

촬영위치에 따른 근접수치사진측량의 3차원 위치 해석

Analysis of Three Dimensional Position According to Photographing Position in Close-Range Digital Photogrammetry

이종출¹⁾ · 서동주²⁾ · 노태호³⁾ · 남신⁴⁾

Lee, Jong Chool · Seo, Dong Ju · Roh, Tae Ho · Nam, Shin

- 1) 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)
- 2) 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사(E-mail:dpsdj@mail1.pknu.ac.kr)
- 3) 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수료(E-mail:rth1348@mail1.pknu.ac.kr)
- 4) 부경대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:southgodnol@korea.com)

Abstract

As the approach close-range digital photogrammetry has a variety of merits, the application of precision requiring fields is in increase for its scope expansion. In the meantime, in case of photographic surveying by use of films, a lot of studies on experiment analysis and theoretical forecast models about a change of the exactness as per photographing coordinates have been conducted, but experiments about approach close-range digital photogrammetry are not enough yet. In consequence, this study has made photographing respectively by changing the photographic distance, converging angle, picturing direction by use of Rollei d7 metric and d7 metric⁵ that is a measurement digital camera. And also in order to minimize the errors happened at the relative orientation, we have sorted out the prototype target that the relative orientation is automatically on the programming and have calculated RMSE by carrying out the bundle adjustment. We think that such a study could be used as very important basic data necessary in deriving the optimal photographic conditions by the close-range digital photogrammetry and in judging such a degree.

1. 서론

수치영상을 이용하여 대상물을 처리하는 근접수치사진측량은 고정밀도, 다양한 수치영상의 이용성, 하드웨어와 소프트웨어의 발전, 실시간처리의 필요성, 비용절감, 작업속도의 증가, 자동화 그리고 일관된 결과물의 산출 등의 많은 장점들을 가지고 있어서 기계, 의학, 문화재 측정 등 정밀을 요구하는 분야의 응용은 더욱더 그 범위가 증대되어 가고 있는 실정이다(유복모, 2001), (Abdel-Aziz, 1974).

근접수치사진측량의 촬영방법에는 직교수평촬영(normal case)과 수렴촬영(convergent case)이 주로 사용되고 있으나, 수렴촬영이 촬영방향을 설정하기가 용이하고 같은 기선거리비에 대하여 최대의 모델 피복면적을 얻을 수 있고, 높은 정확도를 얻을 수 있다(손덕재, 1989).

필름을 이용한 사진측량의 경우, 촬영위치에 따른 정확도 변화에 대한 실험분석과 이론적 예측모델에 대한 다수의 연구가 이루어져 왔으나, 근접수치사진측량에 대해서는 그에 대한 실험은 아직 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 근접수치사진측량을 이용하여 평면형 대상물에 대하여 촬영거리, 수렴각, 촬영방향을 변화시킨 후 3차원 위치를 분석하여 최적촬영조건을 도출하고자 한다.

2. 광속조정법

광속 조정법에는 각 사진상에서 관측된 기준점과 중·횡점합점의 사진좌표를 관측값으로 취급하여, 이들 좌표값에 대해 잔차의 제곱을 최소화하여 각 사진의 외부 표정요소 ($X_0, Y_0, Z_0, K, \Psi, \omega$) 및 중·횡점합점의 사진좌표(X, Y, Z)를 해석한다. 번들 조정법의 기본적인 수학적 모델은 다음과 같은 공선조건식으로 나타낼 수 있다.

$$F_{x_{ij}} = F[x_{ij}, (X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, \kappa)_i, (X, Y, Z)_j] \quad (1)$$

$$G_{y_{ij}} = G[y_{ij}, (X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, \kappa)_i, (X, Y, Z)_j]$$

여기서,

(x_{ij}, y_{ij}) : 사진 I의 점 j의 좌표.

$(X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, \kappa)_i$: 사진 I의 외부표정요소

$(X, Y, Z)_j$: 점 j의 절대좌표 이다.

