

# 근거리 수치사진측량을 이용한 국부지형모형의 생성 The Generation of Local Terrain Model using Digital Close-Range Photogrammetry

박운용<sup>1)</sup>, Park, Woon-Yong · 김정희<sup>2)</sup>, Kim, Jeong-Hee  
정공운<sup>3)</sup>, Jeong, Gong-Uhn · 송연경<sup>3)</sup>, Song, Youn-Kyung

- 1) 동아대학교 공과대학 토목해양공학부 교수
- 2) 경남대학교 토목환경공학부 교수
- 3) 동아대학교 토목공학과 박사과정

## 1. 서론

근거리 지상사진측량은 사진측량의 기본원리를 이용하여, 사진 상에 나타난 2차원 기하형상으로부터 대상물의 3차원 형상을 측정하는 기술로서, 카메라의 취급이 비교적 간단하고 카메라의 노출점을 임의로 결정하여 카메라와 대상물의 관계를 자유로이 조정할 수 있으므로 소규모지역 또는 지상의 대상물을 측정하는데 효과적으로 이용될 수 있다. 수치 사진의 영상을 이용하는 방법으로는 촬영된 사진을 스캐닝 하거나 디지털 카메라로 직접 얻어내는 방법이 있는데 최근에는 디지털카메라가 개발되어 근거리 사진측량에 많이 활용되고 있다. 자체저장 능력을 갖고 있는 디지털 카메라는 독립적인 이미지획득의 수행과 수치사진측정기법을 이용한 수치이미지의 실시간 처리가 가능하게 되었으며 이미지해석 분야에 많은 가능성을 제시하게 되었다. 사진측정기법을 이용한 수치이미지의 정밀분석을 위해서는 디지털카메라의 렌즈 검정(calibration)과 부화소 측정기법의 개발 등에 의한 자체 정확도 향상 및 최적의 촬영조건 도출에 관한 연구가 선행되어야 한다.

이에, 본 연구에서는 휴대가 간편하고 수치이미지의 자체 저장능력을 가진 Rollei d7 metric 디지털 카메라를 이용하여 촬영조건에 따른 위치오차를 분석하며, 높은 정확도의 sub-pixel좌표를 획득하기 위해 3차원 모니터링을 위한 기초자료와 수치근접사진측정기법의 국부지역모형생성의 활용방안을 모색하고자 한다.

## 2. 다중영상 접합의 원리

근거리 사진측량에서 다중영상접합이란 여러 장의 사진을 기하학적 원리를 이용하여 접합함으로써 대상물의 3차원 좌표를 획득하는 것이다. 다중영상접합의 표정은 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치( $X_c, Y_c, Z_c$ )와 회전요소( $\omega, \phi, \chi$ )에 대한 계산이며 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것이다.

### 2-1. 공선조건

공간상의 임의의 점(또는 대상물의 점 :  $X_p, Y_p, Z_p$ )과 그에 대응하는 사진 상의 점(또는 상점 :  $x, y$ ) 및 사진기의 촬영 중심( $X_0, Y_0, Z_0$ )이 동일 직선상에 있어야 하는 공선조건은 3점의 지상기준점을 이용하여 투영중심의 좌표( $X_0, Y_0, Z_0$ )와 표정인자( $\omega, \phi, \chi$ )를 후방교회법에 의하여 구하고 외부표정인자 6개와 상점( $x, y$ )를 이용하여 새로운 지상점의 좌표( $X, Y, Z$ )를 전방교회법에 의해 구한다.

### 2-2. 내부표정요소

내부 표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로 주점의 위치( $X_0, Y_0$ )와 주점( $ck$ )를 결정하는 것이다. 이론적으로 이상적인 카메라는 대상물 공간 속에서 카메라에 입사하는 빛이 렌즈 중심을 통하여 입사각과 같은 각으로 내부에서 직진하지만, 그러나 실제 카메라는 이와 같이 작용하지 않고 두개의 투영중심이 생



### 3-2. 한정요소 보정 모델

이미지-변형 매개변수 방법은 선택된 anchor 위치에 기반 하여 래스터 타입 수정 격자를 사용하는 한정요소로 고려하기 위해서이다. 각각의 격자점은 평면 벡터로부터 상응하는 수정 값을 제공한다. 다음의 1차 방정식(Kraus 2000) 식 (4) 에 의하면 정확히 켄 이미지 점에 대한 수정 값을 기입한다.

$$x_{korr} = (1 - x_l - y_l + x_l \cdot y_l) \cdot k_{x[i,j]} + (x_l - x_l \cdot y_l) \cdot k_{x[i+1,j]} + (y_l - x_l \cdot y_l) \cdot k_{x[i,j+1]} + x_l \cdot y_l \cdot k_{x[i+1,j+1]} \quad (4)$$

