

# 디지털 카메라 타겟에 대한 위치결정기법의 정확도 분석

## Accuracy Analysis of Positioning for Digital Camera Target

박운용<sup>1)</sup>, Park, Woon Yong · 김희규<sup>2)</sup>, Kim, Hee Gyoo · 홍순헌<sup>3)</sup>, Hong, Soon Heon · 김용석<sup>4)</sup>, Kim, Yong Suk

- 1) 동아대학교 공과대학 토목해양공학부 교수
- 2) 경남정보대학 토목과 교수
- 3) 밀양대학교 토목공학과 교수
- 4) 동아대학교 대학원 석사과정

### 1. 서론

근거리 사진측량(Close-Range Photogrammetry)은 사진측량의 기본원리를 이용하여, 대상물의 촬영을 통한 표정 및 다중 영상 처리 기법과 오차 조정의 과정을 거쳐 대상물의 3차원 좌표를 측정하고, 이를 통하여 형상화한 정보를 Cad 시스템과 연관해 대상물을 측정하는 시스템이다.

토목구조물의 정밀 측량분야와 산업분야에 있어서는 치수검정의 응용을 위한 타겟의 중심을 부화소(Subpixel)의 정확도로 신속하게 측정해야 하며, 그러기 위해서는 정밀한 카메라와 사진측정방법이 필요하다. 주요 측정기법들로는 도심위치결정 기법(Centroiding), 매칭기법(Matching), 피팅기법(Fitting)과 조합된 경계검출에 의한 기법 등이 있으며, 타겟의 형상과 이들 측정기법은 상호관련이 있다.

대부분의 토목구조물과 산업분야의 응용은 대상물상의 타겟에 대한 실시간 3차원좌표를 필요로 한다. 이러한 좌표를 획득함에 있어서 타겟의 위치나 기상조건, 방향, 관측자의 숙련도 등에 따라 정확도가 달라질 수 있다. 그리고, 도심위치결정(Centroiding) 기법은 원형이나 타원형의 타겟 이미지에 대한 부화소(subpixel) 위치를 결정하는 접근방법 중의 하나이다.

본 연구에서는 Rollei d7 metric 디지털 카메라를 이용하여 촬영조건의 다양한 변화에 따른 위치오차를 분석하며, 도심 측정방법과 타원경계추출방법으로 타겟의 위치측정 정확도를 검증하고자 한다.

### 2. 다중영상 접합

사진측량은 사진과 렌즈의 투영중심 그리고 대상물간의 기하학적인 관계를 이용하여 대상물이 지니고 있는 특성을 정량적·정성적으로 해석하는 학문이다. 사진의 기하학적인 원리는 중심투영이며, 사진의 상은 대상물로부터 반사된 빛이 렌즈의 중심을 통과하여 필름면에 투영되어 나타나게 된다.

#### 2.1 공선조건

공선조건(Collinearity Condition)의 기본적인 변환은 사진 좌표계와 대상물의 좌표계 사이의 관계로부터 나타낼 수 있다. 대상물의 어떤 한 점은 그림 1에서 보는 바와 같이 렌즈의 투영중심을 통과하여 이에 대응하는 한 점을 필름면에 맺는다는 기하학적인 관계를 이용하여 수학적으로 표현한 것이 식 (1)의 공선조건식이다.

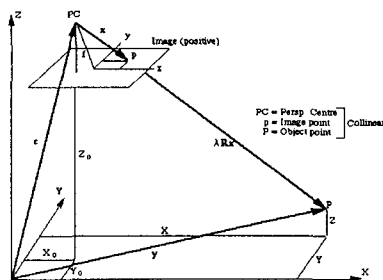


그림 1. 공선조건

$$\begin{aligned}
 x &= -f \frac{r_{11}(X-X_0) + r_{12}(Y-Y_0) + r_{13}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0) + r_{32}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} \\
 y &= -f \frac{r_{21}(X-X_0) + r_{22}(Y-Y_0) + r_{23}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0) + r_{32}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서,  $x, y$  : 영상점의 좌표       $f$  : 사진기의 초점거리       $r_{ij}$  : 회전행렬  $R$ 의 원소  $ij$   
 $r_{ij} : f_{ij}(\omega, \phi, x)$        $\omega, \phi, x$  : 객체공간에 대한 사진기의 회전

### 3. 타켓 위치결정방법

원형 또는 타원체 타켓화상의 부화소 위치결정은 강도에 의한 경중률을 고려하는 도심위치결정기법을 이용할 수 있다. 이는 임계값의 결정에 따라 그 결과가 달라지기도 하지만 타켓의 형상에는 영향을 주지 않는다. 그리고 타원경계추출법은 Gaussian filter에 의해 대상물의 모서리로부터 선형요소와 외곽선을 추출한다.

