화성 점토광물의 충전(연속적이거나 두께가 5mm 미만) | 6.0 | (16~24°) |
| H. 중간 혹은 약하게 과압밀된 연화성 점토광물의 충전(연속적이거나 두께가 5mm 미만). | 8.0 | (12~16°) |
| J. 팽창성 점토(몬토릴로나이트)의 충전(연속적이거나 두께가 5mm 미만). J_a 의 값은 팽창성 점토입자의 함유량과 수분의 유무에 따라 변함 | 8~12 | (6~12°) |
| c) 전단되었을 때 절리면이 접촉되지 않음 | | |
| K. 파쇄 또는 심한 파쇄암석과 점토의 혼합대 (점토에 대한 설명은 G, H, J 항을 참조) | 6.8또는 8~12 | (6~24°) |
| L. 실트질 혹은 사질 점토대, 소량의 점토(비연화성) | 5.0 | (-) |
| M. 두껍고 연속적인 점토대(점토의 상태에 대한 설명은 G, H, J 항을 참조) | 10.13또는 13~20 | (6~24°) |

5. 변수 J_w 에 대한 설명 및 평점

| 지하수에 관련된 변수 | (J_w) | 대략적 수압 (kg/cm ²) |
|--|---------------------|---------------------------------|
| A. 건조 혹은 소량의 출수 즉, 극부적으로 <5리터/분 | | < 1 |
| B. 보통정도의 출수와 수압, 경우에 따라 충전물 유실 | 1.0 | 1~2.5 |
| C. 절리내 충전물이 없는 견고한 암반에서 대량의 출수 또는 높은 수압 | 0.66 | 2.5~10 |
| D. 대량의 출수 또는 높은 수압, 절리충전물의 상당한 유실 | 0.5 | 2.5~10 |
| E. 발파시 과도한 출수 또는 과도한 수압, 시간에 따라 감소함. | 0.3 | > 10 |
| F. 발파시 과도한 출수 또는 과도한 수압, 시간에 따라 눈에 띄게 감소하지 않음 | 0.2~0.1 0.1~0.05 | > 10 |

주:

(i) 항목 C-F는 대략적 추정이다.

배수시설이 설치된 경우 J_w 를 증가시켜야 한다.

(ii) 절빙에 관련된 특수한 경우는 고려되지 않았다.

6. 변수 SRF에 대한 설명 및 평점

| 응력에 관련된 변수 | (SRF) |
|--|-------|
| a) 터널이 굴착될때 암반의 이완을 발생시킬 가능성이 있는 연약대가 터널을 교차 A. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대가 자주 나타남. 주변 암반은 매우 이완됨 (임의의 심도) | 10 |
| B. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 단일 연약대(굴착심도 ≤ 50m) | 5 |
| C. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 단일 연약대(굴착심도 ≤ 50m) | 2.5 |
| D. 견고한 암반에 점토가 없는 다수의 전단대. 주변암반은 이완됨(임의의 심도). | 7.5 |
| E. 견고한 암반에 점토가 없는 단일 전단대(굴착심도 ≤ 50m) | 5.0 |
| F. 견고한 암반에 점토가 없는 단일 전단대(굴착심도 > 50m) | 2.5 |
| G. 느슨하게 벌어진 절리, 심하게 발달된 절리 또는 각설상 형태(임의의 심도) | 5.0 |

주:

(i) 해당 전단대가 터널을 교차하지 않고 단지 영향만 미치면 SRF를 25~50% 감소시킨다.

| b) 견고한 암반, 암반내 응력크기의 분포 | σ_c / σ_1 | σ_θ / σ_c | (SRF) |
|---|-----------------------|----------------------------|---------|
| H. 낮은 응력, 지표부근 | >200 | <0.01 | 2.5 |
| J. 중간 정도의 응력, 유리한 응력조건 | 200~10 | 0.01~0.3 | 1.0 |
| K. 높은 응력, 매우 치밀한 구조(통상 안정성에 유리, 축력의 안정성에 불리할 수도 있음) | 10~5 | 0.3~0.4 | 0.5~2 |
| L. 피상암반이며 1시간 이후 정도부터 슬랩형상이 어느정도 발생 | 5~3 | 0.5~0.65 | 5~50 |
| M. 피상암반이며 수분후 슬랩현상이나 록버스트가 발생 | 3~2 | 0.65~1 | 5~200 |
| N. 피상암반이며 록버스트가 심하고 즉시 동적 변형이 발생 | <2 | >1 | 200~400 |

