

암반사면 절리구조의 기하학적 특성 분석을 위한 원격 조사기술의 적용 사례

김기석((주)희송지오택)

최현길(대림산업(주))

박연준(수원대학교)

최시영, 김종훈((주)희송지오택)

1. 서론

절리나 단층 등의 불연속면은 암반 내에 발달한 균열면으로서 터널, 암반비탈면 등 토목구조물의 안정성에 큰 영향을 미친다. 따라서 절리나 단층 등의 특성을 판단하고 이를 설계에 반영토록 하는 것이 지반조사의 중요한 업무영역 중 하나이다.

단층의 경우 조사지역 내에서 단속적으로 발달하는 지질구조여서 단층이 확인되는 노두 개소가 작을 뿐 아니라 노두에서 확인될 경우 방향성, 폭, 단층물질 등을 접근하여 조사하는 것이 바람직하다. 반면, 절리는 직접 노두에 조사선이나 조사창을 설치하여 조사하는 방법이 있으나 자료 획득에 시간이 많이 소요되고 접근 자체가 힘든 경우가 많다. 이에 사람이 직접 노두에 접근하지 않고 원격으로 절리의 특성, 특히 기하학적 특성을 획득하고자 하는 연구가 김종훈(2002), 박형동과 정창엽(2003), 이승호 등(2005), 한정훈과 송재준(2007), Reid and Harrison(2000) 등에 의해 국내외에서 많이 진행되었으며 현재는 상용화 단계에 이르렀다. 본 고에서는 상용화된 원격 절리조사기법인 레이저 스캐닝 기법과 디지털 사진측량기법을 토목프로젝트에 적용한 결과를 비교 검토하였다.

2. 프로젝트 개요

2000년 이후 매미, 루사, 나비 등의 대형 태풍에서는 기존 댐 설계에 적용되는 강우강도를 상회하는 집중호우가 발생하였는데, 댐의 특성 상 한번의 파괴로 댐 하류지역에 엄청난 인명, 물적 피해를 야기할 수 있으므로 최대강우강도(Probable Maximum Precipitation) 및 최대홍수량(Probable Maximum Flood)에서도 월류로 인한 붕괴가 발생하지 않아야 하므로 이에 따른 추가 여수로를 신설할 필요가 있다. 이와 같이 국가적으로 필요한 치수대책의 일환으로 현재 설계 중인 경북지역에 위치한 OO댐 비상여수로 건설공사가 본 고의 대상프로젝트이다. 여수로는 터널식 혹은 개수로식 모두 국내외에 시공사례가 있으며, 본 OO댐 지역은 지형조건 상 개수로식으로 설계되었다(그림 1). 개수로식 여수로 공사의 특성 상 전 구간 깎기비탈면이 형성되며 최대깎기고 40M 이상의 대절토 암반비탈면이 발생하여 비탈면의 안정성 검토와 발파

공법 설계에 있어 절리의 기하학적 특성이 중요하게 고려되었다.



그림 1. 00댐 비상여수로 조감도

3. 적용된 절리방향 조사방법

조사 대상인 비탈면(그림 2)은 현재 00댐 좌측에 있는 여수로 좌안 비탈면으로 길이 190m, 최대 높이 29m에 달하는 암반비탈면으로 암반면에 조사선이나 조사창을 설치하여 직접 조사하기 어려운 급경사를 이루고 있다.



그림 3. 조사대상 비탈면 전경

(1) 레이저 스캐닝

레이저 스캐닝은 기준점에서 비탈면으로 레이저를 발사하여 반사되는 레이저로부터 비탈면 표면의 위치정보를 획득한 후 이를 3차원 좌표계에서 DEM으로 구성하여 절리의 기하학적 특성을 분석 추출하는 기법으로 필요장비로는 레이저 스캐너와 저장장치, 획득된 자료를 3차원 좌표계로 변환시키고 모델링하는 소프트웨어가 있다. 본 프로젝트에서는 무타겟 토탈스테이션, Time-of Flight Method 방식으로 조사대상 비탈면 전체적인 DEM 추출을 위해서는 100mm 범위에서 스캐닝을 실시하였고 일부 구간에 대해서는 5~10mm 범위에서 스캐닝을

수행하였다. 적용 장비는 모델명 GS-100이며 제원과 측정 전경, 추출된 비탈면 DEM은 다음과 같다.

