

국부지형모형을 이용한 수치사진측량의 효율적 적용 Effective Application of Digital Photogrammetry using Local Terrain Model

박운용¹⁾ · 김정희²⁾ · 문두열³⁾ · 정공운⁴⁾

Park, Woon Yong · Kim, Jung Hee · Moon, Doo Youl · Jeong, Gong Uhn

¹⁾ 동아대학교 토목해양공학부 교수 (E-mail: uypark@daunet.donga.ac.kr)

²⁾ 경남대학교 토목환경공학부 교수 (E-mail: geodesy@kyungnam.ac.kr)

³⁾ 동의대학교 토목공학과 교수 (E-mail: dymun@hyomin.donggeui.ac.kr)

⁴⁾ 동아대학교 토목공학과 박사 수료 (E-mail: gwjeong@hist.co.kr)

Abstract

Digital high resolution cameras are widely available, and are increasingly use in digital close-range photogrammetry. And photogrammetry instruments are developing rapidly and the precision is improving continuously. The building of 3D terrains of high precision are possible and the calculation of the areas or the earthwork volumes have high precision due to the development of the technique of the spatial information system using computer. In this study, using the digital camera which has capacity of keeping numerical value by itself and easy carrying, we analyze the positioning error according to various change of photographing condition. Also we try to find a effective method of acquiring basis data for 3D monitoring of high-accuracy in pixel degree through digital close-range photogrammetry with bundle adjustment for local terrain model generation and earthwork volume.

1. 서론

최근 디지털 카메라의 개발과 해상도 향상, 전산처리기술의 발달로 수치영상의 정량적 분석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 수치사진측량은 대상물(object)에 대해서 수치화된 영상을 취득하고, 이를 수치영상처리(digital image processing)함으로써 과거 고가의 장비에 의해서 처리되던 정보를 PC에서도 처리, 출력할 수 있다. 자체저장 능력을 갖고 있는 디지털 카메라는 독립적인 영상획득의 수행과 수치사진측정기법을 이용한 수치영상의 실시간 처리가 가능하게 되었으며 영상 해석 분야에 많은 가능성을 제시하게 되었다. 지형의 특성을 공간상에 수치적으로 표현하는 수치표고모형(DEM; Digital Elevation Model)은 최근 건설 분야의 계획 단계에서 광범위하게 적용이 되어 오고 있다. 특히, 도로 설계와 도시 계획에 있어서 수치표고모형을 이용한 토공량의 산정은 그 대표적인 적용 분야들이며, 토공량의 산정은 전체 공사비 산정과 밀접한 관계가 있기 때문에 그 정확도를 높이는 것은 현재의 중요한 연구 과제이다. 토공량 산정 정확도와 관련된 요소들은 일반적으로 자료 점의 밀도, 표고자료의 정확도, 지형의 형태, 보간기법, 자료 취득방법이며, 이들 요소를 충분히 고려하여야 보다 정확한 토공량 산출이 이루어 질 수 있다.

본 연구에서는 소규모 지역의 공사현장의 토공량을 신속하게 계산하기 위하여 근거리 수치사진측량(digital close-range photogrammetry)을 이용하여 국부지형모델(LTM : Local Terrain Model)을 생성한 후 토공량 산출을 하였다. 사전작업으로 보다 정확한 국부지형모델을 생성하기 위하여 자체검정방법(self calibration method)을 실시하여 다중영상접합의 원리를 적용하고 광속조정법(bundle adjustment method)을 실시하였다. 또한 도심증정방법과 타원경계추출법으로 타켓의 위치측정 정확도를 살펴보고, 타켓 분석 결과를 통해 가장 우수한 결과의 기법으로 실험대상지역의 국부지형모델을 생성하였다. 또한 정확도의 검

토를 위해 토탈 스테이션(TS : Total Station)으로 측정된 3차원 좌표값과 비교하였다. 근거리 수치사진측량을 이용하여 국부지형모델을 구축하고 토공량을 산출하여 건설현장의 기초 자료 및 경제적인 보조 자료로서의 활용방안을 모색하고자한다. 그림 1은 본 논문의 연구 수행 과정이다.

