

## 석회석광산의 갱내채광설계 및 안정성평가

구청모<sup>1)\*</sup>, 전석원<sup>2)</sup>, 이인우<sup>3)</sup>

### Underground Mine Design and Stability Analysis at a Limestone Mine

Chung-Mo Koo, Seok-Won Jeon, In-Woo Lee

**Abstract** Recently, the mining methods are changing from surface mining to underground mining because of the increment of the environmental issues and legal regulations. Therefore, the stability of underground openings is a major concern for the safety and productivity of mining operations. In this paper, a survey of structural geology and discontinuities were carried out at a limestone mine. The relevant mechanical properties of rocks were determined by the laboratory tests and rock mass classifications (RMR and Q-system) for the mine design and input data for the stability analysis. The dimensions of unsupported span for underground openings and pillar were decided based on the RMR values of rock mass classifications. The stability analysis for the suggested mine design was examined through the empirical methods (stability graph method and critical span curve) and 3-D numerical analysis (Visual -FEA).

**Key words** Surface mining, Underground mining, Stability graph, Critical span curve, Numerical analysis

**초 록** 최근 환경문제 및 법적규제의 강화로 광산의 개발이 노천채광에서 갱내채광으로 전환됨에 따라 지하채굴 공동의 안정성이 광산의 운영 및 생산성 부분에서 최대 관심사로 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 갱내채광 설계와 안정성 평가의 입력 자료로 활용하기 위해 지질조사, 불연속면 조사, 실내 암석실험, 암반분류를 수행하였으며, 암반분류 결과를 이용하여 무지보로 안정을 유지할 수 있는 채굴 공동과 광주의 규격을 결정하였다. 또한, 경험적 방법(stability graph, 한계 공동폭 곡선)과 3차원 수치해석을 통하여 지하채굴 공동의 안정성을 평가하였다.

**핵심어** 노천채광, 갱내채광, stability graph, 한계 공동폭 곡선, 수치해석

### 1. 서 론

석회석은 국내 광산물 총생산액의 약 73%를 점유하고 있는 대표적인 비금속 광종으로 개발방식은 크게 노천채광과 갱내채광으로 구분할 수 있다(2007년도 광산물 수급현황). 일반적으로 시멘트용으로 이용되는 비교적 저품위의 석회석은 현재 노천채광방식을 채택하여 대규모로 채광을 하고 있으며, 제철, 제강 및 화학제품의 원료로 이용되는 고품위(CaO 52%이상) 석회석은 갱내채광방식에 의해 소규모로 개발되어 왔다. 하지만

최근 산지관리법, 백두대간보호에 관한 법률 등의 제정으로 환경관련규제가 강화되면서 점차적으로 노천채굴에 의한 개발방식에서 갱내채광으로 전환되고 있다.

일반적으로 갱내채광은 노천채광에 비해 2~3배의 생산비용이 소요되며, 지하 채광장의 갱도유지를 위한 안전문제가 발생하게 된다. 하지만 국내 대부분의 광산은 규모가 영세하고, 전문 기술 인력이 크게 부족하여 대부분 경험적 채굴방법에 의존하고 있어 효율적인 갱내채광이 이루어지지 못하고 있다. 따라서 향후 안정성 문제가 발생할 수 있으며, 폐광 후 채굴적에 의한 지표 침하 문제가 발생할 가능성이 상존하고 있다.

지하 채광장의 불안정한 조건은 천반이나 상반으로부터의 낙석이 일어나면서부터 나타나기 시작하며, 국부적인 낙석으로부터 시작하여 큰 재해로 연결되는 경우도 종종 있다. 따라서 갱도를 굴진해가면서 갱도상황에 적합한 지보재를 타설하고, 국부적인 낙석에 의한 안정

<sup>1)</sup> 대한광업진흥공사 자원개발2본부 유통사업팀

<sup>2)</sup> 서울대학교 에너지시스템공학부 부교수

<sup>3)</sup> 대한광업진흥공사 자원개발2본부 탐사지원팀

\* 교신저자 : kcm@kores.or.kr

접수일 : 2008년 7월 15일

심사 완료일 : 2008년 8월 14일

게재 확정일 : 2008년 8월 19일

성을 확보하는 것이 바람직하다. 하지만 광산의 갱도유지는 안정성보다는 경제성 문제를 중요시하는 경향이 많기 때문에 암반상태와 갱도규격에 따른 적절한 지보대책을 수립하는 능동적인 지보대책보다는 무지보에 의한 갱도유지가 일반적이다.

