

효율적인 광산 지반안정화 대책수립을 위한 광산 지하 채굴적 정밀조사기법에 관한 기초연구

김수로, 장항석, 최광수, 김태혁, 권현호(한국광해관리공단)

1. 서론

한국의 폐광산은 미복구된 상태로 전국에 산재되어 있으며, 채굴환경, 지역, 지질조건에 따라 큰 차이를 보이고 있어, 그 특성을 파악하지 못할 경우 효율적이지 못한 지반안정화가 이루어진다. 또한 광산전문가가 광산 보강공법 선정 및 효율성을 제고하기 위해서는 개발된 광산의 특성 및 현황을 명확하게 확인할 수 있는 객관적이고, 정밀한 조사 자료가 필요하다.

본 연구에서는 광산 지반안정성 조사의 한계점을 도출하기 위하여 폐광된 광산 채굴적에 대한 현장 조사를 실시하였으며, 광산 지반안정화 사업절차에 있어서 전산 역설계(Reverse Engineering) 개념을 적용하기 위한 보다 정밀한 조사기법에 대하여 검토해 보았다.

2. 광산현장조사

2.1 소규모 금속광산 내 공동조사

효율적인 지반안정화 사업을 위한 조사기법 개발의 필요성 및 현장 검토를 위하여 광산 현장 여건조사를 실시하였다. TG광산은 현장 위험성으로 더 이상 조사를 진행할 수 없는 상황이었다. YP광산의 경우 갱구부에서는 높이와 폭이 일정하나 내부 채굴 공동은 불규칙한 형상으로 갱내 조사 활동에 큰 제약은 받는 상태였다. TC광산은 금속광산으로서 갱구는 콘크리트+석축 구조로 양호한 상태이나, 폭 3.5m, 높이 2.5m 의 갱도가 수중에 위치하여 조사의 한계성을 나타내었다[그림 2.1].

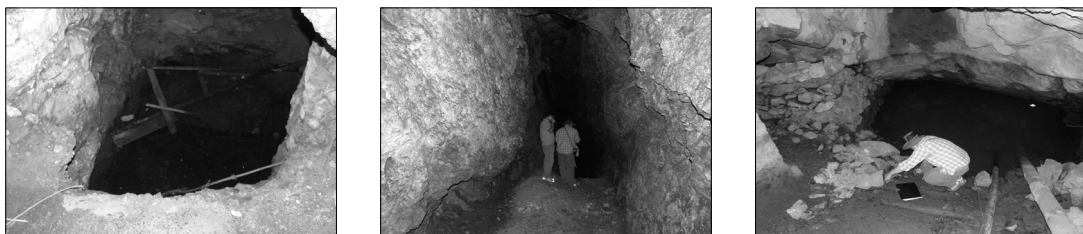


그림 2.1 광산 현장여건 조사

2.2 광산지역 지반침하현장 조사

조사된 함몰지의 깊이는 약 29m이며, 장·단경은 약 8m, 7.3m로서 붕괴 위험성으로 인하

여 정밀한 측정은 불가하였으며, 내부 확인을 위해 전문 고소작업자를 통해 조사를 실시하였다. 폐광된 광산 내부 정밀조사는 낮은 조도(照度) 및 위험성으로 인하여 육안조사 및 사진촬영 등의 조사에 제약을 받는 상태였다. 그림 2.2는 촬영된 채굴적 공동 내부 조사 및 이를 종합한 단면도이며, 지하채굴적은 광맥 발달 방향을 따라 중심에서 폭 최대 6m로 북으로 약 17m, 남으로 약 16m인 것으로 측정되었다. 시간에 따라 함몰부는 초기에 급격한 확대를 보였으나, 이후 일정 수준으로 수렴되는 양상을 보였으나[그림 2.3][그림 2.4], 체계적인 수치자료 조사기법 부재로 붕괴방향 및 속도 관찰은 실시되지 못하였다.



