

**수치사진측량시스템을 이용한
사면의 DEM/정사영상 제작 및 불연속면 추출**
**Making of DEM/Orthophoto and Extraction of Discontinuity
for Slope using Digital Photogrammetry System**

나 광 희(Nah Kwang Hee)	한국시설안전기술공단 기술개발실
박 혁 진(Park Hyuck Jin)	한국시설안전기술공단 기술개발실
신 창 건(Shin Chang Gun)	한국시설안전기술공단 기술개발실
이 사 로(Saro Lee)	한국지질자원연구원 국가지질자원정보센터
강 준 목(Kang Joon Mook)	충남대학교 토목공학과

1. 서론

급속한 개발과 산업화에 따른 도로건설 및 택지개발에 의해서 도로, 건물, 공장 등 각종 시설물 등이 증가하게 되었다. 이러한 시설물들을 경사지에 건설하면 필연적으로 사면 특히 암반사면이 형성 되며, 산지나 구릉지를 절토하는 과정에서 암반사면의 붕괴규모와 빈도가 증대되고 있다. 암반절토사면의 안정성은 암반자체의 물리적 성질보다는 불연속면의 존재, 방향성, 크기, 빈도, 연장성 등에 더 큰 영향을 받는 것으로 알려져 왔다. 지금까지 암반사면에 존재하는 불연속면을 측정하기 위해서는 사면에 직접 접근하여 측정하였다. 그러나 사람이 측정할 수 없는 높이의 불연속면을 측정한다거나, 사면에 접근하기 불가능한 지역을 조사할 경우에는 비접촉식 기법을 사용하여 불연속면을 측정하여야 하며 이에 대한 방법으로 수치사진측량기법을 적용하였으며, 수치사진측량기법은 다량의 자료를 짧은 시간에 획득할 수 있는 장점도 갖고 있다.

2. DEM 및 정사영상 제작

일반적으로 입체영상을 이용하여 정밀 수치표고자료(Digital Elevation Model : DEM)를 생성하는 연구는 해석도화기를 사용하여 입체 항공사진을 획득하였다. 그러나 최근에는 항공사진의 축척대로 일정한 정확도가 유지되는 수치자료를 획득하기 위해서 기존의 해석도화기에 의해 얻어지던 방법보다는 사진을 디지털화하여 획득한 수치영상을 가지고 수치사진측량시스템(Digital Photogrammetry Workstation System : DPW) 작업을 하는 추세로 변화하고 있는 실정이다. 필름 기반의 아날로그 영상을 스캐닝하여 수치화한 자료를 획득하거나 디지털 카메라를 이용하여 획득한 자료를 처리하여 GIS/RS의 기초 자료로 사용할 수 있으며 본 연구에서는 연구사면에 대해 획득된 영상 처리를 통해 DEM 및 정사영상을 획득하였다. 정사영상(orthophoto)이란 취득영상에 나타나는 기복변위, 위성 및 비행체의 자세에 의해서 생기는 변위 등을 제거한 영상을 의미한다. 이러한 DEM 및 정사영상은 사면의 3차원 분석을 위해 필요한 자료이다. 수치지형 표고모델 및 정사영상 제작과정은 크게 영상 취득, 카메라 모델링, 영상의 전처리, 스테레오 정합, 보간, 고도 정보계산, DEM 취득, 정사영상 생성과정으로 나누어진다. 또한 수치지형 표고모델(DEM)은 데이터 소스와 고도자료 추출방

법에 따라 데이터 질이 결정되며 이용분야, 비용, 기술정도에 따라 수치지형 표고모델 생성 방법이 달라진다. 그림 1은 측정용 카메라를 이용한 사진을 스캐닝하여 수치화한 영상과 비측정용 디지털카메라를 이용하여 얻은 수치영상을 가지고 DEM 및 정사영상을 생성하는 과정을 보여주는 작업과정이다.

정사영상을 이용하여 절리를 자동적으로 추출하며, 이러한 절리는 바로 DB로 구축되어 방향성, 길이, 밀도, 분석 등을 수행하여 안정성 평가에 이용될 수 있다. 이와 같이 처리된 영상은 그 크기 및 규모를 손쉽게 컴퓨터 화면상에서 측정할 수 있으며, 확대, 축소 작업으로 원하는 부분을 원하는 크기로 볼 수 있다. 스테레오 영상에서 추출한 DEM은 여러 분야에서 목적에 따라 변환되어 사용할 수 있다. 예를 들어 DEM의 높이 값으로부터 경사각을 추정할 수 있으며, 사면방향, 음영기복도 등을 생성할 수 있다.

