

3D 스캐너를 이용한 지하공동의 굴진장 및 여굴 평가 기초연구

노유송¹⁾, 김정규¹⁾, 고영훈¹⁾, 김승준¹⁾, 정소결¹⁾, 양형식^{1)*}

A Study on Assessment of Advance and Overbreak in Underground Excavation Utilizing 3D Scanner

You-Song Noh, Jung-Kyu Kim, Young-Hun Ko, Seong-Jun Kim,
So-Keul Chung, Hyung-Sik Yang

Abstract This study is to efficiently calculate and evaluate the elements of advance, overbreak and underbreak on the mine under the production using the 3D laser scanner. For this purpose, a 3D laser scanner was used to acquire the point-cloud which records the space coordinates and modelling of the underground tunnel using the 3D modeling program. When each element was observed through the study result, the advance on the center cut was 2.6m in average while the total advance was 2.4m. If the drilling length of 3.8m is based, the advance rate was evaluated to be 67% in average in the center cut section with the total average of 64%. In addition, when the volume of overbreak was measured based on the design cross section, the average overbreak volume was found to be 4.5m³ on left wall, 4.5m³ on right wall, and 5m³ on roof with the total volume of 14m³. When the overbreak volume is measured based on the look-out cross section, it was 3m³ on roof with the total volume of 8.4m³. The rate of overbreak volume against the average excavation volume was 8% based on the design cross section and 5% based on the look-out cross section.

Key words 3D laser scanner, Underground excavation, Advance, Overbreak

초 록 본 연구에서는 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 채광 중인 광산을 대상으로 굴진장, 여굴, 미굴 등의 요소들을 효율적으로 산정하고 평가하고자 하였다. 이를 위하여 3차원 레이저 스캐너를 활용하여 공간좌표를 기록하는 point-cloud를 획득하였고, 3차원 모델링 프로그램을 이용하여 지하 공동을 모델링 하였다. 연구결과를 통해 각 요소들을 고찰하였을 때 심발부 굴진장은 평균 2.6m, 전체는 평균 2.4m로 나타났으며, 천공장 3.8m를 기준하여 굴진율은 평균 심발부 67%, 전체 64%로 평가되었다. 또한 설계 단면을 기준으로 여굴량을 측정된 결과로 평균 좌측벽 4.5m³, 우측벽 4.5m³, 천반 5m³, 총 14m³로 측정되었으며, look-out을 기준으로 여굴량을 측정된 결과 좌측벽 3m³, 우측벽 3.1m³, 천반 2.3m³, 총 8.4m³로 측정되었다. 평균 굴착량 대비 여굴량은 설계 단면 기준 약 8%, look-out 기준 약 5%로 평가되었다.

핵심어 3차원 레이저 스캐너, 지하 공동, 굴진장, 여굴

1. 서 론

발파굴착의 결과를 평가하는 데 있어 가장 핵심적인 사항은 굴진율, 소음·진동의 크기, 굴착면의 여굴 및

미굴 크기라 할 수 있다. 이러한 요소에 대해 국내외로 다양한 연구와 실험이 진행되어 왔다(김양근 외, 2003).

이 중 굴진장은 터널 공사의 공기 및 안정성에 영향을 미치고(김선홍 외, 2012), 채광에서는 실 채광량에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소이다. 여굴 및 미굴은 생산량 증감에 영향을 미칠 뿐만 아니라 폐석의 혼입을 유발할 수 있다. 폐석 혼입은 저품위 광석이나 광체 주변의 폐석에 의한 광체의 오염을 말하는 것은

¹⁾ 전남대학교 에너지자원공학과

* 교신저자 : hsyang@jnu.ac.kr

접수일 : 2015년 12월 18일

심사 완료일 : 2015년 12월 24일

게재 승인일 : 2015년 12월 26일

로 생산 광체의 품위를 떨어뜨림과 동시에 생산과정 전반에 불필요한 작업이 부가되며, 생산 이후 선광 등 광산과정 전반에 매우 부정적인 영향을 미치기 때문에 신속하고 정확하게 측정하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 현재 채광 중인 광산을 대상으로 굴진장 및 굴착면의 상태를 측정하여 굴진장, 여굴 및 미굴을 효율적으로 산정 방법을 제시하고 그 규모에 대해 평가했다. 이를 위하여 3차원 레이저 스캐너로 3차원 공간좌표를 기록하는 point-cloud를 획득하였다. 획득된 point-cloud의 잡음을 보정하고 3차원 모델링 프로그램을 이용하여 모델링하였다. 이 후 기존의 굴진장 및 굴착면의 상태를 산정하는 방법과 비교 분석하였다.

