

폐광지역을 통과하는 고속철도터널의 안정성 평가

장명환¹⁾ · 양형식²⁾ · 정소걸³⁾

Stability Analysis of High Speed Railway Tunnel Passing Through the Abandoned Mine Area

Myoung-Hwan Jang, Hyung-Sik Yang and So-Keul Chung

ABSTRACT The influence of the mined-out caves on the stability of the high speed railway tunnel was investigated with a series of geological logging and in-situ tests on the one hand, and with the rock mass classification using the multiple regression analysis on the other hand. The rock mass in this area can be classified as 'fair', and the condition of the discontinuities plays the most important role in the classification of the rock mass. The results of the analysis obtained by the FLAC showed that the western part of the tunnel locating at 50m above the mine cavities could be affected by subsidence associated with a considerable deformation, the magnitude of which might depend on the properties of the rock mass.

Key word : multi regression analysis, subsidence, mine cavities

초 록 : 고속철도터널 시공전에 폐광된 광산의 채굴공동의 변형거동이 철도터널의 안정성에 미치는 영향을 조사하고자 이 지역에서 지질조사, 암반의 공학적 평가 및 평가요소에 대한 다중회귀분석, 수치해석 입력자료의 취득을 위한 많은 조사를 수행하였다. 암반의 공학적 분류결과 절리면에 대한 상태가 RMR 값을 결정하는데 가장 중요한 변수로 나타났고, Q값을 결정하는데는 절리군의 수가 가장 중요한 변수인 것으로 분석되었다. FLAC에 의한 해석결과 고속철도구간 서측 하부 50 m 지점에 위치한 채굴적의 변형거동은 암반의 역학적 특성에 따라 변형양상은 다를 수 있으나 고속철도터널에 침하성 변위를 유발시킬 가능성이 있을 것으로 판단되었다. 그러나 채굴적을 광체와 같은 역학적 특성을 갖는 재료로 충전 시켰을 때 침하성 변위는 나타나지 않는 것으로 나타났다.

핵심어 : 다중회귀분석, 침하, 채굴공동

1. 서 론

휴·폐광중인 광산지역에 암반구조물을 구축할 경우 채굴공동의 변형거동이 암반구조물에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다.

본 연구는 경부고속철도 상리터널 일부구간을 대상으로 철도터널 하부 채굴적의 변형거동에 의한 철도터널의 안정성 평가를 실시하기 위한 일련의 조사와 그 결과를 이용하여 안정성평가를 수행한 것이다. 연구 대상지역의 삼보광산의 운반갱도와 채굴적(採掘積)들이 철도터널의 상·하부에 복잡하게 구성되어 있다.

따라서 철도터널의 안정성을 평가하기 위해서는 인접한 폐광갱도 및 채굴적 등의 변형거동, 터널의 기하학적 특성, 현지암반의 물리·역학적 특성, 암반의 불연속성,

구조물과 지보공의 형식, 암반과 구조물 사이의 상호작용 등을 고려하고, 터널주변 암반에 대한 응력분포 및 이완 영역의 발달 범위 등을 규명할 필요가 있다.

이를 위해 고속철도 터널을 건설하였을 때 고속철도노선과 채굴적들에 대한 시추조사, 갱내조사 및 갱내·외 측량 등을 수행하여 채굴적 상황 등을 조사하였다. 또한, 지질조사 및 암반의 공학적 평가 및 평가요소에 대한 다중회귀분석 및 t-검정을 실시하여 그 결과를 토대로 전산 해석(FLAC)의 입력자료로 활용하였다.

1)대한광업진흥공사 익산사업소 교육담당

2)전남대학교 자원공학과 교수

3)한국자원연구소 탐사개발연구부장

원고 접수일 : 2000년 7월 31일

원고 심사 완료일 : 2000년 8월 14일



Fig. 1. Stereo of aero-photograph.

