

非測定用 寫眞機에 의한 超近接 寫眞解析 Analysis of very close-range photogrammetry by non-metric camera

姜 準 默* 吳 元 鎮**
Kang Joon-Mook Oh Won-Jin

要 旨

측정용 사진기는 精巧한 소형 구조물의 해석시 최소 촬영거리에 따른 超近接 撮影에 어려움이 있으므로 초점거리 조절이 자유로와 초근접 촬영이 가능한 非測定用 寫眞機를 이용하는 것이 바람직하다. 또한 많은 시간과 노력을 요하는 기준점측량의 난제가 해결된다면 보다 신속한 초근접 사진해석이 가능할것이다.

본 연구는 정오차 보정이 이루어진 비측정용 사진기로 소형 피사체를 초근접촬영하고 번들조정기법에 의해 해석한 후, 오차의 특성을 다양하게 분석하므로써 비측정용 사진기의 효용성을 제시하고, 自體 基準點測量 기법을 도입, 기준점측량의 난제를 효율적으로 해결하기 위한 것이다.

연구결과 非測定用 寫眞機에 의한 超近接 寫眞解析의 우월성과 自體 基準點測量 기법의 적용가능성이 입증되었으므로 소형구조물을 비롯한 첨단부품의 정밀해석에 그 응용이 가능할 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Non-metric camera is more profitable than metric camera for geometric analysis of small and elaborate structures, because focal length control of non-metric camera is flexible while generally metric camera has limited focal length. And if the problem of conventional method requiring much time and endeavor to measure three dimensional positions of control points will be solved effectively, it is possible to analyze very close-range photogrammetry more easily and quickly.

The purposes of this study are to propose the efficiency of non-metric camera and to reduce difficulty of control survey sharply by introducing self-control survey method. For these, very close-range photographs of the small object were obtained by using non-metric camera calibrated for systematic errors and then bundle adjustment is used for analysis procedure.

As a result, the superiority of non-metric camera in analyzing very close-range photographs and the application propriety of self-control survey were proved, therefore it is expected to be able to apply to precise analysis of small structures or spearhead parts.

1. 序 論

精巧한 소형문화재, 첨단기계부품 및 齒牙나 각종 구조물의 局部的인 정밀해석은 超近接 寫眞測定技法이 요구된다.¹⁾⁴⁾⁷⁾ 그러나 초점거리가 몇개로 고정되어 있고, 최소 촬영거리에 제약을 받는 측정용 사진기는 超近接 寫眞撮影에 어려

움이 있으므로, 취급 및 표정이 용이하고 초점거리의 조절이 자유로와 超近接 촬영이 가능한 비측정용 사진기를 이용하는 것이 유리하다.²⁾³⁾

6) 또한 종래의 기준점설치 및 측량방법은 소형의 대상물에 적용하기에는 많은 문제점이 있으므로 보다 신속하고 效率인 技法의 開發이 요망된다.⁹⁾¹⁰⁾

본 연구는 비측정용 사진기의 정오차를 보정하고 소형대상물을 초근접거리에서 촬영, bundle 조정기법에 의해 해석한 후 수렴자, 사진매

* 忠南大 工大 副教授

** 忠南大 大學院 博士課程

수 및 촬영거리에 따른 오차 특성을 분석하여 비측정용사진기의 효용성을 제시하는 한편, 기준점의 제작 및 설치, 기선 및 각 관측시 많은 시간과 노력을 필요로 했던 기준점측량의 難題를 보다 효율적으로 해결하고자 한다.

2. 實驗 및 結果 分析

소형 石燈을 대상으로 선정하여 대상물의 표면에 28개의 미지점을 균일하게 배치하였고 自體基準點(self-control point)을 이용하기 위해 점정된 직각자를 좌표계의 X, Y 축이 되도록 설치하였다. CANON NEW F-1 비측정용 사진기

의 최대 접근거리인 0.45 m와 촬영거리 0.67 m, 1.0 m, 1.4 m에서 각각 회전각 φ 를 $+150^\circ \sim -150^\circ$ 까지 10° 간격으로 변화시켜 15매씩 60매의 사진을 얻었고, 촬영거리 1.4 m에서 P 31 측정용 사진기로 15매를 추가로 촬영하여 총 75매의 음화를 얻었다. 이때 circle of confusion을 고려하여 f-stop을 22로 하고, strobo의 직사광선으로 인한 반사를 최소화하기 위하여 간접조명으로 촬영하였다. 각측량은 Kern DKM2-A 1" 독 theodolite로 28개 미지점과 13개의 자체기준점을 관측하여 추후 종래의 기준점측량 방법과 비교할 수 있도록 계획하였고, 기선관측은 점정된 steel tape로 수 회 반복 측정 한 후