2. 촬영시스템

2.1 현장자체검정

대상물 공간(object space)과 상공간(image space)사이의 기본투영이론인 공선조건이 바르게 적용될 수 있기 위해서는 우선 검정을 통하여 카메라 내부의 기하학적 특성을 도출하여야 한다(이진덕 등, 1996). 이러한 지식 없이 유도된 대상물 공간에서의 측정값들은 정오차의 영향을 받게 되어 정확도가 저하된다.

2.1.1 사진 촬영

수치영상의 획득을 위한 장비로는 Rollei사에서 제조한 d7 metric 카메라를 사용하였으며, 사용된 타켓 형태로 직경 13mm의 원형 타켓으로 흑백의 명암과 원 중심을 자동으로 인식한다.

그림 2는 자체 검정을 위해 촬영한 영상이며, 그림 3은 촬영점과 타켓의 배치도이다. 타켓의 설치는 약 6m×5m 벽면에 원형 타켓을 55점에 걸쳐 설치하였으며 카메라의 촬영 위치 및 방향을 대칭적으로 하여 12장의 영상을 얻었다. 표정점간의 측적을 위해 거리를 측정하였다.

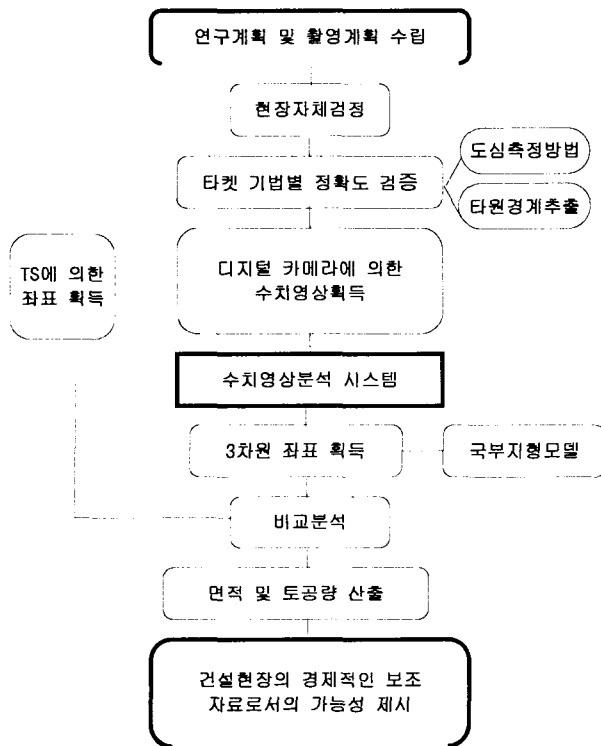


그림 1 연구 수행과정



그림 2 타켓 설치모습

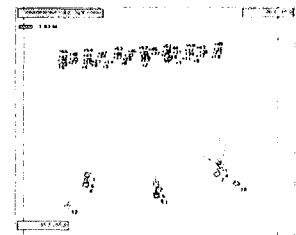


그림 3 배치도

표 1 보정 전후의 검정표 변화값

Calibration Rollei d7 metric		
	보정전	보정후
ck	-7.550	-7.560
Xh	-0.190	-0.193
Yh	0.2100	0.2743
A_1	-2.243E-003	-2.226E-003
A_2	4.381E-005	3.903E-005
R_0	3.0	3.0

ck : 초점거리

Xh, Yh : 주점좌표

A_1, A_2 : 방사-대칭 왜곡 매개변수들

R_0 : 방사왜곡이 0일때 주점까지의 반지름

2.1.2 자료 처리

왜곡수차 보정 시에는 방사방향 왜곡 수차와 접선방향 왜곡 수차를 보정해야 하지만, 접선방향 왜곡 수차는 극히 작은 수치이므로, 최소제곱법에 의해 구해진 1차 왜곡상수와 2차 왜곡상수를 적용하여 방사방향 왜곡 수차만을 보정해 주었다.