본 연구에서는 동일 대상물에 대해 영상좌표를 취득하여 번들조정하고 난 뒤, 3차원 결과를 가지고 각각에 대한 정확도 분석과 변위를 분석한다.

#### 3.1 도심위치결정법

원형 또는 타원형 타켓들의 부화소 위치를 결정하는 가장 단순한 방법은 타켓영상의 도심위치결정기법으로서 영상에서 격리된 폐곡선 내부의 도심은 무게중심 또는 1차 모멘트를 계산함으로써 결정할 수 있다. 식(2)는 밝기값 변화율에 의해 경중률을 부여하는 것이며 영상의 배경에 의해 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 그리고, 식(3)은 밝기값에 의해 경중률을 부여하는 방법이며 높은 밝기값의 배경을 갖는 영상은 낮은 등급의 위치 정확도를 나타내게 되며 이는 타켓중심 외부의 높은 값을 갖는 화소들의 영향에 기인한다. 본 논문에서는 밝기값에 의해 경중률을 부여하는 방법으로 타켓의 도심을 구하였다.

$$x_c = \frac{\sum_{j=1}^m (j \times g_x)}{\sum_{j=1}^m g_x} \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n (i \times g_y)}{\sum_{i=1}^n g_y} \quad (2)$$

$$x_c = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (j \times g_{ij})}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n g_{ij}} \quad y_c = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (i \times g_{ij})}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n g_{ij}} \quad (3)$$

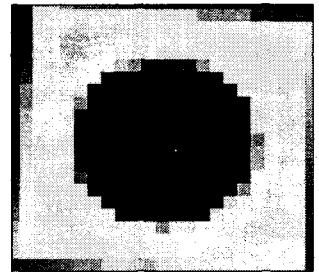


그림 2. 도심측정방법에 유리한 타켓형태

여기서,  $x_c, y_c$  : 상의 도심위치,  $g_x, g_y$  :  $x, y$ 방향의 밝기값 변화율,  
 $g_{ij}$  : 밝기값,  $m, n$  : 행과 열의 수       $i, j$  : 행렬의 위치

그림 2는 정면 촬영을 했을 경우 나타나는 타켓 형태로서 이러한 형태는 도심측정방법일 경우 유리하다.

#### 3.2 타원경계추출법

타켓 외곽선 추출은 단순한 윤곽선만으로도 무엇을 표현하려는가를 충분히 이해할 수 있어야 한다. 따라서, 경계추출에 있어서도 윤곽을 추출하는 것은 중요한 개념의 하나이다. 이 윤곽추출 방법을 이용하여 특정의 물체를 추출하거나 또는 면적과 주위의 크기를 측정하여 이미지 데이터를 처리할 수 있다. 또한, 이미지 추출에서 자주 사용되는 연산 중에 하나이고 물체에 대하여 모서리를 강화 및 추출하는 알고리즘이다.

그림 3에서 나타난 타켓형태는 대각선상에서 촬영을 했을 때 나타나는 형태로서 이는 도심측정방법으로는 잘 인식되지 않으며 타원경계추출방법일 때 유리하다. 그리고, 이미지 주변부를 추출하는 가장 간단한 방법중의 한 가지는 Gaussian Filter를 적용하는 것이다. 그림 4는 Sigma값을 조절하여 이미지화상을 흐리게 하여 추출해 내는 방법이다.

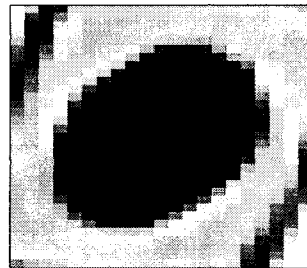


그림 3. 타원경계추출법에 유리한 타켓형태

1	1	1
1	1	1
1	1	1

그림 4. Gaussian Filter

### 4. 실험방법 및 분석

타켓의 설치는 Object상에 최소 3개의 주요 Control Point와 추가로 측정하고자 하는 점에 타켓을 설치하였다. 타켓은 총 55점을 설치하였고, 카메라의 측정으로 총 9장의 이미지를 얻었다. 그리고, 표정점간의 축척을 위해 대략적인 거리를 측정하였다. 그림 5는 대상물의 스케치 모습, 그림 6은 대상물을 촬영한 것 중에서 중간 좌측 이미지이고, 그림 7는 중간 정면, 그리고 그림 8은 중간 우측의 촬영 장면이다.

