

충전율에 따른 폐광산 채굴적 공동의 변위거동에 관한 연구 Study on Displacement Behavior of Abandoned Mine Goaf Cave According to Filling Factor

김동락^{1*}, 서인식²
Dong-Rak Kim^{1*}, In-Shik Seo²

<Abstract>

The domestic mine development community the countermeasure establishment is insufficient about ground sinkage, not only the mine which is a in line is partial from the mine of the most which has become the rest mine and abandoned mine or the index sinkage occurs. The ground sinkage which occurs from the abandoned mine area most after operation is stopped, a long time passes and accurately predicts an occurrence location and a time with the residual sinkage which occurs, is difficult. Underground goaf of the abandoned mine and the closed shaft When considering the potentiality which causes the instability of ground, is a possibility of reaching a damage in the ground infrastructure or life. The underground shaft which is formed specially with mine development and goaf operates with the obstacle factor in the development project of the mine area, the ground sinkage which is caused by with sinkage, operates with the large safety accident occurrence factor where the important infrastructure of the railroad, road, residential area etc. is damaged. Therefore, In this paper, the goaf cave of the abandoned mine area, for the displacement behavior according to the filling factor of the material is to analyze the numerical analysis.

Keywords : Filling factor, Abandoned mine, Goaf Cave

1. 서론

국내 광산개발 지역은 지반침하에 대한 대책 수립이 미흡하여, 가행 중인 광산뿐만 아니라 휴·폐광된 대부분의 광산에서는 부분적인 붕락이나 지표침하가 발생하고 있다¹⁾.

폐광지역에서 발생하는 지반침하는 대부분 가행이 중단된 후 오랜 시간이 지나 발생하는 잔류성 침하로 발생위치와 시기를 정확히 예측하기는 어렵다. 폐광산의 지하 채굴적과 폐갱도

는 지표의 불안정성을 유발하는 잠재성을 고려할 때 지표구조물이나 인명에 피해를 미칠 수 있다. 특히 광산개발로 형성된 지하갱도 및 채굴적은 광산지역의 개발계획에 장애요인으로 작용하고, 이의 붕괴로 인한 지반침하는 철도, 도로, 주거지 등의 주요구조물이 파손되는 대형 안전사고 발생요인으로 작용하고, 이의 붕괴로 인한 지반침하는 철도, 도로, 주거지 등의 주요 구조물이 파손되는 대형안전사고 발생요인으로 작용하게 된다.

^{1*} 정회원, 교신저자, 경산1대학, 철도토목과, 전임강사
E-mail : kdr6324@naver.com

²정회원, 경산1대학, 철도토목과, 교수, 工博

^{1*} Corresponding Author, Dept. of Civil Engineering of Gyeongsan University College, Instructor
²Dept. of Civil Engineering of Gyeongsan University College, Prof., Ph.D.

지반침하 연구는 19세기부터 주로 유럽과 미국 등지에서 수행되어 왔으며 연구동향은 침하 이론을 바탕으로 한 이론적 연구와 이를 응용한 수치해석적 연구, 그리고 지표침하 징후를 측정하여 주로 지상구조물에의 영향 및 침하한계를 규정하는 것이다. 또한 최신 미소진동 계측기기를 활용하여 광산지역 전반에 대한 지반안정성 평가와 지반침하 예측을 하고 있으며, GIS와 연계하여 광산지역 지반침하 위험도 분석과 예측 등을 실시하고 있다. 반면 국내에서는 지반침하에 대한 체계적인 조사와 연구는 없었고 1993년 인천시 소재 부평광산 채굴적으로 인한 지반침하사고가 발생한 이후 폐광산에 대한 체계적인 조사·연구의 필요성이 대두되었다. 그 이후 1995년부터는 폐탄광의 지반침하에 대한 조사와 연구가 이루어지고 있으나, 폐금속광산에 대해서는 체계적인 조사와 연구가 미진한 상태이다. 최근 폐광지역의 본격적인 개발을 위한 신규 사회간접시설 건설시 지하에 존재하는 채굴적에 대한 지반안정성이 중요한 문제로 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 폐광산지역의 채굴적 공동에 대하여 재료의 충전율에 따른 변위거동을 분석하고자 한다.