2. 여굴 및 미굴

여굴과 미굴을 구분하는 것은 터널 및 지하공동을 굴착하는 방법에 따라 유효단면을 확보하기 위한 작업 방법과 설계기준이 서로 상이하므로 구분하여 표기해야 합리적인 시공기준을 결정할 수 있다. 브레이커나 TBM 등 기계굴착으로 굴착 할 경우 look-out를 고려하지 않고 유효굴착단면을 기준하여 설계와 시공이 이루어지고 여굴과 미굴을 결정한다. 터널 및 지하공동을 발파방법으로 굴착할 때에는 이어지는 후속발파를 위하여 절대적으로 필요한 굴착단면을 확보하기 위해 유효굴착단면에 look-out를 합한 단면을 기준하여 굴착하는데 이때 look-out 보다 크게 굴착되었을 때를 여굴이라 하고 look-out보다 적게 굴착되었을 때는 미굴이라 한다(두준기, 2007). 국내 여굴량은 각 발주처별로 약간씩 다르게 설정하고 있는데, 일반적으로 건설표준품셈에서 제시하고 있는 10~20cm의 허용 기준량을 적용하고 있다. 그러나 이 기준은 굴진장이 1.5~2.0m 정도 일 경우를 고려해서 설정된 것이고, 최근에는 3.0m 이상의 장공 천공이 이루어지기 때문에 여굴량 기준에 대한 재고가 필요하다(이태노 외, 2002). 본 연구를 위한 현장은 지하공동에서 굴진장 3.0m 이상 굴진하고 있기 때문에 look-out을 여굴의 기준으로 평가하였다.

3. 측정 방법

굴진장, 여굴량을 평가하기 위해 현재 채광하고 있

는 굴착 단면 주위에 기존의 측량을 통하여 절대 좌표 값을 알고 있는 터널 내부의 기준점에 토털스테이션을 설치한다. 그 후 굴착 단면 중심에 레이저 스캐너를 설치한다. 레이저 스캐너의 좌표 값을 획득하기 위해 스캐너에 설치된 두 곳의 타깃을 설치하고 토털스테이션을 이용하여 타깃에 대한 좌표 값을 얻었고 레이저 스캐닝을 통해 대상 굴착 단면에 대한 point-cloud를 획득하였다. 획득한 point-cloud에 좌표값을 입력한 후 주변 대상물이나 물에 의한 산란으로 왜곡된 점을 보정하고, 스캐닝 장비 한 바퀴별 poly-line을 생성한 후 폐합하여 3차원 모델을 형성하였다. 형성된 3차원 모델을 설계 단면과 계획된 천공장을 이용하여 절단한 후 체적을 계산하였다. 계산된 체적을 설계 단면으로 나눠 평균 굴진장을 산정하였고, 굴진율에 영향을 미치는 심발부분의 굴진장을 따로 측정하여 평균 굴진장과 비교하였다.

또한, 여굴량은 기존 설계 단면과 look-out line을 고려한 단면을 이용하여 굴착 전후의 체적을 비교하여 산정하였다.

4. 현장 관측 및 자료처리

4.1 현장

대상지역은 전라남도 장성군에 위치한 ○○광산으로서 현재 석회석을 채광하고 있다. 석회암대는 지역적으로 다소 차이는 있지만, 대체적인 부존 규모는 폭 100m, 연장 4km 내외이고, 석회암대 상부구간에는 20m 내외의 백운암대가 협재된 것이 특징이다.

본 광산에서 적용하는 굴진발파의 제원은 표 1과 같으며, 발파 패턴도는 그림 1~2와 같다.