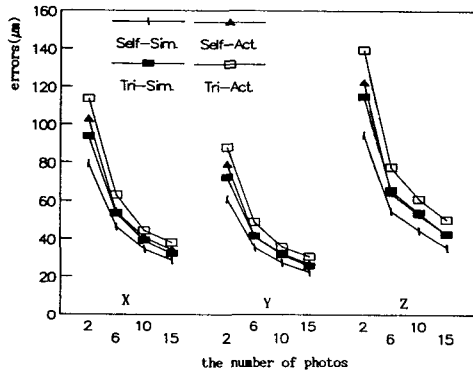


Fig. 1 Compare triangulation control point system with self-control point system for X, Y, Z average standard errors (Non-metric case, $D=1.4m$)

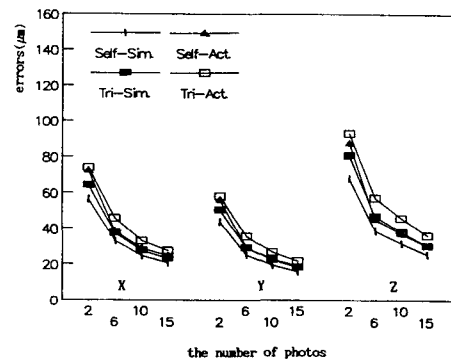


Fig. 2 Compare triangulation control point system with self-control point system for X, Y, Z average standard errors (Non-metric case, $D=1.0m$)

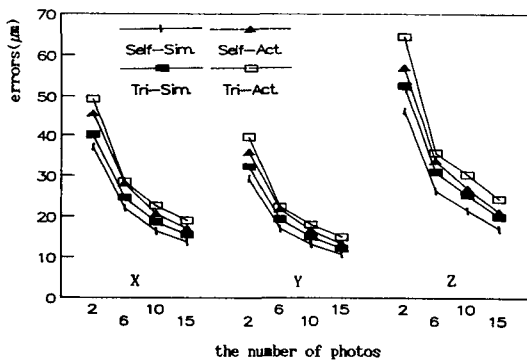


Fig. 3 Compare triangulation control point system with self-control point system for X, Y, Z average standard errors (Non-metric case, $D=0.67m$)

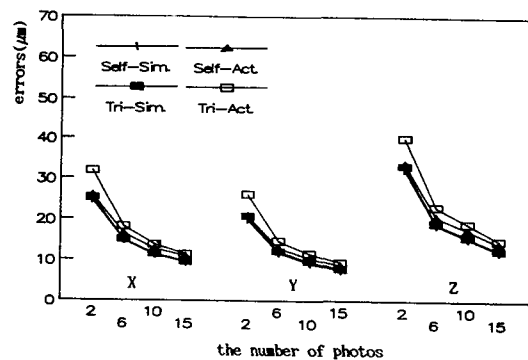


Fig. 4 Compare triangulation control point system with self-control point system for X, Y, Z average standard errors (Non-metric case, $D=0.45m$)

정오차 보정을 하였다.⁵⁾⁸⁾¹¹⁾

기계좌표는 1 μm 까지 측정이 가능한 PDS 를 이용하였고, 기준점은 1 μm , 미지점은 3 μm 의 표준오차를 추정값으로 간주하였다. 공선조건에 의한 bundle 조정기법으로 space resection 과 space intersection 를 수행하여 외부표정요소와 미지점의 3 차원 좌표를 동시에 결정하였다. 각각의 표준오차는 기하학적 표준오차와 실험에 의한 표준오차로 나타내었고, 자체기준점 성과와 종래의 삼각측량 성과에 의해 비교 분석하였다.