2. 지질특성 및 현황

2.1 지질특성

본 연구지역의 지질학적 특성은 경상분지내의 동남측에 해당되는 곳으로 양산단층대가 발달되어 있고 양산단층은 자인단층, 밀양단층, 모량단층, 양산단층, 동래단층, 일광단층, 울산단층으로 구성되며, 본 연구지역은 양산단층과 모량단층 사이에 위치한다.

양산단층은 가장 연장성이 길어 부산에서 울산까지 연장되는 단층이며, 일반적으로 주향이 동단층으로 알려져 있다.

광물은 대부분 자철광이나 적철광과 경철광이 수반되며 황철광과 자류철광이 소량 수반되어 부분적으로 황동광이 미량 함유되어 있다. 맥석광물로는 녹립석, 녹니석, 휘석, 석류석 및 석영 등이며, 광체 주변의 모암은 곳에 따라 심

한 녹립석화 작용을 받아 경화되어 있다. 자철석은 철광석의 한 가지로 사산화삼철이 주성분이며, 티탄이 상당량 들어있는 광물로 굳기 5.5~6.5, 비중 4.9~5.2이다.

2.2 현황

본 연구지역의 광산은 1960년대 초에 광산개발을 시작하여 1990년대 초에 폐광되었다.

금속광산은 석탄광산과 마찬가지로 채광방식에 따라 지반침하의 형태가 영향을 받으며, 침하형태는 모암이 비교적 견고한 암석으로 구성되어 있어 변형은 적으나 Sink-hole과 같은 침하형태를 보이며, 연층갱도에서 상부로 진행하면서 갱도 천반은 인위적으로 목재지주를 사용하였고 운반갱도의 크기는 2.1m×2.1m이며, 채굴적의 평균 폭은 2.0m이다.

현재까지 4개소의 침하가 발생되었으며, 이 중 가장 최근에 발생한 제2침하지를 연구대상으로 검토하였으며, 위치 및 현황은 다음의 Fig.1, Fig. 2와 같다.

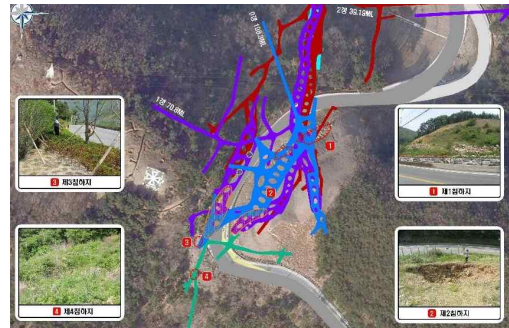


Fig. 1. Present condition.

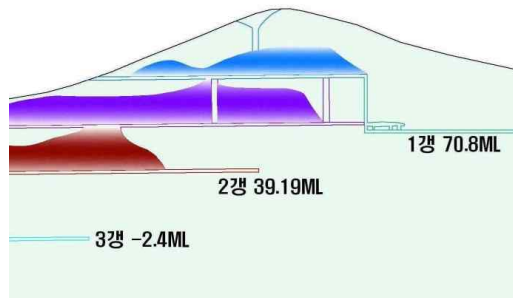


Fig. 2. Present condition map of mining.

3. 수치 해석

3.1 개요

폐광산의 채굴적에 의한 지반침하 위험성이 존재하는 대표단면을 선정하여 수치해석을 실시하여 사용재료의 충전율에 따른 상부도로에 대한 지반침하 억제효과를 분석하였다.

본 수치해석시 주요시설물에 대한 안정성의 기준이 되는 허용침하량은 구조물의 종류, 기초 형식과 구조물의 중요도에 따라 기준이 다르게 적용되고 있으나 일반적으로 채택하고 있는 도로의 허용변위량 기준인 100mm를 허용변위량 기준으로 선정하였다.

3.2 수치해석 프로그램

지반안정성을 검토하기 위해서는 다양한 지반공학 문제를 해결할 수 있는 상용프로그램인 FLAC을 사용하였다.

