# 지질구조의 원격 측량기 개발

황 상기 · 박 석록 (배재대학교 토목건축공학부)

## 1. 서언

암반에 발달한 단층이나 절리와 같은 약선면의 배열은 각종 토목공사의 기초설계와 지하수의 함량과 유동을 연구하는데 중요한 자료로 활용되고 있다. 또한 터널이나 사면의 시공중 불연속면의 배열에 따라 낙석이 발생하는 관계로 시공의 안정성과 매우 밀접한 관계를 갖고 있다. 이러한 중요성으로 인하여 암반내부에 발달하는 불연속면의 배열상태를 분석하여 설계와 시공에 반영하는 기법들이 많이 연구되어 왔다. 그러나 암반의 면구조 측정은 수작업으로 이뤄져야 하며 현장 상황에 따라서 모든 면구조에 접근이 불가능한 경우가 많아서 면구조의 측정을 위하여 많은 시간을 투자하고도 실제로 활용할만한 충분한 자료를 얻지 못하고 있다. 현재는 대표적인 면구조만을 측정하여 이를 바탕으로 설계와 시공을 수행하고 있는 실정이다. 특히 토목공사의 특성상 암반에 발달하는 모든 면구조를 공사가 진행되는 과정에서 측정하는 것은 불가능하므로 공사에 관한 설계단계에서 시추자료나 물리탐사 자료를 분석하여 약선면의 배열과 특성을 유추하여 이를 설계에 반영하고 있으며, 시공 중에는 불연속면의 배열을 육안으로 판단하여 안정성을 평가하고 있는 실정이다. 그러므로 암반구조에 관한 토목공사의 설계나 시공의 문제점은 자료의 분석방법에 있는 것이 아니고 암반내부의 면구조를 단시간에 정확히 측정할 수 있는 방법에 문제가 있다. 본 연구는 암반 절취면의 3차원 굴곡을 영상처리 장치를 이용해 측량하고, 면구조의 배열을 측량자료로부터 유추하는 방법을 개발하고자 하는 시도이다.

암반의 면구조를 원격으로 측량하고자 하는 기존의 시도는 없다. 유사한 연구로서 Garde(1992)가 Dueholm(1992)에 의해 개발된 사진측량 기법을 이용해 남부 인디아의 Karela 지역의 한 암반절취면을 3차원으로 모델링하여 절취면의 3차원 형태를 복원하고자 하는 시도가 있었다. 그러나 이러한 기존의 연구는 사진측량을 이용해 지형의 고저를 모델화하는 방법들에 관한 연구일 뿐 약선면의 배열을 측량하는 방향으로는 전혀 연구되지 않았다.

## 2. 원격 측량장치

영상 측량기는 절취면의 영상 사진을 이용해 불연속면의 배열과 암반절취면의 굴곡을 전산으로 측량하는 기구이다. 측량기(Fig.1)의 원리는, 레이저 포인터가 절취면을 주사하여 2대의 폐쇄회로 카메라로 주사점의 위치를 판독하고 이를 이용해 주사점의 지구공간 좌표를 계산하는 것이다. 레이저 포인터는 수평과 수직이동을 제어하는 2개의 스텝핑 모터에 의해 절

취면을 스캔하게끔 제작되어 있다.

원격측량기는 아래의 과정으로 가동된다.

① 폐쇄회로 카메라에 맺힌 영상에서 주사점의 중앙위치를 픽셀의 위치로 판독한다. 즉 영상처리 기법을 이용해 두 카메라에 맺힌 동일 레이저 주사점을 영상의 픽셀좌표로 판독한다.

② 입체시 효과를 계산하기 위해 두 영상에서 획득된 레이저 포인터의 좌표와 카메라의 촛점거리를 이용해 레이저 포인터로 주사된 위치의 3차원 모델 좌표를 계산한다.

③ 레이저 포인터의 위치를 규칙적으로 이동시켜 위의 과정을 반복한다.

④ 위의 과정에서 얻어진 3차원 모델 좌표들을 보간하여 3차원 모델을 계산한다.

⑤ 모델 자료를 2개의 기준면을 이용하여 회전하여 지형좌표 자료로 변환한다.

3. 지형의 3차원 모델.

영상측량기를 이용하여 암반절취면을 분석하면 측량기와 측점간의 거리로 이뤄진 자료들이 획득된다. 측점은 절취면을 적절한 간격으로 스캔하면서 형성된 것으로 이들을 이용해 절취면 전체의 3차원 형상이 모델화 되어야 한다. 이렇게 작성된 모델은 실 지형좌표로 변환되어 면구조의 주향과 경사가 계산되어야 한다. 측량모델과 지형모델은 다음의 과정을 통하여 이뤄진다.