각각의 영상마다 타켓을 확대하여 표정점을 측정하고, 연속된 영상에서 중복 측정된 표정점은 공선조건을 기초로 한 다중영상표정에서 후방교회법과 전방교회법을 동시에 수행하며, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하게 된다. 광속조정 후의 검정 값이 표 1의 값과 같이 보정되었다.

2.2 타켓 측정 기법별 정확도 실험

2.2.1 사진촬영

타켓의 설치는 약 6m×5m 벽면에 원형 타켓을 설치하였다. 타켓은 총 55점을 설치하였고, 중복촬영을 통해 총 9장의 영상을 얻었다. 그리고 표정점간의 축척을 위해 거리를 측정하였다. 그림 4는 타켓 배치도를 나타내었다.

본 연구에서는 동일 대상물에 대해 타켓 측정 기법을 4가지 방법으로 적용하여 영상좌표를 얻고 이를 광속 조정하여 3차원 결과를 얻음과 동시에 각각에 대한 정확도를 분석하고자 한다. 그림 5는 도심 위치결정법이 유리한 타켓 영상이며, 그림 6은 타원경계추출법이 유리한 타켓 영상이다.

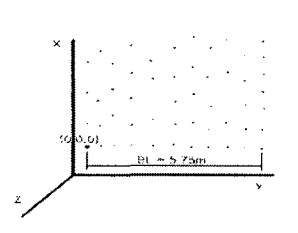


그림 4 타켓 배치도

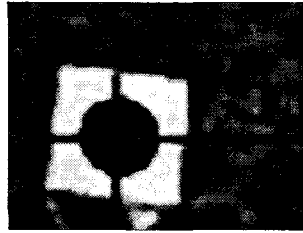


그림 5 원형 타켓 피팅

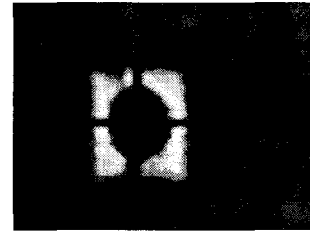


그림 6 타원형 타켓 피팅

2.2.2 자료 처리

대상물상의 타켓의 3차원 좌표는 외부표정의 초기값과 영상좌표 그리고 다중영상표정을 이용하여 광속 조정으로 얻어졌다. 그리고 각 표정점 좌표의 잔차와 3차원 위치정확도를 분석하였다. 도심측정방법의 경우에는 픽셀의 밝기값(grey value)을 경중률로 고려한 방법에 대해 정확도를 분석하였으며 타원경계추출법에서는 외곽추출조절방법으로 정확도를 분석하였다. 경중률을 고려한 도심측정방법과 외곽검출 타원경계추출법으로 타켓의 위치를 결정하고 광속 조정한 X, Y, Z 좌표 표준편차를 표 2와 그림 7에 보였다.

도심측정방법만을 적용한 결과(C)와 타원경계추출법만을 적용한 결과(E), 두 가지 방법을 다 적용한 결과(C-E), 두 가지 방법을 둘 다 사용하지 않은 경우(Natural)로 나타내었다. 도심측정방법에서 경중률을 고려하지 않은 경우에 임계값의 선택에 영향을 많이 받지만 양호한 결과를 보였다. 타원경계추출법의 경우는 도심측정방법의 경우보다 다소 양호한 결과를 보였다. 결과적으로 두 가지 방법을 다 고려하지 않은 경우가 가장 높은 오차를 보였고 그 다음은 도심측정방법을 고려한 경우였으며 가장 낮은 오차를 보인 것은 두 가지 방법을 다 고려한 경우로써 Z좌표에서 역시 가장 높은 오차를 보이는데 이는 영상의 수를 증가시키고 수렴각을 다양하게 함으로써 오차를 낮출 수 있을 것이다. 두 가지 방법을 다 고려한 경우 표준편차는 X좌표에서 ±2.390mm, Y 좌표에서 ±2.480mm, Z좌표에서 ±6.620mm 였으며, 공간오차는 7.462mm로 나타났다.

