

地上寫眞測量에 의한 精密測量技法의 研究

A Study on the Precise Surveying Technique by Terrestrial Photogrammetry

康 仁 準*
Kang, In Joon

Abstract

The analysis of a single stereo model is not sufficient in applying for some large structures, therefore the precise coordinate analysis photogrammetric block adjustment method should be considered. The distribution of control points has a great influence on the error characteristics of the block adjustment results.

Thus, the unit model method is applied to the photogrammetric adjustment procedure to study error characteristics with different distributions of control points.

Through this study, the second order polynomial equations about bridging distance and plane error are developed in block adjustment of terrestrial photogrammetry. Comparing the block adjustment method and a single model method, root mean square error of the block adjustment method is 0.44mm, and a single model method is 1.06mm.

요 지

지상사진측량에서 단모델의 해석은 구조물이 커지면 적용하기가 어려워지므로 정밀한 좌표해석에서는 블럭조정기법을 사용하여야 한다. 기준점의 배치는 블럭조정결과에 커다란 영향을 주게 된다. 따라서 기준점 배치에 따른 오차분포특성을 조사하기 위해 블럭조정 기법을 이용한 단위모델법을 이용하였다. 연구결과에서 지상사진측량에 있어서 브리징 간격과 오차에 관한 2차다항식의 오차관계식을 개발하였다.

또한 블럭조정기법과 단모델기법의 비교에서 평균제곱근 오차가 0.44mm와 1.06mm로 나타났다.

1. 서 론

사진측량의 블럭조정은 촬영대상 범위가 넓을때 여러장의 사진블럭을 형성하고, 다수의 모델로 구성된 스트립을 종접합점으로 스트립과 스트립은 횡접합점으로 연결하여 소수의 기상기준점 성과를

이용하여 수치적으로 해석하는 과정이다. 1851년경 시작된 사진측량의 주된 이용분야는 초기에는 지형도 작성이 대부분이었다^(1,2). 그러나 현재는 적외선, 다중 파장대 센서를 이용한 원격측량도 활용성이 높아가고 있다⁽³⁾.

지상사진측량의 해석은 대부분 단모델이지만 대

*정희원 · 부산대학교 공과대학 조교수, 토목공학과

상범위가 크거나 보다 정확한 해석을 위해 근접촬영을 하는 경우는 블럭조정이 필요하게 되며 이 경우 오차분포특성이 단모델에 비하여 더욱 다양해진다. 본 연구에서는 독립모델법 블럭조정 기법을 적용하여 정밀측정을 요하는 시설물의 블럭조정 오차를 최소화하여 정도 높은 3차원 좌표를 얻는데 그 목적이 있다.

연구동향을 보면 1967년에는 스트립조정에 수치적 방법이 도입 되었으며⁽⁴⁾, 미육군에서는 1971년 블럭조정을 시도 하였으며⁽⁵⁾, 같은 해에 원통형 석유탱크의 크기를 단사진으로 관측하였는데 기준점을 원통형 좌우 중앙에 3점씩 선점하였다⁽⁶⁾.

1973년에는 선박측량에 관한 사진측량 해석이 발표되었으며⁽⁷⁾, 1974년에는 적설량의 실측을 사진측량기법중 단모델로 해석하였다⁽⁸⁾. 1979년에는 하천의 하안 침식상태를 관측하였으며⁽⁹⁾, 1984년에는 석유저장 탱크의 저장용량을 사진측량기법으로 해석하였다⁽¹⁰⁾. 한편 국내의 동향은 1972년 항공사진에 의한 해석적 이론이 처음 소개 되었으며^(11,12), 비측량용 사진기의 절대 좌표해석⁽¹³⁾, 해석적 표정의 오차전파⁽¹⁴⁾, 관측대상물의 주향결정⁽¹⁵⁾, 경사사진의 경중을 도입에 관한 연구가 발표되었다⁽¹⁶⁾. 또한 다중사진에 의한 정확도 향상⁽¹⁷⁾, 비측량용 사진기의 효용성이 발표되었다⁽¹⁸⁾. 블럭조정에 의한 항공사진의 3차원 위치해석이 발표되었으며^(19,20), 1985년에는 석탑에 대한 단모델해석⁽²¹⁾, 절대좌표의 해석적 회회법이 소개 되었다⁽²²⁾. 이와같이 국내외의 지상사진의 연구동향을 보면 단모델이 주류를 이루고 있으며, 근거리촬영에 의한 블럭조정기법이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

