

단양지역의 운반갱도 굴착시 갱도 지보의 필요성 판정에 관한 연구

이종욱¹⁾ · 조만섭²⁾ · 김일중³⁾ · 김영석⁴⁾

A Study on the Evaluation of Necessity for the Support in Case of Excavation of the Transport Drift at Danyang Site

Jong-Uk Lee, Man-Seob Cho, Il-Jung Kim and Yeong-Seok Kim

ABSTRACT

In order to evaluate the necessity for the support during the excavation of the transport drift and use the data for design applications, laboratory testings of mechanical properties of rock samples and engineering rock mass classifications on this study site were performed. The values of RMR and Q-system are 68 and 11.8, respectively. Since these results were evaluated as good, this rock mass were determined to be unsupported. Full face excavation method was determined to be suitable for excavating this drift. In case of excavation, smooth blasting techniques must be carried out at the wall rock and the crown. However, considering the blast vibration etc. that have an effect on the surrounding rock mass, approximately less than 9 kg of explosive charges per blast should be maintained.

1. 서 론

최근 지하공간의 활용성에 대한 연구개발 및 현장 시공이 국내외적으로 활발하게 진행되고 있으며, 이에 따른 지하 암반구조물의 설계 및 시공에 있어서 그 안전성을 보장하기 위해서는 암반역학적 조사와 그와 관련된 면밀한 분석 및 검토가 선행되어야 한다.

또한 굴착 이전의 지하암반은 지진이나 발파 등과 같은 외부의 큰 충격하중을 받는 경우를 제외하고는 대부분 응력 평형상태를 유지하고 있으나, 굴착으로 인한 공동이 형성될 때는 응력 평형상태를 잃게 되어

그 공동을 구조물로 이용할 경우에는 대상 암반의 복합적인 지질여건, 지하수의 누출로 인한 수리지질학적 요인 및 암반의 물성과 초기응력과 관련한 역학적 요인 등을 감안한 효과적인 지보방법을 선정하여 설계에 반영하여야 한다.¹⁻⁵⁾

본 연구에서는 현재 가동중인 성신양회 공업주식회사 단양공장의 원석 파쇄장소로부터 남동방향으로 약 1.2 Km 떨어진 곳에 원석파쇄기를 설치할 경우, 새로운 원석파쇄기 설치장소까지의 원석의 운반방법은 여러 측면에서 고려해 볼 때 지하에 운반갱도를 설치하여 벨트콘베어에 의해 운반하는 방법이 가장

*1993년 4월 접수

- 1) 정회원, 한국원자력연구소 지질공학실, 선임연구원
- 2) 정회원, 전북대학교 자원공학과 석사졸업
- 3) 정회원, 전북대학교 자원공학과, 화약류관리기술사
- 4) 정회원, 전북대학교 자원공학과 교수

경제적이고 이상적으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 이러한 운반방법을 적용할 경우에 지하 운반갱도는 장기적으로 안전하게 유지되어야 하므로, 지하갱도굴착시 이에 대한 굴착 전의 사전설계를 위하여 지보의 필요성에 대한 판정을 목적으로 하였다.

이를 위해서 본 연구에서는 성신양회 공업주식회사 단양공장에서의 원석 운반갱도가 굴착될 모암을 대상으로 가) 갱도 굴착구간의 지질조사, 나) 모암에 대한 물성 측정, 다) 암반의 응력상태, 라) R.M.R. (Rock Mass Rating) 조사, 마) Q-system(Rock Mass Quality) 조사, 바) 발파시 유의사항에 관하여 연구를 수행하였다.

2. 기초 조사

2.1 지질

성신양회 단양공장 원석운반갱도 굴착사업지역의 지질은 조선계 대석회암통 상부의 홍월리층, 삼태산층과 이들이 부정합으로 피복되는 홍점동에 대비되는 갑산층으로 구분되어 있다.

본 갱도굴착층은 담회색을 띤 돌로마이트로서 층

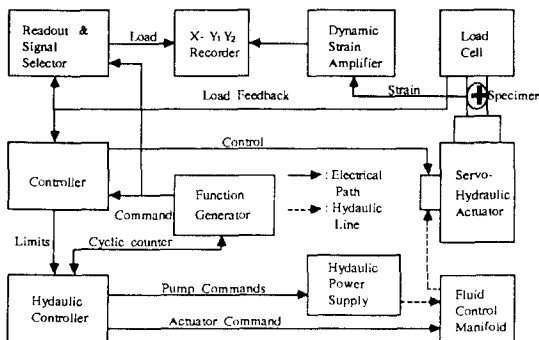


Fig. 1. Schematic diagram of servohydraulic testing system.