2. 광산 및 철도노선

본 광산은 1974년 개광하여 1982년까지 68 ML에서 240 ML까지 수직고 308 m 총 채광량 410,000톤을 출광하였고 -80 ML하부 채굴적은 광미로 일부 충전하였으며 상부는 보안을 위해 주운반 갱도 및 통기, 인도승(人道昇)을 제외한 전 지역을 폐쇄하였다. 본 광산에 적용된 채광법은 슈린케이저 채광법으로 채광구획은 광맥연장의 폭에 따라 결정되고, 연장은 일반적으로 100 m를 초과하지 않았다. 철도터널구간은 금속광산 개발로 인한 채굴공동이 상리터널 상하 좌우에 산재하고 있고, 지리좌표상 위도 126° 56' 경도 37° 13' 에 위치한다.

본 지역은 주로 편암, 편마암, 암맥류로 구성되어 있으며, 항공사진의 색조에서 보다 암색을 띠는 지역에서 백운모 편암대가 분포하고 암색을 띠는 지역은 흑운모편암대 및 안구상편마암대가 확인되었다(Fig. 1).

3. 현장조사

본 연구에서는 지표지질조사, 시추조사, 갱내조사 및 갱내·외 측량 등을 수행하여 채굴적 상황 등을 조사하고, 암반의 공학적 분류 및 평가요소에 대한 다중회귀분석과 t-검정을 실시하였다.

3.1. 갱내조사

갱내조사는 개설갱도에 대한 측량과 함께 암상변화와 절리, 단층, 균열 등 분리면 조사를 포함한 정밀 지질구조조사, 갱내 누수상황 및 현장 수질분석과 수질시료 채취, 채굴적 현황조사 등을 수행하였으며, 조사 및 자료처리의 효율성을 제고하기 위하여 진행방향으로 좌우측벽 및 천반 등 3개 면으로 구분 측정하였다. 본 조사에서는 갱도연장 매 10 m 마다 4 m 씩의 window를 설정하였

으며 갱도 전 연장에 대한 정밀 스케치와 함께 확인된 단층 등에 대하여는 상대변위의 규명에 주력하였다. 본 지역에서 편암 및 편마암류와 이를 후기에 관입한 맥암류 등을 포함하는 3 개종의 대표암종 내에 3-5개조의 불연속면계 및 이들 층준을 횡단하며 절단하는 동일계열의 단층대가 인지되었다.

총 60개의 측정점을 선정하여 조사한 결과, 103갱에서는 (076/47), (156/78), (310/63), (256/77), (029/88) 등의 5개조의 대표적인 불연속면 세트가 확인되었고, 68 갱에서는 (078/45), (200/70), (150/82), (313/83) 등의 총 4개조의 대표적인 불연속면 세트가 확인되었다.

3.2. 공내재하시험

공내 재하시험은 시추공의 공벽면을 가압하여 그때의 공벽면 변형량을 측정하여 현지암반의 강도 및 변형특성을 조사하는 방법으로서, 시추공을 이용하여 심부암반에 대해서도 간편히 측정할 수 있다. 시험장소는 경부고속철도 2공구 상리터널구간의 4개를 대상으로 총 9회의 공내 재하시험을 실시하였다. 시험장치는 Elastometer-200 (OYO-4130B, Japan)이고, 시험방법은 등압 변위법을 적용하여 시추조사결과로부터 얻은 지반상태를 고려하여 5 ~ 10 kg/cm²씩 압력을 증가시키면서 각압력 단계별로 15, 30, 60, 120초의 가압시간을 유지하며 고무튜브의 변화를 기록하였다. 적용압력(P)으로 인하여 발생하는 암반의 변위(r)는 digital indicator를 통하여 측정되고 변형계수는 압력-변형곡선(P-R curve)으로부터 (1)식과 같이 구한다.

$$E_d = (1 + \nu) \cdot K_b \cdot R_m \tag{1}$$

$$K_b = \frac{\Delta P}{\Delta r} = \frac{P_y - P_0}{r_y - r_0} \tag{2}$$

(2)식에서 K_b 는 지반반력 계수로서 압력의 변화를 고무튜브의 반경변화로 나눈 것이고, P_0 는 초기적용압력, P_y 는 항복압력이고, r_0 는 P_0 때의 고무튜브의 반경 r_y 는 P_y 때의 고무패킹의 반경이다. 현지암반의 탄성계수는 암반의 조건에 따른 Menard의 rheological factor(α)로 보정하였다.

