

디지털 카메라를 이용한 사진기준점측량의 정확도 향상에 관한 연구

A Study on the Accuracy Improvement of Control Point Surveying of Photograph Using Digital Camera

김계동¹⁾ · 박정현²⁾ · 이용욱³⁾

Kim, Kyedong · Park, Joung Hyun · Lee, Young Wook

Abstract

With supply of the domestic digital camera, the relative importance of the digital camera is coming to be high gradually on aerial photogrammetry, the image of digital camera is more applied in image map or digital topographic map production. But, there are cases that do not have position information or attitude information of each photograph in digital camera results. Therefore, we wish to present additional method to get more accurate photograph control point result. In this study, One is called A method, which is the case of entering positioning information of principal point from topographic map as default values that are need to extract tie point automatically using by 56 pieces of photograph that are photographed by DMC to the extent to 5 courses and 35 GCP points. The other is called B-method, which is the case of entering exterior orientation parameters that are processed by block adjustment for A-method using by 4 control points in method-1 as default values. We have analyzed about results per control points arrangement for two cases using MATCH-AT that is photograph control point measurement S/W of Germany INPHO company. As a result of analysis, accuracy of B-method was better than that of A-method, and we could get more accurate results if block adjustments are executed including self calibration. Also, it is more effective in expense side that using self calibration for photograph surveying in B-method because can reduce GCP numbers.

Keywords : aerial photogrammetry, block adjustment, self calibration, ground control point(GCP)

초 록

국내 디지털카메라의 보급으로 항공사진측량에서 디지털 카메라의 비중이 높아지고 있으며, 영상지도 제작이나 수치지형도 제작에 활용이 증가되고 있다. 그러나 사진의 위치정보나 자세정보 등을 포함하지 못하는 경우가 있어, 보다 정확한 사진기준점 성과를 얻기 위해 추가적인 방법이 필요하다. 본 연구에서는 디지털 카메라(DMC)로 촬영된 5개코스 56매의 사진과 35점의 지상기준점 성과를 이용하여 자동접합점 추출에 필요한 사진주점의 위치정보를 지형도에서 얻어 초기치로 입력한 A방법과 4개의 기준점을 이용하여 1번의 블록조정을 거친 외부표정 요소를 초기치로 입력한 B방법에 대해, 독일 INPHO사의 사진기준점측량 소프트웨어인 MATCH-AT를 사용하여 기준점 배치별 성과에 대해 비교분석하였다. 연구결과, B방법에 의한 사진기준점측량의 정확도가 더 양호하였고, 자가검정을 더하여 블록조정을 실시함으로 보다 나은 성과를 얻을 수 있었다. 또한 자가검정을 사용하여 지상기준점의 수를 줄일 수 있으므로 측량비용 측면에서도 효과적임을 알 수 있었다.

핵심어 : 항공사진측량, 블록조정, 자가검정, 지상기준점

1) 정희원 · 대한측량협회 공간영상팀 주임(E-mail: kdkim@kasm.or.kr)
2) 교신저자 · 정희원 · 대한측량협회 측량기술정보연구원 선임연구원(E-mail: parkjh70@empal.com)
3) 정희원 · 인덕대학 토목환경설계과 전임강사(E-mail: leeyoungwook@empal.com)

1. 서 론

오늘날 우리나라에서 활용되고 있는 수치지형도, 수치영상지도, 3차원공간분석, 인터넷을 통한 항공영상의 웹서비스 등 항공사진측량 관련기술과 제품 중에서 많은 부분이 디지털 환경에서 이루어지고 있으며, 항공사진측량분야에서도 과거 아날로그의 기계식 및 해석식 사진측량이 점차적으로 디지털 기반의 수치도화기 및 수치사진 측량시스템 등으로 전환되고 있다.