표 1 . GS-100의 제원



그림 3. 레이저 스캐닝 전경

구 분	성 능
스캐닝 거리	2 m - 100 m
스캐닝 속도	1초당 3,000
정확도	3 - 6 mm(표준모드), 1 mm(정밀모드)
각 정밀도	32 μ rd (0.0018 °)
측정범위	360°(H), 60°(V)
레이저 크기	0.3 mm - 8 mm(Optimal Range)
레이저 안전도	Class 2
측정방법	Time of Flight
크기 및 무게	32cm x 42cm x 28cm, 13kg
작동온도	0°C - 40°C

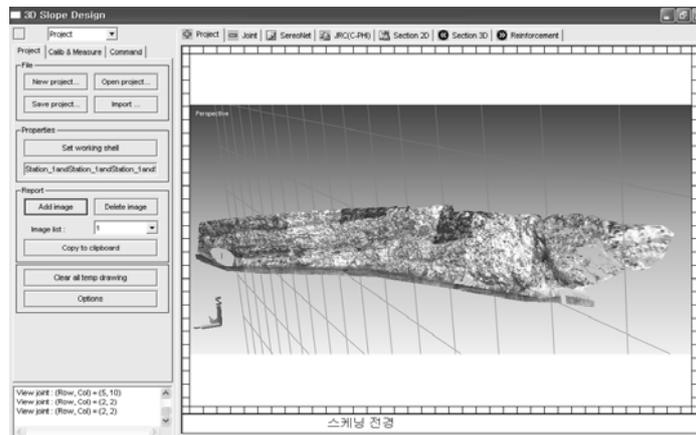


그림 3. 조사대상 비탈면 추출 DEM

(2) 디지털 사진측량 기법

본 프로젝트에서 적용된 디지털 사진측량기법은 3GSM사에서 개발한 ShapeMetriX 3D system으로 일반 디지털카메라로 대상 비탈면을 좌우 스테레오 영상으로 촬영하여 point cloud에 기반한 3차원 영상을 획득한 후 불연속면을 추출하였다. 레이저 스캐닝과 달리 1회에 조사대상 비탈면 전체에 대한 영상을 촬영할 수 없어 총 4개소에 대해 부분 촬영을 한 후 데이터를 획득하였다.

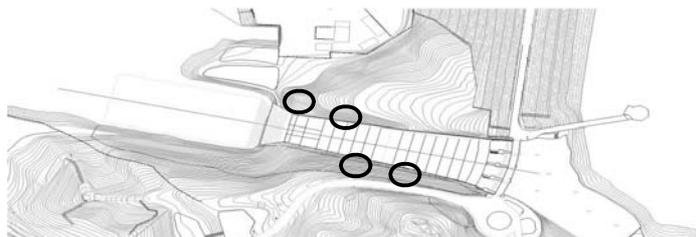


그림 4. 사진측량 조사지점 위치현황



(a) 좌측영상 (b) 우측영상 (c) 정합과정 후 3D 영상
 그림 5. 조사지점의 좌우 스테레오 영상 및 분석된 3차원 이미지 영상

4. 결과 및 토의

원격조사기법인 레이저 스캐닝 기법과 디지털 사진측량기법에 의해 획득된 절리의 방향성 자료의 입체투영망 상의 등밀도도와 로즈다이어그램은 그림 6, 7과 같다.