공내재하시험은 하중강도 변위곡선으로부터 변형계수 및 탄성계수를 구할 수 있으나, Jean-Louis Briaud가 제안한 방법에 의하여 초기응력계수를 (3)식과 같이 구할 수 있다.

Table 1. Results of borehole pressure test.

Hole No.	Depth (m)	P_0 (kg/cm ²)	P_y (kg/cm ²)	r_0 (cm)	r_y (cm)	ν	E_d (GPa)	σ_v (kg/cm ²)	k	Remark
SR- 1	22.8	5	190	3.691	3.696	0.17	15.9	6.62	0.80	SW
	33.8	10	190	3.933	3.960	0.17	3.0	9.40	0.85	SW
	34.8	15	70	3.748	3.776	0.17	0.8	9.67	1.24	SW
SR- 2	42.0	10	120	3.853	3.862	0.21	12.4	11.84	0.80	SW
	62.0	20	110	3.857	3.868	0.24	3.6	15.39	1.13	SW
SR-12	40.0	5	190	3.927	3.945	0.17	4.7	10.80	0.83	SW
	70.0	10	190	3.693	3.710	0.24	4.5	18.90	0.79	SW
SR-25	31.0	3	109	4.156	4.348	0.17	0.2	8.68	1.15	MW
	60.0	13	190	3.860	3.864	0.24	19.9	16.20	0.80	SW

SW : slightly weathered, MW : moderately weathered

$$k = \frac{\sigma_h - U}{\sigma_v - U} \tag{3}$$

(3)식에서 k는 초기응력계수, σ_h 는 수평응력, σ_v 는 수직응력, U는 간극수압을 나타낸다. 위 식에서 지반내 수평응력은 초기재하응력과 같으므로 (3)식은 (4)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$k = \frac{P_0 - U}{\sigma_v - U} \tag{4}$$

Table 1은 공내 재하시험의 결과를 나타낸 것으로 변형계수는 최소 0.1 GPa에서 최고 20 GPa까지 다양한 값으로 결정되었고, 초기응력계수(k)는 0.8~1.2까지 비교적 변화가 적은값으로 계산되었다.

3.3. 암반분류

아래의 (5)~(7)식은 RMR과 Q의 변수를 이용하여 RMR과 Q에 대한 다중회귀분석의 결과를 나타낸 것으로서 상관계수는 각각 0.81, 0.47, 0.75로 분석되었다. 회귀분석에 사용된 RMR 값은 조정계수로 보완한 값을 이용하였다.

$$RMR = -5.76 + 0.91\sigma_c + 1.05RQD + 0.75J_s + 0.98J_r + 0.85J_w \tag{5}$$

$$Q = -1.19 + 0.31RQD - 0.92J_n + 2.65J_r - 1.83J_a + 7.03J_w - 5.57SRF \tag{6}$$

$$Q = -21.78 + 1.35\left(\frac{RQD}{J_n}\right) + 7.93\left(\frac{J_r}{J_a}\right) + 13.80\left(\frac{J_w}{SRF}\right) \tag{7}$$

각 변수 즉, σ_c 는 압축강도, RQD는 암질지수, J_s 는 절리면의 간격, J_r 은 절리면의 상태, J_w 는 지하수 상태, J_n 은 절리군의 수, J_a 는 절리의 풍화정도, SRF는 응력에 의한 계수이다. 변수들 중 J_r 과 J_w 는 RMR과 Q에서 공통으로 쓰이는 인자이나, 그 점수는 분류방식에 따라 다르다.