2. 모델좌표의 결정

2.1 사진측량에 이용되는 좌표계

좌표계는 각, 거리 또는 각과 거리에 의해 공간상의 점, 직선 또는 물체를 기하학적으로 정의하는 하나의 수단으로서 축, 면 또는 공간으로 이루어진다. 측량에 이용되는 기준좌표계에는 2차원에서는 2개, 그리고 3차원에서는 3개의 직교하는 거리로 나타내는 직교좌표계가 있다.

또한 극좌표계는 방향과 거리로 나타내며, 구면좌표계는 위도, 경도, 높이, 그리고 원통좌표계는 반경, 회전각, 높이로 나타낸다. 사진좌표계의 원점

은 투영중심점이며, 사진면은 평면이 되고, 3축은 서로 직교하고 오른손 법칙을 따른다. 1960년 국제사진측량학회에서 채택된 모델좌표계는 오른손법칙을 따르고 원점은 왼쪽 투영중심점이며, 촬영기선을 기준축으로 한다. 그리고 사진측량에서 스트립 좌표를 사용하는 경우는 첫모델 좌표를 원점으로 하며, 모델좌표는 사진좌표를 구한 다음, 한쌍의 사진으로 모델을 형성하여 좌표를 구하는 해석적 방법과 도화기에서 모델을 구성하여 좌표를 구하는 기계적 방법이 있다.

2.2 모델좌표의 결정

회전행렬이 직교이면 변형없이 점을 분리할 수 있는 성질을 이용하여 직교행렬에 의한 좌표변환을 전개한다. 축척을 고려하여 좌표변환을 할때는 첫번째의 모델을 기준으로 하여 인접모델에 연결하면 하나의 좌표계를 가지게 되며, 모델 연결 방법은 비선형식을 선형방정식으로 만들어 해석한다.

3. 사진블럭조정의 알고리즘

사진블럭조정을 하기 위해서는 축척요소 1개, 회전변위요소 3개, 평행변위요소 3개인 7개가 사용된다. 여기서 평면 매개변수는 4개이며, 높이 매개변수는 3개이다. 조정순서는 평면 매개변수를 해석한 다음, 이를 이용하여 높이 매개변수를 가지고 높이좌표를 해석한다.

3.1 평면조정식

평면조정식은 평면과 높이에 대해 매개변수를 분리하여 식을 만든다. 이때에 관측방정식은 기준점과 접합점으로 이루어진다. 한 모델에서의 관측방정식을 만들고, 다수의 독립모델로 구성된 블럭조정의 관측방정식을 만든다. 또한 미지변수만으로 구성된 축약정규 방정식을 만들게 되며, 대부분의 블럭조정에서 미지의 지상좌표수는 미지매개변수보다 대단히 많으므로 전자계산기에 의해 직접 축약정규방정식의 계수행렬을 구한다.

한편 축약정규방정식은 3종류의 부행렬로 구성되며 이를 나누면 주대각부행렬, 부대각부행렬, 상수항부행렬이 된다.

3.2 높이조정식

평면매개변수를 해석한 다음에 높이 매개변수를 구한다. 접합점의 관측방정식과 기준점 및 투영중심점에 의한 관측방정식을 구성한다. 해석방법은

평면조정식의 경우와 같은 순서로 시행한다.

4. 관측계획

본 연구에서의 관측은 단모델기법과 블록조정기법을 비교하기 위해 그림 1과 같이 촬영하였다. 관측모델 지역에서는 실제 지형에서 여러 조건을 구할수 있도록 특수한 지형기준점 모형을 제작하였으며, 기준점은 한쌍으로 하여 상대적으로 높은 기준점과 낮은 기준점으로 고안 하였다.