리발달이 미약한 피상암이 분포하고 있으며, 풍화표면은 흑색내지 암회색을 띠고, 표면은 풍화의 차이에 의한 격자상의 조선이 발달하여 거친 상태이다. 본 층의 층리 방향은 N 30°~70° W의 주향과 약 70° 내외의 북동 방향 또는 남서 방향으로 경사지며, 갱도굴진 예정선을 따라 지표면에서 갱도하반까지 시추한 결과, 지표면 부근에서는 미소한 균열이 다소 발달되었으나 갱도부근에서는 층리 외에 다른 구조는 발견되지 않았다.

Table 2. Physical properties of samples

Physical properties	Test results: Mean value	
Apparent specific gravity	2.82	
Apparent porosity(%)	0.71	
Degree of saturation (%)	32.40	
Water content(%)	0.23	
	(Dried)	(Saturated)
Uniaxial compressive strength(kg/cm ²)	2,270	1,990
Brazilian tensile strength(kg/cm ²)	206	163
Triaxial compressive strength(kg/cm ²)	2,760	—
Shear strength(kg/cm ²)*	360	285
Angle of internal friction(°)*	56	56
Bending strength(kg/cm ²)	144	126
Secant Young's modulus(×10 ⁵ kg/cm ²)	6.69	5.57
Secant Poisson's ratio	0.26	0.23

*Shear strength and angle of internal friction:
 - Dried condition: the values obtained by Mohr's failure envelope from the results of triaxial compressive test.

- Saturated condition: the values obtained by Mohr's common tangent line and Mohr's circles of uniaxial and tensile strength.

Table 1. The loading conditions applied to samples

Test methods	Number of specimens	Diameter (mm)	Length (mm)	Loading conditions
Uniaxial strength test	40	26.5	53	5 kg/cm ² /sec
Triaxial strength test	20	26.5	53	under 45 kg/cm ² confining pressure
Brazilian	20	26.5	13.5	20 kg/cm ² /sec
Bending test	20	26.5	150	at 0.2 mm/min. strain rate

2.2 암석물성 시험

본 연구에서는 성신양회 주식회사 단양공장의 원석운반갱도 굴착지점인 지하심도 30~50 m 구간에서 시추한 시추공으로부터 암석코어를 회수하여 건조와 습윤시의 돌로마이트 시험편들에 대해 용량 20 ton의 자동유압식 만능시험기(INSTRON-303)를 사용하여 물성을 측정하였다. 본 시험기는 압축기, 조정기 및 원동기로 구성되며, 그 계통도는 Fig. 1과 같다.

또한 시험방법은 A.S.T.M. 표준시험법과 I.S.R.M. 제안방법에 의거하였고 시험편에 적용된 하중조건과 그 측정결과는 Table 1, 2와 같다.

2.3 현지 암반응력

심부에 굴착할 갱도의 안정성 확보를 위해서는 갱도를 굴착할 암반에 대하여 사전에 충분한 역학적 해석을 실시하여야 하며, 이를 위해서는 갱도가 형성될 암반의 암석물성 뿐만 아니라 갱도가 형성되기 이전에 암반내에 작용하게 될 초기응력을 알아야 한다.^{3,6, 9)}

따라서 국내외 학자들에 의해 보고된 시험식^{3,8,10)} 및 이론식^{4, 6,10)}에 의해 대상암반에 대한 수평응력과 수직응력의 산출값을 Table 3에 나타냈다. 본 연구 대상 지역의 지질여건은 상기한 바와 같이 양호한 암반이며 지하수 상태의 확인 결과 물의 유출이 거의 없는 상태이므로, 이 산출값들을 평균값으로 취하여 현지 암반응력으로 산정하였다.

3. 갱도의 안전성 검토

지하에 굴착된 공동 주위에 작용하는 응력의 형태, 크기, 방향 및 그의 영향 등을 예측하여야 안정성을 검토할 수 있다.^{8,11)}

실제로 암반내에 작용하는 응력의 변화는 공동의 형태, 암반의 상태 및 초기응력의 작용상태 등의 여러가지 요소들에 의해 영향을 받으며, 이러한 암반을 보강할 경우 그 보강재의 효과나 지속기간을 고려하여야 한다. 지보설계에 영향을 미치는 요소로는 전체적인 응력상태, 암반의 상태, 지하수의 상태, 예상되는 파괴의 형태, 필요한 지보력 및 기간, 소요비용, 기술적 경험 등을 들 수 있다.¹²⁾

3.1 암반의 공학적 분류

일반적으로 암반의 각종 물성자료는 현장에서 채취한 암석을 실험실에서 시험하여 구하고 있으나, 현지암반의 경우 위치와 부존상태 및 기타 여러 요인들로 인해 매우 변화가 심하여 일정한 값을 구하기가 힘들다.