Table 2~Table 4는 다중회귀분석에서 추정된 회귀계수들을 분석한 것이다. 표에서 회귀계수 β_i ($i = 0, 1, 2, \dots$)를 각각의 표준오차(SE)로 나눈 t-검정의 통계치에 대한 절대값이 클수록 회귀함수에서 중요한 영향변수가 된다.

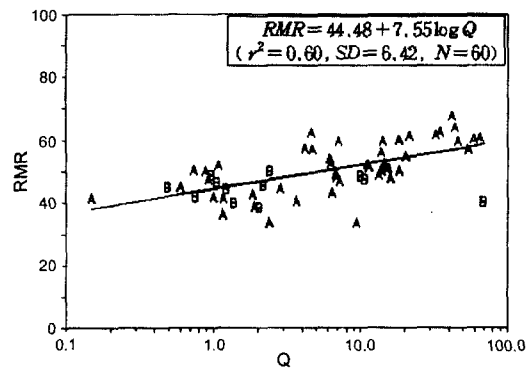


Fig. 2. Relationship between RMR and Q.

Table 2. Influence diagnostics with regression coefficients of RMR.

Parameters	β_0	σ_c	RQD	J_s	J_r	J_w
β_i	-5.76	0.91	1.05	0.75	0.98	0.85
SE	3.59	0.17	0.23	1.05	0.09	0.14
t	1.60	5.35	4.57	0.71	10.88	6.07

Table 3. Influence diagnostics with regression coefficients of Q-factors.

Parameters	β_0	RQD	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF
β_i	-1.19	0.31	-0.92	2.65	-1.83	7.03	-5.57
SE	13.21	0.13	0.31	1.04	0.80	15.73	3.07
t	0.09	2.38	2.97	2.55	2.29	0.45	1.81

Table 4. Influence diagnostics of regression coefficients to Q.

Parameters	β_0	(RQD/ J_n)	(J_r/J_a)	(J_w /SRF)
bi	-21.78	1.35	7.93	13.80
SE	8.75	0.26	1.24	2.75
t	2.49	5.19	6.39	5.02

Table 2에서 RMR은 절리면에 대한 상태가 가장 큰 영향변수로 나타났고, 절리면의 간격, 지하수 상태 등이 주요 영향변수인 것으로 분석되었다. Table 3에서 Q는 절리군의 수가 가장 큰 영향변수인 것으로 분석되었고, 절리면의 상태, RQD, 절리면의 변질정도 등이 주요 영향변수로 분석되었다.

Table 4는 Q 변수들의 조합에 의한 것으로서 (RQD/ J_n)는 암반의 구조체를, (J_r/J_a)는 절리면이나 충전물의 거칠기와 마찰특성을, (J_w /SRF)는 실제응력을 의미한다. 회귀진단결과 Q는 절리면이나 충전물의 거칠기와 마찰특성이 중요한 것으로 분석되었다.

이상의 분석결과로부터 이 구역에서 암반의 공학적 특성에 가장 큰 영향변수는 암반의 강도특성보다는 절리면들의 구조적 특성이 더 큰 것으로 분석되었다. 따라서 이 구역에서 터널의 설계나 안정성평가는 절리면의 특성이 우선적으로 고려될 필요가 있다고 본다.

4. 안정성 평가

채굴공동의 변형거동이 고속철도터널에 미치는 영향을

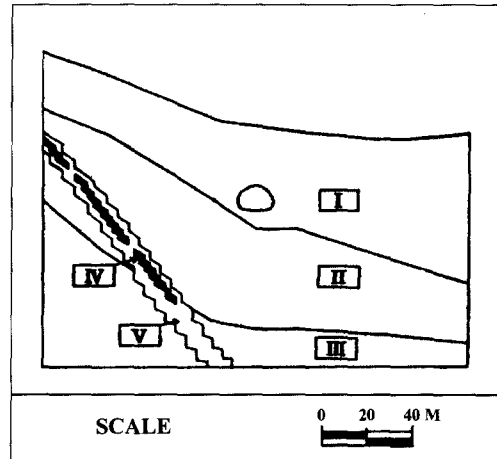


Fig. 3. Physical properties in FLAC section.

