

# 岩盤의 補強工法(I)

金 周 範\*

## 제 1 장 암반의 성질과 파괴양상

이장에서는 암석역학에 관한 기본적인 개념과 지하공동주변의 응력분포, 파괴상태등에 대하여 개략적으로 설명하겠다.

### 1. 암질의 분류

암질에 대한 객관적인 판단기준을 부여하고 유사한 암질에서의 타 공사결과를 유효하게 이용하기 위한 필요성으로 암질에 대한 분류체계가 확립되었으며 터널 보강공사에 주요한 것은 아래와 같다.

#### 1.1 TERZAGHI의 암반하중 분류

TERZAGHI가 알프스에서 다양한 지반조건에 대한 강지보공 시공경험을 토대로 하여 터널에서의 강지보공에 의하여 지지되는 하중을 구하기 위한 암질분류를 1946년에 발표하였다. 이것은 암의 치밀도와 파쇄정도 및 암종의 특성에 따라 9가지로 분류하고 각 암질에서 작용하는 하중(이완된 암의 두께)을 터널의 폭과 높이의 비로써 나타내고 적합한 보강방법을 제안하였다.

#### 1.2 DEERE의 암질호칭(R.Q.D)

시추로 얻어진 코아(core)의 상태에 근거를 둔 수치로 표시된 암질의 지수가 1964년 DEERE에 의하여 제안되었다.

$$RQD(\%) = \frac{10\text{cm 이상되는 코아들의 길이}}{\text{시추길이}} \times 100$$

RQD (Rock Quality Designation)는 코아로부터 간단하고 빠르게 결정될 수 있으나, 암반의 활동에 영향을 주는 절리의 배치(Joint orientation) 등의 요소를 포함하지 않으므로 지하공동의 굴착 및 보강공사에 사용하기에는 다소의 제한이 따른다.

RQD와 암반의 관계

RQD 치(%)	암반 양호도
<25	대단히 불량(Very Poor)
25~50	불량 (Poor)
50~75	보통 (Fair)
75~90	양호 (Good)
90~100	대단히 양호(Excellent)

### 1.3 균열있는 암반의 CSIR 분류(CSIR

Classification of Joint Rock Masses)

지하공동주변의 복잡한 암의 특성을 간단한 하

요 소	지 수
암의 강도(Intact Rock)	0~15
R.Q.D	3~20
Joint의 간격	5~30
Joint의 상태	0~25
지하수	0~10
계	8~100

\* 正會員, 南元建設엔지니어링 副社長

나의 지수로 나타낼 수 없으므로 남아프리카 과학산업 조사협회(South African Council for Scientific And Industrial Research)의 BIENI AWSKI는 영향을 주는 여러 요소를 포함하는 지수를 제안하고 이 지수에 따라 암을 5종류로 분류하였다.

1.4 NGI 지수(NGI Tunneling Quality Index)  
 많은 지하공동에 있어서의 시공실예를 바탕으로 노르웨이 토질공학 연구소(Norwegian Geotechnical Institute)의 BARTON, LIEN, LUNDE는 1974년 수치로 표시된 암반의 터널지수를 제안 하였다.

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

여기서

Q : NGI 지수

RQD : DEERE 지수의 암반의 양호도

$J_n$  : Joint 방향의 수 (Joint set number, 0.5~20)

$J_r$  : Joint의 조도 (Joint Roughness number, (0.5~4)

$J_a$  : Joint Alternation Number (0.75~20)

$J_w$  : Joint water Reduction Factor (0.05~1)

SRF : Stress Reduction Factor (0.5~20)

Q 값은  $3 \times 10^{-3} \sim 2100$ 의 범위에 있을 수 있고 0.1 이하이면 매우 나쁜 상태이고, 400 이상이면 매우 좋은 상태이다.

1.5 기타의 분류방법

기타 암질의 분류방법에는 중화도에 의한 분류(7등급), 암의 강도에 의한 등급(6등급), 안전지수등이 있다.

터널의 강지보공 설계에는 TERZAGHI의 분류방법이 유효하게 사용될 수 있고, CSIR 지수 및 NGI의 Q지수는 지하공동의 안정에 영향을 미치는 요소들을 종합적으로 포함하고 있어 터널의 보강공 설계에 적합하다. CSIR 지수는 Joint가 있는 경암지대의 작은 터널에서 사용되어 질 수 있고 NGI의 Q지수는 특히 연약한 지반에서 사용될 수 있다.

## 2. 지하공동의 응력분포

2.1 임의의 질점에 작용하는 외력과 주응력

그림 1과 같이 서로 직교하는 X, Y, Z축을 가지는 암반내의 미소한 직육면체가 받고있는 응력은 일반적으로 면에 직각으로 작용하는 응력(압축 또는 인장 응력)  $\sigma$ 와 면에 평행으로 작용하는 응력(전단응력)  $\tau$ 인데 이 미소 질점은 정역학적으로 안정상태에 있으므로  $\tau_{yx} = \tau_{xy}$ ,  $\tau_{zy} = \tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ 이다. 그러므로 임의의 질점에 작용하는 완전한 응력상태를 알기 위하여는 6개의 요소 즉  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ 를 알아야 한다. 이 미소질점을 X, Y, Z축으로  $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 만큼 각각 회전시킬 때 6개의 요소도 각각 변화하는데 특히 전단응력  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ 가 0이 될때 이 요소를 주응력 요소라 하고,  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 를 주응력이라 한다.

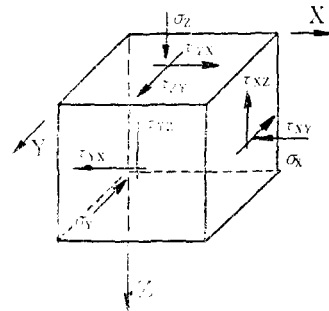


그림 1. 질점의 응력

그림 2에서  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 일 때  $\sigma_1$ 을 최대 주응력 (Major Principal Stress),  $\sigma_3$ 를 최소 주응력 (Minor Principal Stress)라 한다.