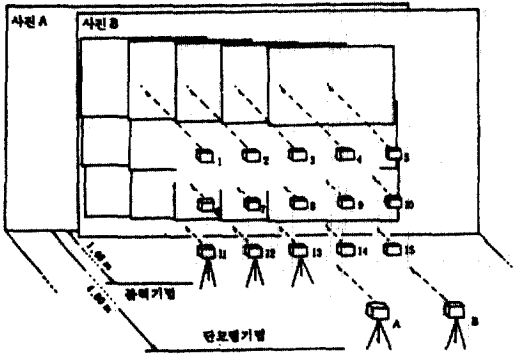


그림 1. 단모델기법과 블록조정기법의 촬영

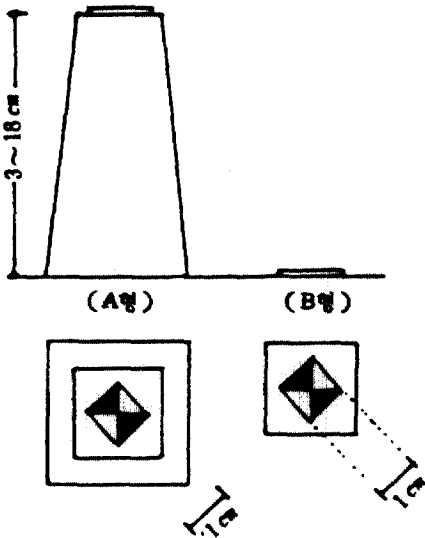
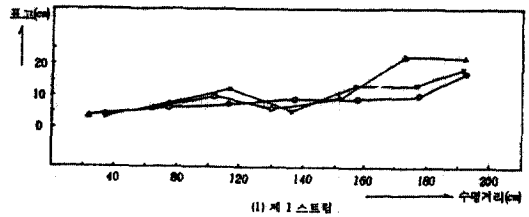
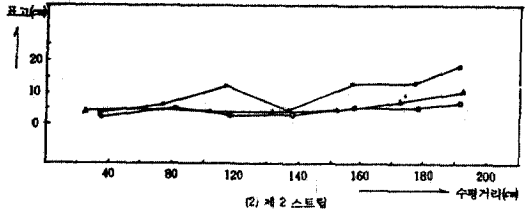


그림 2. 기준점의 형식

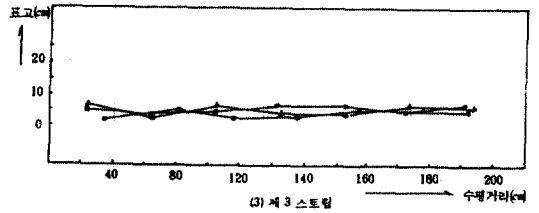
기준점은 관측의 정밀을 기하기 위해 1cm의 정사각형 표지를 부착하였으며, A형은 지형의 기복이 있는 경우, B형은 평면인 경우에 사용하도록 하



(1) 제 1 스트립



(2) 제 2 스트립



(3) 제 3 스트립

그림 3. 기준점의 지형모델 종단도

였다(그림 2). 또한 지형모델은 기복 상태에 따라 비교하기 위해 기복이 서로 다른 3개의 스트립으로 구성 하였으며 지형모델 종단도는 그림 3과 같다. 제 2 스트립(strip)의 경우 촬영거리의 5~10%의 위치에 삼각점이 구성되어 있다.

5. 관측값처리 및 비교고찰

5.1 기준점형식의 결정

삼각점과 수준점의 성과는 사진측량의 해석에 있어 기준이 되는 값이므로 결과에 미치는 영향은 대단히 크다. 방법 1은 일반적으로 적용하는 기준점 형식이다. 방법1을 기준으로 비교하면, 방법 2에서 X좌표는 38배, Y좌표는 7.0배, 그리고 Z좌표는 1.3배 오차가 크게 나타났다. 또한 방법 3에서는 X좌표는 0.74배 Y좌표는 동일하며, Z좌표는 0.96배의 차이가 있음을 알수 있었다.