조사하기 위하여 FLAC에 의한 전산해석을 실시하였다. FLAC은 중력이 고려되기 때문에 지압뿐만 아니라 중력에 의해 서도 천반붕락 및 벽면붕괴 등에 대한 안정성검토가 용이하고, 다양한 구성방정식과 파괴론을 수용할 수 있다는 장점이 있다.

4.1. 해석영역

해석단면에 대한 암반의 이방성을 충분히 고려하기 위하여 시추코어를 분석한 자료를 토대로 5개 구역으로 구분하였다(Fig. 3). 그림에서 I 구역은 고속철도 터널이 위치한 구역이고, II 구역은 고속철도 직하부 구간, III 구역은 광맥이 관통하는 구간이다. I, II, III 구간은 단층으로 암상이 다르며 대체로 암질은 fair구간에 속하였다. IV구역은 채굴적, V구역은 광체이다.

4.2. 입력자료

Hoek는 그들의 경험파괴조건계수를 이용하여 Mohr-Coulomb의 파괴조건계수를 평가할 수 있는 방법을 제안하였다¹⁾. 본 연구에서는 RMR에 따른 Mohr-Coulomb

Table 5. Physical and mechanical properties of borehole cores.

Sp. No	Depth (m)	ρ_u (MN/m^3)	Experimental		σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	ν	E (GPa)
			m	s				
SR1- 3-6	27.8-28.0	0.0273	14.38	1	7	73	0.17	5.35
SR1- 6-5	43.4-44.9	0.0265	12.93	1	11	99	0.17	7.39
SR1-22-4	132.7-133.2	0.0264	18.25	1	9	114	0.20	12.1
SR2-33-5	187.0-187.8	0.0265	19.59	1	3	39	0.37	3.76

Table 6. Input data for FLAC analysis.

Division	Sp. No.	RMR	Applied failure coefficients				Bulk modulus (GPa)	Shear modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)
			m_m	s_m	$c_m(MPa)$	$\phi_m(^{\circ})$			
Material I	SR1- 3-6	52.16	0.587	0.0005	3.60	19.6	2.0	1.7	0.07
Material II	SR1- 6-5	48.99	0.417	0.0003	3.64	19.7	4.6	3.8	0.06
Material III	SR1-22-4	56.90	1.062	0.001	5.38	27.8	5.6	4.2	0.23
Material IV	Cavity								
Material V	SR2-33-5	55.18	1.000	0.0008	3.52	19.3	5.9	2.7	0.06

Table 7. Desision of elastic modulus.

Classification	SampleNumber	Depth (m)	RMR	E(1) (GPa)	E(2) (GPa)	E(3) (GPa)	Applied (GPa)
Material I	SR1- 3-6	27.8~28.0	52.16	4.320	10.700	15.980	4.00
Material II	SR1- 6-5	43.4~44.9	48.99	9.614	14.780	12.410	9.00
Material III	SR1-22-4	132.7~133.2	56.90	13.800	24.200		10.00
Material IV	Cavity						
Material V	SR1-33-5	187.0~187.8	55.18	10.360	7.520		7.00

의 파괴조건계수를 분석하고자 이를 이용하였다. Table 5는 시추코아의 물리·역학적 특성을 나타낸 것으로서 Hoek-Brown의 파괴조건계수는 삼축압축시험을 통하여 결정하였고, 단축압축강도와 인장강도는 3개의 시험편에 대한 평균값이다. Table 6은 FLAC해석을 위한 입력자료이다.