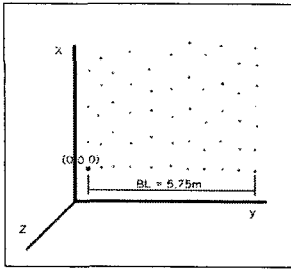


그림 5. 타겟 스케치



그림 6. 타겟 설치(좌측)

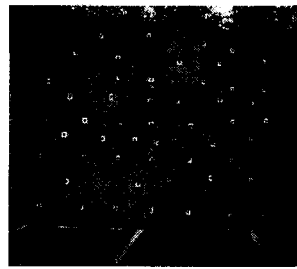


그림 7. 타겟 설치(정면)

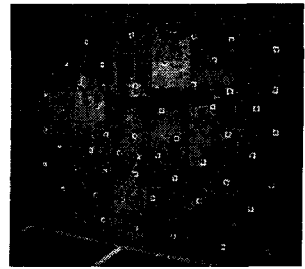


그림 8. 타겟 설치(우측)

#### 4.1 번들조정(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. 카메라의 위치는 표 1과 같으며 이는 번들조정으로 최소제곱법 방식에 의해 계산되었다.

표 1. 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

보정전과 보정후의 x, y, z의 타겟의 좌표의 변위를 그림 9로 나타내고 있으며, 이에 대한 좌표는 표 2에 나타내었다.

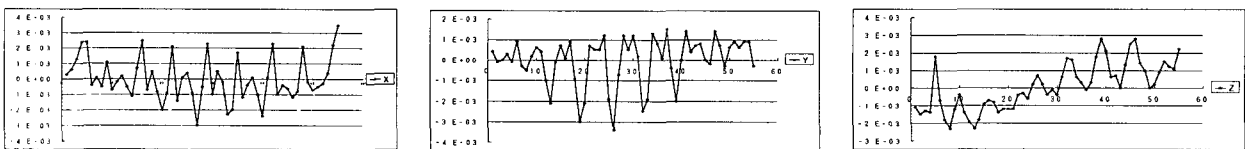


그림 9. x, y, z에서 object 좌표의 변위

표 2. x, y, z에서 object 좌표

point	x	y	z	point	x	y	z	point	x	y	z
1	0.0003	0.0004	-0.0011	20	-0.002	-0.0021	-0.0012	39	-0.001	-0.002	0.0028
2	0.0006	-0.0001	-0.0015	21	-0.0009	0.0007	-0.0012	40	-0.0024	0	0.0021
3	0.0013	0	-0.0013	22	0.0021	0.0005	-0.0004	41	0.0001	0.0014	0.0006
4	0.0024	0.0003	-0.0014	23	-0.0014	0.0005	-0.0003	42	0.0023	0.0004	0.0007
5	0.0024	-0.0001	0.0018	24	0.0001	0.0012	-0.0006	43	-0.001	0.0007	0
6	-0.0004	0.0009	-0.0007	25	0.0004	-0.0019	0.0002	44	-0.0004	0.0008	0.0013
7	0.0001	-0.0003	-0.0018	26	-0.0009	-0.0034	0.0007	45	-0.0006	0	0.0025
8	-0.0005	-0.0005	-0.0023	27	-0.003	-0.0007	0.0002	46	-0.0012	-0.0002	0.0028
9	0.0011	0.0002	-0.0012	28	-0.0005	0.0012	-0.0004	47	-0.0008	0.0014	0.0014
10	-0.0007	0.0006	-0.0004	29	0.0023	0.0005	-0.0001	48	0.0021	0.0007	0.001
11	-0.0002	0.0004	-0.0014	30	-0.001	0.0012	-0.0004	49	-0.0002	-0.0003	0
12	0.0002	-0.001	-0.0019	31	0.0005	0.0002	0.0006	50	-0.0007	0.0006	0.0002
13	-0.0005	-0.0021	-0.0023	32	-0.0002	-0.0025	0.0017	51	-0.0005	0.0009	0.0009
14	-0.0011	-0.0001	-0.0018	33	-0.0023	-0.0019	0.0016	52	-0.0003	0.0006	0.0015
15	0.0007	0.0007	-0.0009	34	-0.002	0.0013	0.0006	53	0.0004	0.0009	0.0012
16	0.0025	0.0001	-0.0007	35	0.0017	0.0008	0.0003	54	0.0022	0.0009	0.0011
17	-0.0007	0.0009	-0.0008	36	-0.0012	0.0001	-0.0001	55	0.0035	-0.0003	0.0022
18	0.0005	-0.0009	-0.0014	37	-0.0004	0.0015	0.0003				
19	-0.0008	-0.0003	-0.0012	38	0.0001	-0.0004	0.0018				