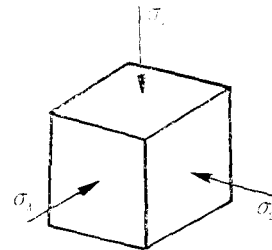


그림 2. 주응력 요소

2.2 굴착되기 전의 암반에 작용하는 응력  
 지표로부터 어떤 깊이에서 있는 미소육면체는 그림 3과 같은 응력을 받고 있다.

$\sigma_z$ 는 암반의 자중으로서 (Tectonic Stress는 고려하지 않음)

$$\sigma_z = \gamma \cdot Z$$

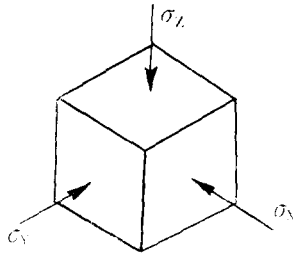


그림 3. 굴착전 암반응력

여기서

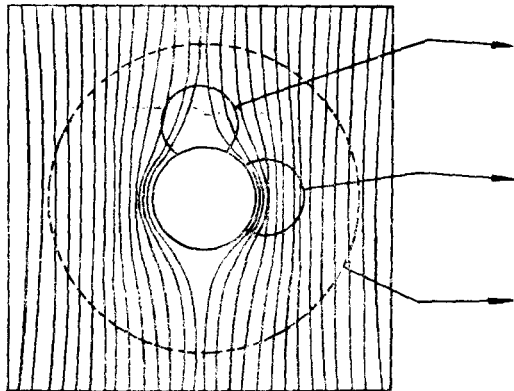
$\sigma_z$ : 수직방향의 응력

$\gamma$ : 암의 단위체적중량

$Z$ : 지표에서부터의 깊이

1952년 TERZAGHI는 이론적으로 퇴적암에서의 수평응력을  $\sigma_x = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_z$  임을 제안 하였으며, 암의 포아송비  $\nu=0.25$ 로 보면 수평응력은 수직응력의 1/3이 될 것이라고 하였다.

그러나 측정기구가 발달하여 실측한 바에 의하면 수평응력( $\sigma_h$ )은 수직응력( $\sigma_z$ )에 대한 비  $K$ 는 3.5에 달하는 경우도 있다고 밝혀졌으며, 1958년의 HAST의 보고서에 의하면  $K$ 는 지표에서 부터의 깊이의 함수이며,  $(\frac{100}{Z} + 0.3) < K < (\frac{500}{Z} - 0.5)$ 의 범위에 있다고 하였다. 여기서  $Z$ 는 지표로부터의 깊이 이다.



DIRECTION OF UNDISTURBED STREAM FLOW WHICH IS ANALOGOUS TO THE DIRECTION OF THE APPLIED STRESS FIELD IN AN ELASTIC MODE.

그림 5. 원주형 장애물 주위의 유선의 변형

### 2.3 지하공동 주변의 응력분포 상태

암반에 공동이 굴착되면 그 전에 존재하던 응력은 흐트러지고 공동주변의 암석에는 새로운 응력이 형성된다.

이 새로운 응력은 암반의 이질성, 불연속성과 공동의 형태에 따라 매우 복잡하게 분포 되므로 단순화 하기 위하여 여기서는 암반을 동질성(Homogeneous)이며, 연속(Continuous)되고, 등방성(Isotropic)인 탄성체로 된 원형으로 가정하기로 한다.

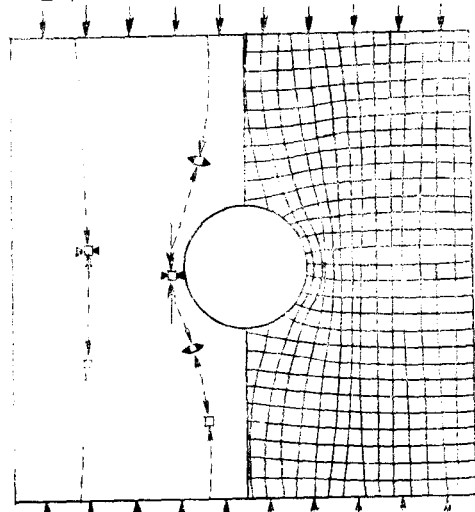


그림 4. 일축방향 응력을 받는 탄성판 내에 있는 원형 공동주위의 최대 및 최소 주응력선의 체계

ZONE OF STREAMLINE SEPARATION WHICH IS ANALOGOUS TO 'TENSION' IN AN ELASTIC MODE.

ZONE OF STREAMLINE CROWDING WHICH IS ANALOGOUS TO 'COMPRESSION' IN AN ELASTIC MODE.

ZONE OF APPROXIMATELY THREE TIMES THE DIAMETER OF THE DISTURBING BODY OUTSIDE WHICH NEGLIGIBLE DEFLECTION OF STREAMLINES OCCURS.

공동주변의 주응력선은 그림 4, 그림 5와 같이 원형장애물이 있는 정류(定流) 유선과 같이 형성된다. 유선의 간격이 벌어지는 곳은 인장력에 해당하고 유선의 간격이 좁아지는 곳은 압축력에 해당된다.

그림 6과 같이 탄성체내에 있는 원형공동 주위의 극좌표로 나타내지는 어떤 점에서의 응력은 1898년 KIRSCH에 의해서 발표 되었으며 그의 방정식은 아래와 같다.