따라서 본 연구에서는 현재 노천채굴에서 갱내채굴로 전화하고 있는 전라남도 장성에 위치한 고려시멘트(주)의 간동, 남일, 옥정, 맥정광산 일대를 대상으로 광체의 부존 특성에 적합한 채광방법을 선택한 후, 선우춘 등(2005)이 제안한 암반분류법을 통한 갱도 규격을 바탕으로 무지보 상태로 안정성을 유지할 수 있는 갱도 및 채광장의 규격과 광주(pillar)의 크기를 결정하였다. 그 결과를 바탕으로 stability graph method와 최대 무지보 공동폭 곡선과 같은 경험적 방법에 의하여 채광장의 안정성을 평가한 후 3차원 유한요소해석프로그램인 Visual FEA를 이용하여 지하채광장의 안정성 평가를 수행하였다.

2. 현장조사 및 암반분류

2.1 지질 및 광상

고려시멘트(주) 장성공장 인근의 지질은 Fig. 1과 Table 1에서 보는 바와 같이 선캠브리아기의 화강암질 편마암

과 시대미상의 용암산층, 설옥리층 및 후기에 관입한 중생대 백악기의 암맥류와 층적층으로 구성된다.

광상은 설옥리층 하부에 협재되는 석회암을 대상으로 하는 시멘트용 석회석 광상으로 북동-남서방향으로 길게 대상(帶狀)으로 분포하며, 광체의 경사는 약 60~70°NW이다. 석회암대는 지역적으로 다소 차이는 있지

Table 1. Geological system of the studied area(손길상 & 손승환, 2006)

제 4 기	—	층적층	
		~ 부정합 ~	
백악기	—	암맥류	—
		- 관 입 -	
시대미상	□	설옥리층	□ 옥천누층군
		용암산층	
		~ 관계미상 ~	
선캠브리아기	—	화강암질편마암	

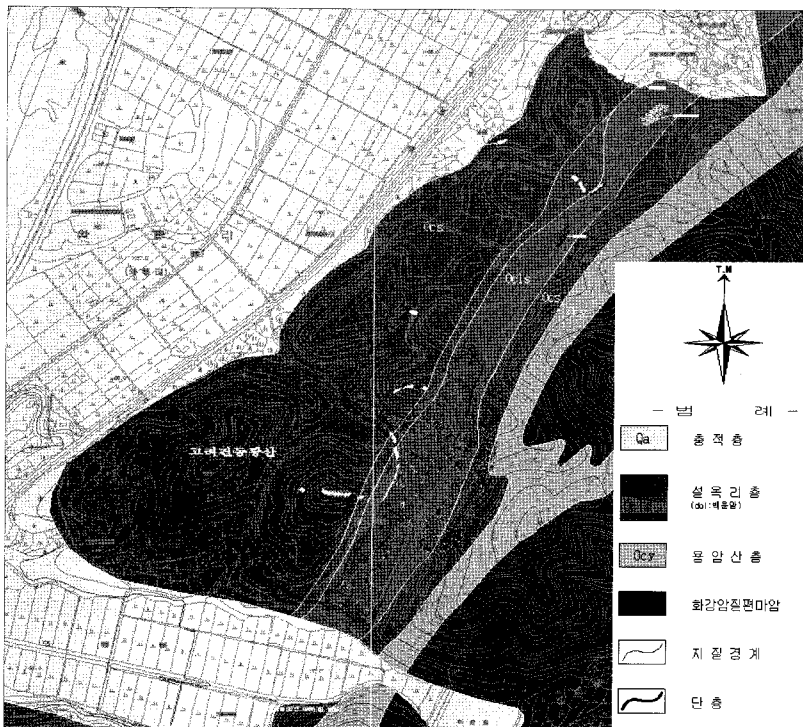


Fig. 1. Geological map of the studied area(손길상 & 손승환, 2006)

만 대체적으로 부존규모는 폭 100 m 내외, 연장 4 km 내외이고, 석회암대 상부구간에는 20 m 내외의 백운암대가 협재하는 것이 특징이다. 석회석은 다양한 색상을 띄며, 주로 세립질의 결정질 석회암으로 산출되고, 부분적으로 치밀질 석회암도 혼재된다.

**2.2 불연속면 조사 및 물성실험**

고려시멘트(주)의 건동광산과 남일광산에서 조사된 불연속면은 N300/80, N42/84, N26/65 계열의 불연속면이 우세하게 발달하여 있으며, 그 외 부분적으로 분포하는 불연속면들이 존재한다. 불연속면에는 방해석과 녹니석이 충전되어 있는 경우가 다수 존재하고 있다.