현재 세계적으로 널리 사용되는 방법인 RMR(Rock mass rating) 분류 및 Q-system 분류는 이러한 지하의 현지 암반상태를 여러가지의 기준되는 요소로 구분, 조사하여 적정한 정량적인 값으로 나타내고, 이를 지보의 필요성 판정 및 설계 등을 위한 자료로 사용할 수 있도록 암반을 공학적으로 분류한 방법들이다.

Table 3. The results of horizontal and vertical stress at a longitudinal section of a level

Formula types	Maximum value (kg/cm ²)	Minimum value (kg/cm ²)	σ _h /σ _v		
			at Max. value	at Min. value	
1	σ _v = ρgH	28.6	10.6	0.35	0.35
	σ _h = (ν/1 - ν)σ _v	9.9	3.7		
2	σ _v = 0.25H	25.4	9.4	0.82	0.85
	σ _h = 0.49 + 0.2H	20.8	8.0		
3	σ _v = 13.6 + 0.233H	36.2	22.0	1.275	1.55
	σ _h = 27.8 + 0.183H	45.9	34.2		
4	σ _v = 19 + 0.266H	46.0	29.0	2.68	3.34
	σ _h = 83 + 0.407H	123.2	97.0		

1. theoretical formula, 2. Haimson's formula, 3. Han-Uk Lim's formula, 4. Herget's formula

σ_h: horizontal stress, σ_v: vertical stress, ν: Poisson's ratio, ρ: density of rock mass, g: gravity acceleration, H: depth(m)

Squeezing, 수분에 의한 팽창 및 유동변형 등을 일으키는 연약암반에서는 Q-system 분류가 다소 정확한 것으로 알려져 있다.^{2,13)}

3.1.1 RMR에 의한 분류

Bieniawski(1973)가 제안한 이 분류방법은 대상암반을 평가하는 방법으로 6가지 변수, 즉 신선한 암반에서의 일축압축강도, RQD(Rock quality designation; 암질지수), 불연속면의 상태, 지하수 상태, 불연속면의 방향 등의 분류기준을 들고 있는데, 이들 변수들은 실내시험과 현장조사로 측정이 가능하다.

또한 RQD의 경우 미국에서 유용한 방법으로서 호평을 받고 있으며, RQD와 관련하여 'Kiluna factor'를 소개하면 다음과 같다.¹⁴⁾

$$C = \frac{1}{2} \cdot \frac{L_c}{L_c} \left[\frac{L_1}{L_c} + \frac{L_m}{L_c} \right]$$

여기서, C : Kiluna factor

L_c : 암심의 직경보다 크거나 같은 암심들의 총길이

L_1 : 암심의 총길이

Table 4. The relationship of rock classification between Kiluna factor(C) and RQD¹⁴⁾

C(%)	Rock quality	RQD(%)
0~ 15	매우 불량	0~ 25
15~ 30	불량	25~ 50
30~ 45	양호	50~ 75
45~ 65	우수	75~ 90
65~100	매우 우수	90~100

Table 5. Rock mass classes determined from total ratings²⁾

점수	100~81	80~61	60~41	40~21	<20
등급	I	II	III	IV	V
구분	매우 우수	우수	양호	불량	매우 불량

Table 6. Meaning of rock mass classes¹⁵⁾

등급	I	II	III	IV	V
평균유지기간	15 m span으로 20년	10 m span으로 1년	5 m span으로 7일	2.5 m span으로 10시간	1 span으로 30분
암반의 점착력	>400 Kpa	300~400 Kpa	200~300 Kpa	100~200 Kpa	<100 Kpa
마찰각φ	>45	35~45	25~35	15~25	<15

L_1 : 암심의 직경과 같은 최대 배수의 총길이

L_m : L_c 로 간주된 암심들의 평균길이

L_c : 규격화된 암심의 길이=1 m ; $L_c < 1$ m

L_c ; $L_c > 1$ m인 경우

Kiluna factor(C)와 RQD의 관계에 의한 암반분류는 Table 4와 같다.