<Fig. 1, 2, 3, 4>는 비측정용 사진에서 삼각측량에 의한 기준점 성과를 이용했을 경우와 삼각측량을 하지 않고 자체 기준점 성과를 이용했을 경우 사진 매수의 변화에 따른 X, Y, Z 의 오차 분포를 촬영거리별로 도시한 것이다. 여기서 self 는 자체기준점, tri 는 삼각측량 성과를 이용한 경우이고, sim 은 기하학적 오차, act 는 실험적인 오차를 나타낸 것이다. 촬영거리 1.4 m 인 Fig.1 에서 사진매수가 2 매에서 6 매, 10 매, 15 매로 증가함에 따라 삼각측량에 의한 기준점 성과를 사용했을 경우 X 의 오차는 93.4 μm 에서 53.4 μm , 39.0 μm , 32.2 μm 로, Y 의 오차는 72.2 μm 에서 41.4 μm , 31.6 μm , 25.7 μm 로, Z 의 오차는 114.7 μm 에서 65.8 μm , 53.9 μm , 42.7 μm 로 감소되었고, 자체 기준점 성과를 이용했을 경우 X 의 오차는 79.3 μm 에서 46.4 μm , 34.5 μm , 28.6 μm 로, Y 의 오차는 60.9 μm 에서 35.5 μm , 27.4 μm , 22.4 μm 로, Z 의 오차는 94.5 μm 에서 55.0 μm , 44.8 μm , 35.7 μm 로 감소되어, 2 매에서 15 매로 증가함에 따라 종래의 삼각측량 성과를 이용했을 경우와 자체기준점 방법을 이용했을 경우에 각각 약 63%의 급격한 오차감소 현상을 나타내고 있다. 또한 자체 기준점 성과를 이용했을 경우와 종래의 삼각측량 성과를 이용하여 도출한 결과가 X, Y, Z 모두 일괄적이고 양호한 값을 보여주고 있다. 촬영거리 1.0 m 인 <Fig. 2> 0.67 m 인 <Fig. 3> 0.45 m 인 <Fig. 4>에서도 각각 사진 매수가 2 매에서 6 매, 10 매, 15 매로 증가하면 오차는 약 42%, 23%, 19%씩 감소되어 2 매에서

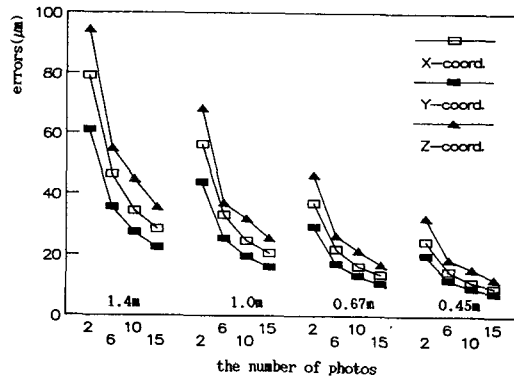


Fig. 5 Average standard error vs. the number of photos & object distance in the self-control point system(Non-metric case)

15 매로 증가될 때 약 63%까지 오차가 감소되었다. 종래의 삼각측량 성과를 이용했을 경우와 자체기준점 성과를 이용했을 경우 그 결과값이 유사한 양상을 보여 삼각측량을 실시하지 않은 자체 기준점 성과 만으로도 매우 균일하고 양호한 결과를 얻을 수 있어 소형구조물의 해석시 자체 기준점 방법의 활용이 기대된다.

<Fig. 5>는 비측정용 사진에서 자체기준점 성과만을 이용했을 경우 촬영거리와 사진매수의 변화에 따른 X, Y, Z 의 기하학적인 오차분포를 나타낸 것이다. 촬영거리가 1.4 m 에서 1.0 m, 0.67 m, 0.45 m 로 변화함에 따라 오차는 약 28%, 33%, 30%씩 감소되며 1.4 m 에서 0.45 m 로 촬영거리가 변화하면 오차는 약 66%의 급격한 감소 현상을 보이고 있어 오차는 촬영거리에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 이때 오차는 Y가 가장 작았으며, X, Z 의 순으로 크게 나타났고, 촬영거리 0.45 m 에서 2 매 사진의 경우 X는 28.6 μm , Y는 22.4 μm , Z는 35.7 μm 의 오차를 얻었으며, 15 매의 사진을 해석한 경우 X는 약 9.5 μm , Y는 약 7.6 μm , Z는 약 12.4 μm 의 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 초근접 촬영을 요하는 소형구조물의 해석시 야기되는 기준점의 제작 및 설치의 물론 기선 및 각 판측상의 난제를 효율적으로 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