현장시료의 물리·역학적 특성을 파악하기 위한 실내

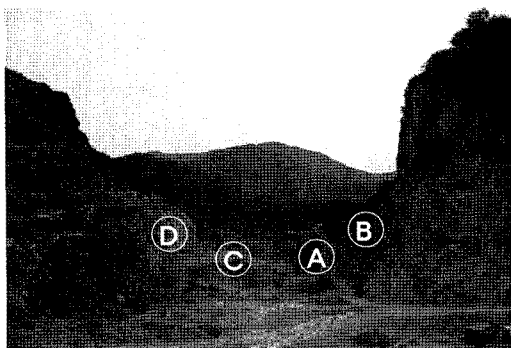
암석실험은 매장량 조사를 위해 시추한 시추공 중에서 지하채광을 계획하고 있는 구간 내에 포함되는 4개의 시추코어에서 시료를 채취하여 단위중량, 흡수율, 탄성파 속도, 일축압축강도, 안장강도, 탄성정수, 점착력, 내부마찰각 등을 측정하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

**2.3 현지암반의 공학적 분류**

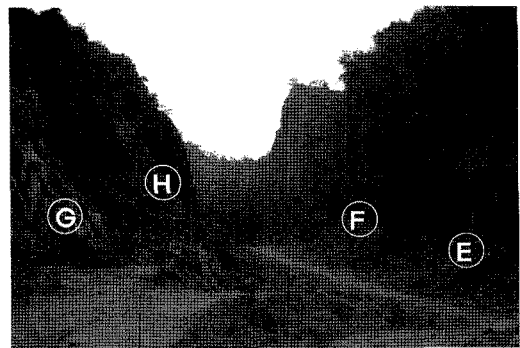
현지암반의 공학적 분류는 현재 노천채광이 이루어지고 있는 건동광산과 남일광산 노두를 대상으로 RMR(Bieniawski, 1973), Q-system(Barton et al, 1974)을 이용하여 실시하였으며(Fig. 2), 그 결과는 Table 3과 같이 RMR값의 평균은 61.6, Q값의 평균은 8.9였으며, 4개의 시추코어에서의 RMR값과 Q값을 추가로 고려한다면, RMR값

**Table 2.** Mechanical properties of *Korea Cement* limestone

Sample No.	KR-1	KR-2	KR-3	KR-4	
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.74	2.71	2.73	2.73	
Absorption ratio (%)	0.19	0.17	0.08	0.07	
Wave velocity (m/sec)	P	5,750	5,620	6,120	6,110
	S	2,850	2,730	3,110	3,130
Uniaxial compressive strength (MPa)	69	66	90	109	
Tensile strength (MPa)	4.5	4.3	5.1	5.5	
Young's modulus (GPa)	49	37	53	35	
Poisson's ratio	0.19	0.28	0.27	0.25	
Cohesion (MPa)	9.1	8.6	10.8	12.3	
Internal friction angle (°)	47.3	48.8	51.3	52.4	



(a) Kundong limestone mine



(b) Namil limestone mine

**Fig. 2.** General view of *Korea Cement* limestone mine.

**Table 3.** Results of rock mass classification in *Korea Cement* limestone mine.

Site	A	B	C	D	E	F	G	H	Average
RMR	67.0	55.5	62.5	66.8	58.6	59.4	58.5	64.5	61.6
Q	13.3	8.8	10.0	12.0	4.3	3.0	10.8	9.0	8.9

의 평균은 62.5, Q값의 평균은 9.2로 전체적으로 양호한 암반상태를 나타내고 있다.

### 3. 운반갱도 및 지하채광장의 설계

#### 3.1 채광계획

본 연구의 대상 광산은 현재 노천매장량이 채진되어 노천에서 갱내채광으로 전환이 이루어지고 있는 광산으로 현장조사를 통한 암반분류결과 RMR 값은 평균 62.5, Q값은 평균 17.2를 갖는 것으로 조사되었다. 또한 광체가 70°의 고각을 이루고 있어 중단채굴법(sub-level stoping)을 이용하여 채광하는 것으로 결정하였다(Fig. 3).

#### 3.2 운반갱도 및 지하채광장 설계

채광설계에 대한 전체적인 개발골격에 대해 간단히 설명하면, 우선 갱내채광에 의한 지표침하를 방지하기 위하여 지표로부터 35 m 이상 심도에서부터 지하채광을 실시하는 것으로 결정하였으며, 광산갱도의 규격은 선우춘 등(2005)이 국내 석회석광산의 현장조사를 통해 제안한 식(1)을 이용하여 계산하였다. 운반갱도는 자립시간을 10년으로 가정하여 갱도의 폭을 8 m로, 채광장은 자립시간을 1년으로 가정하여 갱도의 폭을 12 m로 하였으며, 운반갱도와 채광장의 높이는 6 m로 결정하였다. 또한 crown pillar의 두께는 갱도 높이의 2배인 12 m로 하였다.

$$W = 0.23 \times \text{Total RMR} - 0.002ST \quad (1)$$

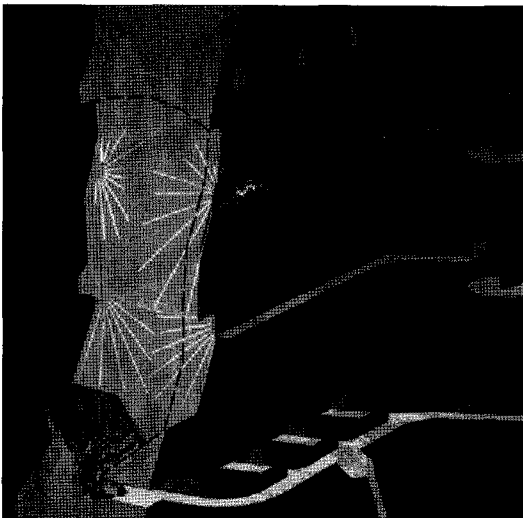


Fig. 3. Layout of sub-level stoping

여기서, W는 갱도의 폭(m), Total RMR은 최종 RMR, ST는 자립시간(day)을 의미한다.