또한 이 방법은 암반의 상태, 즉 신선암의 강도, 시추코아의 암질지수, 절리면의 간격, 절리면의 상태, 지하수 상태에 따라 등급별로 점수를 할당하고, 이들 변수에 대한 점수의 합계에 대해 주향과 경사에 대한 굴진방향을 고려하여 이에 대한 점수를 보정한 값을 RMR값으로 한다. Table 5는 산정된 RMR값에 의한 암반의 전체적인 평가기준을 나타내고 있다.

따라서, Table 5에 의해서 구분된 암반의 등급에 따라 Table 6을 이용하여 공동의 평균 유지기간과 폭, 암반의 점착력 및 마찰각 등을 추정할 수 있다.

Table 7. Classification parameters and their ratings at this site

분류 기준	측정값의 범위	점수
1. 일축압축강도	2,270 kg/cm ²	12
2. RQD	56%	13
3. 불연속면의 간격	0.8~1.2 m	15
4. 불연속면의 상태	모암 견고, 다소 거침, 이격 1 mm	25
5. 지하수 상태	완전건조	15
6. 불연속면의 주향과 경사	N30~70°W, 60~70°SW	-12
	총 점	68

이상의 RMR 분류법을 사용하여 본 연구대상인 성신양회 단양공장 원석 운반갱도의 주변암반에 대한 분류결과는 Table 7과 같다.

따라서, 성신양회 단양공장 원석운반갱도의 주변암반은 II등급으로서 우수하다.

3.1.2 Q-system에 의한 분류

갱도 굴착시의 안정성을 고려할 때, 지질조건과 관련된 갱도의 위치와 방향은 두가지의 중요한 요소로서 작용한다. 이 두가지 요소는 공동의 크기에 대해 암반의 불리한 조건을 최소화하는데 역점을 두어 고려해야 한다. 따라서, 갱도 굴착시 위치와 방향의 선택은 지극히 제한되기 때문에 불리한 암반과 접했을 때, 요구되는 지보의 정도는 이러한 암반조건에 따라 큰 영향을 받는다.

Barton, Lien과 Lunde는 대상 암반의 채굴상태와 크기에 적합한 지보형태와 규모를 구하기 위해 약 200가지의 실제 시공사례들을 분석하여 지질학적 조건의 상태를 6가지의 매개변수를 사용하여 수치적으로 분류하였으며, 이를 Quality of rock mass, Q로 나타내었다.^{2,13)} 이 방법에 의해 암반을 공학적으로 분류하는데는 다음의 단계들이 포함된다.

- 가) 지표지질조사, 시추코아의 분석 및 시험굴진터널의 조사 등에 의하여 암반을 분류한다.
- 나) 채굴목적과 안전요구도에 유념하여 최적의 채굴규모를 선택한다.
- 다) 각 채굴에 대해서 shotcrete의 두께, 볼트 간격, 콘크리트 아치의 두께 등의 지보에 대한 경제성을

Table 8. Classification ratings for Q-system at this site

1. RQD	56%	56
2. Jn	2개군+ 산발적 절리	6
3. Jr	거칠고 불규칙적이며 평탄함	1.5
4. Ja	변질되지 않은 절리벽, 표면얼룩	1.0
5. Jw	완전건조	1.0
6. SRF	$\sigma_c/\sigma_1=112.1, \sigma_2/\sigma_1=9.2$	1.0
산정된 Q값 : 11.8*		

Table 9. Rock mass classes determined from Q-system

Q값	1.0 미만	1.0~4.0	4.0~10.0	10.0~40.0	40 이상
암반 등급	매우 불량	불량	양호	우수*	매우 우수

평가한다.

또한 이 방법은 주어진 굴진과 암반상태에 가장 적합한 지보형태를 찾기 위해 많이 사용되며, Q는 다음과 같이 표시된다.

$$Q = (RQD/J_n) \cdot (J_r/J_a) \cdot (J_w/SRF) \tag{1}$$

여기서, RQD는 암질지수, J_n 은 절리군의 수, J_r 은 절리면의 상태, J_a 는 절리면의 변질정도, J_w 는 지하수에 의한 계수, SRF는 응력에 의한 계수를 나타낸다. Q는 다음 3쌍의 변수들에 의해 대략적으로 표시할 수 있다.