그림 2.2 함몰지 내부 조사 및 종합단면도

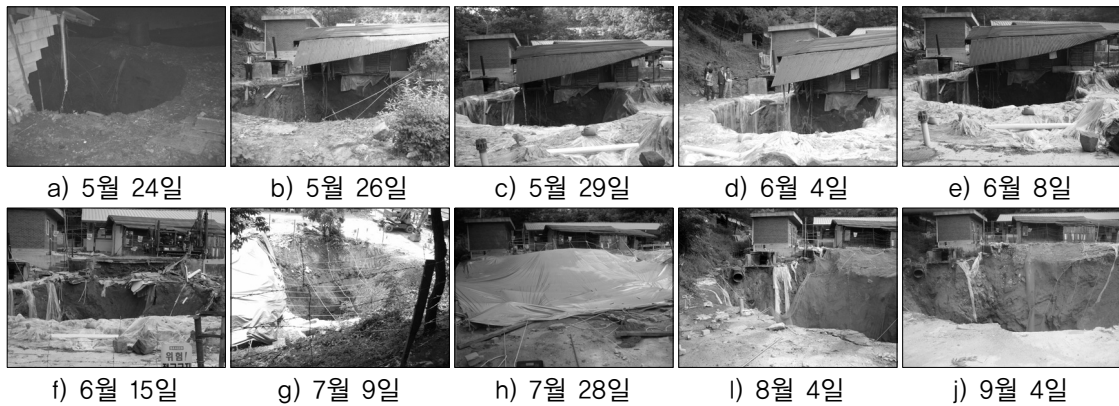


그림 2.3 시간 경과(일)에 따른 함몰 진행양상

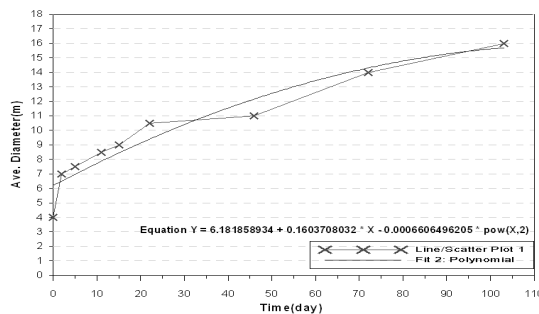


그림 2.4 시간 경과(일)에 따른 함몰부 지표 직경(m) 변화양상

2.3 석회석광산 현장조사

대규모 석회석광산 여건을 조사하기 위해 강원도 3개 광산과 전남 1개 광산을 대상으로 현장조사를 실시하였다. S광업소는 낙반 흔적이 관찰되고 있으며, 갱내수로 인해 깊이 10cm

내외의 응덩이 및 흐름이 관찰되며, 낙수 현상이 다수 관찰되었다. C광업소는 천반 보호를 목적으로 조절발파를 실시함으로 인하여 대천반의 인공절리 발생이 낮아, 낙반 발생이 현저히 낮았으며, 출수상황이 적은 환경에서 개발이 진행중이나, 건조한 갱내 환경으로 인하여 분진 발생이 매우 높은 상태이다. D광업소는 갱내에서 다량의 출수로 인하여 누수 구간이 넓게 나타나고 있으며, 수직 절리가 발달된 갱내 측벽은 다습한 상태를 나타내고 있다. J광업소는 주로 지하 천부에서 조업이 이루어지고 있어 절리 방향을 따라 용식공동 및 누수구간이 다수 관찰되었다[그림 2.5].

대규모 석회석광산은 낙반 및 낙수, 흡습 및 분진 상황이 조사기법 개발에 중요한 요소로 판단되며, 넓은 공간에서 채굴활동이 이루어지고 있으므로 광산 전체에 대한 조사가 어려워 자동화된 조사기법의 개발이 필요하다.



a) S광업소 낙반, 낙수양상 b) C광업소 건조, 분진양상 c) D광업소 습한 측변조건

그림 2.5 다양한 석회석 광산 내부 조건

2.4 채굴적 조사 기법 개발 필요성

광산여건 분석 결과는 정밀한 갱내 조사를 위하여 고려되어야 할 인자들로써는 갱내의 위험성으로 인한 접근 불가능, 갱구 폐쇄, 갱내가 물로 채워짐에 따른 조사 불능, 대규모 채굴이 진행됨으로 인한 현장 조사의 대표성 및 방식, 습기 혹은 분진 등 광산 환경여건으로 인한 측정 오류가능성 등으로 평가된다. 따라서 조사기법의 개발은 상기한 조건을 고려하여 개발 및 보완이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