식(1)을 미지의 외부표정요소 및 절대좌표값에 대하여 Taylor급수를 이용하여 선형화하고, 2차원 이상을 무시하면 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} F^0_{x_{ij}} + V_{x_{ij}} - \frac{\partial F_x}{\partial X_0} \delta X_0 - \frac{\partial F_x}{\partial Y_0} \delta Y_0 - \frac{\partial F_x}{\partial Z_0} \delta Z_0 - \frac{\partial F_x}{\partial \Omega} \delta \Omega \\ - \frac{\partial F_x}{\partial \Phi} \delta \Phi - \frac{\partial F_x}{\partial \kappa} \delta \kappa - \frac{\partial F_x}{\partial X} \Delta X - \frac{\partial F_x}{\partial Y} \Delta Y - \frac{\partial F_x}{\partial Z} \Delta Z = 0 \\ G^0_{y_{ij}} + V_{y_{ij}} - \frac{\partial G_y}{\partial X_0} \delta X_0 - \frac{\partial G_y}{\partial Y_0} \delta Y_0 - \frac{\partial G_y}{\partial Z_0} \delta Z_0 - \frac{\partial G_y}{\partial \Omega} \delta \Omega - \frac{\partial G_y}{\partial \Phi} \delta \Phi \\ - \frac{\partial G_y}{\partial \kappa} \delta \kappa - \frac{\partial G_y}{\partial X} \Delta X - \frac{\partial G_y}{\partial Y} \Delta Y - \frac{\partial G_y}{\partial Z} \Delta Z = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

V_x, V_y : 사진좌표의 근사값 x_0, y_0 의 잔차

$$F^0_{x_{ij}} = F_{x_{ij}}(x^0_{ij}, X^0_{0i}, Y^0_{0i}, Z^0_{0i}, \Omega^0_i, \Phi^0_i, \kappa^0_i, X^0_j, Y^0_j, Z^0_j)$$

$$G^0_{y_{ij}} = G_{y_{ij}}(y^0_{ij}, X^0_{0i}, Y^0_{0i}, Z^0_{0i}, \Omega^0_i, \Phi^0_i, \kappa^0_i, X^0_j, Y^0_j, Z^0_j)$$

식 (2)를 행렬형태로 간단히 나타내면,

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}_{ij} - \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 \\ b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} \delta X_0 \\ \delta Y_0 \\ \delta Z_0 \\ \delta \Omega \\ \delta \Phi \\ \delta \kappa \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_j = - \begin{bmatrix} F_{x^0} \\ G_{y^0} \end{bmatrix}_{ij} \quad (3)$$

이 된다.

식 (3)을 간단히 표시하면, (4)식이 된다.

$$V_{ij} - a_{ij} \delta_i + \beta_{ij} \Delta_j = F_{ij}^0 \quad (4)$$

(2×1) (2×6) (6×1) (2×3) (3×1) (2×1)

(3)식 및 (4)식은 각 사진상의 점의 관측값에 대하여 선형화된 관측방정식이다.

여기서,

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}_{ij} \quad a_{ij} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 \\ b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \end{bmatrix}$$

$$\delta_i = \begin{bmatrix} \delta X_0 \\ \delta Y_0 \\ \delta Z_0 \\ \delta \Omega \\ \delta \Phi \\ \delta x \end{bmatrix}_i$$

$$\beta_{ij} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_j = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_j$$

$$F_{ij}^0 = \begin{bmatrix} Fx^0 \\ Gy^0 \end{bmatrix}_{ij}$$

즉 (4)식에서 δ_i 와 Δ_j 를 구하여 대상물의 3차원공간좌표와 공간후방교회법요소 $X_0, Y_0, Z_0, x, \Phi, \Omega$ 를 계산 할 수 있다.

3. 관측장비제원 및 관측방법

3.1 관측장비제원

수치영상의 획득을 위한 장비로는 Rollei사에서 제조한 d7 metric과 d7 metric⁵ 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 그림 1과 표 1과 같다.