VERTICAL APPLIED STRESS  $P_z$

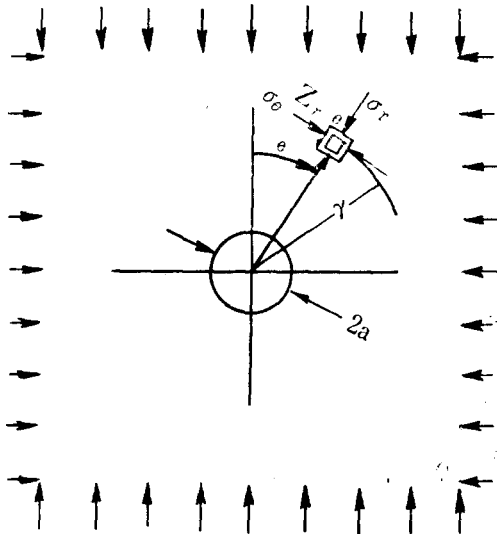


그림 6. 응력을 받는 탄성체 내에 있는 원형 공동 주위에 있는 물질의 응력

요소  $(r, \theta)$ 의 응력성분은

$$\text{법선방향 } \sigma_r = \frac{1}{2} p_z \{ (1+k)(1-a^2/r^2) + (1+k)(1-4a^2/r^2 + 3a^4/r^4) \cos 2\theta \}$$

$$\text{접선방향 } \sigma_\theta = \frac{1}{2} p_z \{ (1+k)(1+a^2/r^2) - (1-k)(1+3a^4/r^4) \cos 2\theta \}$$

$$\text{전 단 } \tau_{r\theta} = \frac{1}{2} p_z \{ -(1-k)(1+2a^2/r^2 - 3a^4/r^4) \sin 2\theta \}$$

요소  $(r, \theta)$ 의 평면내 주응력은

$$(\text{최 대}) = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\theta) + \left\{ \frac{1}{4}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$(\text{최 소}) = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\theta) - \left\{ \frac{1}{4}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

수직축에 대한 경사  $\tan 2\alpha = 2\tau_{r\theta}/(\sigma_\theta - \sigma_r)$

KIRSCH 방정식에 의하면  $r=a$ 인 공동경계면에서의 응력은

$$\sigma_r = 0$$

$$\tau_{r\theta} = 0$$

$$\sigma_\theta = p_z \{ (1+k) - 2(1-k) \cos 2\theta \}$$

여기서

$\sigma_r$ : 법선방향의 응력

$\sigma_\theta$ : 접선방향의 응력

$\tau_{r\theta}$ : 전단응력

$k$ : 수평하중의 수직하중에 대한비  $\left( \frac{p_h}{p_z} \right)$

$\theta=90^\circ$ (또는  $270^\circ$ , 측벽)와  $\theta=180^\circ$ (또는  $0^\circ$ , 바닥과 천정)에 대하여  $K$ 치의 변화에 따르는 "경계면의 접선응력의 수직하중에 대한비  $(\sigma_\theta/p_z)$ "는 그림 7과 같다.

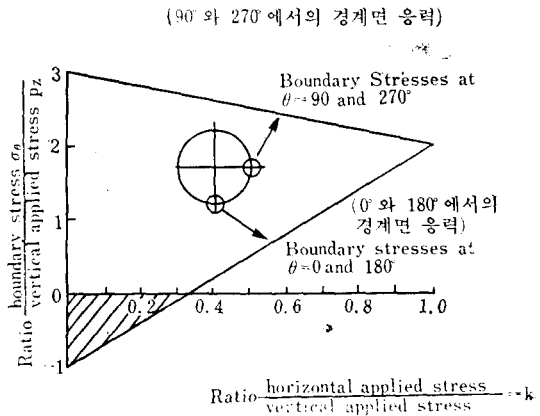


그림 7. 적용된 하중의  $K$ 치의 변화에 따른 원형 공동의 천정, 벽체, 바닥의 경계면 응력의 변화

마찬가지로 경계면에서 떨어진 점의 응력도 KIRSCH 공식으로 구할 수 있으며, 측벽에 대한  $K=0$ 일 때의 접선응력  $\sigma_\theta$ 의 변화는 그림 8과 같다.

전형적인 경암에서의 어떤점의 파괴는 최대 및 최소 주응력의 크기에 좌우된다. 이러한 주응력은 컴퓨터에 의하여 유한요소법과 경계요소법을 이용하여 풀 수 있으며 그림 9 및 그림 10

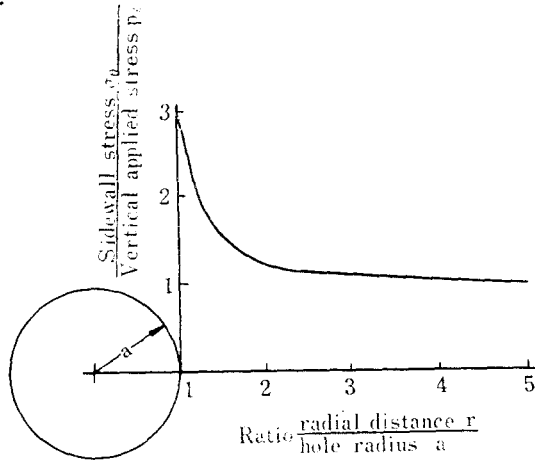


그림 8.  $k=0$  일때 수평축을 따라  $r$  만큼 떨어진 지점의 수직방향응력  $p_z$  에 대한 접선응력  $\sigma_\theta$  의 변화