3. 광산 조사장비의 현장적용성 검토

3.1 비접촉식 측정 장비의 이론적 검토

최근 급속도로 발전하고 있는 전산 역설계(Reverse Engineering)기술은 실존하는 파트를 측정하여 산업현장에서 가공, 해석, 품질검사 등의 여러 응용분야에 적용할 수 있는 3차원 모델을 제작하는 기술이라 할 수 있다. 그러므로 광해 및 광산 조사를 실시함에 있어서 3차원 정밀조사 기법을 응용한 전산 역설계 방식은 새로운 해법으로 제시될 수 있을 것으로 판단되어 그 적용성을 검토하였다.

3차원 레이저 스캐닝기법은 종래의 시간차측정(Time of Flight) 방식 및 위상차측정(Phase Shift) 방식으로 분류된다. 2가지 스캐닝 기법에 대한 기본개념은 그림 3.1과 같다.

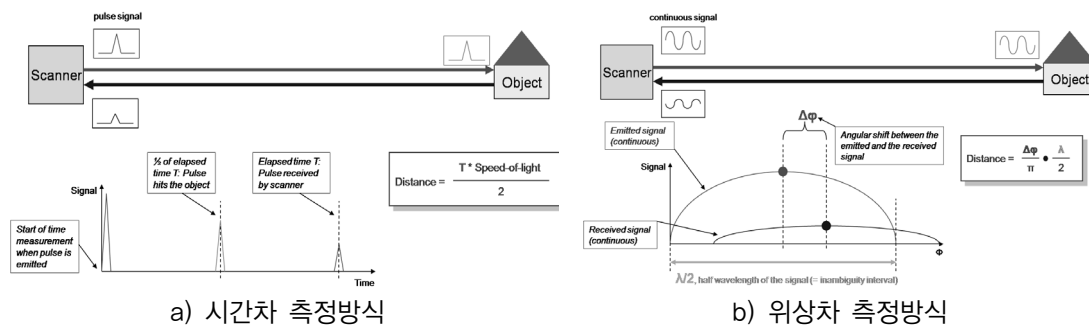


그림 3.1 레이저 계열 측정방식의 기본개념

3.2 3차원 레이저 측정장비의 현장적용성 검토

3차원 레이저 측정 장비의 광산 채굴적에 대한 적용성을 검토하였다. 레이저 계열 측정은 접촉 측정방식에 비하여 낮은 수준의 기법일 수 있으나 광산 지하 채굴적 조사의 대표성, 신속성 그리고 보존성 측면에서 광산조사의 효율을 개선해줄 것으로 판단되며, 접촉식 측정과 연계시 보다 효과적인 조사를 이룰 수 있다고 판단된다.

대상 광산은 광산의 규모, 광산 진입 가능성, 조사 안전성을 고려하여 금속 광산 2곳을 선정하였으며, 측정장비는 인지도 및 활용성을 검토하여 2개 방식, 3개 장비를 적용하였다 [표 3.1]. M광산은 경남 양산에 위치하며, G광산은 충북 제천에 위치하고 있다.

표 3.1 적용성 검토 장비

장비명	Z장비	F장비	L장비
측정방식	위상차방식(Phase-Shift)	위상차방식(Phase-Shift)	시간차방식(Time-of-Flight)
스캔 속도	500,000/sec	120,000/sec	8000 ~ 11000/sec
측정거리(매뉴얼)	1.0~79m	0.6~76m	1(2)~400(140)m
오차(에러)	1mm/50m	2mm/25m	6mm
보호	-	-	IP64, Dust proof

M 광산의 진입조건은 다소 어려우나 갱구에서 지하 채굴적까지는 비교적 짧은 거리를 나타내고 있다. 본 광산에서는 위상차 측정방식(Phase-Shift)을 적용해 보았으며, 분진이 많으며, 습도가 높고, 천반 누수로 인한 적하 상황이 다수 관찰되었다.