탄성계수 결정을 이용하여 몇 가지 방법을 이용하였다. Heuze에 의하면 신선암에서 구한 암석의 탄성계수는 현 지암반의 탄성계수보다 약 2.5배 크며, 일반적으로 암반의 탄성계수는 신선암 탄성계수의 0.2-0.6배 정도로서 암질에 따라 달라진다. Bieniawski는 실험실에서 신선암에 대한 물성실험을 하지 않고 현장실험치와 RMR에 의한 (8)식과 같은 관계식을 제안했고²⁾, Serafim과 Pereira는 RMR에 의한 관계식 (9)식을 제안하였다³⁾.

$$E_M = 2RMR - 100 (RMR > 50) \quad (8)$$

$$E_f = 10^{\frac{RMR-10}{40}} (RMR < 50) \quad (9)$$

본 연구에서는 입력자료의 탄성계수를 결정하기 위하여 RMR에 의한 추정값(E(1)), 실험실값을 탄성계수의 20% 적용(E(2)), 공내재하시험에 의한 변형계수 적용(E(3))하여 그중 가장 낮은 값을 택하였다. Table 7은 탄성계수의 입력자료를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 별도의 초기응력 측정을 수행하지 않

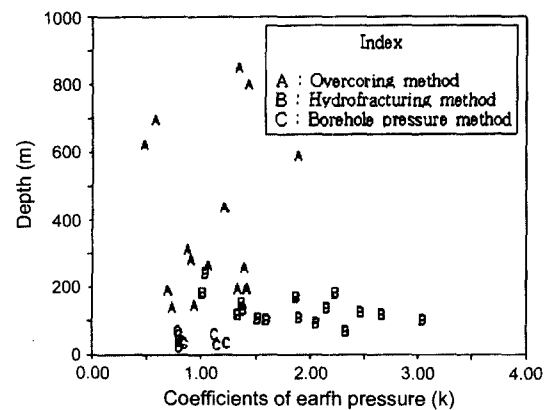


Fig. 4. The relationships between the surveyed k and depth at Korea.

고 공내재하시험에서 구한 개략적인 값과 국내에서 측정된 초기응력계수를⁴⁾ 이용하여 초기응력을 추정하였다 (Fig. 4).

그림에서 overcoring에 의한 초기응력계수는 약 0.5~1.5, 수압파쇄법에 의한 초기응력계수는 약 1.0~2.5 사이로 나타나고 있다. 본 연구에서는 조사지역과 유사한 지형의 지압계수보다 불리한 값인 1.5를 적용하였다.

4.3. 해석조건

해석의 경계조건은 실제의 구조물거동과 근접시키기 위하여 경계면은 구속하고 하부의 양쪽 모서리는 회전만

이용하여 평면변형을 상태로 해석하였다. 해석에 사용된 요소망의 크기는 가로×세로 182×162 m²이고, 요소망 수는 29,484개이다. 해석에서는 철도터널의 굴착단계를 시공단계, 시공시간, shotcrete의 경화시간을 고려하여 굴착직후에 응력해방의 50%, rock bolt 및 shotcrete 타설직후에 25%, hard shotcrete 및 rock bolt에 나머지의 25%가 작용토록 하였다.

4.4. 해석결과

철도터널의 단면변형과 지보에 작용하는 하중은 시간의 경과에 따라 증가하며 그 변화율은 시간에 따라 감소한다. 굴착면 부근에서는 굴착면의 진행에 의한 3차원적인 응력재분배영향을 받으며 굴착면이 진전됨에 따라 암반의 시간에 따른 영향이 증대된다. 본 연구에서는 채굴적에 의한 고속철도터널의 변형거동, 채굴적 충전재료의 물성변화에 따른 고속철도 터널의 변형거동 등에 대한 수치해석을 실시하였다. 해석결과 원지반에 대한 최대주응력은 약 4 MPa 정도였다.