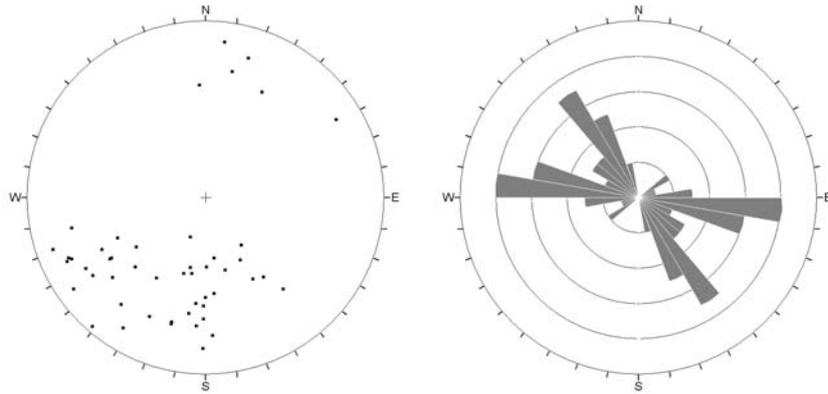


그림 6. 레이저 스캐닝에 의해 추출된 절리 방향자료 분포

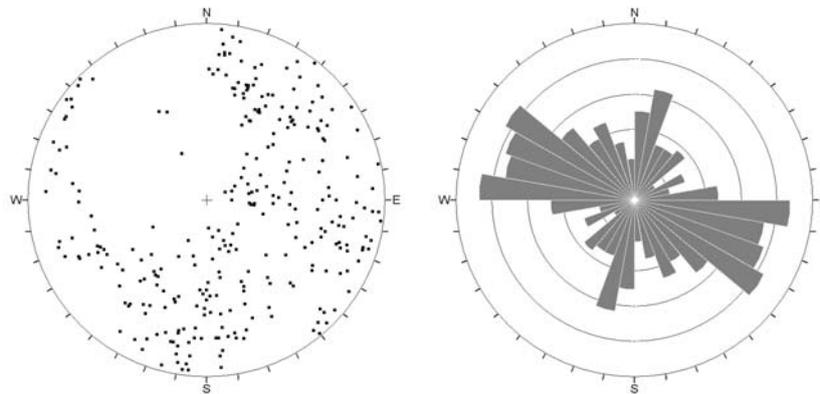


그림 7. 디지털 사진측량에 의해 추출된 절리 방향자료 분포

두 조사기법에 의해 추출된 절리 수는 각각 49개와 294개로 많은 차이를 보이고 있으며, 두

방법 모두 북서 방향 및 동서 방향의 절리자료는 동일하게 추출되었으나, 북북동에서 북동 방향의 절리는 사진측량기법에 의해서만 나타났다. 두 조사기법에 의해 추출된 절리방향자료의 동질성 여부를 정량적으로 분석하기 위해 Miller(1984)가 제안한 분할표 분석법인 하반구 등각입체투영망상의 특정 분할영역 셀에 포함되는 절리면 pole의 개수로 χ^2 -test를 수행하였으며, 이 방법은 국내에서 엄정기(2007)에 의해 소개된 바 있다.

참고로 조사대상 비탈면과 가장 가까운 시추공에서 시추공영상촬영기법으로 추출된 절리방향자료에 대해서도 동질성 여부를 함께 분석하였다. 레이저스캐닝-사진측량, 레이저스캐닝-시추공영상촬영, 사진측량-시추공영상촬영의 총 3개 쌍에 대해 동질성 여부를 검토한 결과 모두 동질하지 않은 것으로 나타났다. 그 원인은 ① 조사대상 심도의 차이 : 원격조사는 지표 노두를 대상으로 한 반면 시추공영상촬영은 지중절리, ② 정밀도의 차이 : 레이저스캐닝의 경우 정밀도를 높여 스캔할 경우 작업시간이 기하급수적으로 증가하여 당초 목표보다 정밀도를 하향조정하였음, ③ 절리추출 오류 : 원격조사기법이나 시추공영상촬영이나 획득된 이미지에서 절리를 판단하고 추출하는 것은 엔지니어가 직접 수행하는 것이므로 엔지니어에 따라 분석 절리가 아닌 인공적인 균열면을 절리로 판단할 가능성이 있는 등으로 추정된다. 향후 대상비탈면의 크기, 측정거리, 정밀도, 작업여건 등 여러 요인에 따라 두 종류 원격조사기법 중 어떤 것이 상대적으로 양호한 결과를 도출하는 지에 대해서는 보다 세밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김종훈, 2002, 암반 절리의 기하학적 특성 분석을 위한 디지털 사진측량기법의 개발, 강원대학교 대학원 박사학위논문
2. 박형동, 정창엽, 2003, 3D laser scanning 및 수치사진측량을 이용한 암반사면의 DEM 추출기법, 한국암반공학회지, 제13권, 제3호, pp.207~214
3. 엄정기, 2007, 절리암반내 동질구조구 구분을 위한 정량적 기준에 대한 연구, 한국암반공학회 춘계학술발표회 논문집, pp.II-1~II-14
4. 이승호, 황영철, 심석래, 정태영, 2005, 3차원 영상처리를 이용한 암반 사면의 절리 측정에 관한 연구, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp.854~861
5. 한정훈, 송재준, 2007, 입체사진측량기법의 암반절리조사에 대한 적용성 연구, 한국암반공학회 춘계학술발표회 논문집, pp.259~273
6. Miller, S.M., 1983, A statistical method to evaluate homogeneity of structural populations, *Mathematical Geology*, Vol.15, pp.317~328
7. Reid, T.R. and Harrison, J.P., 2000, A semi-automated methodology for discontinuity trace detection in digital images of rock mass exposures, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol.37, No.7, pp.1073~1089