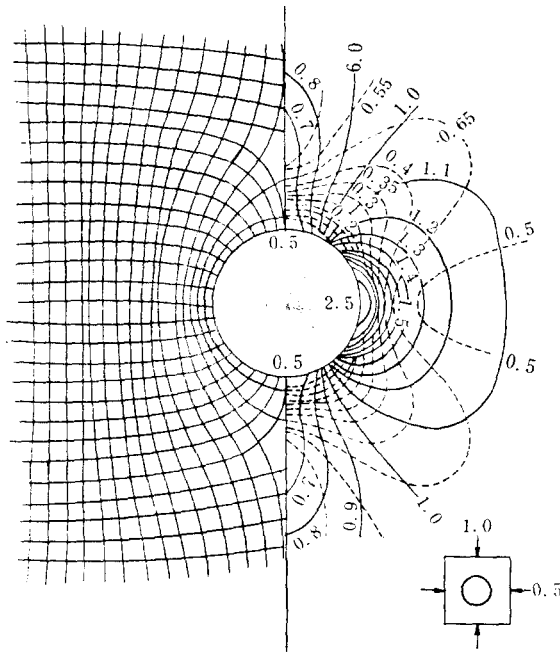
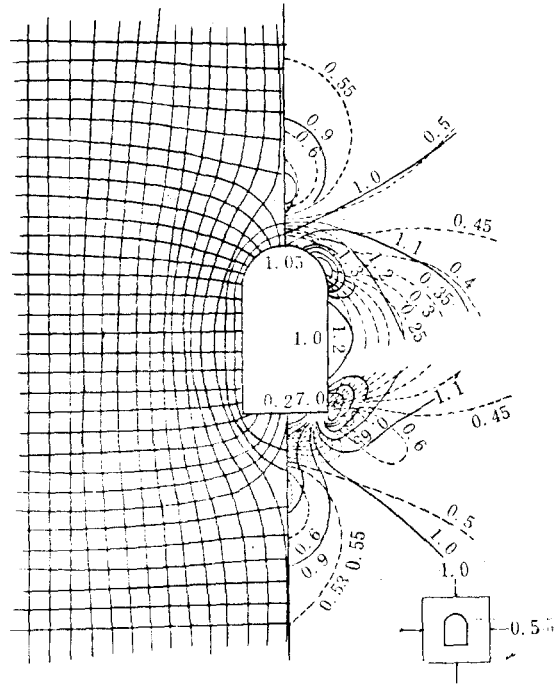


그림 9.  $K=0.5$  일 때의 탄성체 내에 있는 원형 공동 주위의 주응력

은 원형단면 및 대표적인 터널단면에 대한 결과이다.

CONTOUR와 주응력선의 꺾적, 실선은 최대 주응력, 점선은 최소 주응력 선이며 CONTOUR의 수치는 주응력과  $p_z$ 의 비이다.

그림 6에 있는 KIRSH의 방정식은 탄성계수와 공동의 형태 및 크기와는 무관하다. 그러나



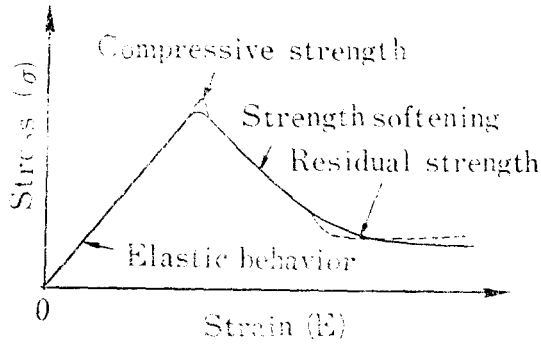


그림 11. 일축압축 시험에서의 응력-변형관계

DEERE AND MILLER'S CLASSIFICATION OF INTACT ROCK STRENGTH

Description	Uniaxial Compressive Strength			Examples of Rock Types
	1bf/in <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	
Very low strength	150-3500	10-250	1-25	Chalk, Rocksalt
Low strength	3500-7500	250-500	25-50	Coal, Siltstone, Schist
Modium strength	7500-15000	500-1000	50-100	Sandstone, Slate, Shale
High strength	15000-30000	1000-2000	100-200	Marble, Granite, Gneiss
Very high strength	30000	2000	200	Quartzite, Dolerite, Gabbro, Basalt

DEERE 나 HILLER 의 암분류 방법에 의하면 대략적인 암의 종류와 압축강도의 관계는 아래 표와 같다.

암에 불연속면(Discontinuity)이 있을 때는 불연속면의 방향의 영향으로 그림 12와 같이 일축압축 강도가 저하된다.

3.2 암의 일축압축강도, 삼축압축강도, 전단강도 및 MOHR 의 응력원

삼축압축시험에 의한 암의 압축강도는 횡압( $\sigma_3$ )이 증가되면 최대 주응력  $\sigma_1$ 은 일축압축강도보다 커지며 암의 인장강도, 일축압축강도,

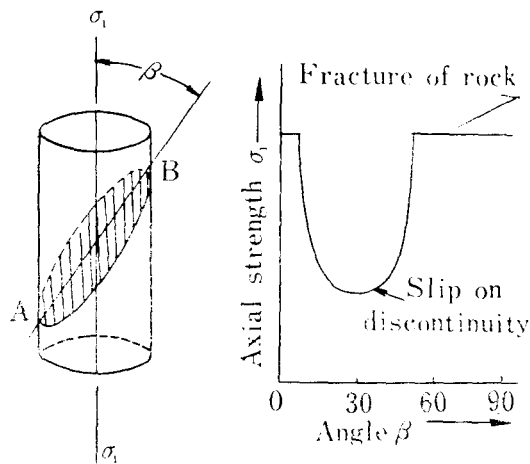


그림 12. 불연속면의 영향으로 인한 일축압축강도의 감소

삼축압축강도 및 직접전단강도의 관계는 아래 그림 13과 같이 나타낼 수 있으며,  $\sigma_3$ 를 변화시키면서 시행한 시험결과로 얻어지는 ( $\sigma_1 - \sigma_3$ )를 직경으로 하는 원(Mohr의 응력원)을 그려 파괴포락선을 얻는다.