표 2 타켓 측정 기법별 표준편차

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	공간오차 (mm)
C-E	2.390	2.480	6.620	7.462
E	2.610	2.560	7.110	7.995
C	3.055	3.175	7.670	8.845
Natural	3.195	3.210	9.355	10.394

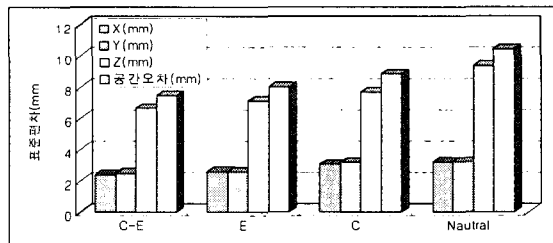


그림 7 타켓 측정 기법별 표준편차

3. 국부 지형 모델 생성 및 토공량 산정

3.1 사진 촬영 및 TS측위

실험대상지역에 54개의 타켓을 부착하고 카메라의 촬영 위치 및 방향을 대칭적으로 하여 20장의 영상을 얻었다. 표정점간의 축척을 위해 각 끝부분의 타켓 사이의 거리를 측정한다.

아래의 그림 8은 건설현장의 실험대상지 모습이며 국부적으로 굴곡이 많이 발생한 부위에는 타켓을 조밀하게 배치하였다. 또한 그림 9와 같이 각 측점에 대하여 3차원 좌표를 SOKKIA사의 SET2B 최소 0.5" 독 Total Station으로 정밀하게 관측하였다.

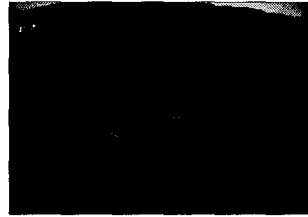


그림 8 국부 지형 실험지역



그림 9. TS 작업

연속된 20장의 영상에서 54개의 표정점을 중복 측정하여 다중영상표정에서 후방교회법과 전방교회법을 동시에 수행하고, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하게 된다. 그림 10에 근거리 수치사진측량의 3차원 좌표의 표준편차를 나타내었고, 그림 11에 근거리 수치사진측량의 3차원 좌표와 TS 좌표의 표준편차를 나타내었다.

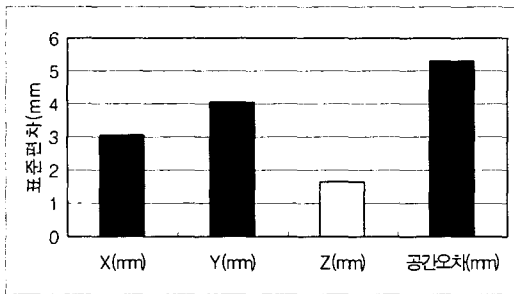


그림 10 3차원 좌표의 표준편차

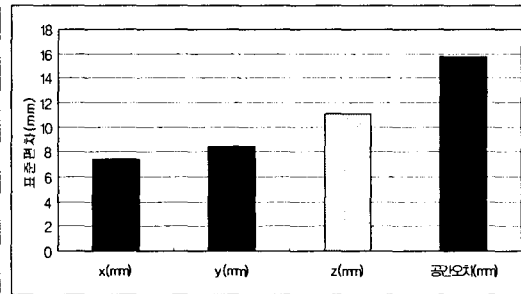


그림 11 DP-TS의 표준편차

근거리 수치사진측량으로 결정된 대상물 3차원 좌표의 표준편차는 그림 10과 같이 X방향으로 3.050mm, Y방향으로 4.040mm, Z방향으로 1.630mm, 공간오차는 5.318mm로 나타났다. 근거리 수치사진측량의 3차원 좌표와 TS 좌표의 표준편차는 그림 11과 같이 X방향으로 7.452mm, Y방향으로 8.434mm, Z방향으로 11.059mm, 공간오차는 15.779mm로 나타났다.

3.2 국부지형모델 생성

조정된 표정점 좌표를 기초로 상용 프로그램인 Surfer를 이용해서 크리징(Kriging)보간법으로 국부 지형모델을 생성하였다. 건설현장의 3차원 지형 모델을 통하여 형상재현을 효과적으로 구현하여 시각화 하고자 하였다. 크리징 보간법은 관측점이 불규칙한 경우에 등고선이나, 곡면의 보간 등에 유용하며 자료의 경향을 나타낼 수 있다.