위와 같은 방법으로 지하 4편까지 개발이 되고 나면, 2편부터 4편까지 폭 20 m, 높이 30 m 규모로 중단채굴을 실시하는 것으로 결정하였다.

또한 광주(pillar)의 규격은 일반적으로 주방식 채굴법(room and pillar mining method)에서 광주설계에 관한 경험식으로 Hustrulid(1982), Hoek & Brown(1980)의 제안식이 많이 이용되며, 이외에도 식(2)로 표시된 Hedley의 경험식이 있는데, 이 식은 중단 채굴법의 광주설계에도 이용된다.

$$S.F = \frac{Q_u}{\sigma_p} = \frac{0.7UCS_2 \times W^a}{\sigma_p \times h^b} \quad (2)$$

$$\sigma_p = \sigma_3 + (m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

여기서 S.F는 안전율,  $Q_u$ 는 광주의 강도,  $\sigma_p$ 는 광주의 평균응력,  $UCS_2$ 는 직경 2인치 시편의 일축압축강도, W는 광주의 폭, h는 광주의 높이, a와 b는 상수로 각각 0.5와 0.75,  $\sigma_c$ 는 실험실 일축압축강도, m과 s는 암반분류에 의한 경험상수,  $\sigma_3$ 는 최소주응력을 의미한다.

본 광산의 경우 광주의 폭을 20 m, 높이를 30 m로 하여, 실내암석실험의 결과와 Hoek & Brown의 파괴조건식에서 구한  $m=0.7685$ ,  $s=0.001776$ 을 식(2)와 식(3)에 대입하여 안전율을 계산하면 1.3이 된다. 따라서 광주의 규격은 폭 20 m, 높이 30 m로 하였다.

## 4. 채굴공동의 안정성 평가

### 4.1 경험적 방법에 의한 안정성 평가

#### ① Stability graph에 의한 안정성 평가

Stability graph method는 Mathews 등(1981)이 처음으로 제안하였으며, 이후 많은 학자들에 의해 수정·보완되었다(Potvin et al, 1988; Nickson, 1992; Steward & Forsyth, 1995).

본 연구에서는 Mathews의 stability graph method보다 개선된 확장 Mathews stability graph method(Mawdesely et al, 2001)를 적용하였으며, 이 확장 Mathews stability graph method를 이용하여 본 광산의 채광장, 운반갱도, 중단채굴법에 의해 형성된 공동에 적용시켜 본 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 운반갱도, 채광장, 중단채굴법에 의해 형성된 공동 모두 별도의 지보 없이 안정한 상태를 유지할 수 있는 것으로 판단하였다.

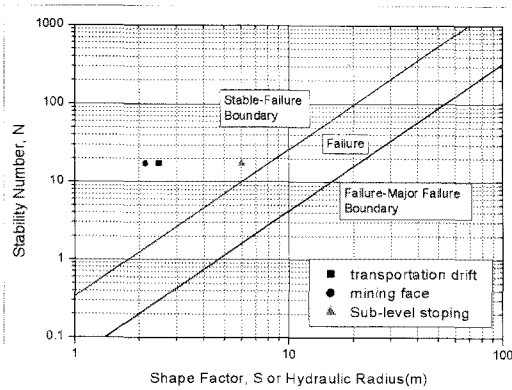


Fig. 4. Extended Mathews stability graph (After Mawdesely et al, 2001)

② 한계 공동폭 곡선에 의한 안정성 평가

Lang et al.(1991)는 cut and fill 채광법의 갱도를 위해 RMR과 한계 공동폭으로 도식화하여 한계 공동폭 설계방법을 개발하였다.