- a. block size(RQD/ J_n)
- b. inter-block strength(J_r/J_a)(= tan ϕ)
- c. active stress(J_w/SRF)

이상과 같은 6개의 변수들의 값을 조사, 측정하여 대상 암반에 대해 등급별로 산정한 후 (1)식에 의해 계산한 Q값은 Table 8과 같다. SRF는 갱내 습윤의 경우를 예상하여 습윤시의 σ_c 와 σ_1 를 기준으로 산정하였으며, α_1 은 상기한 이론식과 실험식들로부터 산출한 값들 중 최소인 지역에서의 최대주응력의 평균값으로 17.75 kg/cm²였다. 이 Q값에 따라 암반등급을 구분한 결과, 대상 암반은 “우수” 등급에 속하는 것으로 규명되었다(Table 9 참조).

3.1.3 분류결과에 대한 평가

성신양회 단양공장 원석운반갱도 주변암반에 대한 RMR 및 Q-system에 의한 분류의 종합적 평가는 Table 10과 같다. 두가지 경우가 대체로 일치하고 있음을 알 수 있다.

Table 10. Synthetic assessment of this rock mass by RMR and Q-system

구분	평가점수	암반평가	
RMR	68	우	수
Q값	11.8	우	수

3.2 지보의 필요성 판정

지하 갱도의 굴착시 지보의 필요성에 대한 판정은 암반의 상태, 즉 암반의 강도, 불연속면의 발달상황, 지압의 크기, 지하수의 영향 등을 조사하고 굴착될 갱도의 규모 및 유지기간 등을 고려하여 결정되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 대상 암반에 대해 구한 RMR 및 Q-system 분류치와 성신양회 단양공장에서서의 굴착대상 운반갱도의 규모, 유지기간 등을 고려하여 지보의 필요성에 대한 판정을 하였다.

3.2.1 공학적 분류에 의한 판정

1) RMR에 의한 지보의 필요성 판정

현장조사에서 구한 RMR값과 Q-system의 분류치에

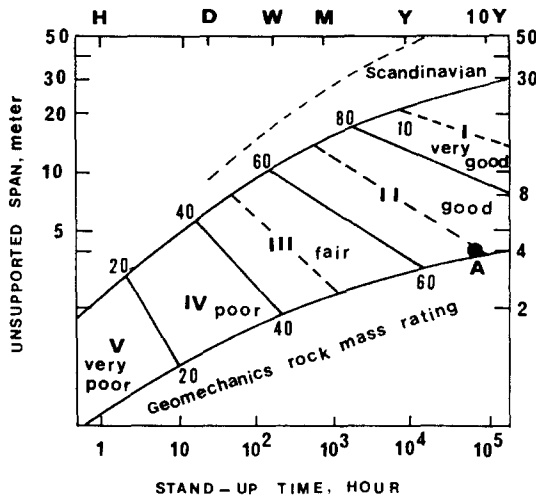


Fig. 2. Comparison between stand-up times for unsupported excavation spans predicted by RMR and Q-system.¹³⁾

Table 11. Classification of excavation support ratio²⁾

구 분	계수(ESR)
일시적인 광산갱도	3~5
수갱 : - 원형 단면	2.5
- 사각 단면	2.0
영구적인 광산갱도, 수력발전소의 지하수로	1.6
지하 저장소, 소형 터널	1.3
지하 발전소, 지하 터널, 방공호	1.0
지하 핵발전소, 지하 정류장, 지하 경기장	0.8

대해 지보의 필요성을 판정하기 위해 RMR 분류치에 따른 갱도의 폭과 무지보 상태하에서의 유지기간과의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. 따라서, 본 연구지역에서 필요로 하는 갱도의 폭은 4 m(Fig. 2의 A표시점)이며, 예상 유지기간은 약 10년 이내인 점을 감안할 때 지보의 판정결과가 11년(10⁵시간)을 초과하므로 무지보 판정을 할 수 있다.

2) Q-system에 의한 지보의 필요성 판정

Q-system에 의한 지보의 필요성은 갱도의 유효 크기와 관련하여 판정할 수 있으며, 갱도의 유효 크기는 굴착지보계수(Excavation support ratio)에 대한 갱도 폭의 비로서 다음과 같이 나타낸다.

$$De = B/ESR$$

여기서, De : 갱도의 유효 크기

B : 갱도의 폭이나 높이(m)

ESR: 굴착지보계수

굴착지보계수는 갱도의 사용목적에 의해 요구되는 안전성에 따라 정해지는 값으로서 Table 11과 같이 분류된다.^{2,13)}

안전도(Safety factor)를 고려하여 본 연구지역의 원석 운반갱도의 굴착지보계수를 1.3으로 하여 갱도의 유효 크기를 계산해 보면 $De = B/ESR = 4/1.3 = 3.08$ m이다. Fig. 2는 갱도의 유효 크기(De)와 Q값과의 관계를 나타낸 것으로서 Q값과 유효 크기를 이용하여 지보의 필요성을 판정할 수 있다. 이에 대한 결과는 RMR에 의한 판정과 유사하여 Fig. 3의 A점으로서 지보의 필요성이 없는 것으로 나타났다.