FLAC은 탄소성이론을 근거로 지반을 연속체로 모델링하여 지반 및 구조물으 변형특성을 해석하는 프로그램으로 유한차분법(FDM, Finite Difference Method)을 사용하여 해석을 하므로 대변형 해석을 할 수 있으며 해석 대상체를 유한한 개수의 요소로 분할하고 각 절점에서 계산단계에 따라 해를 구할 수 있어 해석 단계에 따른 대상 구조물의 거동특성 변화과정을 파악할 수 있는 이점이 있다.

Table 1. Geotechnical parameter for continuum analysis

| 구분 | 단위중량 (kN/m ³) | 변형계수 (MPa) | 포아송비 | 점착력 (kPa) | 내부마찰각(°) | 측압계수 |
|-----|---------------------------|------------|------|-----------|----------|------|
| 토사층 | 19 | 30 | 0.40 | 0 | 30 | 2.0 |
| 풍화암 | 20 | 150 | 0.35 | 50 | 32 | |
| 연암 | 24 | 1,000 | 0.30 | 1,000 | 35 | |
| 보통암 | 25 | 1,300 | 0.28 | 1,500 | 38 | |
| 경암 | 26 | 1,700 | 0.25 | 2,000 | 40 | |

Table 2. Strength parameter of filling material for continuum analysis

| 구분 | 단위중량 (kN/m ³) | 변형계수 (MPa) | 포아송비 | 점착력 (kPa) | 내부마찰각(°) | 비고 |
|---------|---------------------------|------------|------|-----------|----------|----|
| 골재 (모래) | 18 | 10 | 0.35 | 0 | 30 | |

3.3 강도정수 결정

지반정수 및 충전재료의 강도정수 산정은 현장시험, 실내시험 및 기존 문헌자료를 종합적으로 검토하였다.

특히, 초기지압은 지역적 특성 및 심도에 따라 크기와 작용방향이 다르게 나타나는 특성을 가지며, 국내에서 측정된 측압계수의 분포양상 파악을 위해 기존자료를 분석해 본 결과, 국내 학술지와 한국지질자원연구소 연구보고서에서 발췌한 92개의 측압계수 중 1.0 이하가 16.25%, 1.0~2.0 60%, 2.0~3.0 16.25%, 3.0 이상이 7.5%로 조사되었으며, 현재까지 국내에서 측정된 측압계수는 지역적인 차이는 크게 나타나지 않고 있으며, 평균 1.0~3.0의 범위를 나타내고 있다. 본 연구구간은 대체로 경암의 분포지역임을 고려하여 경험적으로 2.0을 적용하여 전산해석을 실시하였다.

지반정수 및 충전재료의 강도정수 검토결과 다음의 Table 1 및 Table 2와 같이 결정하였다.

3.4 해석위치 및 해석단면

해석위치 및 해석단면은 4곳의 침하지 중 가장 불안정한 것으로 판단되는 제1침하지의 단면을 대표해석단면으로 선정하여 수치해석을 실시하였다. 대표해석단면 및 위치는 다음의 Fig. 3과 Fig. 4와 같다.

4. 수치해석 결과분석

4.1 골재 충전 전

본 연구에서 골재 충전 전 지표면, 채굴적 상단, 채굴적 측벽에 대하여 발생하는 변위량을

과약하였다. 해석결과, 각각 3.41cm, 32.11cm, 7.88cm로 나타났다.

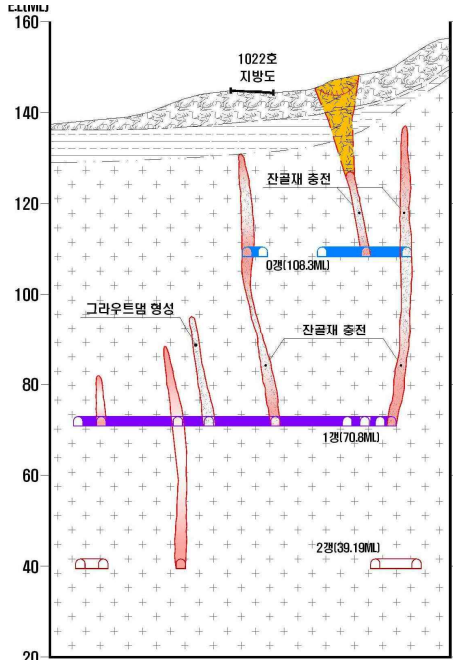


Fig. 3. Analysis cross-section.