4.2 3차원 레이저 스캐닝

본 연구의 자료취득을 위해 사용된 3차원 레이저 스캐너는 Canada Optech Inc.의 Cavity Monitoring System V400(CMS V400)(그림 3)으로 접근이 위험한 광산 갱도 및 터널 현장에서 사용되는 정밀 측정 장비로서 제원은 표 2와 같다. CMS V400의 작동원리는 헤드부분이 시계방향으로 회전하고 레이저를 발사하는 부분이 상하로 움직이면서 지하 공동 단면을 측정한다(그림 4).

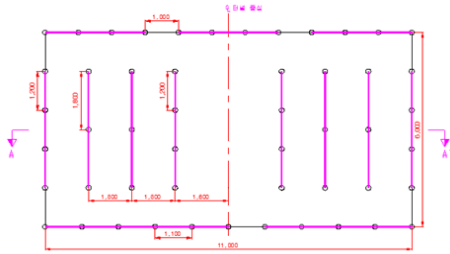


그림 1. 발파 패턴 정면도.

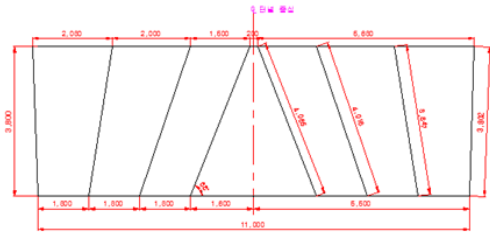


그림 2. 발파 패턴 A-A' 단면도.

표 1. 굴진발파 제원

높이	6m	발파공 직경	Ø51
너비	12m	폭약	ANFO Newmite Plus II
천공장	3.8m	비장약량	1.1Kg/m ³
굴진장	3.0m	총장약량	195Kg



그림 3. Cavity Monitoring System.

표 2. Cavity Monitoring System 제원

항목	규격
최대 측정 범위	200m@20%, 500m@90%
최소 측정 범위	1.5cm
수평각 범위	360°
수직각 범위	290°
거리 정확도	+/- 2cm
각 정확도	0.1°
각 해상도	0.022°
스캔 시간(1×1 degree)	6min

4.3 자료처리

측정 대상 지역에 대한 범위 및 정확도를 결정한 후 현장답사를 통한 기준점의 수평 및 수직 위치를 결정한다. CMS V400을 통해 공동의 point-cloud를 획득하고 기준점의 측량 값을 입력한다. 각각의 point에 좌표

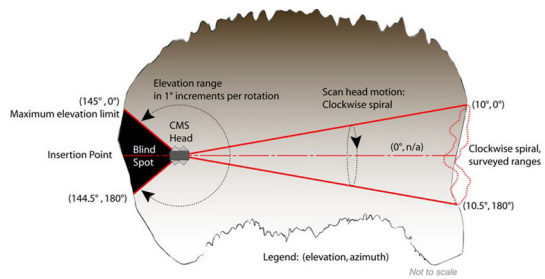


그림 4. CMS 작동원리.

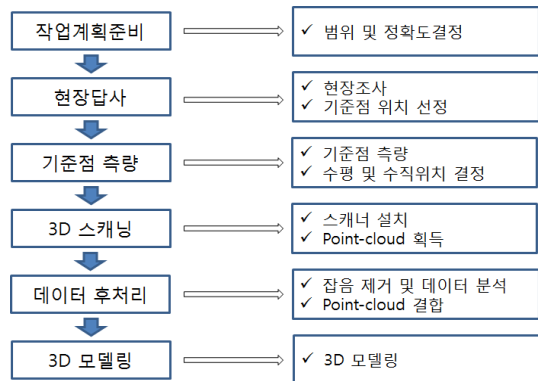


그림 5. 자료처리 과정.

값을 부여하면 굴진장 및 여굴량을 평가할 수 있는 3차원 모델을 만들 수 있다(그림 5).

기준점의 수평위치는 GPS와 토털스테이션을 이용하였고 수직 위치는 레벨을 사용하였다. 측정은 현재 발파 굴착이 진행 중인 굴진면을 대상으로 총 6회 실시하였다. 발파 전의 기준 막장면의 측정과 5회 발파에 대한 굴진장 및 여굴량을 평가하였다.