(similar function for  $y_{korr}$ )

여기에서,  $x_{korr}$ 은 측정된 이미지 좌표의 수정을 나타내고, 좌표  $x_l, y_l$ 은 요소격자로 측정된 내부이미지 점에 대한 공간위치 설명하며, 그리고  $k_{x[i,j]}, k_{x[i+1,j]}, k_{x[i,j+1]}, k_{x[i+1,j+1]}$  요소는 격자점에 관여하여 확인하여야 한다. 유사한 이미지 좌표( $y$ )에 관해서 비슷한 방정식 결과를 조정한다. 공선 조건식은 위에서 설명한 조건에 의해 확장된다. “잡음”으로부터 신호를 분리하기 위해서, 수정격자의 곡률 압박은 pseudo observations의 실제 센스 변형에서 측정하는 임의의 오차를 분리하여 식 (5)처럼 렌즈의 이미지오차를 고려하지 않는다(Kraus 2000).

$$0 = (k_{x[i,j-1]} - k_{x[i,j]}) - (k_{x[i,j]} - k_{x[i,j+1]})$$

$$0 = (k_{x[i-1,j]} - k_{x[i,j]}) - (k_{x[i,j]} - k_{x[i+1,j]}) \quad (\text{similar function for } k_{y[l]}) \quad (5)$$

## 4. 촬영시스템 및 데이터 처리

### 4-1. 촬영시스템

디지털 megapixel Rollei d7 metric 카메라의 기본적인 설계는 측량학 응용을 위해 이상적으로 디자인되어 있으며 2/3 센서와 7mm의 초점 길이는 35mm카메라의 28mm렌즈와 동일하다. 이미지는 PCMCIA 인터페이스를 통해 가공되지 않은 데이터를 다른 저장 매체로 저장 가능하다. RGB 영상의 변형과 왜곡된 매개변수의 수정은 응용 소프트웨어에 의해 PC에서 처리된다.

### 4-2. 사진촬영 / Field Sketch

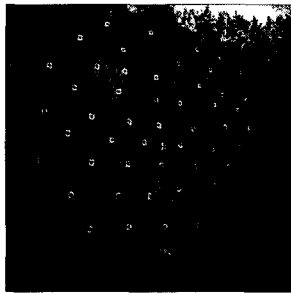


그림 1. 타겟 설치모습

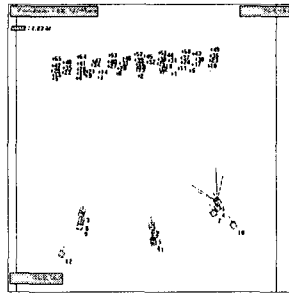


그림 2. x-y 면 스케치

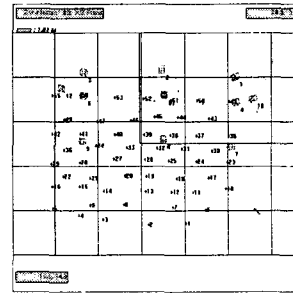


그림 3. x-z 면 스케치

타겟은 설치하는 object상에 최소 3개의 주요 기준점과 추가로 측정하고자 하는 점에 타겟을 설치하였다. 타겟의 설치 위치는 제한되지 않으나 추후에 self-checking이 가능하게 하기 위하여 전체 object에 걸쳐서 삼각형의 모양이 형성되도록 55점에 설치하였으며 카메라의 촬영 위치 및 방향을 대칭적으로 하여 12장의 이미지를 얻었다. 표정점간의 측척을 위해 대략적인 거리를 측정한다. 위의 그림 1은 실험에서 타겟을 설치한 사진이며 그림 2, 3은 측정 대상물의 촬영위치에 대한 스케치화면이다.

### 4-3. Bundle Adjustment

표정점의 사진좌표에서 카메라 내부표정과 모든 카메라의 외부표정 그리고 대상좌표가 최소제곱법 방식에 의해 동시에 계산되는 사진삼각측량 방법이다. 전방교회법과 후방교회법의 동시과정은 순차적인 표정 계산 방식이지만 번들조정은 동시에 표정점이 계산되는 특성이 있다. 따라서 전방교회법과 후방교회법 동시과정에 비해 오차 발생의 소지가 적다. 오차를 최소화할 수 있는 최소제곱법 계산 방식을 적용하므로 높은 정확도와 정밀도의 데이터를 분석할 수 있게 한다. 번들조정 후의 캘리브레이션 시트값이 표 1의 값과 같이 보

정되었으며 영상에 따른 카메라 위치를 나타내었다.