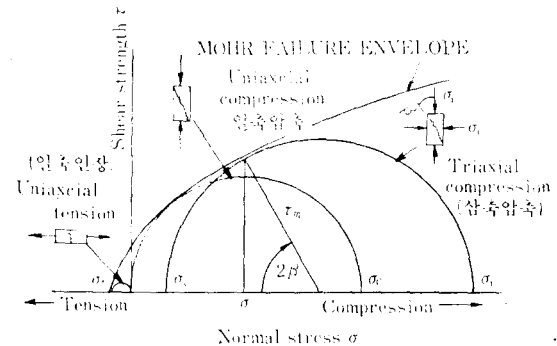


그림 13. MOHR의 파괴포락선

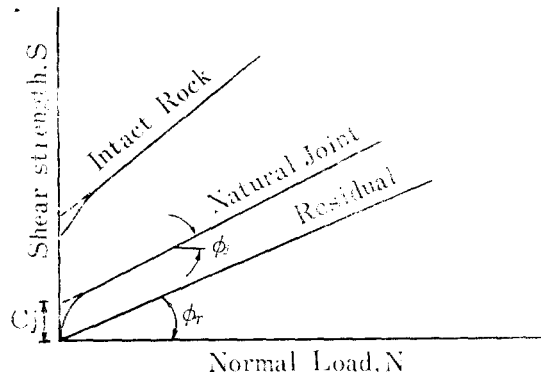
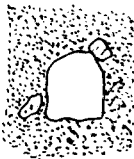
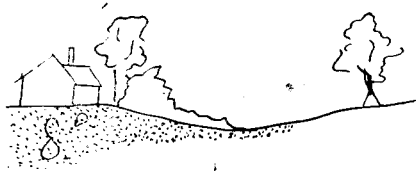


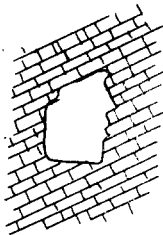
그림 14. 암반내의 예상파괴 포락선의 변경

암반에 작용하는 응력이 이 포락선 범위 내에 있을 때 파괴에 대하여 안정된다.

암이 Intact 하지 않고 절리가 있거나 잔류강도 상태에 있을 때 이 범위는 그림 14와 같이 축소된다.



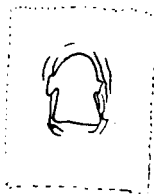
(CASE 1)



(CASE 2)



(CASE 3)



(CASE 4)

그림 15. 동굴의 파괴상태

#### 4. 동굴의 파괴상태

그림 15는 지표에서의 깊이 증가에 따라 발생할 수 있는 파괴문제를 개략적으로 보여준다.

CASE 1: 동굴이 대단히 풍화된 암이거나 얇은 토피를 가질 때 파괴문제는 SQUEEZING 이나 짧은 “지지시간(STAND-UP TIME)” 때문에 일어난다. 이러한 곳은 개착으로 굴착하거나 연약지반에 대한 터널공법이 적용되어야 하며 굴착 막장의 바로 다음에서 적당한 지보가 즉시 시행되어야 한다.

CASE 2: BLOCKY JOINTED ROCK 에서의 안정문제는 일반적으로 천정이나 벽체에서의 암괴의 중력에 의한 낙반이다. 암반이 받는 응력은 일반적으로 충분히 적어서 이러한 파괴(암반의 지질구조와 동굴의 입체적인 기하형태에 좌우되는) 과정에는 중요한 영향을 주지 않을 것이다.

CASE 3: 풍화되지 않고 절리가 거의 없는 MASSIVE 한 암에서는 동굴주변에 있는 암의 응력이 일축압축강도의 약 1/5 보다 작을 때 심각한 안정문제는 발생하지 않는다. 이러한 CASE 가 지보공이 없는 대규모 동굴의 건설에 가장 이상적인 상태이다.

CASE 4: 지표에서의 깊이가 깊어지거나 몇 개의 동굴이 서로 교차하면 파괴에 이를 수 있는 상태까지 암반응력이 증가한다. 이러한 파괴는 적게는 동굴표면에 있는 암의 Spalling 이나 Popping 에서 부터 크게는 대단히 많은 암의 폭발적인 파괴에 이를 수 있다.

실제 동굴에서는 2 가지 또는 그 이상의 파괴 상태가 연쇄적으로 일어날 수 있다.

### 제 2 장 보강설계법

암반 보강은 이론보다 실제의 시공방법이 먼저 발달 하였으며, 이론은 시공결과를 설명하고 증명하기 위하여 정립되었기 때문에 효과적으로 사용할 수 있는 이론의 발달이 완료된 상태는 아니다. 또한 터널은 정지해 있지 않고 시간과 중속적인 관계를 가지므로 해석이 매우 복잡하다. 따라서 현장에서는 유사한 지역에서의 시공예를 검토하여 적용하거나 현장 실정에 맞추어 수정

하여 적용하는 것이 이론에 못지않게 중요한 것이다.

### 1. 암반 보강이론

암반 보강에 관한 이론은 암반하중 개념, 아치개념, 연속성개념등이 있으며, 암반하중개념은 주로 강제 지보공 설계법으로써 TERZAGHI에 의하여 발달 되었고 암반의 이완압력을 전부 보강재가 받는 것으로 설계된다.

연속성의 개념은 암반-지보공의 일체 작용해석으로 탄성해석 또는 탄소성해석으로 실제의 암반특성에 더 가까운 공동주위의 응력을 산정하고 암피 보강재료가 일체로 되어 저항하는 것으로 설계하는 방법이다. 이 신보강 설계법의 목적은 보강수단을 사용하여 암반 스스로가 지보할 수 있도록 돕는 것이다.

### 2. 신 보강 설계법

암-지보 일체작용에 대하여는 신 오스트리아 터널공법(NATM, BY RABCEWICZ)에 잘 나타나 있으며, 신 설계법의 이론의 기본인 터널 주변의 응력분포와 변형-지보압력 관계는 아래와 같다.