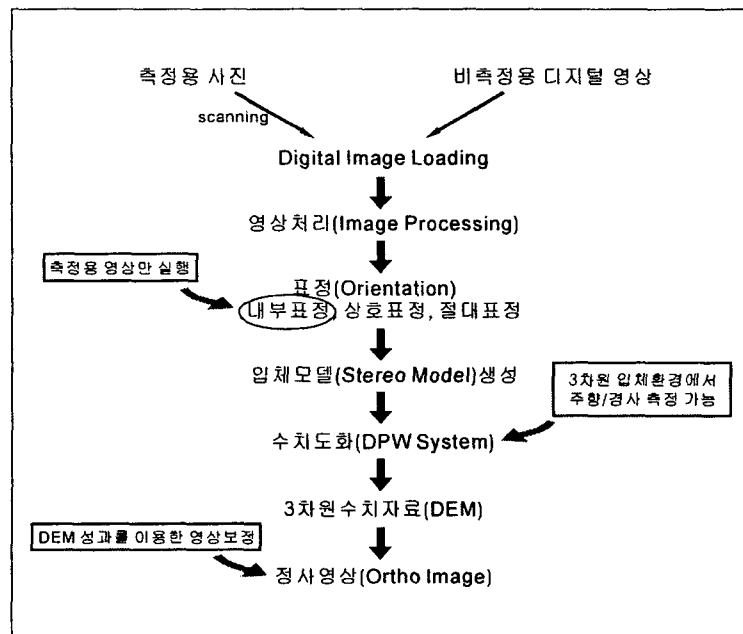


그림 1. 수치사진측량 시스템을 이용한 DEM 및 정사영상 제

2.1 수치표고모델(DEM) 생성

GIS 시스템 구축을 위해 사용되는 자료 중 3차원 좌표를 이용하여 지형 및 지물의 형태를 모델링한 자료를 수치표고자료(DEM)라 한다. 일반적으로 사진을 이용하여 DEM을 생성하기 위해서는 각각의 수치영상들의 내부, 상대 및 절대 표정을 거치고 에피플라 영역이 결정되면 영상 매칭 과정을 통해 수치표고자료를 생성한다. 본 연구에서 이용한 DEM 생성 방법은 일정크기의 격자에 의해 대상의 3차원 성과를 저장하는 Grid 방법을 택하였으며 단일 격자크기를 1mm 간격으로 설정하였다. 수치표고모델의 생성에 있어 자동화의 실현이 가능하나 동일 간격에 의해 지형이 표현되므로 변화가 심하지 않은 부분에서는 많은 점들이 몰릴 수 있고 변화가 심한 부분에서는 적은 수의 점들이 얻어질 수 있다. 그러므로 기복의 차이가 심한 지형을 고밀도의 추가점을 배치함으로써 효과적으로 표현하였다. 이러한 일련의 작업에 의해 대상지에 대한 단일격자 1mm의 수치표고모델을 생성하였고, 지형 기복의 시각적 분석 및 모델링의 효율성을 고려하고 Grid와 함께 수치표고모델의 수정 및 재편집을 위해 불규칙한 삼각형 격자(Triangular Irregular Network : TIN)를 추가 생성함으로써 보완적 자료로 이용할 수 있도록 하였다.

2.2 정사영상 생성

정사영상은 해석사진측량시대에 있어서는 제작과정의 복잡함과 활용의 불편에 의해서 크게 각광받지 못하였다. 그러나 최근에 와서 수치사진측량에 대한 개념이 확립되고, 이에 대한 연구가 수행되면서 수치형태의 정사투영영상을 생성할 수 있게 됨에 따라 컴퓨터 내에서 다른 자료들과 쉽게 연계하여 활용할 수 있게 되었고, 자료의 교환 및 복사가 용이함에 따라 그 활용성이 매우 증대되었다. 그리고 GIS에 있어서 중요한 필수 기본 자료로서 이용되어 각종 관측 및 분석에 활용됨에 따라 이에 대한 수요가 급증하고 있다. 중심투영 원리에 의해 촬영되어진 사진에는 사진기의 자세와 지형 기록에 의하여 대상물의 변위가 포함되어 있는데 이를 제거하여 DEM 성과를 이용하여 정사투영 영상을 제작하는 과정을 미분편위수정이라 한다. 이 과정에 있어 수치표고모델의 정확도는 정사투영영상의 정확도에 매우 큰 영향을 미치는 중요한 요소가 된다. 수치표고모델과 입체시가 이루어진 영상을 이용하여 수치미분편위수정을 적용한 결과 정사투영 영상을 생성할 수 있었다. 수치표고모델과 입체영상간의 기하학적 관계를 이용하여 영상을 재배열하고, 정사투영 영상에 수치표고모델과의 중첩을 통하여 정사영상을 제작하였다. 연구사면에 대해 획득된 영상을 지상기준점(GCP), 모자이크, DEM 제작, 정사영상 제작 등 각종 처리를 통해 정사영상을 얻었다. 이러한 정사영상은 실 좌표계 값을 가지며 사면의 높이, 넓이 등 사면의 기하학적 형상을 정확히 알 수 있다.