그림 12는 등고선도, 그림 13은 국부지형모델의 3차원 DSM(Digital Surface Model)을 나타내었다.

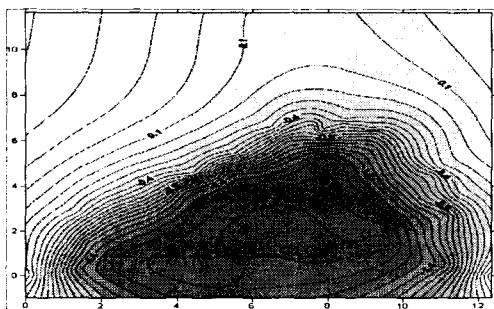


그림 12 등고선도

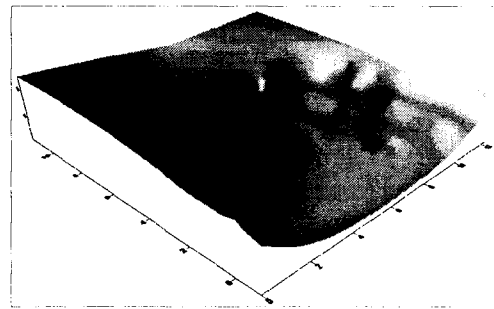


그림 13 3차원 DSM

3.3 토공량 산정

건설현장의 기초 자료로서의 효율성을 증대시키고자 근거리 수치사진측량으로 생성된 국부지형모델을 이용하여 보간기법과 체적 산정방식에 따라 최적 토공량을 산정하였다.

관측이 이루어진 영역에서 실제 현실의 변수값을 평가하는 보간기법은 여러 가지가 있으나 그중에서 역거리(Inverse Distance to a Power : IDP)보간법, 최근린(Nearest Neighbor : NN)보간법, 크리정보간법(Kriging), 불규칙삼각망보간법(Triangulation with Linear Interpolation : TIN)을 적용하였다.

표 3 보간기법 별 토공량 산정

산정방식	근거리수치사진측량				TS			
	I.D.P	N.N	Kriging	TIN	I.D.P	N.N	Kriging	TIN
Trapezoidal Rule(m ³)	99.371	105.230	99.523	101.414	97.261	104.088	98.779	96.924
Simpson's Rule(m ³)	99.374	105.232	99.531	101.445	97.265	104.129	98.874	96.940
Simpson's 3/8 Rule(m ³)	99.374	105.233	99.531	101.443	97.264	104.084	98.387	96.951
Average Volumes(m ³)	99.373	105.232	99.528	101.434	97.264	104.101	98.680	96.938
Surface Area(m ²)	89.328	112.373	90.046	95.556	88.226	112.114	89.946	95.377

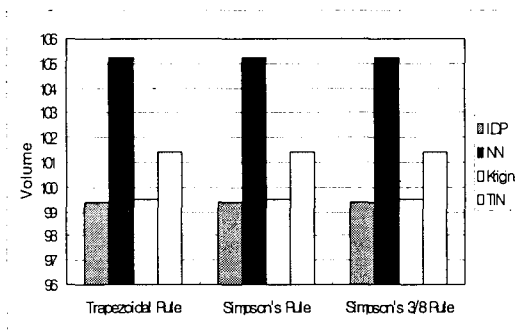


그림 14 보간기법 별 토공량
(근거리 수치사진측량)

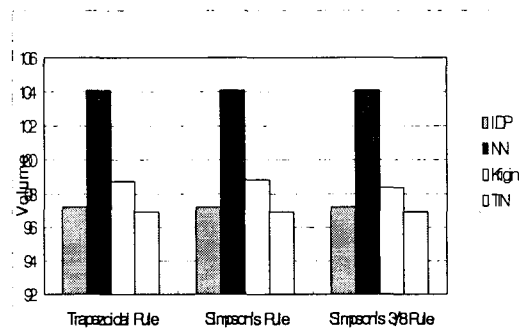


그림 15 보간기법 별
토공량 산정(TS)