최근 선진외국에서는 지도제작용 디지털카메라를 개발하여 항공사진측량분야에서 활용하고 있으며 디지털 카메라를 이용한 디지털항공사진측량은 기존의 현상/인화/스캐닝 작업이 생략된 디지털기반의 자료취득 및 처리, 최종성과물 그리고 배포/전송을 가능케 할 수 있다. 또한 디지털항공사진측량은 센서 조합으로 인하여 단일 비행으로 Panchromatic, RGB, NIR 영상 등 다양한 종류의 영상을 동시에 취득할 수 있는 이점이 있다. 이를 위해 현재 해외 선진국에서는 센서의 특성 및 크기를 달리하는 디지털카메라를 개발하여 사용하고 있다.

국내에서도 항공사진측량과 관련된 연구가 수행되고 있으며, GPS/INS장비를 장착하여 지상기준점 측량에 들어가는 비용 및 시간을 줄이고 사진기준점 성과의 정확도를 높이기 위해 연구도 진행된 바 있다. 사진기준점측량에 의한 위치 정확도 향상과 항공삼각망의 최적 형상에 관한 많은 연구가 이루어졌으며(박운용 등, 1997; 이종출 등, 1996; 신상철, 1997), 이재원(1996)은 GPS 기법에 의한 사진기준점측량에서 단지 4개의 기준점만으로 ±10cm의 위치결정이 가능함을 입증하였다. 유복모 등(1999)은 접합점 자동선정에 의한 항공삼각측량의 자동화에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 정성혁 등(2000)은 수치 사진측량에 있어서 연구대상지역이 완만한 경우 불량 정합점들을 제거하는 방법을 제안하고 광속 조정법을 통하여 3차원 좌표를 계산하였다. 김재학 등(2004)은 지적전산파일과 항공정사사진을 오버랩하여 현장상황을 파악하고 RTK-GPS 측량을 수행하여 지적경계점의 정위치를 계산하는 연구를 수행한 바 있다. 배경호 등(2006)은 촬영조건에 따른 변화에 따른 위치오차를 분석하여 수치사진측량의 효율적인 3차원 지형모델링에 관한 연구를 수행한 바 있다. 2009년 윤부열 등은 경량항공사진측량시스템을 이용하여 남극세종기지의 수치지형도 제작에 활용하였다.

그러나 소규모지역의 경우 촬영기간을 정확히 지켜

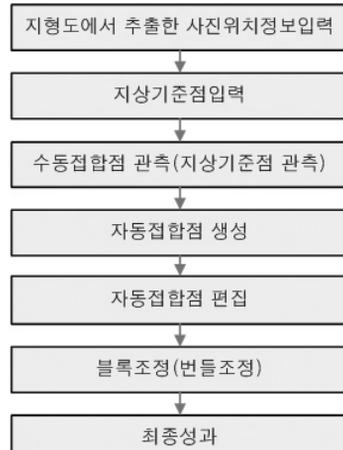


그림 1. A 방법의 작업 흐름도

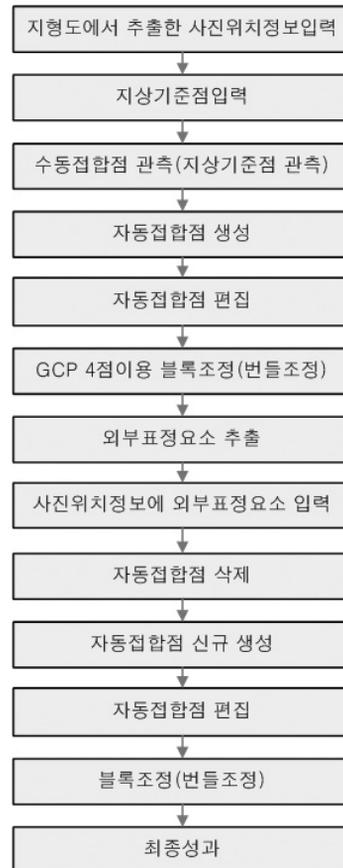


그림 2. B 방법의 작업 흐름도

지상기준국을 운용하기에는 어려움이 있어 지상기지국을 운용하지 않고 촬영하여 기존 아날로그 촬영 때와 같

이 지상기준점을 배치하여 사진기준점 측량을 수행하는 경우가 많다.