기준점 형식은 삼각점과 수준점을 동시에 이용하는 방법보다는 삼각점은 A형, 수준점은 B형을 택하는 분리기준점 방법이 양호한 것으로 나타났다. 표 1, 2, 3은 방법에 따른 오차를 보여주고 있다. 표 4와 그림 4에서 알 수 있는 것처럼 기준점

표 1. 삼각점과 수준점이 A형인 경우의 오차

(단위 : mm)

측 점	X	Y	Z	측 점	X	Y	Z
6	-0.2	-0.4	-1.1	4	0.3	-0.7	0.6
9	-0.4	-1.7	1.8	5	-0.3	-0.4	-0.2
11	-0.1	-0.4	-0.1	7	-0.3	-0.1	-1.3
13	-0.8	-0.1	3.2	10	0.0	-0.1	-0.1
19	0.0	-0.2	-0.1	12	0.1	-0.1	-0.3
22	-0.1	-0.4	-0.3	14	0.5	-0.3	0.4
23	0.0	0.2	-0.0	16	0.1	0.2	0.5
27	-0.1	-0.3	0.5	20	-0.4	0.1	-0.2
32	-0.7	1.4	0.3	24	0.0	0.1	0.0
36	-0.1	-0.5	0.4	26	0.1	-0.5	-0.7
38	-0.2	-0.1	0.3	28	0.1	0.3	0.5
40	0.3	0.8	-0.2	29	0.3	-0.7	-0.1
44	1.7	0.4	-1.3	31	0.0	0.6	0.1
				34	0.2	0.4	-0.5
				37	0.8	0.4	-1.1
				39	0.1	0.7	-0.1
				41	0.7	0.7	-0.1
				43	1.6	0.7	-2.0
RMSE					0.54	0.57	0.98

표 2. 삼각점 B형, 수준점 A형인 경우의 오차

(단위 : mm)

측 점	X	Y	Z	측 점	X	Y	Z
3	-4.3	7.1	-	4	-	-	-1.8
6	-5.1	0.7	-1.2	5	-5.6	8.0	-2.8
8	-0.3	13.4	-	7	-	-	-2.2
9	3.9	5.6	3.4	10	4.4	6.7	0.1
11	0.7	-2.6	-0.7	12	1.2	6.3	0.1
13	1.4	4.0	-2.8	14	0.9	3.2	0.1
17	-0.3	1.9	-	16	-	-	1.6
19	1.4	2.9	1.3	20	-	-	0.8
21	3.0	1.2	-	24	0.5	-0.2	0.7
22	1.6	-0.6	0.2	26	0.5	-0.2	-0.1
23	0.7	0.0	0.6	28	0.1	0.1	1.0
27	0.1	0.1	1.0	29	-	-	-0.1
30	-0.3	0.2	-	31	0.0	0.1	0.3
32	-0.1	0.9	0.5	34	-	-	-0.4
33	-0.1	-1.5	-	37	0.3	-0.7	-1.3
36	-0.4	-1.6	0.2	39	-0.3	-0.3	-0.1
38	-0.5	-0.9	0.3	41	0.1	0.1	-0.3
40	-0.3	0.2	-0.4	43	-	-	-2.4
42	0.0	-0.2	-				
45	-3.0	-1.9	-				
RMSE					2.03	3.98	1.27

표 3. 삼각점 A형, 수준점 B형인 경우의 오차

(단위 : mm)

측 점	X	Y	Z	측 점	X	Y	Z
3	-	-	-0.1	4	0.3	-0.7	-
6	-0.2	-0.4	-0.9	5	-0.3	-0.4	-1.8
8	-	-	-0.4	7	-0.3	-0.1	-
11	0.1	0.4	-3.0	9	-0.4	-1.7	2.2
17	-	-	0.4	10	0.0	0.0	0.4
19	0.0	-0.2	0.3	12	0.1	-0.1	-0.1
21	0.0	0.0	0.8	14	0.5	-0.2	0.5
22	-0.1	0.4	0.2	16	0.1	0.3	-
23	0.0	0.2	0.3	20	-0.3	0.2	-
27	-1.0	0.4	0.7	24	0.1	0.2	0.3
30	0.0	0.0	1.0	26	0.1	0.6	-0.1
32	-0.1	1.4	0.7	28	0.1	0.3	0.7
33	0.0	0.0	1.4	29	0.3	0.8	-
36	-0.1	-0.5	1.1	31	0.0	0.7	0.5
38	-0.2	-0.1	0.9	34	0.2	0.4	-
40	0.3	0.2	0.3	37	0.8	0.5	-0.3
42	-	-	0.5	39	0.2	0.4	0.5
44	0.7	0.4	-0.6	41	0.7	0.8	0.4
45	-	-	0.0	43	1.6	0.7	-
RMSE					0.40	0.57	0.94