3. DEM을 이용한 사면 분석 및 정확도 평가

3.1 DEM을 이용한 사면 분석

연구사면에 대해 DEM, 즉 3차원 자료를 획득하고 이를 이용하여 정사영상을 제작했다. 그리고 정사영상으로부터 추출된 3차원 좌표를 이용하여 TIN으로 작성하였으며, 이 TIN을 이용하여 DEM을 작성하였고, DEM을 이용하여 경사 및 경사방향을 분석하였다. 또한 수치사진측량시스템은 수치표고모델을 기반으로 한 사면입체 모델을 이용하여 각 불연속면의 기하학적 형태를 x, y, z 의 3차원 좌표로 도화할 수 있고, 도화된 불연속면은 벡터자료로 일반적인 GIS 자료로서 제시될 수 있고 분석될 수 있다. 이러한 DEM을 이용하여 간접적으로 절리를 계산할 수 있는 방법 외에 입체 사진 모델을 보고 현장에서처럼 직접적으로 절리를 추출하는 방법이 있다.

3.2 DEM 정확도 평가를 위한 실측 자료와 매트릭카메라 성과와의 비교 검증

지질구조의 배열은 구조면이나 선분상에 존재하는 3개 이상의 점에 대한 3차원 좌표를 이용하여 계산된다. 즉 경향을 대표하는 3개의 측정성고가 만드는 면의 경사와 경사방향을 측정한다. 그러나 수치사진측량시스템을 이용한다면 좌표를 가지고 있는 Grid로 세분화된 구조면 DEM 기반으로 한 모델에서 직접적으로 경사방향을 계산하기 위하여 면구조를 이용할 수 있다. 수치사진측량에 의해 획득된 DEM 성과를 이용하기 위해 실제 야외에서 획득한 경사/경사방향과 비교 검증하기 위해서는 우선적으로 좌표계 문제 해결이 선행되어야 한다. 즉, 일반적인 수치사진측량시스템은 매핑 분야에 초점을 맞추고 있기 때문에 지형도와 동일한 좌표계를 가지고 있다. 그러나 암반사면은 위치한 방향이 매우 중요하고 이를 기반으로 경사/경사방향이 결정되므로 자북을 기준으로 전체적인 방향 보정을 해주어야 한다.

또한 평면도 형태를 기준으로 하는 지형도와는 다르게 암반사면은 입면도 형태이기 때문에 좌표계의 변화가 요구된다. 지금까지 암반사면의 경사/경사방향은 각 관측기를 이용하여 현장에서 측정하였으나, 본 연구에서는 사면의 구조면에 대한 경사/경사방향을 수치사진측량 시스템을 이용하여 획득한 DEM 성과로써 얻고자 하였다.

시범지역 암반사면에 대한 경사/경사방향을 측정한 결과 자북을 기준으로 152° 방향으로 위치해 있다. 따라서 디지털화된 구조면 성과는 북쪽에서 시계방향으로 152도 회전되어졌다. 표 1은 현장관측 성과와 DEM을 통해 얻어진 경사/경사방향 비교하여 나타낸 것으로서, 현장에서 직접 얻어진 경사/경사방향과 수치사진측량시스템을 이용하여 얻어진 경사/경사방향의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

표 1. 연구대상 사면의 경사/경사방향에 대한 실제 측정 및 DPW에 의한 관측 결과

No.	측정결과 (경사/경사방향)	DPW에 의한 결과 (경사/경사방향)
5	72/313	66/311
6	72/248	63/259
7	80/235	70/237
8	26/344	19/331
9	83/314	73/327
10	36/334	26/322
11	75/250	83/253