표 1. 보정 전후의 캘리브레이션 시트 변화값

	보정전	보정후
CK	-7.550	-7.560
Xh	-0.190	-0.193
Yh	0.2100	0.2743
A1	-2.243E-003	-2.226E-003
A2	4.381E-005	3.903E-005
R0	3.0	3.0

표 2. 카메라 위치

Image	X	Y	Z	Tilt	Axis	Swing
1	12.333	-43.243	8.298	-26.266	30.601	191.746
2	2.857	-46.626	9.163	-26.800	6.420	199.112
3	-7.135	-44.777	8.875	-29.218	-17.429	207.291
4	12.348	-44.133	5.142	-19.357	28.927	192.760
5	3.204	-47.707	6.117	-22.295	8.313	197.582
6	-7.224	-45.878	5.911	-21.293	-18.328	205.219
7	11.752	-44.858	-0.480	-6.044	26.481	193.864
8	3.003	-48.499	0.559	-9.491	6.155	199.205
9	-7.383	-46.690	0.296	-8.200	-17.545	203.891
10	14.581	-46.504	5.547	-13.905	31.186	292.842
11	3.105	-48.773	5.975	-16.073	8.093	-0.569
12	-10.040	-50.426	6.853	-17.811	-20.887	103.639

카메라의 위치는 표 2와 같으며 이는 번들조정으로 최소제곱법 방식에 의해 계산되었다. 보정전과 보정후의 x, y, z의 타겟의 좌표변화를 그림 4에, x, y, z의 타겟의 표준편차를 그림 5에 나타내었다.

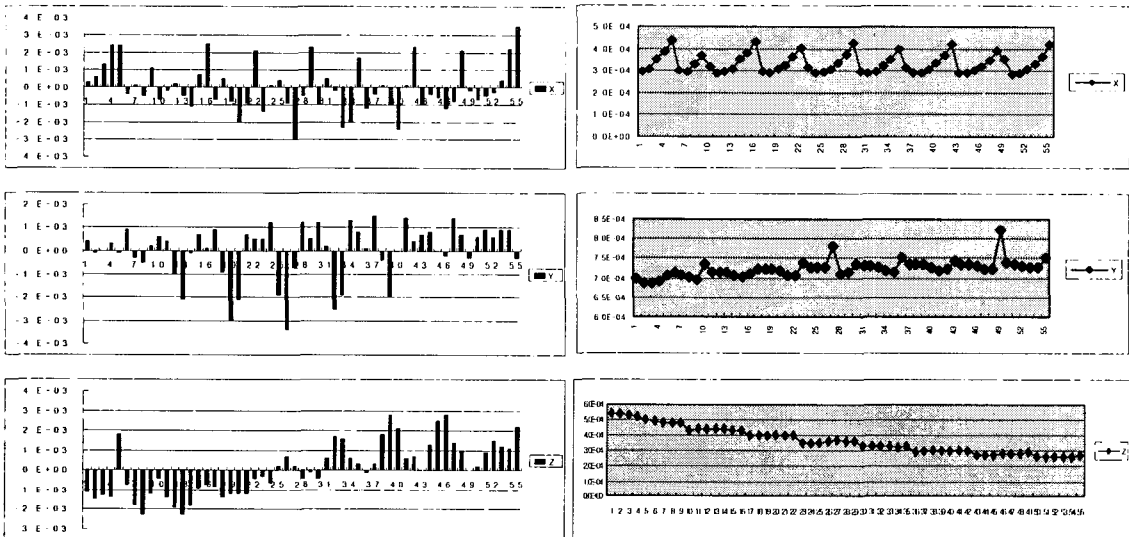


그림 4. x, y, z에서 object 좌표의 차이

그림 5. x, y, z 에서 object 표준편차

자동정합의 정확도 및 속도를 향상시키기 위해 영상재배열 과정을 수행했으며 중시차가 모두 소거된 상태의 영상으로 여러 영상에서 동일한점의 정합을 통해 시차차를 계산하고, 이 시차차에 의해 기준면으로부터 표고를 구할 수 있게 된다. 추출된 공역점을 바탕으로 좌우영상의 횡시차차를 관측하면 관측대상지역에 대한 입체 영상이 형성되며 이로부터 상대적인 수치고도모형이 만들어진다. 수치표고모형의 생성시에는 앞에서 평가한 모델링에 따른 위치결정의 정확도에 부가하여 두 영상에서의 공역점을 결정하는 영상정합에서의 오차, 격자형으로 보간을 수행하는 데 따른 오차 등이 누적된다. 영상정합은 현재까지 완전한 해를 제공하지 못하고 있으며, 상당히 많은 문제점을 내포한 채로 사용되고 있다. 따라서 영상정합에 의한 오차는 현재까지 피할 수 없으며, 수작업에 의한 보정으로도 이를 해결하기 곤란하다. 그림 6.은 국부지형모형을 생성하기 위해 선정된 실험지역이며, 그림 7.은 이를 삼차원으로 지형을 표현하였다. 그림 8.을 타겟을 설치한 배치도이다.