<Fig. 6>은 삼각측량 성과를 이용하여 해석할 경우 각 촬영거리별 사진매수의 변화에 따른

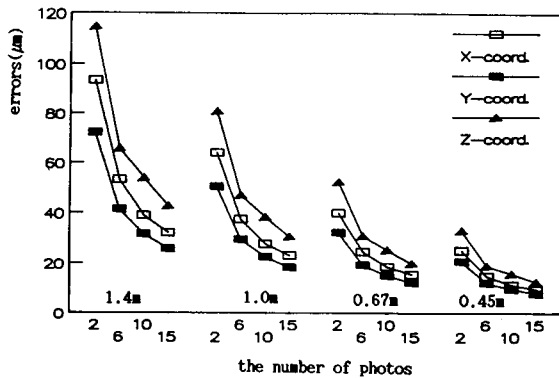


Fig. 6 Average standard error vs. the number of photos & object distance in the triangulation control point system(Non-metric case)

X, Y, Z의 오차를 도시한 것이다.

촬영거리가 1.4 m에서 1.0 m, 0.67 m, 0.45 m로 변화할 때, 2매 사진의 경우 X는 31%, 38%, 37%, Y는 30%, 36%, 36%, Z는 29%, 35%, 37%의 오차감소를 보이며 6매, 10매, 15매 사진의 경우도 현저하게 오차가 감소되었다.

따라서 촬영거리가 1.4 m에서 0.45 m로 변화할 때 X의 오차는 약 72%, Y의 오차는 약 70%, Z의 오차는 약 71%로 급격히 감소하였다.

(Fig. 7)은 각 촬영거리에서 사진 매수의 변화에 따른 X, Y, Z의 위치 오차를 삼각측량 성과를 이용했을 경우와 자체 기준점 성과를 이용했을

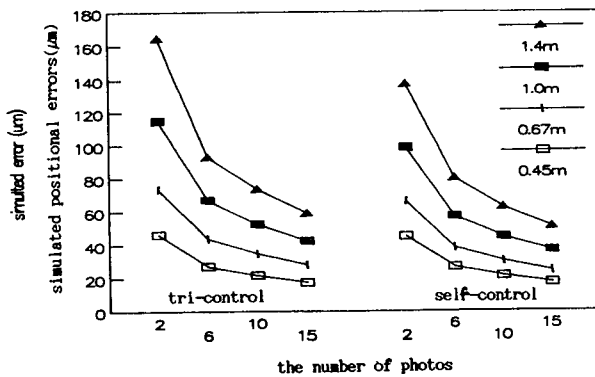


Fig. 7 Compare triangulation control point system with self-control point system for positional error(Non-metric case)

을 경우를 비교 도시한 것이다. 자체 기준점 성과를 이용했을 경우와 종래의 삼각측량 성과를 이용했을 경우의 위치 오차가 일관성있게 나타나고 있으며, 거의 유사한 양상을 보이고 있다. 종래의 삼각측량 성과를 이용했을 경우 사진매수가 2매에서 6매, 10매, 15매로 증가함에 따라 각 촬영거리에서 42%, 21%, 19%로 위치 오차가 감소되었고, 2매에서 15매로 증가할 경우 64%까지 급격히 감소되었다. 자체 기준점 성과를 이용했을 경우도 사진매수의 증가에 따른 위치오차의 변화율은 삼각측량 성과를 이용했을 경우와 동일하였다.

(Table 1, 2)와 (Fig. 8, Fig. 9)는 측정용 사진기에서 삼각측량에 의한 기준점 성과를 이용했을 경우와 삼각측량을 하지 않고 자체 기준점

Table 1. Compare triangulation control point system with self-control point system for X, Y, Z average simulated standard error(Metric case, D=1.4m)

unit : μm

The # of photos	Triangulation control point system			Self-control point system		
	X _G	Y _G	Z _G	X _G	Y _G	Z _G
2	41.6	33.9	59.8	37.0	28.6	44.6
6	25.0	19.5	30.8	21.8	16.7	25.9
10	18.3	14.9	25.4	16.2	12.9	21.2
15	15.1	12.1	20.1	13.5	10.5	16.8