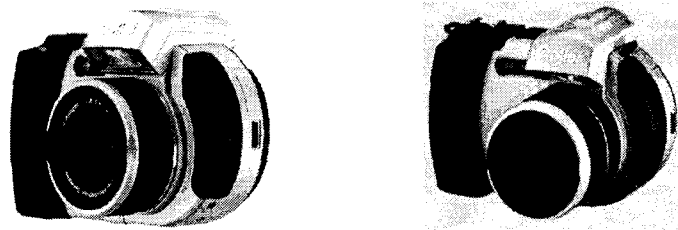


그림 1 관측장비

표 1 관측장비제원

Classification	Rollei d7 metric	Classification	Rollei d7 metric ⁵
Recording mode	CCD recode	Recording mode	CCD recode
Shutter	1/8 ~ 1/10,00 sec	Shutter	1/8 ~ 1/8,000 sec
Focal Length	7.3 mm	Focal Length	7 mm
Dimensions	151×102×106 mm	Dimensions	151×102×106 mm
Weight	650g(without batteries)	Weight	650g(without batteries)
Pixel in X	1,280	Pixel in X	2,552
Pixel in Y	1,024	Pixel in Y	1,920

3.2 관측방법

본 연구에서는 지상사진측량에서 가장 많이 접하게 되는 평면형 대상물에 대한 수렴촬영 시스템의 최적 촬영조건을 도출하기 위해 먼저 촬영방향은 대상물의 중심방향을 향하고 수렴각은 30°를 유지하며 촬영거리를 1m에서 10m까지 변화시키며 촬영하였으며, 다음은 촬영거리를 4m로 일정하게 유지하며 촬영방향은 대상물의 중심방향을 향하여 수렴각을 변화시키며 촬영하였으며, 마지막으로는 촬영거리와 수렴각은 4m와 30°로 유지하면서 촬영방향을 변화시켜 촬영하였다. 대상물의 배치 및 좌표계는 그림 2와 같다.

사용된 타겟은 운용자의 표정작업 시 일어나는 오차를 최소화 하기 위해 프로그램에서 자동적으로 검출되는 원형타겟을 사용하였다.

사용된 기준점은 총 5점으로 각 대상물에 대하여 3차원 좌표를 최소 0.5 ~ 1m Total Station을 이용하여 삼각수준측량방법으로 정밀하게 관측하였다.

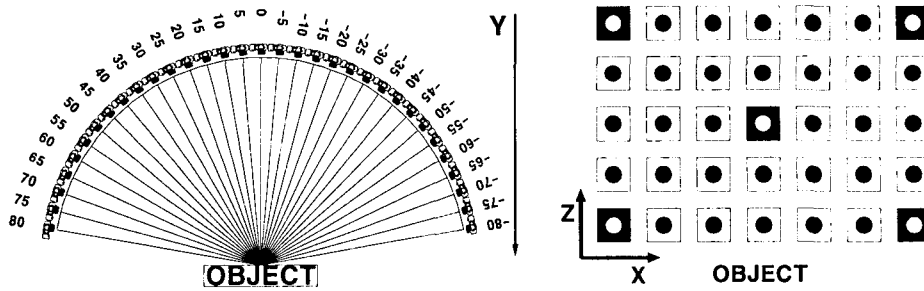


그림 2 관측방법 및 대상물 배치

4. 관측결과 및 분석

본 연구에서는 근접수치사진측량의 촬영위치 변화에 따른 정도를 해석하기 위해 Rollei사에서 제조한 d7 metric과 d7 metric⁵ 카메라 두 대를 사용하여 촬영을 하고, 거리별, 수렴각별, 촬영방향별로 광속조정법을 실시하여 각각의 RMSE를 구한 결과 표 2, 3, 4와 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 이것을 도식화하면 그림 3, 4, 5와 같다.