형식을 적용한 지역은 기복이 보통인 지역으로 삼각점은 촬영거리를 기준으로 비교가 5~10% 지점을 선택 하였으므로 기복이 심한 곳이나, 기복이 거의 없는 지역 보다는 삼각점의 표고가 촬영고도의 5~10%인 측점에 선점하는 것이 오차를 줄일 수 있었다.

표 4. 기준점 형식에 따른 오차

(단위 : mm)

방법	삼각점 형식	수준점 형식	RMSE		
			σ_X	σ_Y	σ_Z
1	A	A	0.54	0.57	0.98
2	B	A	2.03	3.98	1.27
3	A	B	0.40	0.57	0.94

5.2 브리징간격에 따른 오차비교

브리징 간격은 사진측량의 블럭조정에서 기준점과의 거리로서 이 간격을 크게 할수록 오차는 증가하게 된다. 브리징간격에 따른 오차를 밝히기 위해 브리징 간격의 변화를 둔 결과 그림 5.2와 같이 나타났다. 또한 촬영고도에 대한 기복의 변화를

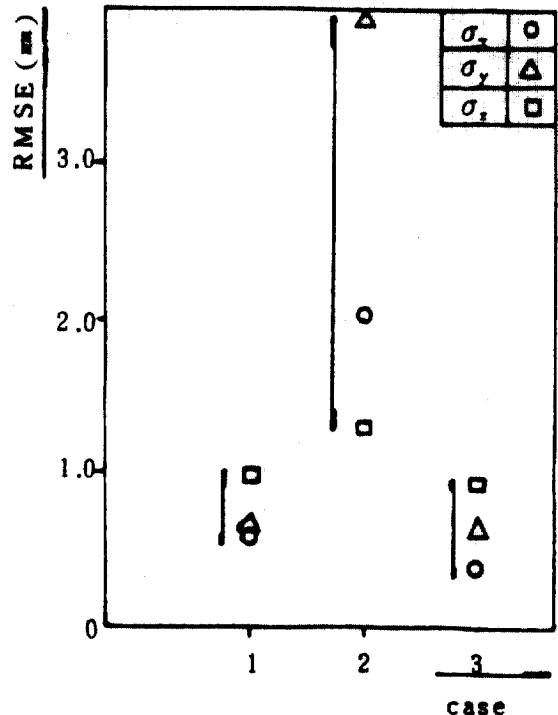


그림 4. 기준점 형식에 따른 방법별 오차

표 5. 브리징 간격에 따른 평면오차식

대상 지역	평면 오차 식(mm)
기복이 심한 지역	$\sigma_p = 0.307 \times 10^{-5} L^2 + 0.425 \times 10^{-3} L$
기복이 보통인 지역	$\sigma_p = 0.200 \times 10^{-5} L^2 + 0.389 \times 10^{-3} L$
기복이 평탄한 지역	$\sigma_p = 0.158 \times 10^{-5} L^2 + 0.195 \times 10^{-3} L$