F사 제품은 수직 적하에 따른 반사판 노이즈 발생으로 명확한 자료를 얻지 못하였고, Z사 제품은 양호한 갱내조건에서 측정되어 비교적 양호한 3차원 자료를 취득할 수 있었다. 따라서 광산 내부 공동 및 채굴적 측정을 위해서는 방습 및 누수 적하에 대한 고려가 필요하며, 장비의 반입가능성 및 경량화가 필요한 것으로 판단된다.

G광산 5편 및 1편의 채굴적에 대하여 L사 제품을 검토하였다. 측정시간은 약 20분으로, 수치적 취합 후 결과를 도출하였으며, 채굴적에 대한 명확한 형상을 판단할 수 있었으며, 정밀한 수치 결과값을 얻을 수 있었다[그림 3.2]. 향후 광산 개발이력 관리 및 광해 예방을 위한 효율적인 조사기법으로 활용될 수 있을 것으로 판단되나 레이저 장비는 수면 측정 오류, 광산에서 일반적인 낙수, 누수 조건에 보다 적합하도록 개선되어야 할 것으로 판단된다.

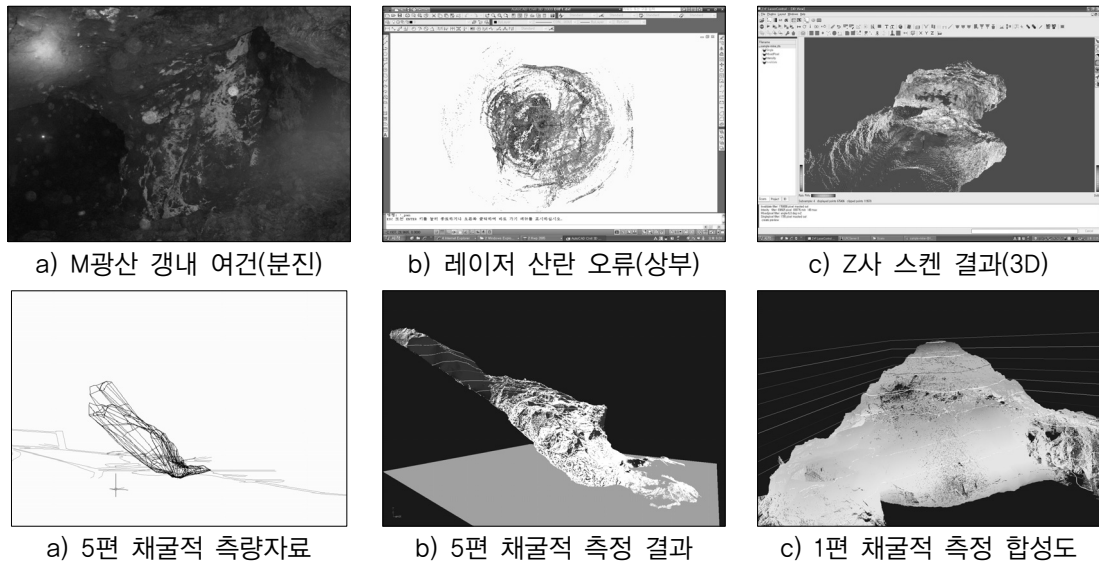


그림 3.2 G광산 채굴적 영상 및 스캔 결과

3.3 수중 채굴적 모형 검토

광산 채굴적에 대한 레이저 계열 장비의 현장 적용성 검토결과를 토대로 이를 보완할 수 있는 조사기법의 기본모형을 개발하였다. 표 3.1은 그 제원과 도면이며, 광산 지하 수중 채굴적 조사 모형을 통한 성능 검토를 위하여 표 3.2와 같은 대형 채굴적 모형에 대하여 4℃의 수온에서 측정을 실시하였다.