국내에서는 선우춘 등(2005)이 국내 석회석 광산에 한계 공동폭 설계법을 적용시켜 보았으며, 그 결과 한계 공동폭 곡선 상에서는 불안정구역에 속하지만 실제적으로 안정한 상태를 보이고 있는 갱도들이 많아 한계 공동폭 기준을 국내 석회석 광산에 적합하도록 새로운 기준 범위를 책정하였다. 이 기준을 본 광산에 적용시켜 본 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 무지보로 자립

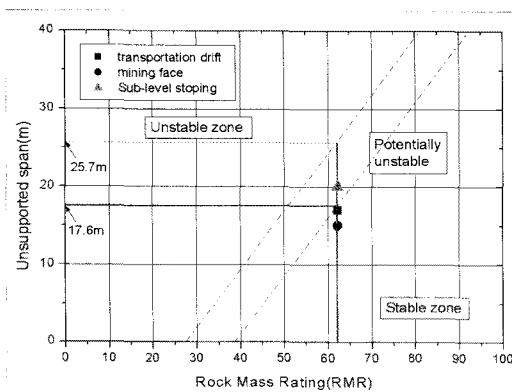


Fig. 5. Modified critical span curve (After C. Sunwoo et al., 2005)

가능한 공동의 최대 폭은 17.6 m인 것으로 나타났으며, 잠재적인 낙반에 대비하여 추가적인 지보를 타설 하는 경우 공동의 최대 폭은 25.7 m인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구구간의 운반갱도와 채광장의 경우 별도의 지보 없이 안정한 상태를 유지할 수 있으며, 중단채굴 법에 의해 형성된 공동의 경우 안정성 확보를 위해 추가적인 지보를 설치해야 하는 것으로 나타났다.

4.2 수치해석에 의한 3차원 안정성 평가

① 입력 자료 산정

수치해석을 수행하기 위해서는 우선 현장지질구조조사 및 절리패턴 분석, 슈미트해머시험과 각종 물성시험 등으로부터 수치해석 시 현지암반의 특성을 효과적으로 산정하는 것이 매우 중요하다. 하지만 암반은 수많은 절리와 층리 등의 불연속면을 포함하고 있어 단순히 실험실 시험만으로 실제적인 암반물성을 구할 수 없기 때문에 이를 보완하기 위하여 암반물성을 산정하는 각종 경험식이 제안되었다.

본 연구에서는 이러한 여러 경험식들 중에서 암반의 변형계수( $E_m$ )는 Serafim & Pereira(1983)가 제안한 식(4)를, 점착력( $C_m$ )과 내부마찰각( $\phi_m$ )은 Trueman(1988)이 제안한 식(5)와 식(6)을, 인장강도( $\sigma_t$ )는 Hoek & Brown(1980)이 제안한 식(7)을 이용하여 계산하였으며, 암반의 밀도와 포아송비는 실내 암석물성시험에서 구한 값을 그대로 적용하였다.

$$E_m = 10^{\frac{RMR-10}{40}} \text{ (GPa)} \tag{4}$$

$$C_m = 0.25 \exp(0.05RMR) \text{ (MPa)} \tag{5}$$

$$\phi_m = 0.5RMR + 5 \text{ (degree)} \tag{6}$$

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \sigma_c [m - \sqrt{m^2 + 4s}] \tag{7}$$

이상의 식들을 이용하여 갱도의 안정성 해석을 위한 수치해석용 입력 자료의 산정 과정을 통하여 결정된 각각의 입력 자료를 정리하면 Table 4와 같다.

또한 초기응력은 별도로 측정하지 못하였기 때문에 연직응력( $\sigma_v$ )의 경우 임한욱(1991)이 국내 초기응력 측

Table 4. Input data of rock mass

RMR	Density	Young's modulus(E)	Poisson's ratio( $\nu$ )	Cohesion (c)	Tensile strength( $\sigma_t$ )	Internal friction angle( $\phi$ )
62.5	2.73 t/m <sup>3</sup>	20.54 GPa	0.25	5.69 MPa	2.35 MPa	36.25°

정 자료를 통해 제안한 식(8)을 이용하여 계산하였다.

$$\sigma_v(MPa) = 1.36 + 0.0233z \quad (8)$$

본 광산의 경우 심도(z) 100 m 부근에서 채광작업이 이루어지기 때문에 연직응력은 3.69 MPa를 적용하였으며, 측압계수는 국내에서 실측된 초기응력 자료 중 전남지역에서의 계측자료 중 심도 100 m 부근의 측압계수의 평균값인 1.3을 적용하였다(최성웅, 1997).

② 검토개요

현재 본 광산에서 갱내채광을 계획하고 있는 구역 내에는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 현재 쓰레기 매립장이 위치하고 있고, 현재 약 4만 톤의 생활쓰레기가 매립되어 있다. 쓰레기 매립장 우측으로는 과거 노천채광지역에 폐석을 매립한 매립지가 존재하지만, 정확한 폐석의 매립량을 산출할 수가 없어서 폐석매립장의 체적을 개략적으로 계산하였고, 체적팽창률을 감안하여 1만톤의 폐석이 매립되어 있는 것으로 가정하였다. 따라서 쓰레기 매립장과 폐석매립지 하부 갱도에는 큰 사하중이 작용할 것으로 판단되어 이 지역 하부의 지하 채광장에 대한 안정성을 평가하였다.