Table 2. Compare triangulation control point system with self-control point system for X, Y, Z average actual standard error (Metric case, D=1.4m)

unit : μm

The # of photos	Triangulation control point system			Self-control point system		
	X _A	Y _A	Z _A	X _A	Y _A	Z _A
2	47.7	38.9	68.6	42.7	33.0	51.5
6	29.4	23.0	36.3	25.6	19.6	30.5
10	21.3	17.3	29.5	19.6	15.6	25.6
15	17.6	14.1	23.4	16.0	12.4	19.9

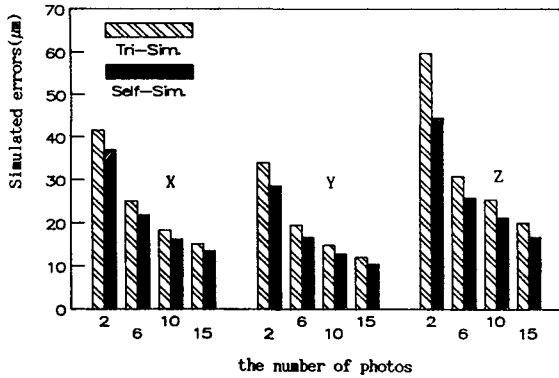


Fig. 8 Compare triangulation control point system with self-control point system for X, Y, Z average simulated standard error (Metric case, D=1.4m)

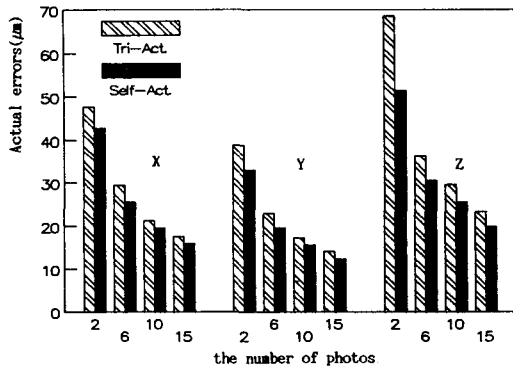


Fig. 9 Compare triangulation control point system with self-control point system for X, Y, Z average actual standard error (Metric case, D=1.4m)

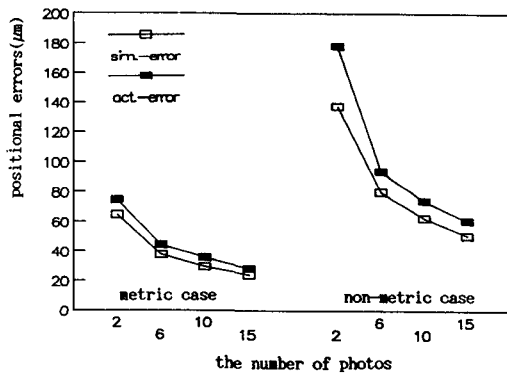


Fig. 10 Compare metric case with non-metric case for positional error in the same object distance

성과를 이용했을 경우 사진매수의 변화에 따른 X, Y, Z의 기하학적 오차와 실험적인 오차를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 자체 기준점 성과만을 이용했을 경우 X, Y, Z의 오차는 사진 매수에 관계 없이 일괄적이고도 양호한 결과를 얻을 수 있으며 종래의 삼각측량 성과를 이용했을 경우와 오차분포가 대단히 접근된 양상을 보여주므로 측정용 사진기에 의한 소형대상물의 해석은 물론, 대형대상물의 국부적인 해석에도 자체기준점 방법의 활용이 기대된다.

<Fig. 10>은 촬영거리가 1.4 m로 동일한 경우 사진 매수의 변화에 따른 X, Y, Z의 위치오차율 metric case와 non-metric case로 비교 도시한 것이다.

Metric case와 non-metric case에서 공히 기하학적 위치오차와 실험적 위치오차가 사진매수의 변화에 따라 서로 접근되어 일괄적인 양상으로 나타나고 있다. 위치오차는 non-metric case에서 $50.9 \mu\text{m} \sim 137.5 \mu\text{m}$, metric case에서 $24.0 \mu\text{m} \sim 64.6 \mu\text{m}$ 의 분포를 보여주고 있어 non-metric case의 위치오차가 metric case의 약 2.1배 정도 크게 나타나고 있다.

<Fig. 11>은 metric case와 non-metric case의 축척이 1/13로 동일할 경우 사진매수의 변화에 따른 X, Y, Z의 위치오차를 나타낸 것이다.