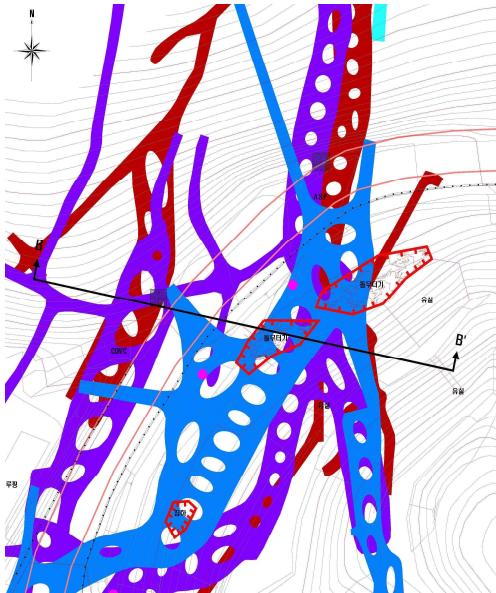


Fig. 4. Analysis position.

Table 3. Displacement of the before filling

| 구분 | 발생변위량 | | | 허용변위량 (cm) |
|------|-------|-------|-------|------------|
| | 지표면 | 채굴적상단 | 채굴적측벽 | |
| 충전 전 | 3.41 | 32.11 | 7.88 | 10.0 |

Table 4. Displacement according to filling factor of the after filling

| 구분 | 충전율 | | | | 허용변위량 (cm) |
|--------|-------|-------|------|------|------------|
| | 80% | 90% | 95% | 100% | |
| 지표면변위량 | 0.43 | 0.48 | 0.50 | 0.50 | 10.0 |
| 채굴적상단 | 15.92 | 12.16 | 9.94 | 0.55 | |
| 채굴적측벽 | 0.45 | 0.52 | 0.54 | 0.55 | |

4.2 골재 충전 후

골재 충전은 실제 현장 특성을 고려하여 충전율을 80%, 90%, 95%, 100%로 구분하여 충전율에 따른 변위거동을 분석하였다.

5. 결론

본 연구에서는 국내에 존재하고 있는 폐광산의 채굴적 공동에 대하여 골재의 충전율에 따른 변위거동을 수치해석을 통하여 그 결과를 비교분석 하였다.

수치해석을 통하여 본 연구에서 얻은 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 골재의 충전율 80%, 90%, 95%에 다른 최대 변위량은 채굴적 상단에서 발생하였으나 100% 충전시 최대변위량은 채움재 상단에서 발생하였다. 이는 100% 충전시에는 채움재의 다짐으로 인해 발생한 것으로 판단된다.
- 2) 0갱의 채굴적 공동의 높이는 약 15m 내외로 95% 충전시 약 1m 크기의 공동이 생성되며, 채굴적 상단의 침하량이 9.94cm로 도로의 허용침하량 기준인 10cm를 만족하는 것으로 나타났다.