#### 2.1 터널응력과 변형

LADANYI가 유도한 바에 의하면 탄성해석에 의한 터널주위의 응력상태는 그림 8과 같은 분포를 보이나 파쇄된 암과 소성변형의 영향으로 그림 16과 같이 분포된다. 또 이 터널의 내공

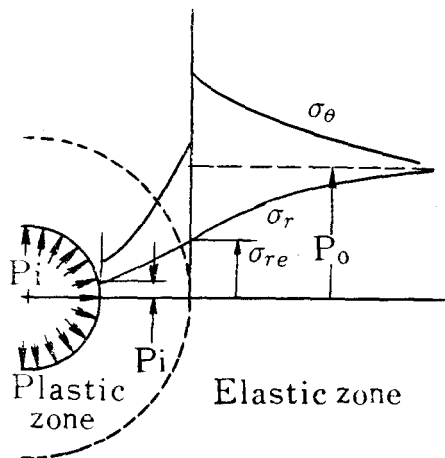


그림 16. TUNNEL 주위의 응력

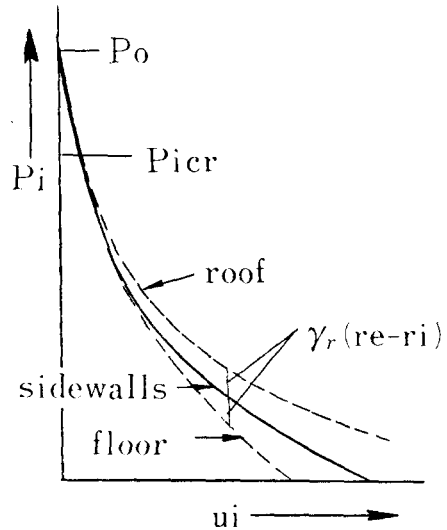


그림 17. 터널의 변형과 소요 지보압력의 관계

방향 변형과 지보압력의 관계는 그림 17과 같으며 암반-지보 일체작용원리에 의한 보강은 이러한 변형-지보압력 관계를 잘 이용하여야 한다.

보강공의 설계는 이러한 관계를 계산에 의하거나 현장에서의 측정에 의하여 요구되는 지보공의 반력을 산정하고 이에 해당하는 보강재의 종류 및 크기를 결정하는 과정으로 이루어 진다. 그림 18은 몇가지의 전형적인 지보공의 예를 보여준다.

#### 2.2 국부파괴에 대한 보강

2.1에서의 터널 주위에 분포된 응력상태가 암반의 허용강도 이내에 있어 터널이 안정상태를 유지 하더라도 암반의 불연속성과 절리의 양상에 따라 썩기모양이나 암피의 낙하 또는 활동(falling or sliding)으로 인하여 국부적으로 파괴가 일어날 수 있으므로 이에 대한 보강도 고려하여야 한다.

### 3. 암질분류와 경험에 의한 설계법

이론식에 의한 보강설계는 이론식이 편의상 단순화 되었고 식의 유도에는 많은 가정조건이 전제로 되어있어 적용에는 한계가 있다.

경험에 의한 암질-보강과의 관계가 여러 학자에 의하여 제안 되었다.



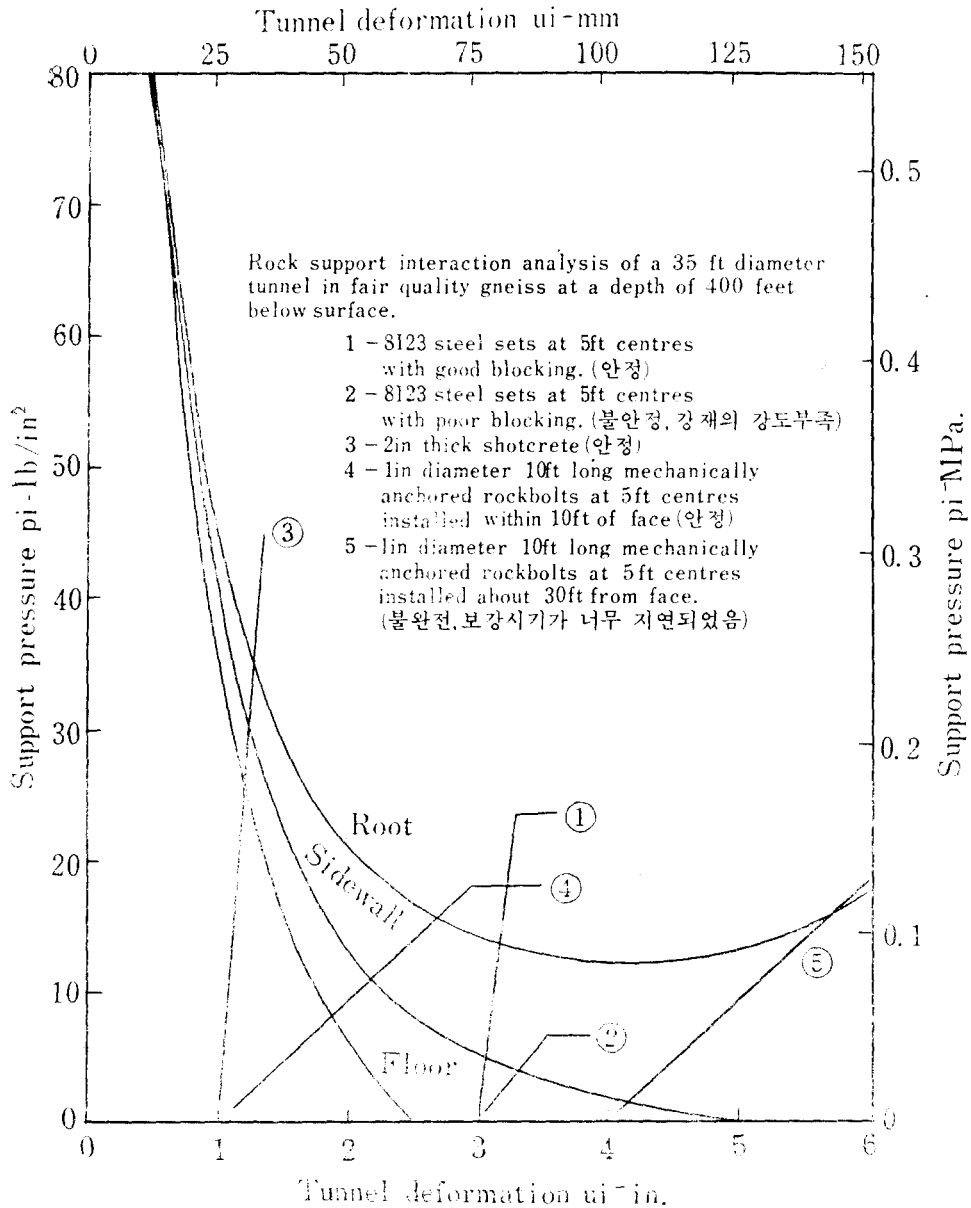


그림 18. 터널에 적용된 보강의 예

- BARTON 등에 의한 NGI 암질지수와 보강이 필요 없는 최대폭(Span) 관계
- BARTON 등에 의한 암질지수와 보강이 필요한 보강폭이 관계
- BIENIAWSKI의 지지시간과 보강이 필요없는 최대 Span과의 관계
- DEERE의 RQD와 보강관계
- BIENIAWSKI의 지지시간과 Shotcrete 두께

의 관계  
○ COON의 RQD와 보강 및 공사비율관계 등이 있다.