③ 해석순서 및 모델링

본 연구에서는 실제 채광단계와 유사한 시공단계를 모

사하기 위하여 총 71단계의 해석단계로 나누어서 해석을 수행하였으며, 수치해석을 위한 모델링은 Fig. 7과 같다.

④ 해석결과

해석구간의 모델링을 실시한 후, 해석구간 내의 갱도 굴착에 따른 변위 및 응력의 변화를 살펴보았다.

• 변위검토

변위검토결과 초기 갱도 굴진 단계에서는 2 mm 내외의 미세한 변위를 보이다가 중단채굴법에 의한 채굴공동 굴착 후 급격한 변위 증가를 보이는 경향을 보이며, 최대 발생변위는 13 mm 내외가 되는 것으로 예측되었다(Fig. 8). 하지만 이는 중단채굴법에 의해 발생하는 공동의 크기(20 m×30 m×100 m)에 비해 매우 작으므로 변위에 대한 안정성은 확보될 것으로 판단된다.

• 응력검토

응력검토결과 최대주응력의 경우 채굴공동의 광주에 약 8~10 MPa의 최대주응력이 발생하는 것으로 예측되었으며, 특히 채굴공동의 모서리에 응력이 집중되는 것을 알 수 있으며, 전체적으로 굴착 이전상태의 응력보다 평균 3배정도 증가하는 것으로 나타났다. 최소주응력의 경우 전체적으로 3 MPa 이내이나 채굴공동의 양쪽 측벽 중앙부에서 약 0.5 MPa 정도의 인장응력이 발생하는 것으로 분석되었다(Fig. 9).