축척이 동일할 경우 metric case와 non-metric case의 위치오차는 2매 사진에서 $64.6 \mu\text{m}$, $66.2 \mu\text{m}$, 6매 사진에서 $37.7 \mu\text{m}$, $38.5 \mu\text{m}$, 10매

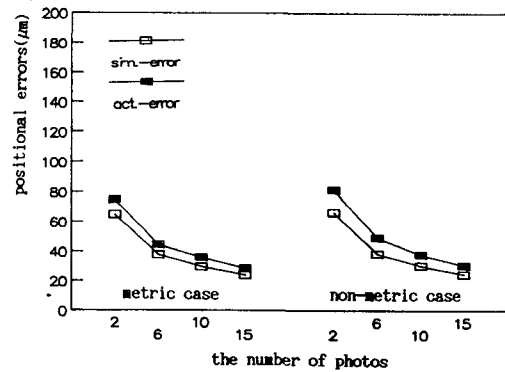


Fig. 11 Compare metric case with non metric case for positional error in the same scale (Metric case : 1.4m, Non-metric case : 0.67 m)

Table 3. Compare the number of photos with convergence angle for proportional accuracy

The # of photos angle	2		4		6		8	
	$\frac{X+Y}{2}$	Z	$\frac{X+Y}{2}$	Z	$\frac{X+Y}{2}$	Z	$\frac{X+Y}{2}$	Z
20°	19022	3291	27149	4946	33773	6848	38095	8186
40°	19087	6487	27842	9471	35656	12419	43137	15331
60°	18265	9485	26816	13825	35532	18144	43781	22392
80°	16908	12206	25184	17884	33662	23417	41905	28947
100°	15267	14418	22620	21164	30321	27733	37367	32836
120°	12975	16091	19339	23669	26341	30916	33270	37931
140°	10178	17478	14898	25052	21056	33773	26788	41121

사진에서 29.6 μm, 30.3, 15매 사진에서 24.0 μm, 24.5 μm로 대단히 양호한 결과를 얻었다. 그러므로 non-metric camera도 정오차 보정의 제반 문제가 해결된다면 metric camera에 상당히 접근된 정밀 측정이 가능하므로 비측정용 사진기의 활용이 기대된다.

<Table 3>과 <Fig. 12>는 수렴각과 사진매수의 변화에 따른 X, Y, Z의 비례 정확도를 도시

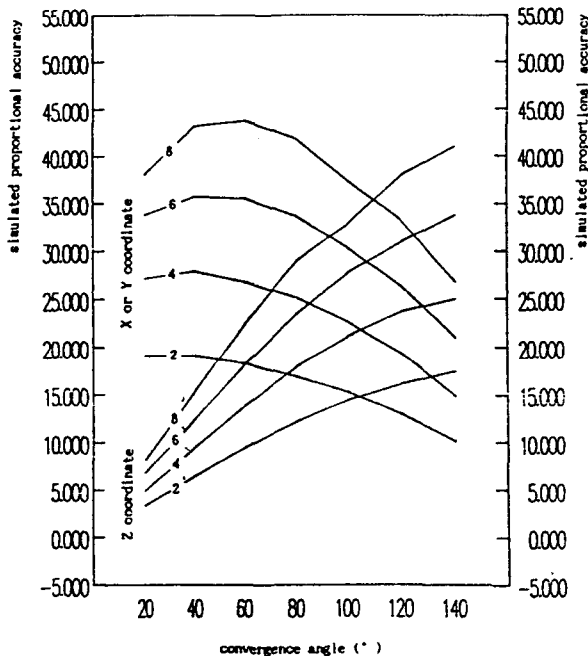


Fig. 12 Compare the number of photos with convergence angle for proportional accuracy

한 것이다. 사진매수를 2매, 4매, 6매, 8매로 증가시키면서 수렴각을 20°에서 140°까지 변화시킨 결과 X, Y의 정확도는 40° 부근에서 다소 증가 추세를 보인다 점점 감소하나 Z의 정확도는 수렴각의 크기에 비례하여 급격히 증가되고 있다. 8매 사진의 경우 X, Y의 정확도는 수렴각 20°에서 38000, 수렴각 40°에서 43100, 수렴각 140°에서 26700 이나, Z의 정확도는 수렴각 20°에서 8100, 수렴각 140°에서 41000으로 약 5배 이상 급격히 증가되고 있다. 이러한 현상은 사진매수가 6매, 4매, 2매일 경우에도 유사한 양상으로 나타나고 있으므로 X, Y, Z의 최저 정확도를 도출하기 위한 조건은 수렴각이 80°~120°임을 알 수 있었다.