이상과 같이 RMR과 Q-system 분류에 의한 본 연구지역의 원석 운반갱도에 대한 지보의 필요성 판

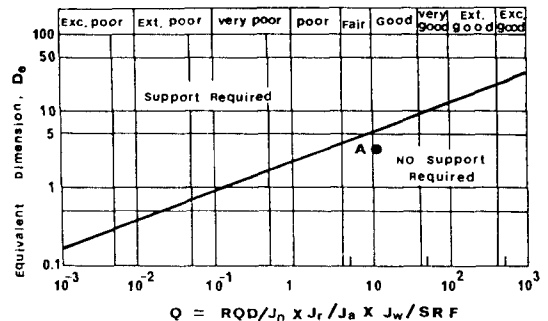


Fig. 3. The relationship between Q value and equivalent dimension (De).²⁾

Table 12. The assessment of necessity for the support in this drift

RMR에 의한 판정	Q-system에 의한 판정	종합적 판정
불필요	불필요	불필요

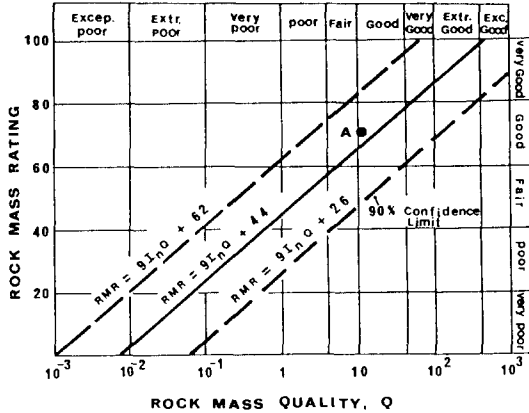


Fig. 4. Correlation between RMR and Q-system.²⁾

정을 종합적으로 고찰한 결과, Table 12와 같이 무지보로 나타났다.

RMR과 Q-system 분류에 따른 원석 운반갱도의 지보 필요성 판정에 의한 신뢰도를 분석하면, Fig. 4에서와 같이 A점에 해당하여 이는 90% 이상의 신뢰구간에 포함되고 있으므로 RMR과 Q-system 분류에 의한 지보의 필요성 판정은 매우 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.

4. 발파시 유의사항

지하에 갱도를 개착하게 되면 그 공동의 형태, 현지 암반의 상태에 따라 응력집중지역이 달라지나, 대체로 상부의 하중을 받쳐 주던 하부에 힘의 전달이 단절되어 상부의 하중이 갱도의 측면을 우회하여 압력이 전달되게 한다.

따라서 갱도의 상, 하부에는 압력전달에 관여하지 못하는 부분이 발생하게 되고, 좌우측면은 초기압력 외에 우회해온 압력이 가중되어 측벽 표면에서 최대치가 되고 점차 내부로 가면서 약해진다. 측벽 표면에서의 압력집중은 연암보다 경암에서 더 많게 된다.

갱도의 상, 하부에서 압력전달에 관여하지 못한

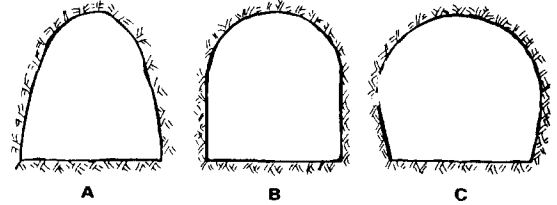


Fig. 5. Longitudinal section of a drift.

부분을 면압대라 하는데, 상부의 면압대는 잠재력의 개방과 자기중량인 사하중으로 점차 팽창 붕락되고, 하부의 면압대에서는 잠재력의 개방이 자기중량을 이기고 상부로 팽창하는 하반 응기현상, 즉 반팽창이 발생한다. 면압대의 형성은 암질과 갱도굴진속도에 관계되며, 일반적으로 연약한 암반이거나 굴진속도가 느릴 때는 면압대의 높이가 높고, 반대로 굳은 암반이거나 굴진속도가 빠를 경우에는 면압대의 높이가 낮지 않다. 또한 상부의 면압권의 형성은 일반적으로 반타원형을 이루고 있다.