기계에 의해 측정된 측점의 거리자료는 지구통계 기법인 kriging을 이용하여 내삽하여 등간격의 위치에서의 거리로 변환된다. 다음 과정은 모델에서 구해진 DEM을 실 지구좌표계로 전환하는 과정이다. 이 과정에서는 실 지형에서 선택된 하나의 면과 선의 3차원 배열을 크리노 콤파스를 이용하여 주향과 경사로 측량하여 모델의 동일 면을 지형과 일치시키는 과정으로 진행된다. 모델에서의 기준면의 수직벡터는 기준면에 분포하는 모델 DEM의 좌표를 이용하여 획득되는데 벡터의 계산은 최소 자승법에 의해 구해진다. 이렇게 획득된 수직벡터는 주향과 경사로 변환된 후 실 지형에서 측량된 기준면의 주향과 경사로 회전되는 수식을 유도하는데 활용된다.

모델의 기준면을 지형공간의 기준명의 주향과 경사에 일치시키기 위해서 아래와 같은 4단계의 회전을 수행한다. 이 회전을 통하여 모델의 DEM이 지형공간의 DEM으로 변환될 회전행열을 획득한다.

① 모델과 지형 기준면의 주향을 일치시킨다.

회전에 사용되는 방법은 특정 축을 기준으로 회전하는데 효율적인 quaternion representation을 사용하며, 회전행열은 아래와 같다.

$$Q(\theta)=\begin{bmatrix} 1-2m^2-2n^2 & 2lm-2sn & 2ln+2sm \\ 2lm+2sn & 1-2l^2-2n^2 & 2mn-2sl \\ 2ln-2sm & 2mn+2sl & 1-2l^2-2m^2 \end{bmatrix}$$

위에서 $\theta$는 회전각이며 (l,m,n)은 회전축이며 s는 회전각($\theta_1$)에 의해 계산되는 상수이다. 첫 번째의 회전은 지형공간과 모델공간의 기준면의 주향값을 위의 회전공식에 의해 회전하는 과정이다. 회전축은 기준면의 수직벡터 이다.

② 기준면의 경사값을 일치시킨다.

두 번째 회전은 1차 회전에 의해 회전된 모델공간의 기준면의 경사값과 지형공간 기준면의 경사값의 차이($\theta_2$)만큼 주향방향의 벡터를 기준축으로 하여 회전하여 두 기준면의 주향과 경사를 일치시키는 과정이다.

③ 기준면의 배열을 지형공간의 배열로 일치 시킨다.

위의 회전에 의해 모델의 기준면은 지형공간의 기준면과 평행을 이루게 되었다. 그러나 면이 평행함으로 3차원 공간의 배열이 일치하는 것은 아니다. 세 번째 회전은 두 공간의 기준선을 이용하여 기준면에 수직인 벡터를 축으로 하여 회전함으로서 3차원 공간 배열의 일치를 도모하는 것이다. 이를 위하여 기준선의 벡터들을 기준면으로 투영하여 회전각($\theta_3$)을 구하고 이를 기준하여 3차 회전을 수행하게 된다. 기준면으로 투영하는 과정은 기준선의 측량오차를 감하는 절차이다.

④ 모델 데이터를 위와 동일한 회전과정으로 모두 회전시켜 지형공간과 일치 시킨다.

세 단계의 회전을 종합한 회전 행열은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$Q = Q(\theta_1)*Q(\theta_2)*Q(\theta_3)$$

⑤ 마지막 과정은 회전된 모델 DEM을 이용하여 모든점의 주향과 경사를 계산하여 전산도면으로 표현하는 과정이 되겠다.

## 4. 적용결과

제작된 영상측량기를 이용하여 대전시 도마동에 위치한 배재대학교 내의 암반사면의 일부를 측량한 결과가 Fig.2에 도식되어 있다.

## 5. 토의 및 결언

본 연구에서는 영상측량 기법을 이용하여 절취사면에서 관찰되는 면구조의 배열을 원격으로 측량하는 방안의 적합성을 시험하였다. 연구결과, 방법의 타당성은 충분히 입증되었다. 그러나 기존의 사진측량은 사진에서 수 ㎛의 정확도를 감안하여 진행되는 반면 본 시험에서 활용한 디지털 소자의 경우는 픽셀의 크기가 한정이 되어 있으므로 최소오차가 픽셀의 크기로 좌우되어 오차의 한계가 매우 큰 단점이 확인되었다. 또한 레이저 포인터로 측점을 입력하고 영상처리 기법을 이용해 실시간 측점위치를 파악하는 방법에서도 1-2 픽셀의 오차를

발생시켜 이에대한 개선책의 마련도 필요로 하고 있다. 그러나 최근에 개발되고 있는 정밀한 폐쇄회로 카메라와 영상처리 기법을 활용할 경우는 이러한 오차들을 획기적으로 줄일 수 있어, 본 연구를 통하여 개발된 방안을 더욱 정밀한 기구를 이용해 시도할 경우 절취면의 면구조 혹은 선구조의 배열을 원격으로 측정할 수 있는 현실적인 도구를 제작할 수 있음을 확인하였다.