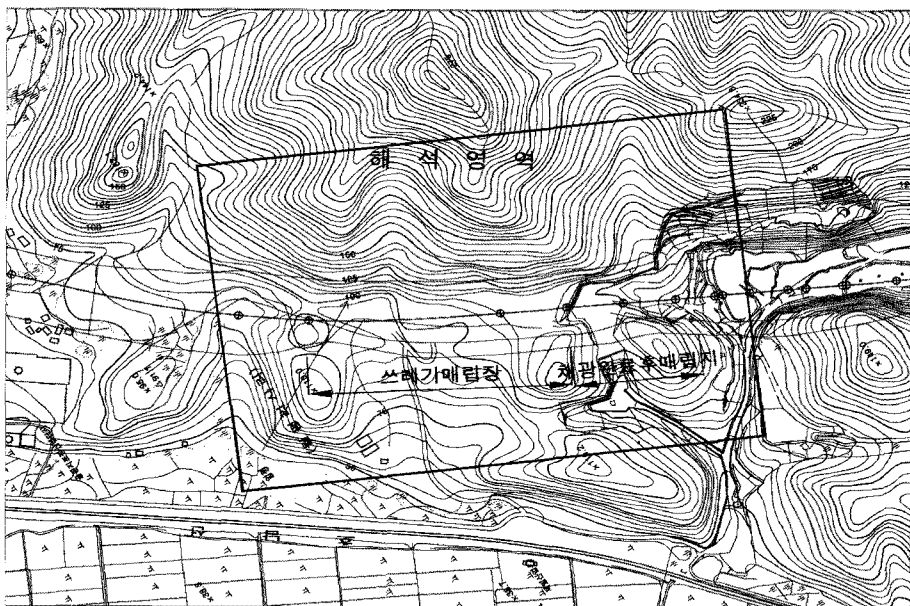


Fig. 6. Plan view of numerical analysis domain

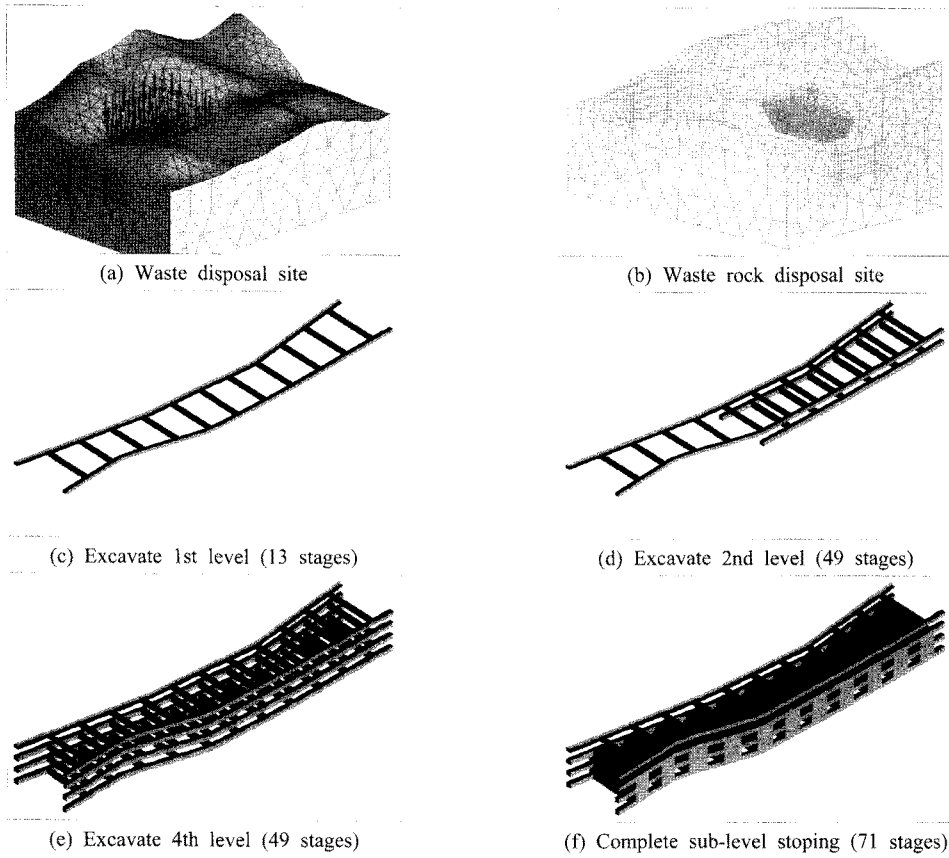


Fig. 7. Finite element model for the numerical analysis.

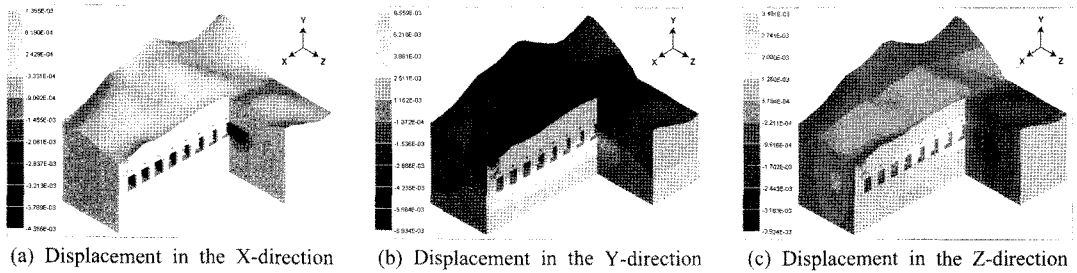


Fig. 8. Distribution of displacement in the X-, Y-, and Z-direction

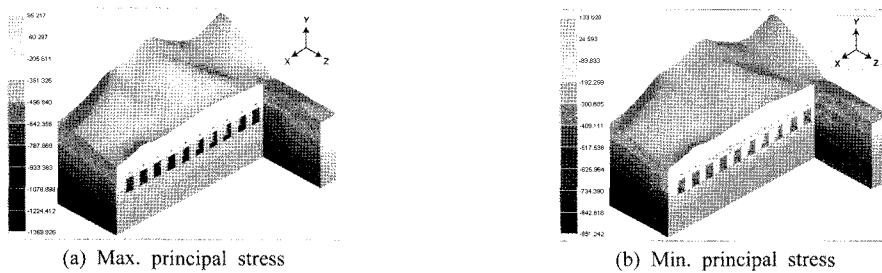


Fig. 9. Distribution of the max. and min. principal stress.

## 5. 결론

본 연구에서는 석회석 광산을 대상으로 암반분류법을 이용하여 지하채광장의 규격을 결정하고, 경험적 방법과 수치해석 방법을 이용하여 지하채광장의 안정성 평가를 수행하였으며, 이상의 결과를 종합하면 다음과 같다.

우선, 경험적 방법으로 확장 Mathews stability graph method를 이용하여 본 연구대상지역의 지하채광장 안정성 평가결과 운반갱도, 채광장, 중단채굴법에 의해 형성된 공동 모두 추가적인 지보 없이 안정한 상태를 유지할 수 있을 것으로 조사되었으며, 한계 공동폭 설계 방법을 이용한 안정성 평가결과 운반갱도 및 채광장의 경우 별도의 지보 없이 안정한 상태가 유지될 수 있으나, 중단채굴법에 의해 형성된 공동의 경우 안정성 확보를 위해서는 추가적인 지보를 설치해야 하는 것으로 조사되었다.

수치해석에 의한 안정성 평가 결과, 쓰레기 매립장 하부 채광장은 4.5 MPa의 응력장이 작용하는 지반이 굴착된 후 대부분의 응력이 이완되고, 13 mm 내외의 변위가 발생하는 것으로 예측 되었으며, 발생한 변위는 굴착규모에 비해 매우 작은 값으로 무지보를 바탕으로 해석한 결과임을 감안할 때 안정성에 크게 문제가 없을 것으로 판단된다. 하지만 최대, 최소주응력 분석 결과 채굴공동의 벽면에 약간의 인장응력이 발생하는 것으로 예측되었는데 이는 공동의 안정성에 영향을 미칠만한 크기는 아니지만 향후 채굴작업 시 공동벽면에서 발생하는 인장응력에 대한 주의를 기울일 필요가 있는 것으로 판단된다.