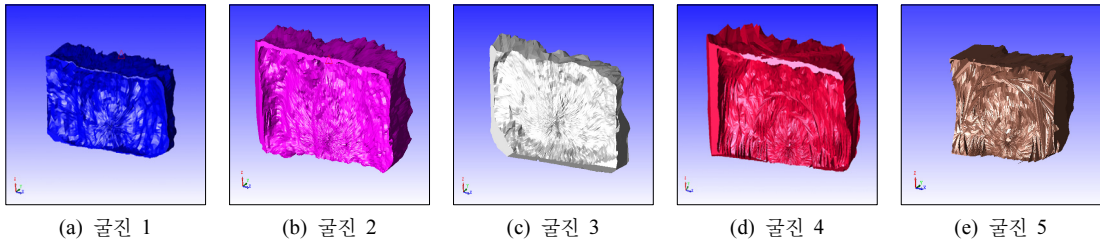


그림 6. 각 굴진별 3차원 모델.

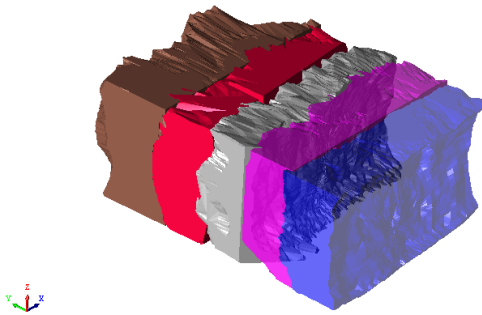


그림 7. 설계 단면으로 절단된 3차원 모델.

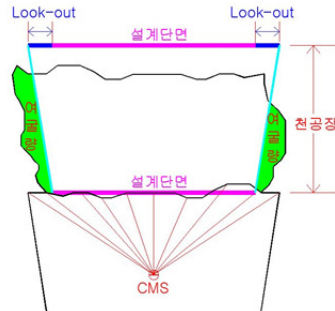


그림 8. 여굴 측정 모식도(top-view).

5. 결과분석

5.1 굴진장 측정

갱도의 굴진장 평가를 위해 측정 지점을 일치시킨 후 각 굴진별 3차원 모델을 생성, 체적을 산출하였다(그림 6).

산출된 3차원 모델을 기존의 발파 설계 단면을 기준으로 절단한 후 절단된 모델의 부피를 산출하고, 설계 단면으로 부피를 나눠 평균 굴진장을 측정하였다(그림 7). 또한, 굴진율에 영향을 미치는 심발부분을 나눠 굴진장을 측정하였다.

5.2 여굴량 측정

여굴 및 미굴량을 평가하는 방법은 3차원으로 모델링 된 모델의 단면을 잘라 CAD 파일로 변환시킨 후 설계 단면과 비교하는 방법이 가장 많이 사용되었다. 그러나 발파 굴착 시 다음 발파를 위해 굴착 단면을 확보할 필요가 있고, 이를 위해 look-out을 설계하여 최외각 발파공들을 바깥쪽으로 벌려 천공을 한다. 그래서 발파 굴착 시에는 look-out 때문에 항상 설계 단면보다 실제 단면이 더 크게 나타날 수밖에 없다.

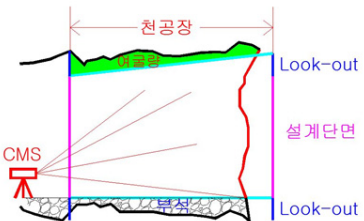


그림 9. 여굴 측정 모식도(side-view).

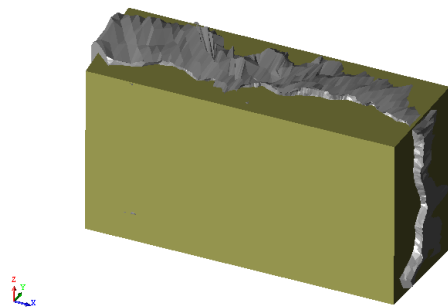


그림 10. look-out에 의한 여굴량.

따라서 그림 8-9와 같이 생성된 3차원 모델에 look-out을 고려하여 굴착 전·후 체적을 비교하였다.