사사

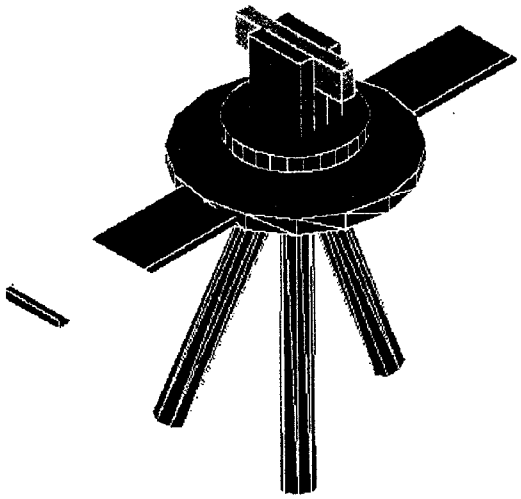
이 연구는 배재대학 GIS 센터의 지구과학-전자-수학 분야의 공동연구 그룹의 연구준비 과정에서 태동되었다. 지난 2년간의 긴 준비과정에 동참하여 주신 센터의 이규봉, 이진걸, 임유진교수와 류지현 박사께 감사드린다.

참고문헌

Garde, A.A., 1992, Close-range geological photogrammetry studies: field and laboratory procedures with examples from prograde granulite facies , Rapp. Grønlands geol.Unders, 156, 53-62

Dueholm, K.S. 1992, Geologic photogrammetry using standard small-frame cameras, Rapp. Grønlands geol. Unders, 156, 7-17

A.



B.

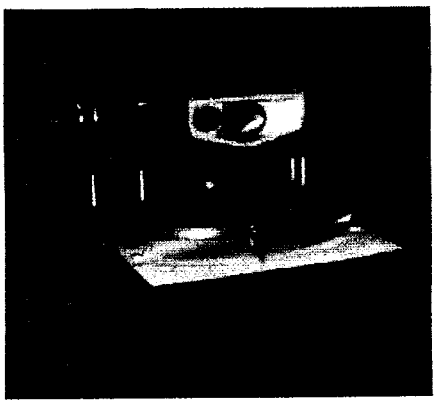
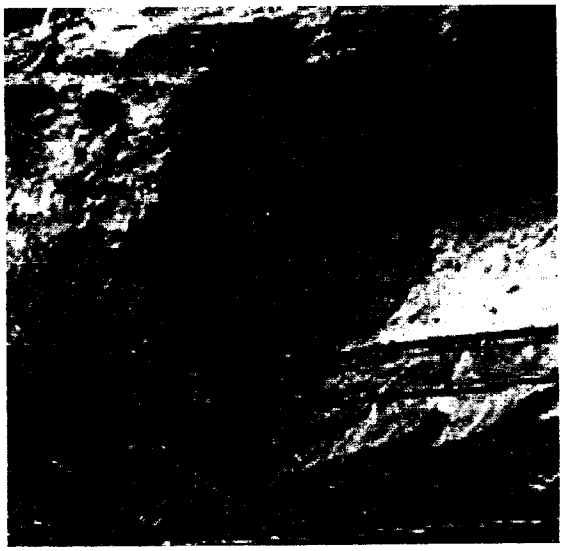


Fig. 1. Remote surveying machine.

A. Schematic presentation of the survey equipment.

B. The laser beam projector constructed for this study.

A.



B.

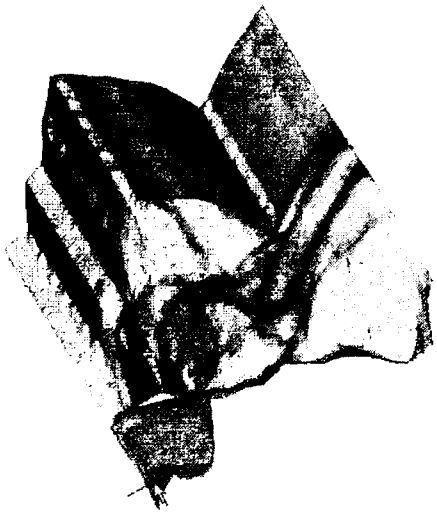


Fig. 2. A model data from the remote surveying machine.

A. Test location.

B. Modeled surface.