4. DEM 및 정사영상을 이용한 불연속면 추출 및 정확도 분석

불연속면은 단층, 절리, 층리, 열극, 파쇄대, 암맥 등의 지질학적인 현상이 지상사진에 선형으로 나타나는 것을 말하며, 지형의 요철면, 영상 Tone의 급격한 변화 및 좁은 Tone의 연속 등으로 나타난다. 본 연구에서는 정사영상을 이용하여 추출자료의 객관성을 최대화하는 암반 사면의 불연속면 추출을 실시하였다. 암반사면의 절리를 구분하기 위하여 정사영상에서 명도의 차이가 뚜렷하게 변하는 경계를 암반 불연속면이라고 정의하였으며, 윤곽선 검출방법의 선택에서는 암반 사면의 불연속면의 특성, 방향성 및 폭을 고려하고 이들의 표현에 적합한 연산자를 선택하였다. 정사영상에서 경계선 검출을 하여 추출된 불연속면은 자동 벡터라이징에 의해 벡터화하였으며 일부 불완전한 구간에 대해서는 수동적인 방법에 의해 수정 및 보완하였다. 경계선 검출 방법에 의해 추출되어진 암반사면의 불연속 선구조의 벡터맵을 이용하여 실제 사면의 특정 부분을 실측한 결과와 비교하여 정확도를 산출하였다. 사면의 일부 절리의 폭을 측정한 값과 제작된 불연속면 벡터맵을 이용하여 측정한 측정값의 차이는 표 2와 같다. 실제 측정한 결과와 불연속면도에서 측정한 절리 간격은 약 1.0mm 정도 차이가 있었으며 실제 측정한 값이 벡터맵에서 측정한 값보다 작다는 것을 알 수 있었다. 이 같은 결과는 조사자에 의해 불연속면을 추출하여 분석하였던 기존의 방법보다 실제 사면에 대해 요구 정확도에 부응하는 정확한 불연속면의 정량적 특성들을 도출할 수 있음을 보여주고 있으며 이로부터 암반사면의 불연속면 추출 및 안정성 검토를 위한 기초 자료의 제공에 수치사진측량기법의 활용가능성을 입증할 수 있었다.

표 2. 절리 간격 측정치(단위 : mm)

No.	실제 측정값	벡터맵 측정값	Residual	Residual(%)
1	2.89	3.21	0.32	11.07%
2	3.77	4.52	0.75	19.89%
3	4.75	5.30	0.55	11.58%
4	6.96	7.90	0.94	13.51%
5	13.61	14.13	0.52	3.82%
6	11.09	11.93	0.84	7.57%
7	6.32	7.25	0.93	14.72%
8	7.08	8.07	0.99	13.98%
9	4.65	4.80	0.15	3.23%
10	6.34	7.31	0.97	15.30%

5. 결론 및 토의

본 수치사진측량을 이용한 시설물 기초지반의 불연속면 조사 분석 시스템 개발 연구를 통해 영동군에 위치한 암반사면에 대해 현장조사를 실시하고, 취득된 수치사진자료를 이용한 DEM 및 정사영상을 제작하였다. 연구사면에 대해 3차원 자료를 획득하여, 경사 및 경사방향 등 3차원 분석을 실시하였고, DEM 정확도 평가를 위해 실측 자료와 매트릭카메라 성과를 비교, 검증하였으며, 또한 불연속면을 자동으로 추출한 후, 그 정확도를 비교 검증하였다.

각종 영상매체의 개발과 컴퓨터 관련 기술의 발전 그리고 수치영상처리 기술의 눈부신 발전에 힘입어 정량적 분석과 그 적용에 괄목할 만한 발전을 이룩하고 있는 수치사진측량기술을 암반의 불연속면 조사 및 평가에 도입할 경우 정밀안전진단분야에 기술적 파급효과가 클 것으로 판단된다. 또한, 수치사진을 이용하면 시설물 및 암반사면 조사 자료의 객관화, 조사 기간의 단축, 조사 경비 절감 등의 효과가 있으며, 시설물 및 암반사면의 근접 조사가 어려운 경우 영상정보 획득으로 조사가 가능하고 조사자의 안정성도 확보된다. 또한 암반사면 DB화 및 3D 표현기법 개발로 체계적인 관리 및 시각적 표현 능력이 향상되며, 영상정보 및 GIS 기술을 이용한 시설물 및 암반사면 조사 기법의 과학적이고 체계적인 기술기법 제시 및 정밀안전 진단시 객관적이고 과학적인 자료를 제시할 수 있다. 본 연구는 차후 암반사면 및 구조물의 균열에 대한 조사와 지속적 관리 등에 활용될 수 있는 가능성을 가지고 있다. 특히, 다량의 3차원 수치고도자료를 균일한 정확도로 신속 정확하게 획득할 수 있고, 시설물 기초에 대한 GIS 구축을 위한 자료의 수집 및 분석기법 개선으로 다양한 분야에 그 활용 가능성이 증대될 수 있다. 또한 국가 주요 시설물에 대한 진단시 불연속면의 확장 및 추가 발생에 대한 비교, 분석과 이의 분석을 통한 결함 원인 도출 등 진단기술의 향상을 기대할 수 있으며, 개발된 기술을 시설물 균열 등의 외관조사 분야에 적용할 경우 객관적인 평가가 함께 차후 재진단시 균열의 확대 등을 검토하여 노후화 진척도 측정 가능할 것으로 사료된다.