표 2 거리별 RMSE

(단위 : mm)

d7 metric				d7 metric ⁵			
거리(m)	X	Y	Z	거리(m)	X	Y	Z
1	0.28	0.94	0.33	1	0.44	1.42	0.53
2	0.13	0.47	0.14	2	0.16	0.59	0.17
3	0.17	0.62	0.17	3	0.16	0.57	0.16
4	0.26	0.98	0.26	4	0.14	0.53	0.14
5	0.26	0.93	0.25	5	0.19	0.69	0.18
6	0.41	1.57	0.40	6	0.17	0.64	0.17
7	0.42	1.35	0.40	7	0.18	0.66	0.18
8	0.69	2.20	0.66	8	0.21	0.78	0.21
9	0.59	2.35	0.58	9	0.30	1.13	0.29
10	0.79	2.72	0.76	10	0.32	1.22	0.31

표 3 수렴각별 RMSE

(단위 : mm)

d7 metric				d7 metric ⁵			
수렴각(도)	X	Y	Z	수렴각(도)	X	Y	Z
10	0.38	3.62	0.34	10	0.19	1.78	0.17
20	0.29	1.56	0.27	20	0.19	1.09	0.19
30	0.24	0.89	0.23	30	0.23	0.87	0.22
40	0.31	0.87	0.29	40	0.23	0.65	0.22
50	0.29	0.63	0.26	50	0.23	0.51	0.21
60	0.30	0.53	0.26	60	0.22	0.39	0.19
70	0.32	0.62	0.35	70	0.21	0.31	0.17
80	0.34	0.41	0.26	80	0.23	0.30	0.18
90	0.42	0.26	0.34	90	0.28	0.29	0.20
100	0.52	0.49	0.37	100	0.31	0.27	0.20
110	0.51	0.37	0.30	110	0.34	0.25	0.20
120	0.65	0.39	0.33	120	0.35	0.21	0.18
130	0.81	0.39	0.35	130	0.53	0.26	0.23

표 4 촬영방향별 RMSE

(단위 : mm)

d7 metric				d7 metric ⁵			
방향각(도)	X	Y	Z	방향각(도)	X	Y	Z
-50	1.21	1.03	0.30	-50	0.60	0.52	0.20
-40	0.71	0.84	0.27	-40	0.48	0.57	0.18
-30	0.49	0.79	0.23	-30	0.39	0.63	0.18
-20	0.58	0.93	0.25	-20	0.29	0.65	0.18
-10	0.32	0.99	0.26	-10	0.21	0.66	0.17
0	0.24	0.89	0.23	0	0.22	0.77	0.20
10	0.41	0.95	0.25	10	0.24	0.76	0.20
20	0.46	1.00	0.27	20	0.27	0.60	0.16
30	0.54	0.85	0.26	30	0.50	0.79	0.24
40	0.65	0.75	0.26	40	0.55	0.64	0.20
50	1.06	0.91	0.31	50	0.61	0.51	0.20