주:

(ii) 초기응력장의 이방성이 매우 심한 경우(축정된 경우): $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ 일때, σ_c 를 $0.75 \sigma_c$ 로 줄인다.

$\sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ 인 경우, σ_c 를 $0.5 \sigma_c$ 로 줄인다. 여기서 σ_c =단축압축강도, σ_1 과 σ_3 은 각각 최대 및 최소주 응력, σ_θ 는 최대 전선응력(탄성이론으로부터 추정)이다.

(iii) 지표로부터 터널 천장부까지의 심도가 터널폭보다 작은 경우에 대한 사례는 아주 적다. 이러한 경우는 SRF를 2.5에서 5로 증가시킨다.

| c) 압축성 암반: 높은 응력조건의 견고하지 못한 암반의 소성변형 | σ_θ / σ_c | (SRF) |
|--------------------------------------|----------------------------|-------|
| O. 낮은 압축압력 | 1~5 | 5~10 |
| P. 높은 압축압력 | >5 | 10~20 |

주:

(iv) 압축성 암반의 경우는 심도 H>350 Q^{1/3}(singh 등, 1992)일 때 발생할 있다. 암반의 압축강도는

$q = 0.7 \gamma Q^{1/3}$ (MPa)를 이용하여 추정할 수 있고 여기서 γ =암반의 단위중량(kN/m³)이다(singh, 1993).

| d) 팽창성 암반: 화학적 팽창작용은 지하수의 존재여부에 달려있다. | (SRF) |
|---------------------------------------|-------|
| R. 낮은 팽창압력 | 5~10 |
| S. 높은 팽창압력 | 10~15 |

8.6 Q-system

- ESR (Excavation Support Ratio, 굴착지보비)

| 굴 착 용 도 | ESR |
|--|-----------|
| A. 임시적인 광산터널 | 2 ~ 5 |
| B. 영구적 광산터널, 수력발전소 도수터널 (양수발전소의 고압 수압관터널 제외), 선진터널, 수평갱도, 대형 공동의 수평갱도와 상단터널(heading), 조압수조(surge chamber) | 1.6 ~ 2.0 |
| C. 저장공동, 수처리 공장, 소규모 도로 및 철도 터널, 진입터널(access tunnel) | 1.2 ~ 1.3 |
| D. 발전소, 대규모 고속도로 또는 철도 터널, 민방위용 공동, 출입구, 터널교차부 | 0.9 ~ 1.1 |
| E. 지하 핵 발전소, 철도역, 스포츠나 공공시설, 공 장, 대규모 개스파이프라인 터널 | 0.5 ~ 0.8 |

- 터널의 유효크기(equivalent dimension) = (터널폭, 직경 또는 높이 (m))/ ESR

8.6 Q-system

- 록볼트의 길이산정 (B 는 터널폭):