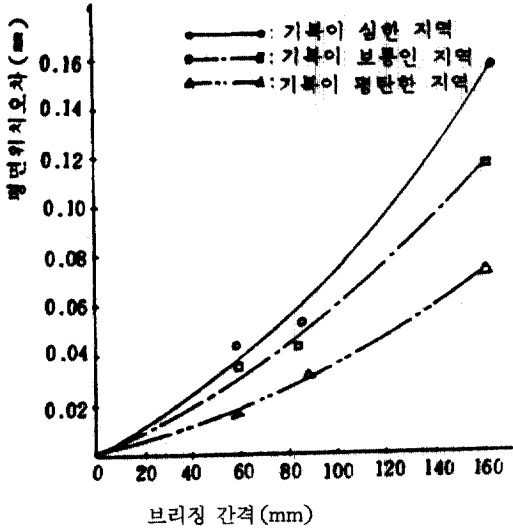


그림 5. 브리징 간격에 따른 평면위치 오차

3 가지 지역으로 나누어 오차를 분석한 결과는 표 5와 같이 나타났다.

따라서 평면오차 (E_B)는 브리징간격 (L)에 대한 2차 다항식으로 표시할 수 있음을 알 수 있다. 즉

$$E_B = \alpha L^2 + \beta L$$

여기서, α 와 β 는 브리징 간격의 2차항 및 1차항에 대한 상수이다.

5.3 외곽기준점 배치

원형기준점 배치에서 기준점 배치의 내부의 오차는 적어지지만 외부에서는 큰 오차가 발생 함을 알 수 있었다. 따라서 대상지역의 외곽에 기준점을 배치함으로써 발생하는 오차를 비교 하였다.

전체 블럭의 모델지역에 기준점을 2점, 4점, 8점 증가시키고, 이용 가능한 전체 기준점 20 점을 그림 6처럼 배치 하였다. 해석 결과에서 기준점수의 증가에 따라 평면위치 오차는 다음과 같이 일정한 값에 수렴하는 것으로 나타났다.

$$\sigma_p = 0.501N^{-1} + 0.227$$

여기서, σ_p = 평면위치오차의 표준오차(mm)

N = 대칭형 외곽기준점수

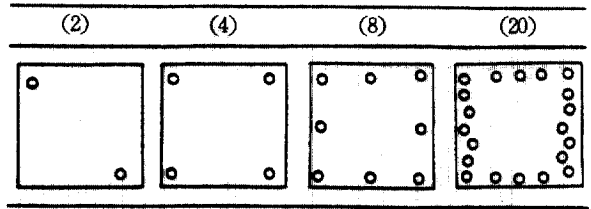


그림 6. 기준점의 외곽배치

5.4 블럭조정기법의 적용에

모델지역을 (2 스트립+4 모델)인 사진블럭을 구성하여 모델을 확장함으로써 최적 기준점 배치를 한후 중앙의 연결점 사용에 따른 오차를 비교 하였다.

모델지역을 정사각형에서 실용적인 직사각형을 구성하여 해석한 결과 중앙의 연결점을 사용하면 6~8%의 정확도가 향상 되었다.

5.5 비교 및 고찰

단모델에 의한 해석기법은 시설물의 근거리 촬영시 대상물의 전체를 촬영할 수 없으므로 블럭조정기법을 사용하여야 하며, 이를 비교하고자 동일 관측모델을 해석한 결과를 비교하여 블럭조정기법의 타당성을 검토하고자 한다. 정확도를 비교하면 사진측척비율에 대한 정확도에서 약 86%에 접근함을 알 수 있었다.(표 6, 7)

표 6. 단모델기법의 해석 결과

(단위 : mm)

측 점	중앙점 미사용		중앙점 사용	
	X	Y	X	Y
1	0.4	-0.7	0.4	-0.6
2	0.7	-0.7	0.8	-0.7
3	0.1	-0.9	0.2	-0.1
4	-	-	-	-
5	-0.3	0.0	-0.3	-0.2
6	0.4	-0.3	0.4	-0.6
7	1.4	-0.8	1.3	-0.7
8	1.2	-0.7	1.2	-0.7
9	-0.2	-0.8	-0.1	-0.8
10	0.3	-0.5	0.4	-0.6
11	0.5	-0.2	0.5	-0.3
12	0.7	-0.2	0.6	-0.4
13	1.3	-0.2	1.2	-0.2
14	0.4	-0.7	0.4	-0.8
15	-1.5	-0.2	-1.4	-0.3
16	-0.1	0.0	0.0	-0.1