여굴량 측정은 생성된 굴착 2번 3차원 모델에서 1번

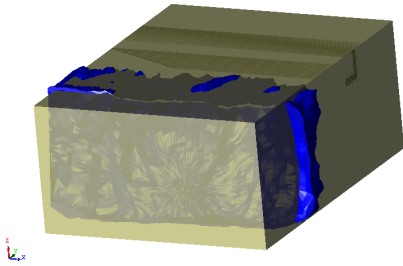


그림 11. 설계 단면에 의한 여굴량.

모델을 제거한다. 그 후 굴착 단면의 바닥 중심을 기준으로 가상의 설계 단면을 설정하고 천공장을 고려하여 look-out 단면(그림 10)과 설계 단면(그림 11)으로 나눠 여굴량을 평가하였다. 좌·우 측벽, 천정부로 나눠 여굴량을 평가하였다. 평탄화 작업으로 인해 바닥부 여굴량은 평가에서 제외하였다.

5.3 굴진 및 여굴량 측정결과

총 5회의 굴진에 대하여 굴착량을 평가하였다(표 3). 굴착량 측정 결과 평균 176.6m³으로 나타났으며 4-5차 굴착량이 193.2m³, 1~3차 굴착량이 165.5m³로 4-5차 굴착량이 1~3차에 비해 약 16% 증가하여 측정되었다.

굴진장 측정은 전체 굴진장과 굴진율에 영향을 미치는 심발 부분을 나눠 5회 측정하였다(표 4). 굴진장 측정 결과 심발부 굴진장은 평균 2.6m, 전체는 평균 2.4m로 나타났으며, 천공장 3.8m를 기준으로 굴진율은 평균 심발부 67%, 전체 64%로 평가되었다. 또한, 1~3차에 비해 4~5차의 굴진율이 높게 나타났는데 이는 암반물성이 규암질에서 석회질로 바뀌어 암반 강도에 의해 굴진율이 영향을 받았을 것으로 판단된다.

표 5는 전체 굴착량 및 설계단면 기준으로 구한 여굴량이며, 표 6은 look-out 기준으로 구한 여굴량 측정 결과이다.

설계 단면을 기준으로 여굴량을 측정한 평균값은 좌측벽 4.5m³, 우측벽 4.5m³, 천반 5.0m³, 총 14.0m³로 측정되었으며, look-out을 기준으로 여굴량을 측정한 결과 좌측벽 3.0m³, 우측벽 3.1m³, 천반 2.3m³, 총 8.4m³로 측정되었다. 평균 굴착량 대비 여굴량은 설계 단면 기준 약 8%, look-out 기준 약 5% 정도로 평가되었다. 설계 단면 기준 여굴량과 look-out 기준 여굴량을 비교한 결과 설계 단면 기준 여굴량이 look-out 기준 여굴량에

표 3. 굴착량 측정 결과

구분	1차	2차	3차	4차	5차	평균
굴착량(m ³)	162.0	166.5	168.1	199.0	187.3	176.6

표 4. 굴진장 측정 결과

구분	1차	2차	3차	4차	5차	평균
심발(m)	2.2	2.3	2.3	2.8	3.2	2.6
전체(m)	2.3	2.2	2.2	2.6	2.9	2.4

표 5. 여굴량 측정 결과(설계 단면 기준)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	평균
좌측벽(m ³)	6.5	4.7	3.0	4.4	3.7	4.5
우측벽(m ³)	4.5	9.7	2.6	3.1	2.6	4.5
천반(m ³)	1.6	3.8	6.9	7.9	4.9	5.0
총계(m ³)	12.6	18.2	12.5	15.4	11.2	14.0

표 6. 여굴량 측정 결과(look-out단면 기준)

구분	1차	2차	3차	4차	5차	평균
좌측벽(m ³)	5.0	3.7	1.4	2.6	2.1	3.0
우측벽(m ³)	3.1	7.7	1.4	2.1	1.0	3.1
천반(m ³)	0.5	1.3	3.9	4.4	1.4	2.3
총계(m ³)	8.6	12.7	6.7	9.1	4.5	8.4

비해 좌측벽 150%, 우측벽 147%, 천반 226%, 총 168%로 높게 평가되었다.

6. 결 론

본 연구는 발파 굴착 시 발생하는 굴진장 및 여굴량을 평가하기 위해 3차원 레이저 스캐닝 방법 및 3차원 모델링 프로그램 방법을 이용하여 분석하였으며 그에 따른 결과는 다음과 같다.