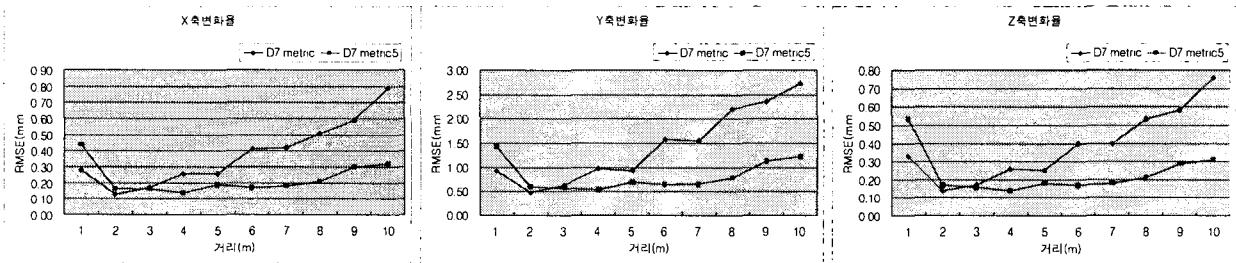


그림 3 거리별 RMSE

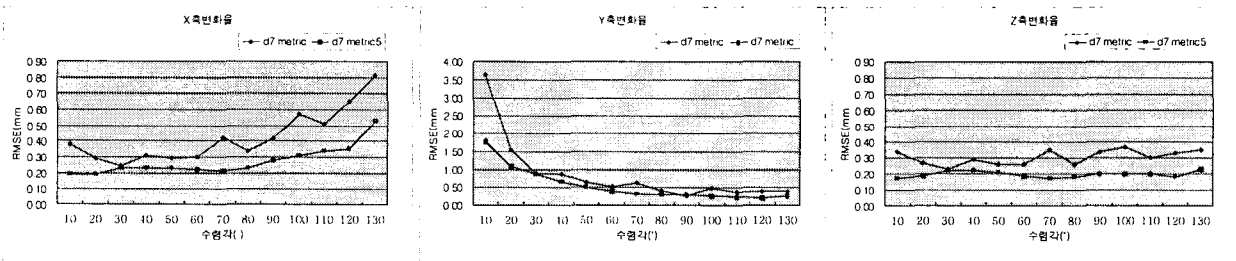


그림 4 수렴각별 RMSE

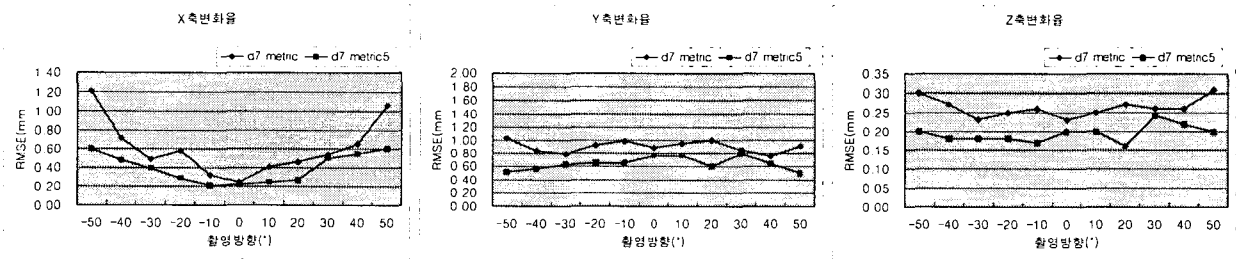


그림 5 방향별 RMSE

5. 결론

근접수치사진측량의 촬영위치 변화에 따른 정도를 해석하기 위해 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 거리별 촬영 시 대상물과 너무 근접해 있으면(1.5m이하) 오히려 정도가 떨어지는 것과 d7 metric 경

- 우 5m이상 멀어질 경우 정도가 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었다.
2. 수렴각이 변화할 때 X축 방향에서는 수렴각이 80° 일 때까지는 비슷한 정확도(RMSE ; d7 metric:0.00030m, d7 metric⁵:0.00022m)를 유지하였으나 그 이상일 때는 정확도가 낮아지는 것을 알 수 있었다.
 3. 수렴각이 변화할 때 Y축 방향에서는 수렴각이 증가할수록 정확도가 향상되고 60° 이상에서는 비슷한 정확도(RMSE ; d7 metric:0.00043m, d7 metric⁵:0.00028m)를 유지하였다.
 4. 수렴각이 140° 이상일 때에는 내부표정이 어려운 것을 알 수 있었다.
 5. 촬영방향각이 ±30° 일 때까지는 X축 방향에서는 비슷한 정도(RMSE ; d7 metric:0.00050m, d7 metric⁵:0.00040m)를 유지하였으나 그 이상일 때는 정도가 급격히 낮아지는 것을 알 수 있었다.
 6. Y축과 Z축 방향에서는 촬영방향과는 관계없이 비슷한 정도(RMSE ; d7 metric:Y축0.00096m Z축 0.00029m, d7 metric⁵:Y축0.00065m Z축 0.00019m)를 유지하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- Abdel-Aziz, Y.L. (1974), Expected Accuracy of Convergent Photos, PE, Vol40, No. 11, pp.1341-1346.
- T.A. Clarke. (1995), An analysis of the prospects for digital close-range photogrammetry, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.50, pp.4-7.
- 유복모, (2001), 현대 디지털사진측량학, 문운당, pp. 5-6.
- 손덕재, (1989), 지상사진의 촬영방향과 수렴각 변화에 따른 공간좌표해석, 연세대학교, 박사학위논문.
- 이진덕, (1992), 다중근접사진측량에 의한 구조물 전면의 3차원 해석, 충남대학교, 박사학위논문.