3. 結 論

소형 대상물을 정밀 측정하기 위하여 정오차가 보정된 비측정용 사진기로 초근접촬영을 실시하고, 자체기준점 성과와 종래의 삼각측량 성과를 이용하여 bundle 조정기법에 의해 해석한 후 수렴각, 사진매수, 촬영거리에 따른 오차를 다양하게 분석한 결과, 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 기준점측량의 성과 없이 자체기준점만을 이용하여도 일괄적이고 양호한 결과를 얻을 수 있으므로 사진측정에 의한 소형대상물의 해석시 야기되는 기준점 설치 및 관측상의 난제를 효율적으로 해결할 수 있다.

- (2) Non-metric case 의 경우 근거리 0.45 m 에서 얻은 15 개의 사진을 해석한 결과 X, Y, Z 는 종래 삼각 측량의 경우 9.6 μm , 7.9 μm , 12.6 μm , self-control point system 의 경우 9.5 μm , 7.6 μm , 12.4 μm 의 표준오차를 얻었으므로 초근접사진측량에 의한 소형피사체의 정밀측정이 가능하였다.
- (3) Metric case 와 non-metric case 의 측척을 1/13 로 동일하게 하여 해석한 결과 X, Y, Z 의 실험적인 오차는 metric case 에서 16 μm , 12.4 μm , 19.9 μm , non-metric case 에서 17.1 μm , 13.4 μm , 21.2 μm 로 non-metric case 가 metric case 에 접근되는 양호한 성과를 얻었으므로 정오차를 보정한 비측정용사진기는 측정용사진기에 상응한 정밀해석이 가능함을 알 수 있었다.
- (4) 수렴각이 20°에서 140°로 증가할 때 사진 매수의 변화에 따른 X, Y 의 정확도는 40° 부근에서 다소 증가 추세를 보이다 점점 감소하나 Z 의 정확도는 수렴각의 크기에 비례하여 급격히 증가되고 있으므로 X, Y, Z 의 최적 정확도를 도출하기 위한 조건은 수렴각이 80°~120°임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 강준복, 오원진, 한승희, 배연성, "비측정용 사진기에 의한 대상물의 효율적인 3차원 해석", 대한토목학회 학술발표 개요집, 1990, pp. 355-358.
2. 강준복, 오원진, 한승희, "Multiple Method 에 의한 Strip 조합 해석에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, Vol. 9, No. 3, 1989, pp. 89-95.
3. C. S. Fraser, 1981, "Accuracy Aspects of Multiple Focal Setting Self-Calibration Applied to Non-metric Cameras", *Photogrammetria*, Vol. 36, pp. 121-132.
4. L. P. Adams, 1981, "The Use of Non-metric Cameras in Short-Range Photogrammetry", *Photogrammetria*, Vol. 36, pp. 51-60.
5. UZI Ethrog, 1984, "Non-metric Camera Calibration and Photo Orientation Using Parallel and Perpendicular Line of the Photographed Objects", *Photogrammetria*, Vol. 39, pp. 13-22.
6. Mohamed Bougouss, 1985, Sanjib K. Ghosh, "A Study of Human Knee by Using Close-Range Photogrammetry", *Biostereometrics, SPIE*, Vol. 602, pp. 179-181.
7. John G. Fryer, 1985, "Non-metric Photogrammetry and Surveyors", *The Australian Surveyor*, Vol. 32, No. 5, pp. 330-341.
8. Karara, Abedel-Aziz, 1973, "Accuracy Aspects of Non-metric Imageries", *ASP/ASCM*, Fall National Convention.
9. R. J. Hintz, C. Karakadas, J. M. Kang, 1989, "Analysis of Pavement Cracking and Rutting Using Close-Range Photography", *PR & RS*, Vol. 55, No. 2, pp. 217-221.
10. C. S. Fraser, 1987, "Multiple Exposures in Non-metric Camera Application", *Photogrammetria*, Vol. 42, pp. 62-72.
11. Brian Huberty, 1990, "Coal Pile Inventory Using 35-mm Oblique Terrestrial Photogrammetry", *PE & RS*, Vol. 56, No. 8, pp. 1169-1171.