#### 4. 초기 지보와 영구보강

##### 4.1 보강작업의 시기의 중요성

안정된 터널에서는 굴착 후 시간이 경과하게 되면 터널의 변형이 증가되며, 이 변형이 증가

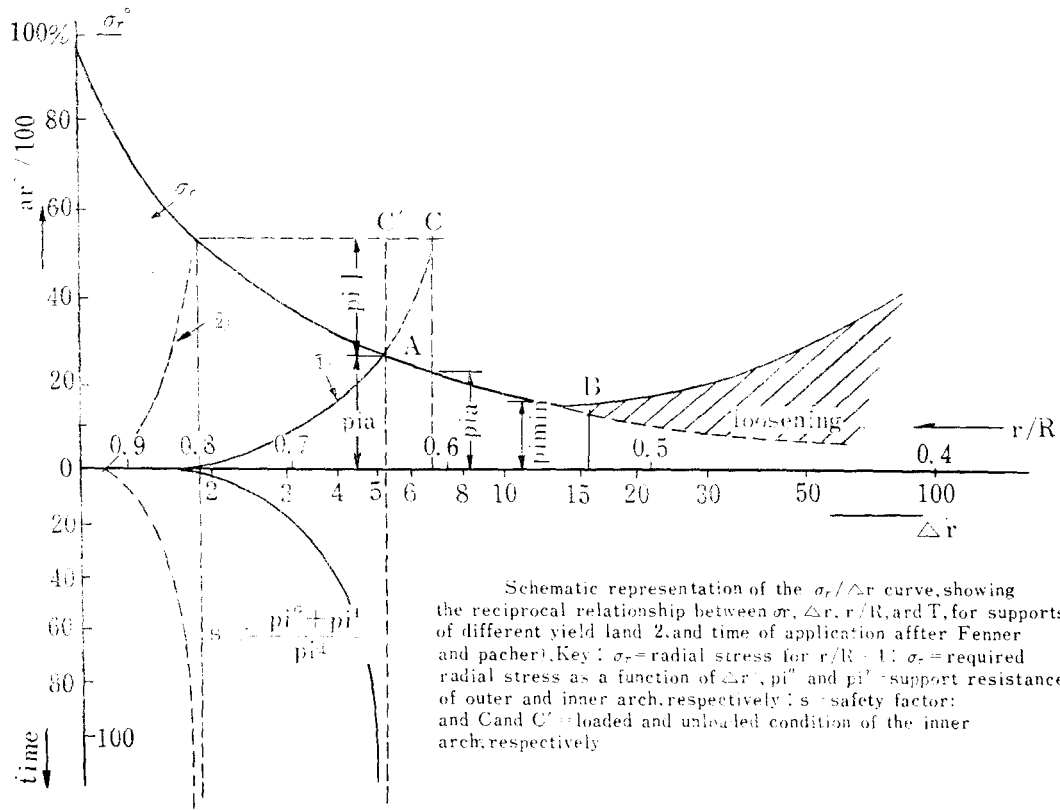


그림 19. 변위와 지보 압력의 관계

되면 지보공이 지지해야 될 지지압력이 감소하게 되고 이 압력이 0에 이르면 터널은 보강없이도 영구적으로 안정을 유지한다. 그러나 파괴된 암석에서는 변형에 따라 감소하다가 최소치에 이른 후 다시 증가한다. 이것은 공동주위의 암반의 잔유응력 상태에 들어가서 암반의 내압력이 극히 저하되어서 자중마저 지지할 수 없게 되기 때문에 암반응력은 중압으로서 즉 사하중으로서 작용하며, 그리고 변형이 극히 일어나기 쉬운 상태에 있기 때문에 유동압 및 팽창압이 작용하는 사실을 들 수 있다. 그러므로 굴착 후 위험이 예상되는 개소에는 이러한 터널의 변형이 커지지 않도록 발파 후 즉시(가능한 한 빠른 시간 내에) 초기 보강을 실시하는 것이 매우 중요하다.

#### 4.2 초기 지보공

초기 지보공의 목적은 간단하고 빠른 방법에 의하여 발파후 가능한 한 빨리 실시하여 작업자와 장비에 안전한 작업조건을 제공하는 것이다.

이것은 주로 록볼트(Rock Bolt)와 샷크리트(shotcrete)에 의하여 동굴주위의 암반에 대한 릴랙제이션(Relaxiation)과 이완을 억제하고 암괴의 낙반을 방지하여 작업자와 장비를 보호하며 파괴의 연쇄작용을 방지한다.

초기 지보공에 사용되는 록볼트는 발파에 의한 영향을 받을 수 있으므로 초기강도를 얻을 수 있는 레진(Resin)을 사용하여 정착하거나 Expansion 형이 사용되어야 한다. Expansion 형이 사용되었을 경우에는 발파 후 재 조이기를 시행하여야 하며, 공내의 주입(Grouting)은 막장이 충분한 거리만큼 진전했을 때 이루어져야 하며 시멘트 그라우트형 록볼트가 사용되었을 때는 20m 이내에서는 5일 이상 경화된 후에 발파가 허용된다.

#### 4.3 영구보강

영구보강의 목적은 터널을 영구적으로 안정하게 유지 시키는데 있다. 종래 공법에서는 강지

보나 콘크리트 라이닝이 주로 사용되었고, 신공법에서는 록볼트, 슛크리트(외이아 메쉬로 보강될수도 있음) 및 강지보, 콘크리트 라이닝이 주로 사용된다.