4.4.1. 채굴적에 의한 고속철도터널의 변형거동

암반구조물의 변형은 굴착면 진행의 영향과 굴착면 주변의 하중이력에 대응한 암반의 변형특성에 의해 결정되며, 암반보강의 종류와 특성에 따라서도 변형이 달라진다. FLAC해석결과 하부 채굴적에 의한 고속철도터널의 변형거동은 상반굴착 후 슛크리트와 록볼트를 타설했을 때 최대 변위는 천단 상부에서 약 0.5 cm 정도로 나타났고, 좌측 하단방향에서는 터널하부의 채굴적 방향으로 침하성 변위가 일어났다. 전단면 굴착시 상부의 변위는 지보재의 강성에 의하여 더 이상 발전되지 않고 수렴되었고(Fig. 5), 침하성 변위는 더욱 증가되었으며 최대

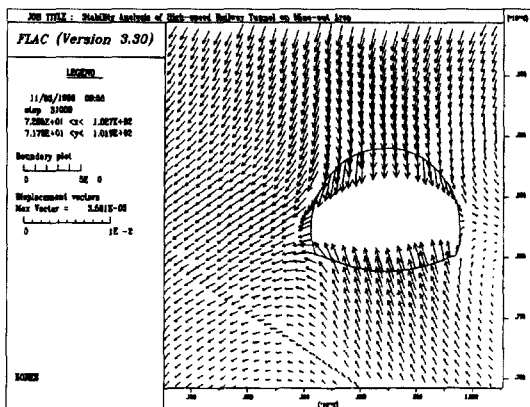


Fig. 5. Displacement vector of railroad tunnel.

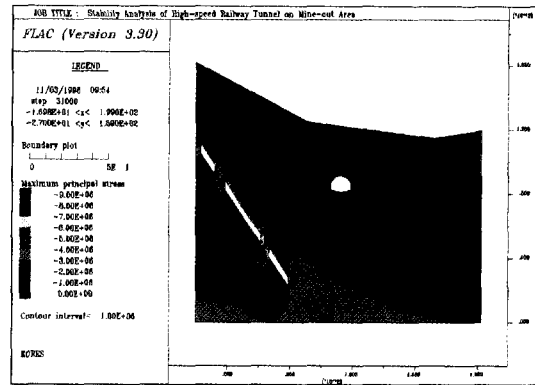


Fig. 6. Contour of major principal stress.

주응력은 약 9 MPa 로서 채굴적내 잔주에 집중되었다 (Fig. 6). 이러한 암반의 침하성 변형거동 양상과 잔주에 작용하는 주응력을 고려 할 때 본 구간은 고속철도 운행시 교통하중에 의하여 채굴적 주변 암반의 변형 가능성이 높을 것으로 예상된다. 따라서 교통하중에 의한 암반의 변형거동은 상부의 고속철도 터널에 침하성 변위를 유발시킬 수 있을 것으로 평가된다

4.4.2. 채굴적 충전에 의한 고속철도터널의 변형거동

채굴적을 광미사로 충전하였을 때 고속철도 터널의 변형거동을 예측하는 것이다. 입력자료로서 광미의 물성은 광체와 같은 것으로 가정하였다. Fig. 7은 채굴적을 광미로 충전 시켰을 때 고속철도터널의 변위를 나타낸 것이다. 그림에서 채굴적을 충전 시켰을 때 고속철도터널에서 침하성 변위는 나타나지 않았으며 내공변위 또한 감소되는 것으로 나타났다. 이때 최대 주응력은 철도터널 벽면에 나타났다.

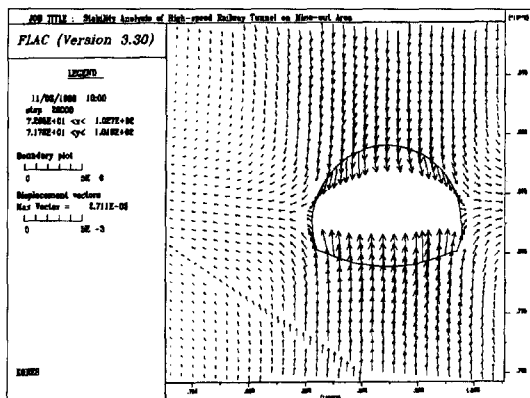


Fig. 7. Displacement vector of tunnel by back filling.