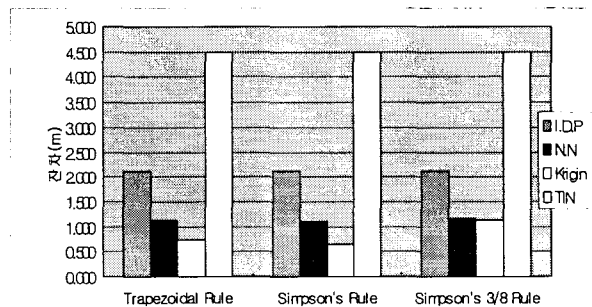


그림 16 보간기법 별 잔차
(근거리 수치사진측량과 TS의 차)

표 3, 그림 14, 15은 근거리 수치사진측량과 TS로 획득한 좌표를 사용하여 각 보간기법 별 토공량을 나타내고 있다. 획득한 3차원 좌표를 이용해서 각 보간기법 별로 체형법, 심프슨 1/3법, 그리고 심프슨 3/8법을 적용한 결과 토공량의 값은 미소한 차이를 보였고, 각 보간기법을 적용했을 때 근거리 수

치사진측량과 TS로 획득된 평균 토공량의 차이가 I.D.P에서 2.109m²(2.169%), N,N에서 1.131m²(1.087%), Kriging에서 0.848m²(0.859%), 그리고 T.I.N에서 4.496m²(4.638%)으로 나타났다. 이것은 근거리 수치사진측량으로 획득한 측점수가 TS의 측점수에 비해 많아서 보간이 더욱 정교하게 이루어졌기에 이런 결과가 나타났으며 크리정보간법을 사용하였을 경우에 가장 작은 잔차를 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 Rollei d7 metric 카메라를 이용하여 현장자체검정을 실시하여 렌즈검정을 하고 디지털 타켓에 대한 위치결정기법을 이용하여 정확도를 비교하였으며 근거리 수치사진측량을 이용하여 국부지형모델을 생성하여 보간기법 별로 토공량을 산정하고 TS를 이용하여 3차원 좌표를 획득하여 이를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현장자체검정실험으로 내부표정요소 및 렌즈 왜곡 등에 관련된 기하학적 검정 매개변수들을 도출하여 보정해줌으로써 정확도를 크게 향상시킬 수 있었으며, 도심측정방법과 타원경계추출방법을 여러 가지로 조합하여 적용한 결과 정확도는 타원경계추출방법과 도심측정방법을 동시에 적용되었을 경우가 가장 우수하였다.
2. 근거리 수치사진측량과 TS로 토공량의 평균을 구한 결과, 토탈스테이션과 근거리 수치사진 측량의 평균 토공량의 차이는 평균 2.146m²(2.185%)로서 매우 미소하여, 근거리 수치사진 측량의 성과는 충분히 토공량 산정에 적용될 수 있음을 보여주고 있다.
3. 디지털 카메라를 이용한 근거리 수치사진측량시스템은 국부지형모델 생성, 대상물의 3차원 모델링 및 형상재현 등을 효율적으로 구현하여 건설현장의 3차원 지형의 시각적 분석에 활용할 수 있을 뿐만 아니라 토공량을 산출하여 건설현장의 기초 자료 및 경제적인 보조 자료로서 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

이석군(1998), CCD 사진기와 객체지향기법을 이용한 근거리 수치사진측량에 관한 연구, 박사학위논문, 연세대학교 대학원, pp.1.

Rollei Fototechnic GmbH(2002), Rollei metric CDW User Manual, pp.25~27.

이진덕, 최용진(2001), CCTV 유형 CCD카메라를 이용한 근거리 산업사진측량의 정확도, 한국 측량학회지, 제 19권 제 3호, pp.284.

이진덕, 연상호, 이병환(1996), 스틸카메라의 자체검정에 의한 기하학적 수행성 평가, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.105.

한승희(1999), 디지털 타켓의 중심측정을 위한 도심측정방법과 외곽선 추출·타원 피팅방법의 정확도 분석, 대한토목학회지, 제 19권 제Ⅲ-3호, pp.434.