실제의 적용에 있어서 초기 보강은 영구 보강의 일부가 되며 영구 보강이 초기 보강으로 사용될 수도 있으며, 특별한 경우를 제외하고는 초기 보강이 전하중에 견디도록 되어야 하고, 영구 보강은 단지 초기 보강의 보호나 미관(패로는 방수)을 위하여 사용될 수도 있다.

#### 4.4 굴착과 보강 사이클 관계

주로 강 아치(steel Arch)나 콘크리트라이닝이 지보 재료로 사용되었던 종래의 터널에서는 강 아치나 콘크리트 라이닝이 굴착 후 바로 실시되기 어렵고, 또 양생기간 동안은 발파에 의한 영향을 받을 수 있으므로, 임시 지보(Temporary Support)로서 목재를 사용하고 막장에서 일정거리가 유지 되었을 때 영구보강(Permanent Reinforcing)을 시행하는 아래와 같은 공정을 가진다.

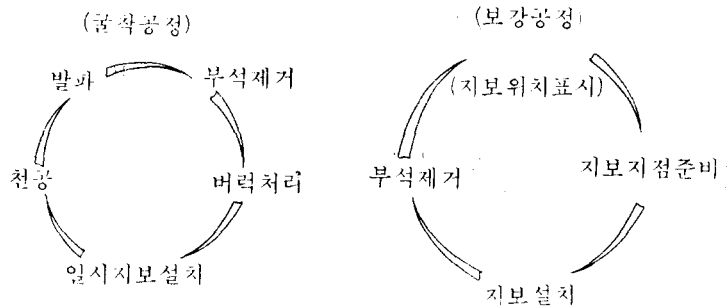


그림 20. STEEL SET 와 CONCRETE LINING 이 사용되었던 종래의 보강공법과 굴착 공정의 CYCLE

록볼트와 슛크리트가 주로 사용되는 신 공법에서는 발파 후 슛크리트와 록볼트를 초기 보강으로 실시하고 막장이 어느정도 전진하여 발파에 의한 영향을 받지 않을 때 영구보강을 실시하는 것이다. 종래의 보강공법에서는 일시보강

재와 영구보강재가 각각 총하중에 견디도록 설계 되어야 하는데 반하여, 신공법에서는 초기보강과 영구보강 전체가 총하중에 견디도록 설계되므로 경제적이다.

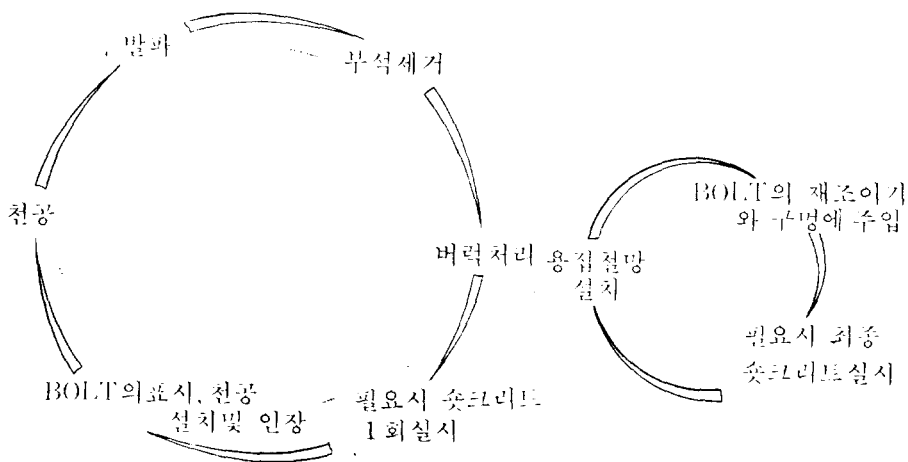
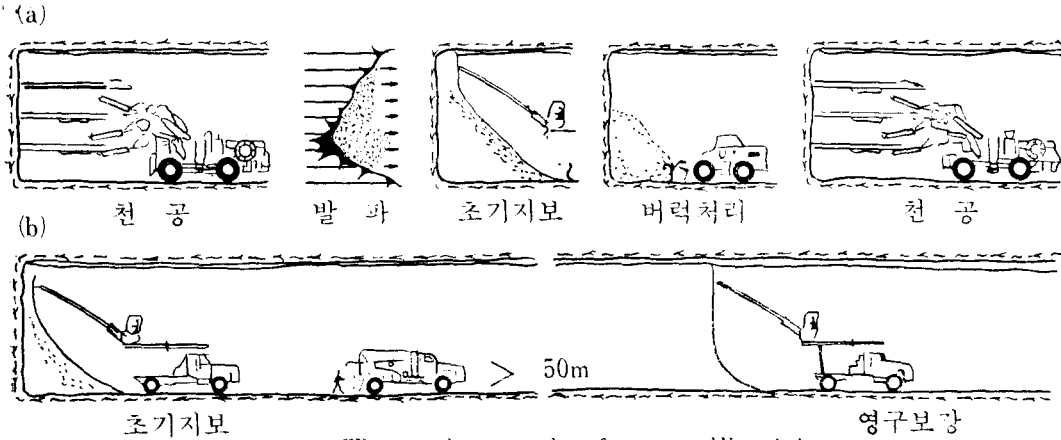


그림 21. 주지보재로서 록볼트(스�크리트)가 사용된 경우의 굴착과 보강작업의 복합공정



The working cycle of a tunnelling job.

그림 22. 터널공사에서의 보강공사 CYCLE

- (a) : 막장에서 초기보강과 굴착의 CYCLE 관계  
 (b) : 막장에서 초기보강과 별도로 시행되는 영구보강공의 관계

◇ 圖書案内 ◇

## 地下空間 利用

著者 鄭 裕 熙

機電研究社(255-0791, 253-7744) 發行, 4×6배판(544 Page), 9,000원