Fig. 5의 A, B, C는 일반적인 갱도의 단면을 나타내고 있다. 갱도 단면의 면적은 갱도 굴착비용에 큰 영향을 주는 요소로서 발파준비 및 발파후 폐석처리에 필요한 장비가 원활히 움직일 수 있는 단면적일 경우, 본 연구대상지역의 운반갱도의 단면적은 A의 경우는 약 11 m², B의 경우는 약 12.3 m²이고 C의 경우는 약 15 m²가 된다. 갱도 바닥의 폭과 높이가 일정할 경우 갱도의 천반에 작용하는 전달하중의 크기는 C, B, A순으로 되고, 단면의 활용성 면에서 볼 때 C, B, A순이 된다.

암석의 압축강도는 인장강도에 비하여 매우 크므로 어느 정도 압축응력이 커져도 큰 문제가 되지 않으나, 인장응력이 발생하면 주변부근의 암석의 일부가 붕괴하게 된다. 갱도나 터널과 같은 지하공동을 안전하게 유지하려면 공동의 형상을 고려하여 주변에 발생하는 인장응력을 될 수 있는 한 적게 하는 것이 중요하다. 터널이나 갱도의 단면형상으로는 Fig. 5에서와 같이 보통 종장의 반타원형(A형)이 가장 좋은 형상이다.

따라서 갱도의 안전과 갱도의 굴진비용을 검토하여 갱도 굴진단면을 결정해야 할 것이다.

지하갱도 굴착시 발파에 의한 진동은 암반내에 균열을 일으킬 수 있는 원인이 되기도 하며, 연속적인 발파는 암반을 유해할 정도로 이완시키기도 한다.

암반의 발파에 의한 균열의 발생, 성장을 최대한도로 줄이기 위해서는 현장에 적합한 조절발파를 실시해야 한다. 천공법과 발파법은 여러가지가 있으나 발파의 목적, 암반의 상태, 화약의 종류, 굴진단면의 크기와 용도 등에 의해 결정되어야 한다.^{7,16,17)}

RMR 분류법에 의한 암반의 등급에 따라 전단면 굴착방식과 천정 선굴착 및 계단 발파방식을 채택할 수 있는데, 본 연구 대상지역의 운반갱도는 소형 갱도로서 지보관계 판정에서 무지보로 판정하였으므로 A형의 굴진단면을 채택하여 전단면 굴착공법을 적용하는 것이 바람직하다.

이러한 굴착공법에 있어서 심빼기 발파는 평형공에 의한 방법을 채택하며, 발파당 천공장은 2.5 m 정도를 유지하고, 발파의 진동에 의한 주변암반의 유해를 고려하여 지발당 장약량을 9 kg 이하로 유지해야 할 것이다. 이와 관련된 계산근거는 아래와 같은 길천의 진공속도 추정식에 의하였다.

$$V = KW^{3/4}D$$

- 터널과 지상구조물간의 거리 : $D = 50$ m
 - 터널 발파시 입지상수 : $K = 480$
 - 구조물에 미치는 진동속도 : $V = 1$ cm/sec
- (여기서 W는 약 9 kg이 산출된다.)

또한 벽면과 천정부분은 정밀폭약을 사용한 조절 발파를 실시하여 발파 마무리면의 정밀성과 모암 균열의 극소화를 도모하여 여굴을 예방하여야 할 것이다.

5. 결 론

성신양회 공업주식회사 단양공장의 원석 운반갱도가 굴착될 모암을 대상으로 실험 및 분석한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 운반갱도가 굴착될 위치의 모암에서 암심을 채취하여 실험실에서 시험측정하여 건조와 습윤시의 물성치를 구한 결과, 건조시의 압축강도는 2,270 kg/cm², 인장강도 206 kg/cm², 전단강도 360 kg/cm², 영률 6.69×10⁵ kg/cm², 포아송비 0.26, 굽힘강도 144 kg/cm², 45 kg/cm²의 봉압하에서 파괴강도가 2,760 kg/cm²이고, 습윤시의 압축강도는 1,990 kg/cm², 인장강도 163 kg/cm², 전단강도 285 kg/cm², 영률 5.57×10⁵kg/cm²,

포아송비 0.23, 굽힘강도가 126 kg/cm²로서, 모암은 건조시에 극경암에 속하며 습윤시에는 경암에 해당한다.