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

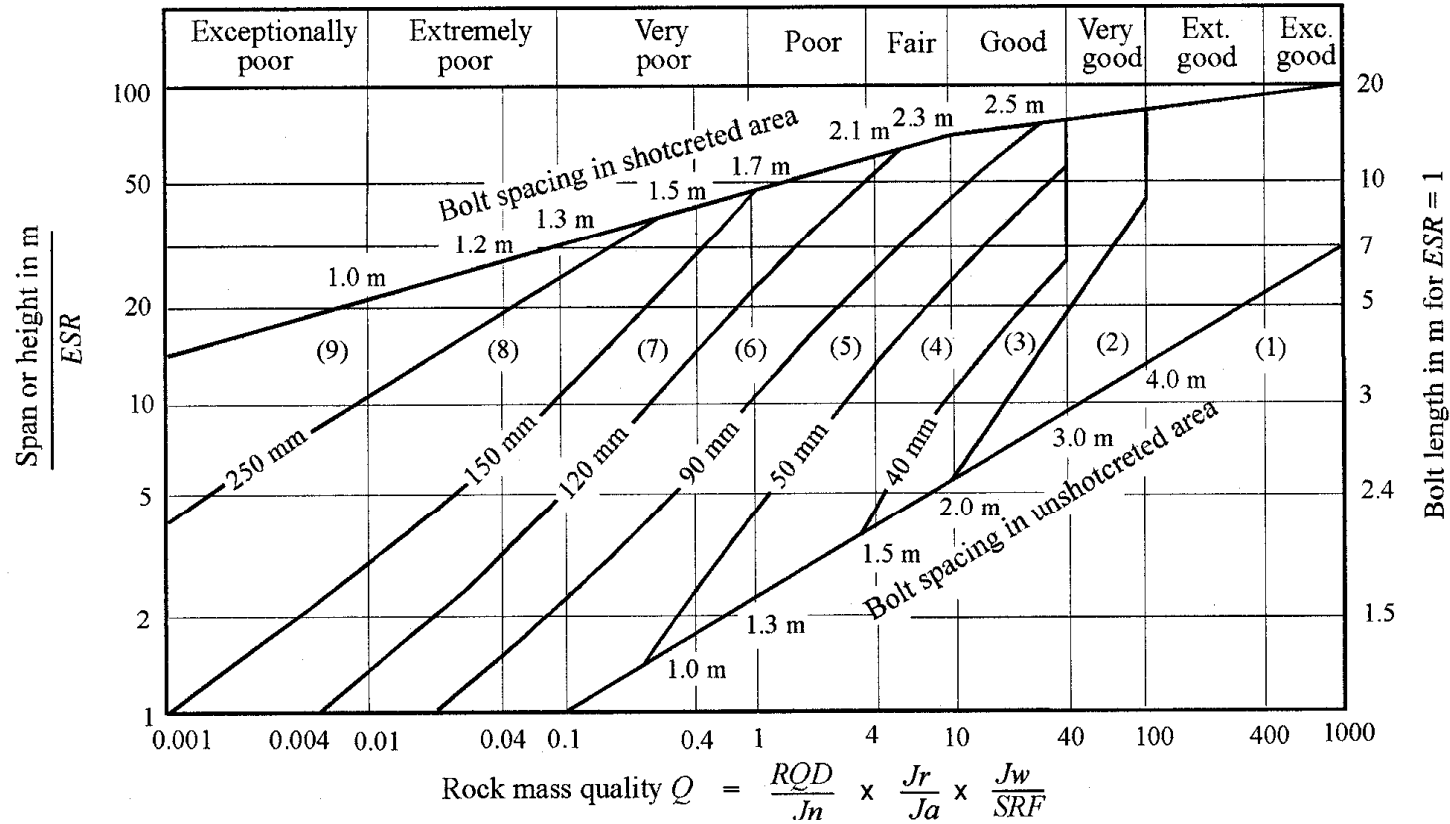
- 최대 무지보 폭:

$$\text{최대 무지보 폭} = 2(ESR)Q^{0.4}$$

- 암반의 변형계수:

$$E_M = 25 \log_{10} Q$$

- Q값과 지보패턴



REINFORCEMENT CATEGORIES

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1) Unsupported 2) Spot bolting 3) Systematic bolting 4) Systematic bolting with 40-100 mm unreinforced shotcrete | <ul style="list-style-type: none"> 5) Fibre reinforced shotcrete, 50 - 90 mm, and bolting 6) Fibre reinforced shotcrete, 90 - 120 mm, and bolting 7) Fibre reinforced shotcrete, 120 - 150 mm, and bolting 8) Fibre reinforced shotcrete, > 150 mm, with reinforced ribs of shotcrete and bolting 9) Cast concrete lining |
|---|---|