- 1) 3차원 모델을 이용한 굴착량 측정 결과 평균 176.6m³로 나타났으며 1~3차 굴착량이 165.5m³, 4~5차 굴착량이 193.2m³로 4-5차 굴착량이 1~3차에 비해 약 16% 증가하여 측정되었다.
- 2) 굴진장 측정 결과 심발부 굴진장은 평균 2.6m, 전체는 평균 2.4m로 나타났으며, 천공장 3.8m를 기준으로 굴진율은 평균 심발부 67%, 전체 64%로 평가되었다. 또한, 1~3차에 비해 4~5차의 굴진율이 높게 나타났는데 이는 암반물성이 규암질에서 석회질로 바뀌어 암반 강도에 의해 굴진율이 영향을 받았을 것으로 판단된다. 또한, 1~3차에 비해 4~5차 굴착량

이 증가되어 측정된 이유가 굴진장의 증가로 인해 발생된 것으로 판단된다.

- 3) 설계 단면을 기준으로 여굴량을 측정한 결과 좌측벽 4.5m³, 우측벽 4.5m³, 천반 5.0m³, 총 14.0m³로 측정되었으며, look-out을 기준으로 여굴량을 측정한 결과 좌측벽 3.0m³, 우측벽 3.1m³, 천반 2.3m³, 총 8.4m³로 측정되었다. 평균 굴착량 대비 여굴량은 설계 단면 기준 약 8%, look-out 기준 약 5% 정도로 평가되었다.
- 4) 설계 단면을 기준으로 여굴과 미굴을 정의하는 경우에는 여굴로 나타난 부분이 look-out을 고려한 단면보다 적게 굴착된 경우에는 실제적으로 미굴이 발생한 상태인데도 기준에는 이를 여굴로 평가하였다. 이 경우 후속발파를 위한 굴착단면을 확보하기 위해 굴착단면 외쪽에 추가로 발파공을 천공하여 단면을 확장하는 발파를 시공해야 하기 때문에 천공공간이 늘어나고 여굴이 더 크게 발생하여 경제적 손실을 야기 시킬 수 있을 것으로 판단된다. 추

후 기존의 굴진장 및 여굴량을 측정하는 방법과 비교하여 측정시간 및 정확도를 분석하여 효율성을 평가하고, 여굴과 미굴이 광산의 경제성과 단면형상의 유지를 통한 광산 자립도에 어떠한 관계를 미치는지에 대한 경제성 및 안정성 영향을 분석하는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김선홍, 김기림, 김찬동, 한동훈, 최원일, 이성원, 2012, 철도터널의 굴진장 증대 시 안정성 평가 및 경제성 검토, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 1919-1924.
2. 김양균, 김형청, 유정훈, 2003, 터널발파 작업시 여굴 저감을 위한 천공방법 연구, 화약발파, Vol. 21, No. 2, pp. 1-13.
3. 두준기, 2007, 터널의 여굴 설계와 시공의 문제점 고찰, 대한화약발파공학회 추계학술발표회 논문집, pp. 117-122.
4. 이태노, 김동현, 서영화, 2002, 터널 굴착면 여굴 최소화를 위한 발파암 분류(안) 및 공법 개발 연구, 대한화약발파공학회, Vol.20, No.3, pp. 25-38.



노 유 승

전남대학교 대학원
에너지자원공학과 석사졸업

Tel: 02-834-4590
E-mail: nomoosong1@naver.com



김 정 규

전남대학교 대학원
에너지자원공학과 박사수료

Tel: 062-530-0824
E-mail: evangelong@hanmail.net



고 영 훈

전남대학교 대학원
에너지자원공학과 박사수료

Tel: 062-530-0824
E-mail: dddd8401@nate.com



김 승 준

전남대학교 대학원
에너지자원공학과 박사과정

Tel: 062-530-0823
E-mail: jangdog99@naver.com



정 소 결

전남대학교
에너지자원공학과 교수

Tel: 062-530-0823
E-mail: skchung@jnu.ac.kr



양 형 식

전남대학교
에너지자원공학과 교수

Tel: 062-530-1724
E-mail: hsyang@chonnam.ac.kr