2. 지하 운반갱도의 갱도규모, 유지기간 등을 고려한 지보의 필요성 판정과 설계를 위한 자료로 활용하기 위하여 모암의 공학적 분류 즉, RMR 분류와 Q-system 분류를 실시한 결과를 분석, 종합해 보면 RMR은 68점, Q-system은 11.8점으로서 우수한 것으로 나타났다.

3. RMR 분류와 Q-system 분류결과의 정량적인 분류치는 우수한 등급에 속한다. 따라서, 대상 암반에 대한 지보의 필요성 판정은 무지보 판정을 하였으며, 이는 90% 이상의 신뢰도를 갖는다.

4. RMR 분류치에 의하면 천정 선발파 벤치법(Top heading bench method)을 이용해야 하나 굴진 단면적에 적합하지 아니하므로 전단면 굴착공법을 실시하는 것으로 판정하였다. 전단면 굴착시 벽면과 천정부분은 조절발파를 실시해야 하며, 주위 암반에 미치는 발파진동 등을 고려하여 지발당 폭약량을 약 9 kg 이하로 유지해야 할 것으로 판단된다.

본 연구결과에 의거하여 성신양회 공업주식회사 단양공장의 원석 운반갱도를 실제로 굴착한 결과, 운반갱도는 굴착 후부터 2년이 경과된 현재까지 무지보상태로써 유지되고 있음을 첨언한다.

참고문헌

- 1) Dept. of the Army corps of engineers, 1978, Engineering and design tunnels and shaft in rock, Engineer Manual, pp. 3.1-3.5.
- 2) Bieniawski, Z.T., 1984, Rock mechanics design in mining and tunneling, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 55-96, pp. 97-136.
- 3) 임한옥, 1991, 무주 양수발전소 현저암반내 초기응력 측정에 관한 연구, 한국암반역학회지: 터널과 지하공간, 제 1권, 제 2호, pp. 218-228.
- 4) Herget, G., 1988, Stresses in rock, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 1-28.
- 5) Obert, L. and Duvall, W.I., 1967, Rock mechanics and the design of structures in rock, John Wiley & Sons, pp. 465-491.
- 6) 임한옥, 이정인, 1980, 공경변화법에 의한 암반내 초기응력 측정에 관한 연구, 대한광산학회지, 제 17권

- 제 1호, pp. 30-37.
- 7) Brady, B.H.G. and Brown, E.T., 1985, Rock mechanics for underground mining, George Allen & Unwin Ltd., pp. 135-152, pp. 454-458.
 - 8) 신회순, 이경운, 김민규, 1984, 공경변화법에 의한 심부석탄광 암반내 초기응력 측정, 대한광산학회지, 제 21권 제 2호, pp. 81-89.
 - 9) Han-Uk Lim, and Chung-In Lee, 1986, In-situ stress measurement of rock by stress relief method at some location in Korea, Proc. of the Int. Sym. on Rock Stress and Rock Stress Measurements., Stockholm, Sweden, pp. 561-568.
 - 10) Haimson, B.C., 1978, The hydrofracturing stress measuring method and recent field results, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr, Vol. 15, pp. 167-178.
 - 11) Nataraja, M.S., 1981, In situ stress measurements in weak rocks, Proc. of the Int. Sym. on Weak Rock, Tokyo, pp. 1197-1203.
 - 12) Haimson, B.C., 1984, Pre-excavation in situ stress measurements in the design of large underground openings, ISRM Sym. on Design and performance of underground excavations, British Geotechnical Society, London, pp. 183-190.
 - 13) Hoek, E. and Brown, E.T., 1980, Underground excavations in rock, Institution of Mining and Metallurgy, London, England, pp. 14-37.
 - 14) Technical Manual, 1970, Honeywell Test Instrument Division, Denver Colorado, USA, pp. 10-15.
 - 15) Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering rock mass classifications, John Wiley & Sons, pp. 51-72.
 - 16) Olofsson, S.O., 1988, Applied explosives technology for construction and mining, Apllex P.O. Box 71, S-640, 43 ARLA, Sweden, pp. 174-187.
 - 17) Cunningham, C.V.B., and Geotzsche, A.F., 1990, The specification of blast damage limitations in tunnelling contracts, Tunnelling & Underground Space Technology, Vol. 5, No. 3, Pergamon Press, pp. 193-198.