측 점	중앙점 미사용		중앙점 사용	
	X	Y	X	Y
17	0.0	-0.2	0.1	-0.4
18	0.9	0.0	0.9	-0.1
19	1.8	0.0	1.6	0.0
20	1.4	-0.5	1.4	-0.6
21	0.4	1.5	0.5	1.4
22	0.0	-0.2	0.1	-0.3
23	-0.4	-0.5	-0.3	-0.6
24	0.1	0.0	0.1	-0.1
25	1.5	0.0	1.4	-0.1
26	0.7	0.2	0.8	0.1
27	0.0	0.1	0.1	0.1
28	-0.2	-0.9	-0.1	1.0
29	0.3	-0.2	0.4	-0.3
30	0.4	0.7	0.4	0.6
31	1.1	-0.2	1.0	-0.3
32	1.9	-0.1	1.9	-0.2
33	0.0	-0.1	0.1	0.3
34	-0.1	0.1	0.0	0.0
35	-0.4	0.5	-0.3	0.5
36	0.3	0.1	0.3	0.1
37	2.3	0.1	2.2	0.0
38	1.6	-0.2	1.6	-0.4
39	1.1	0.5	1.2	0.4
40	-	-	-	-
41	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
42	-1.4	-1.3	-1.2	-1.3
RMSE	0.93	0.53	0.90	0.55
σ_p	1.07		1.05	

측 점	중앙점 미사용		중앙점 사용	
	X	Y	X	Y
15	-0.6	-0.1	-0.5	-0.1
16	-0.4	0.3	-0.3	0.3
17	-0.3	0.3	-0.2	0.3
18	0.5	0.7	0.5	0.7
19	-0.5	0.0	-0.5	0.0
20	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
21	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
22	-0.5	-0.1	-0.2	-0.1
23	-0.6	0.4	-0.5	0.4
24	-0.2	0.2	-0.2	0.2
25	-0.5	0.2	-0.5	0.2
26	-0.1	0.4	0.0	-0.4
27	-0.4	-0.1	-0.2	0.1
28	-0.5	0.0	-0.2	0.4
29	-0.3	0.4	-0.2	0.4
30	0.4	0.4	0.4	0.4
31	-0.4	0.1	-0.4	0.1
32	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3
33	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3
34	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
35	0.1	0.4	0.1	0.4
36	-0.1	0.3	0.0	0.3
37	0.5	0.0	-0.5	0.0
38	-0.3	-0.2	-0.3	0.2
39	-0.2	-0.4	-0.1	-0.4
40	-0.1	0.0	-0.1	0.0
41	0.1	0.8	0.2	0.9
42	0.0	0.7	0.0	0.8
RMSE	0.36	0.32	0.39	0.33
σ_p	0.48		0.44	

표 7. 블럭조정기법의 해석 결과 (단위: mm)

측 점	중앙점 미사용		중앙점 사용	
	X	Y	X	Y
1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3
2	-0.4	0.1	-0.3	0.1
3	-0.4	0.0	-0.3	0.0
4	-0.3	0.1	-0.2	0.1
5	0.0	0.3	0.0	0.3
6	0.5	0.4	0.5	0.4
7	-0.1	0.3	-0.1	0.3
8	-0.3	0.4	-0.3	0.5
9	-0.3	0.1	-0.2	0.1
10	-0.6	0.1	-0.5	0.1
11	-0.3	0.3	-0.2	0.3
12	0.5	0.4	0.0	0.4
13	-0.1	0.2	-0.1	0.2
14	-0.1	-0.2	0.0	-0.2

따라서 본 연구의 블럭조정기법을 이용한 지상 사진측량의 해석을 근거리 촬영이 가능한 경우 단 모델에 의한 종래의 해석기법 보다 정밀한 해석을 할 수 있어 블럭조정기법의 타당성이 입증 되었다.