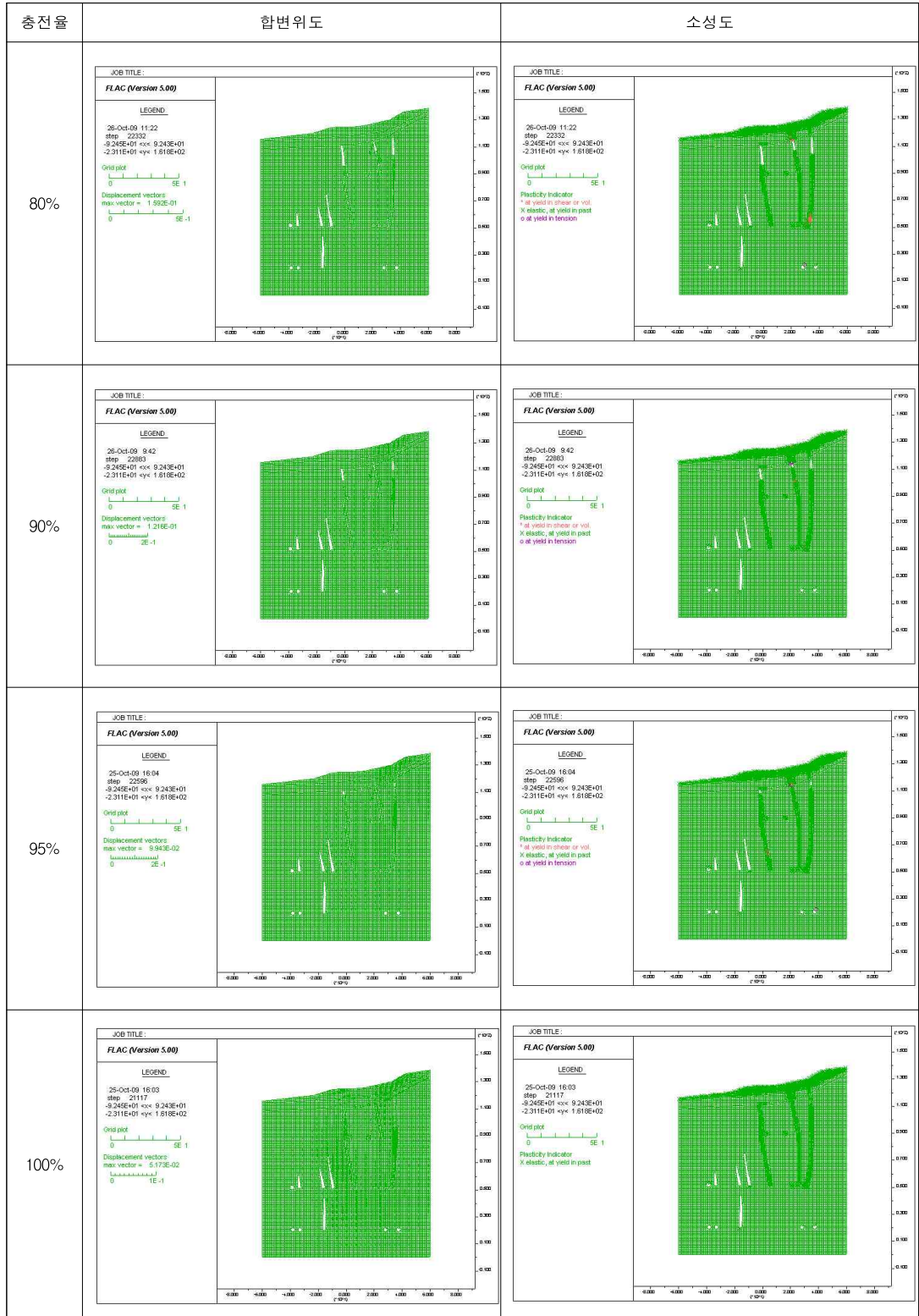


Fig. 5. Numerical analysis results according to filling factor.

- 3) 골재 충전율이 95% 이하이면 채굴적 상단의 침하량이 10cm 이상이 되며, 장기간 방치되어 붕괴될 시 지표부로 전이되므로 지표부에서 발생하는 변위량은 10cm를 초과하게 되어 허용기준을 만족하지 못하게 되는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) 권현호, 남광수, “광해방지공학”, 동화기술 (2007)
- 2) 권광수, “지반침하 안정성 평가기법 및 대책 연구”, 한국자원연구소, (1998)
- 3) 임한욱, 김치환, 백환조, “수치해석에 의한 석회암 채굴사면의 안정성 해석”, 터널과 지하공간, 한국암반공학회지, 제11권 제3집, pp. 270~278, (2001)
- 4) 이상은, 장윤희, “석회석 광산에서 폐석 적치장 사면의 안정성 평가”, 터널과 지하공간, 한국암반공학회지, 제20권 제6호, pp. 475~490, (2010)
- 5) Hoek, E. and Brown, E.T. "Empirical strength criterion of rock masses" , *J. Geotech. Eng. Div. Am. Soc. Civil Eng.*, 106, pp. 1013-1035, (1980)

(접수:2011.10.17. 수정:2011.11.16. 게재 확정:2011.11.25)