표 3.1 수중 Sonna 모형 제원

항목	제원	항목	제원
주파수(kHz)	200	한계거리(m)	0.6~79
Angle(°)	24	방수심도(m)	50m

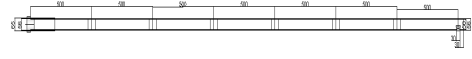


표 3.2 수중 채굴적 실험 모형

모형	항목	제원	실험조건
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 외형 : 200cm×173cm×180m ■ 정육면체 모형 ■ 제질 : 철제 	

모형측정시 각도변화에 따른 측정 형상을 조사하였다. 각 변화에 따른 결과를 모형 1과 중첩 확인결과 유사함을 확인하였다[그림 3.3]. 각변화량이 작을수록 원벽면에 보다 유사한 형상을 나타내고있다. 측정결과를 원단면의 면적(3.46㎡)과 비교할 경우 면적은 3.716㎡(107.4%), 3.7968㎡(109.73%), 3.952㎡(114.22%), 3.9864㎡(115.2%)로 측정되어, 측정각도 증분이 작을수록 실제 면적에 수치적으로 접근 되는 것으로 나타났다.

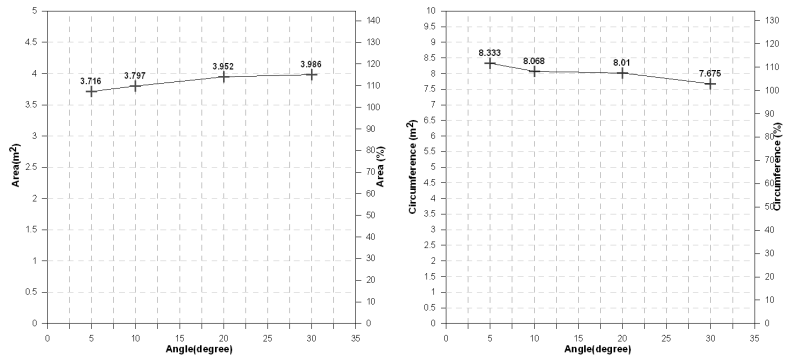
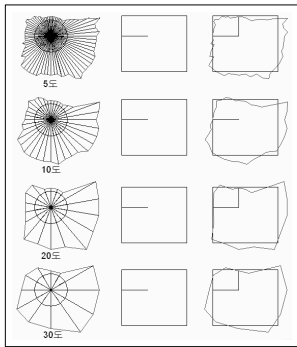


그림 3.3 모형 1에 대한 형상단면도 및 측정치

4. 결론

본 연구에서 광산 지하 채굴적의 정밀조사기법에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

1. 한국의 폐광산 지하채굴적의 조사를 위한 현장여건은 갱구폐쇄, 수층전 그리고 낙석 및 붕락위험으로 인한 접근 불가, 대규모 광산개발에 따른 진수조사의 불가, 자료의 대표성 및 정밀성 문제, 누수 및 갱내수 상황, 습기 및 분진등이라 할 수 있으며 이러한 조사 제약조건을 고려한 조사기술 개발을 모색해야 한다.
2. 광산에서 전산역설계(Reverse Engineering)개념을 정립시키기 위해 3차원 레이저 측정기법을 광산 채굴적에 적용한 결과 조건이 양호한 채굴적은 정밀한 수치정보 및 채굴적 형상을 도출할 수 있었으나, 결과 측정방식 및 조건에 따라 결과물에서 큰 차이를 보였다. 따라서 수중조건, 분진, 낙수적하 상황 그리고 경량화 등에 대하여 보완한다면 효율적인 광산 조사 보조수단으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.
3. 채굴적 모형에 대한 수중 측정실험을 통해 원모형과 유사한 단면 형상을 얻었으며, 각 변화측정 실험결과 원단면적($A=3.46m^2$)과 대비하여 107.4%~115.2%의 값을 얻었다. 각 변화량이 작아질수록 실제 면적에 접근되는 결과를 얻었으며, 대규모 광산 채굴적 조사를 위해 채굴적 규모 및 형상에 대한 연구 그리고 측정위치에 대한 검토가 필요하다.

참고문헌

1. 권현호, 남광수, 2007, 광해방지공학, 도서출판 동화기술, pp.92~203,
2. 한국광해관리공단, 2008, 영월 하동지역 지반안정성 기본조사 보고서
3. 광해방지사업단, 2007, 물금광산 지반안정성 기본조사보고서
4. Laser Scanner LS - Tunnel Package manual, www.faro.com
5. Data sheet LMS-Z390i, http://www.riegl.com
6. IMAGER 5006 Manual, www.zf-laser.com