또한 3차원 유한요소해석은 해석구간의 지반의 물성이 동일하다는 가정 하에서 해석을 한다는 한계점을 갖고 있으며, 본 광산은 현재 본격적인 지하 채광이 이루어지고 있지 않아 지하채광장의 지하수 조건을 해석에 고려하지 못하였다. 갱도굴착과정에서 단층, 파쇄대 구간이 나타나는 경우 낙반 및 과대 변위 발생 지점이 존재할 수 있으므로 지속적인 계측 및 위험구역에 대한 국부적인 보강과 지보가 필요할 것으로 판단되며, 채광작업이 종료된 후에는 붕락을 방지하기 위하여 빈 채굴공동을 폐석으로 충전하는 것이 장기적인 안정성확보를 위해 바람직할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 선우춘 외, 2005, 한국지질자원연구원보고서 GAA2003006-2005(3), 석회석 광산 갱내채광장 및 갱도의 안전유지기술연구, 산업자원부, p. 150.
2. 손길상, 손승완, 2006, 고려시멘트 기술조사보고서, 대한 광업진흥공사, p. 38.
3. 임한욱, 1991, 무주 양수발전소 현지 암반 내 초기응력 측정에 관한 연구, 터널과 지하공간, 한국암반역학회, Vol. 1, pp. 218-228.
4. 최성용, 1997, 현지암반 초기지압의 분포특성 및 암반터널설계에의 적용, 터널과 지하공간, Vol. 7, pp. 323-333.
5. Barton, N., Lien, R. and Lunde, J., 1974, Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics, Vol. 6, pp. 189-236.
6. Bieniawski, Z. T., 1973, Engineering Classification of Jointed Rock Masses, Transaction, South African Institution of Civil Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 335-344.
7. Hustrulid W.A. 1982, Underground Mining Methods Handbook, SME, 1754p.
8. Hoek, E. & E. T. Brown, 1980, Underground Excavation in Rock, The Institute of Mining and Metallurgy, London.
9. Lang, B., R. Pakalnis, S. Vongpaisal, 1991, Span design in wide cut and fill stope at Detour Lake Mine, 93rd Annual General Meeting, Canadian Institute of Mining, Vancouver, paper No. 142.
10. Mathews, K.E. et al., 1981, Prediction of stable excavation spans for mining at depths below 1000m in hard rock, CAMMET Report DSS Serial No. OSQ80-00081.
11. Mawdesley, C., R. Trueman, and W.J. Whiten, 2001, Extending the Mathews stability graph for open stope design, Transactions of Institution of Mining and Metallurgy (Sect. A : Min Technology), Vol. 110, No. 1, pp. A27-39.
12. Nickson S.D., 1992, Cable support guidelines for underground hard rock mine operations., M.A. Sc. Thesis, Department of Mining and Mineral Processing, University of British Columbia, pp. 343.
13. Potvin, Y., M. Hudyma, H.D.S Miller, 1988, The stability graph method for open stope design, 90th CIM AGM, Edmonton, May.
14. Potvin, Y., M. Hudyma, H.D.S Miller, 1988, Design guidelines for open stope support, CIM Bulletin, Vol. 82, No. 926, June, pp. 53-62.
15. Serafim J.L., Pereira J.P., 1983, Considerations of the Geomechanics classification of Bieniawski, Proceedings of the International symp. Eng. Geology and Underground Construction, LNEC, Lisbon, pp. 111-33-II-42.
16. Steward, S.B.V. & M.W. Forsyth, 1995, The Mathews method for open stope design, CIM Bulletin, Vol. 88, No. 992, pp. 45-53.
17. Trueman, R., 1988, An evaluation of strata support techniques in dual life gate roads, Ph.D Thesis, Univ. of Wales.



**구 청 모**



2003년 인하대학교 공과대학 지구환경공학부 공학사  
2005년 서울대학교 대학원 지구환경시스템공학부 공학석사

Tel: 02-840-5728  
E-mail: kcm@kores.or.kr  
현재 대한광업진흥공사 유통사업팀 주임

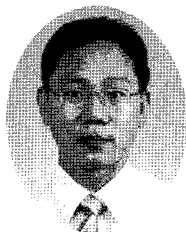
**전 석 원**



1987년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
1989년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사  
1996년 미국 아리조나 주립대학 공학박사

Tel: 02-880-8807  
E-mail: sjeon@snu.ac.kr  
현재 서울대학교 공과대학 에너지시스템공학부 부교수

**이 인 우**



1984년 경북대학교 자연대학 지질학과 이학사  
1989년 경북대학교 대학원 지질학과 이학석사  
1996년 일본 코오베대학교 이학박사

Tel: 02-840-5749  
E-mail: koreslee@kores.or.kr  
현재 대한광업진흥공사 탐사지원팀 팀장