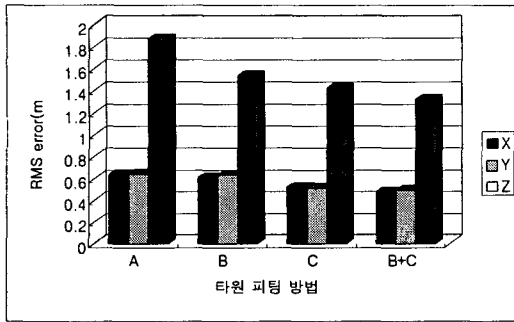


그림 10. 타켓측정방법별 표준오차

표 3. 타켓측정방법별 표준오차

	X	Y	Z
A	0.639	0.642	1.871
B	0.522	0.512	1.422
C	0.611	0.635	1.534
B+C	0.478	0.496	1.324

대상물상의 타켓의 3차원좌표는 외부표정의 초기값과 영상좌표, 그리고 다중영상표정을 이용한 번들조정으로 얻어졌으며, 각각의 표정점 좌표차이와 3차원 위치정확도를 분석하였다. 도심측정방법의 경우에는 픽셀의 밝기값을 경중률로 고려한 방법으로 정확도를 분석하였고, 타원경계추출법에서는 외곽추출조정방법으로 정확도를 분석하였다.

경중률을 고려한 도심측정방법과 타원경계추출방법으로 타켓의 위치를 결정하고, 번들조정된 X, Y, Z 좌표별 평균 3차원 표준오차는 그림 10와 같다. 이 결과는 미지점들의 평균표준오차이다. 도심측정방법만을 적용한 결과(C)와 타원경계추출법만을 적용한 결과(B), 두 가지 방법을 다 적용한 결과(B+C), 두 가지 방법을 둘 다 사용하지 않은 경우(A)로 나타내었다. 도심측정방법에서 경중률을 고려하지 않은 경우에 임계값의 선택에 영향을 많이 받지만 양호한 결과를 보였다. 이는 특별히 평면타켓의 경우에서 볼 수 있는 결과로 생각된다. 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 평균표준오차는 X좌표에서  $\pm 0.478\text{mm}$ , Y 좌표에서  $\pm 0.496\text{mm}$ , Z좌표에서  $\pm 1.324\text{mm}$ 를 나타내었다.

## 5. 결론

디지털 카메라를 이용하여 촬영조건의 다양한 변화에 따른 위치오차를 분석하며 대상물표면에 설치된 타켓의 3차원 위치를 결정하기 위해 도심측정방법과 타원경계추출방법으로 타켓중심을 구하였다. 각 타켓의 변위를 측정하고 3차원 정확도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도심측정방법과 타원경계추출방법을 여러 가지로 조합하여 적용한 결과 평균표준오차는 타원경계추출방법과 도심측정방법을 동시에 적용되었을 경우 X좌표에서  $\pm 0.478\text{mm}$ , Y 좌표에서  $\pm 0.496\text{mm}$ , Z좌표에서  $\pm 1.324\text{mm}$ 로 가장 낮은 오차를 보였다.
2. 측정결과 정확도는 (B+C) > (B) > (C) > (A)의 순으로 나타났다.
3. 타켓 영상에서 격리된 폐곡선 내부의 도심은 무게중심 또는 1차 모멘트를 계산함으로써 결정할 수 있었고, 경중률을 고려하면 0.03화소의 정확도로 타켓 영상의 위치를 결정할 수 있었다.
4. 촬영한 후 이미지가 많을 때 타켓의 선정과정에 의한 실수를 줄일 수 있도록 각각의 이미지에 대해서 자동화가 이루어져야 하겠으며, 또한, 디지털카메라를 이용한 수치근접사진측량을 위한 정밀 산업분야에서의 표준영상획득장치로 많은 활용이 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 박운용, 응용측량학, p367~482.
2. 최철순, 최승필, 한원호, 김동희, "디지털카메라를 이용한 3차원 측량 기법 개발에 관한 연구", 관동대학교, 관대논문집, 1997, pp.87~99.
3. 이진덕, "고해상도의 스틸비디오 카메라를 이용한 수치근접사진측량 시스템의 실용성 평가", 대한토목학회논문집, 1998, pp.183~193.
4. 강준묵, 이진덕, 김성민, "수치화상을 이용한 근접사진측량 시스템의 응용", 한국측량학회 학술발표회 논문집, 1996, pp.101~104.
5. Wong, K.W. and Wei-Hsin Ho. (1996). "Close-Range Mapping with a Solid State Camera", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 50. No. 1. pp.67~74.
6. Gruen, A., "Digital Close-Range Photogrammetry-Progress through Automation", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 30(5), 1994, pp.122-135.