그림 9.는 등고선도이며, 그림 10.은 자동 생성된 수치표고모형으로 수치고도모형의 높이를 흑백의 색상으로 표시하는 고도영상으로 하얀 부분일수록 고도가 높은 지역을 나타내고 검은 부분은 낮은 지형을 표시한다. 이를 원영상과 비교해보면 확실히 인식이 가능하다.



그림 6. 국부 지형 실험지역

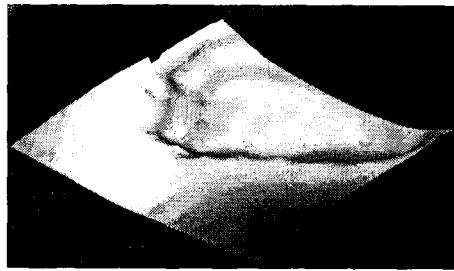


그림 7. 삼차원 지형추출

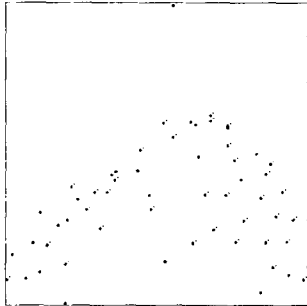


그림 8. 타겟 배치도

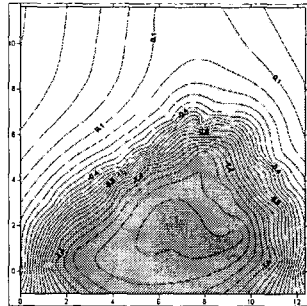


그림 9. 실험지역의 등고선도

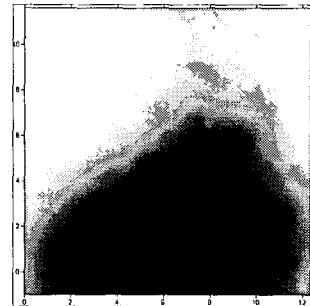


그림 10. 추출된 DEM

## 5. 결론

Rollei d7 metric 디지털 카메라를 이용하여 촬영조건에 따른 위치오차를 분석하며 대상물 표면에 설치된 타겟의 3차원 위치를 결정하기 위해 각 타겟의 변위를 측정하고 3차원 정확도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

자체 검정기법에 의한 촬영조건에 따른 위치오차를 분석하여 Rollei d7 metric 디지털 카메라의 기하학적 지식 및 수행성을 평가하기 위하여 내부표정요소 및 렌즈 왜곡 등에 관련된 기하학적 검정 매개변수들을 도출해 낼 수 있었으며 높은 정확도를 나타냄으로써 근거리 지상사진측량시스템의 잠재성을 확인할 수 있었다. 자체검정 광속조정은 카메라의 계통적 오차들을 효과적으로 보정해줌으로써 정확도를 크게 향상시킬 수 있었다. 따라서 자체검정기법을 적용하는 디지털 카메라에 의한 광학적 근거리 지상사진측량시스템은 산업의 차원적 품질 검사, 지형의 3차원 모델링 및 형상재현 등을 효율적으로 구현하여 대상물의 시각적 분석에 활용할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 박운용, 응용측량학, p367~482.
2. 강준목, 오원진, 배연성, 주영은, "인체형상 모니터링을 위한 수치근접사진측량의 정확도 분석", 대한토목학회 학술발표회 논문집, 1997, pp.135~138.
3. 이진덕, 연상호, 이병환, "스틸카메라의 자체검정에 의한 기하학적 수행성 평가", 대한토목학회 학술발표회 논문집, 1996, pp.105~108.
4. Tecklenburg, W., Luhmann, T., "Kameramodellierung mit bildvarianten Parametern und Finiten Elementen", Publikationen der DGPF, Band 9, 2000.
5. Yongru, Huang, "A Digital Photogrammetry System for Industrial Monitoring". PhD. thesis, UNSW, School of Geomatic Eng., 1996.
6. Trinder, J.C., "Precision of digital target location", PE&RS, 55(6) : 883-886, 1989.