따라서 채굴적을 광체(V)와 같은 역학적 특성을 갖는 재료로 충전 시켰을 때 침하성 변위는 나타나지 않는 것으로 판단되었으나, 본 해석에서는 철도운행에 의한 교통하중이 배제되었으므로 추후과제에서는 교통하중 및 진동 등을 고려한 해석이 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

폐광산구간을 통과하는 고속철도 구간의 안정성평가를 위하여 암반의 공학적 평가에 대한 다중회귀분석 및 수치해석 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) 본 구간에서 암반의 공학적 분류결과 Q값은 0.1~100사이로서 암반등급은 very poor~very good, RMR은 30~70으로서 암반등급은 poor~fair로 분류되었다.

2) RMR과 Q에 대한 t-검정결과 RMR은 절리면에 대한 상태가, Q는 절리군의 수가 가장 큰 영향변수인 것으로 분석되었다. 따라서 본 구역에서 터널의 설계나 안정성평가는 절리면의 특성이 우선적으로 고려될 필요가 있다고 본다.

3) FLAC해석결과 하부 채굴적에 의한 고속철도터널의 변형거동은 상반굴착 후 숏크리트와 록볼트를 타설했을 때 최대 변위는 천단 상부에서 약 0.5 cm정도로 나타났고, 좌측 하단방향에서는 터널하부의 채굴적 방향으로 침하성 변위가 일어났다. 전단면 굴착시 상부의 변위는 지보재의 강성에 의하여 더 이상 발전되지 않고 수렴되었

고, 침하성 변위는 더욱 증가되었으며 최대주응력은 약 9 MPa 로서 채굴적내 잔주에 집중되었다.

4) 채굴적을 광체의 물성과 같은 재료로 충전시켰을 때 고속철도터널에서 침하성 변위는 나타나지 않았으며 내공변위 또한 감소되는 것으로 나타났다.

5) 이상의 결과로부터 고속철도구간 서측 하부 50 m 지점에 위치한 채굴적의 변형거동은 채굴적을 충전시켰을 때 침하성 변위는 나타나지 않는 것으로 판단되었으나, 본 해석에서는 철도운행에 의한 교통하중이 배제되었으므로 추후과제에서는 교통하중 및 진동 등을 고려한 해석이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. E. Hoek, 1990, Estimating Mohr-Coulomb Friction and Cohesion Values from the Hoek-Brown Failure Criterion, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 27, 227-229
2. T.T. Bieniawski, 1978, Determining Rock Mass Deformability : Experience from Case Histories., Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 15, 237-247
3. J.L. Serafim, J.P. Pereira, 1983, Consideration of the Geomechanics Classification of Bieniawski, Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Constr., LNEC, Lisbon, 1, 33-42
4. KIGAM, 1995, A Research on the Excavation, Support, and Environment Control of Large Scale Underground Space, KR-95(T)-8, 555p.

장 명 환



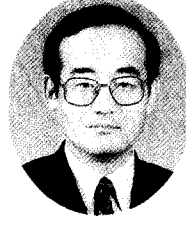
1988년 전남대학교 자원공학과, 공학사
1990년 전남대학교 대학원 자원공학과, 공학석사
1996년 전남대학교 대학원 자원공학과, 공학석사

Tel : 063-862-0041

E-mail : mhjang@edunet4u.net

현재 대한광업진흥공사 익산사업소 교육훈련원/교육담당

양 형 식



1979년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1981년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
1987년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학박사

Tel : 062-530-1724

E-mail : hsyang@chonnam.chonnam.ac.kr

현재 전남대학교 자원공학과 교수

정 소 겁



1975년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1982년 Nancy Ecole Des Mines (in France), 공학석사
1984년 Orleans 대학(in France) 공학박사

Tel : 042-868-3231

E-mail : skchung@kigam.re.kr

현재 한국자원연구소 탐사개발연구부 부장