6. 결 론

지상사진측량에 의한 정밀측량기법에서 단모델 기법과 블럭조정기법을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 촬영고도에 대한 기복의 변화를 세 지역으로 나누어 브리징 간격에 따른 오차를 분석하여 지형의 기복에 따른 위치오차를 얻었다. 둘째, 기준점배치는 원형배치에서 외곽배치로 변환하면서 비교한 결과 한정된 지역에서는 대칭적인 원형배

치를 적용할 수 있음을 알았다. 셋째, 단모델 기법보다 블럭조정기법을 근접촬영시 적용하면 이론적, 실제적으로 정확도가 향상됨을 알수 있었다.

감사의 말

본 연구는 1988년도 한국과학재단 연구비의 지원으로 수행된 것이며 이에 감사의 뜻을 전한다.

참 고 문 헌

1. ASP, Manual of photogrammetry, 1983, pp. 2-27, p. 41.
2. Arp, Herman, and Burns, Joseph P, "Mapping in tropical Forests", *PERS*, Vol. 48, No. 1, 1982, pp. 91-100.
3. 유복모, 사진측정학개론, 회중당, 1984, pp. 227-229.
4. Schnt, G. J., "An Introduction to Andytical Strip Triangulation with a Fortran Program", NRC Report, No. 13149, 1973, pp. 1-82.
5. Matos, Robert A., "Multiple-Station Analytical Triangulation", *PE*, Vol. 37, No. 2, 1971, pp. 173-176.
6. Shmutter, B., and U. Etrog, "Calibration of storage Tank", *PE*, Vol. 37, No. 3, 1971, pp. 261-266.
7. Brandenberger, A. J., "Ship Collision Cases", *PE*, Vol. 39, No. 8, 1972, pp. 779-790.
8. Blyth K., M. A. R. Cooper, N. E. Lindesy, and R. B. Painter, "Snow Depth Measurement with Terrestrial photos", *PE*, Vol. 40, No. 8, 1974, pp. 937-942.
9. Collins, Stanley H., "Stereometric Measurement of Stream bank Erosion", *PERS*, Vol. 45, No. 2, 1979, pp. 183-190.
10. Siegularth, J. D., J. F. Labrecque, and C. L. Carroll, "Volume Uncertainty of a Large Tank Calibrated by Photogrammetry", Vol. 50, No. 8, 1984, pp. 1127-1134.

11. 유복모, "공중삼각측량에 있어서 독립모델의 연구", 대한토목학회 창립20주년기념 논문집, 1972, pp. 222-229.
12. 유복모, "공중삼각 측량에 있어서 전자계산기에 의한 오차 조정", 대한토목학회지, 제20권, 제 1 호, 1972, pp. 45-47.
13. 유복모, 강인준, 이광호, "일반 카메라를 이용한 지상 사진측정의 공간좌표 해석에 관한 연구", 연세대학교 산업기술연구소 논문집, 제13집, 제 1 권, 147, 1981, pp. 43-49.
14. 이계학, "항공사진에 있어서 해석적표정의 오차전파에 관한 연구", 박사학위논문 전남대학교 대학원, 1982.
15. 박윤룡, "사진측정에 의한 사면해석에 관한 연구", 박사학위논문, 동아대학교 대학원, 1984.
16. 양인태, "경사사진에 의한 해석적 위치결정에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1984.
17. 강준목, "다중근거리 사진측정에 의한 피사체의 3차원 정밀해석에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1985.
18. 이재기, "비측정용 사진에 의한 좌표해석", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1986.
19. 강인준, 손홍규, "사진측량에 있어서 블럭조정의 알고리즘에 관하여(I)", 토목학회 학술발표 개요집, 1985, pp. 450-456.
20. 강인준, 유복모, "단위모델을 이용한 항공사진의 3차원 위치해석", 한국측지학회지, 제4권, 제1호, 1986, pp. 49-57.
21. 유복모, 강인준, 송인성, 정창식, "사진측정에 의한 백제석탑의 조형미에 관한 연구", 토목학회 논문집, 제 5 권, 제 1 호, pp. 141-148.
22. 유복모, 강인준, 조기성, 김육남, "대지좌표 결정을 위한 해석적 교회법의 비교 연구", 토목학회 논문집, 제 6 권, 제 1 호, 1986, pp. 51-60.

(接受 : 1989. 4. 12)