본 논문에서는 디지털카메라 성과만으로 지상기준점 측량의 수를 줄여 시간과 비용을 절감하고 사진기준점 측량의 정확도를 확보하기 위해서, 그림 1과 같이 디지털카메라와 지형도를 이용하여 계산된 사진주점의 위치 정보를 초기치로 입력하는 A방법과 4개의 기준점을 이용하여 1번 블록조정을 거친 외부표정요소를 초기치로 입력하는 B방법에 대한 사진기준점측량의 정확도를 분석하였다.

2. 사진기준점측량의 기본이론

사진기준점측량이란 도화기 또는 좌표측정기에 의하여 항공사진상에서 측정된 구점의 모델좌표 또는 사진좌표를 지상기준점 및 GPS/INS 외부표정 요소를 기준으로 지상좌표로 전환시키는 작업이다(국토지리정보원, 2006). 사진기준점측량 방법에는 다항식조정법, 독립모델법, 번들조정법 등이 있다. 다항식조정법은 스트립좌표를 기본단위로 하여 절대좌표를 구하는 방법이며, 독립모델법은 입체모형좌표를 기본단위로 하여 절대좌표로 환산하는 방법이며, 번들조정법은 사진좌표를 기본으로 절대좌표를 계산한다(유복모, 2002).

번들조정법은 사진의 상좌표를 사진좌표로 변환시킨 후, 사진좌표로부터 직접 절대좌표로 변환하는 방법으로 식(1)과 같은 공선조건식을 사용한다. 공선조건이란 투영중심(X_0, Y_0, Z_0), 사진상의 점(x_{photo}, y_{photo}), 그 점에 대응하는 지상의 점(X, Y, Z)이 일직선상에 있다는 조건을 말하며, 이 공선조건식을 통해 지상점과 사진상의 점의 관계가 형성된다(김충평, 2000 ; 서현덕, 2000).

$$x_{photo} = x_p - f_c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{12}(Y - Y_0) + r_{13}(Z - Z_0)}{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (1)$$

$$y_{photo} = y_p - f_c \frac{r_{21}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{23}(Z - Z_0)}{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

여기서, x_p, y_p : 주점원점 이동위치

f_c : 초점거리

$r_{11}, r_{12}, r_{13}, \dots, r_{33}$: 회전행렬계수

3점 이상의 지상기준점을 공선조건에 적용하면 외부표정요소인 투영중심과 표정인자(ω, ϕ, κ)를 구할 수 있다. 계산된 외부표정요소와 사진상의 점을 이용하여 공선조건식을 적용하면 사진상의 임의점에 대응하는 지

상좌표를 구할 수 있다.

식(1)을 이용하여 외부표정요소를 구하기 위해서는 외부표정요소의 초기값이 필요하다. 항공사진의 경우 $\omega = \phi = 0$ 으로 초기값을 정하며, X_0, Y_0, Z_0 의 초기값은 선형등각사상변환을 통하여 산출하게 된다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{photo} - y_{photo} & 1 & 0 \\ y_{photo} & x_{photo} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ C_x \\ C_y \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, a, b, C_x, C_y : 선형등각사상변환계수

앞의 식(2)에서 a, b, C_x, C_y 를 구하면 식(3)과 같이 X_0, Y_0, Z_0 의 초기값을 구할 수 있다. 초기값이 계산된 되면, 식(1)을 선형화한 방정식을 이용하여 최소제곱법으로 외부표정요소를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ X_0 &= C_x \\ Y_0 &= C_y \\ Z_0 &= Z_{mean} + (S \times f_c) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, S는 측정

Z_{mean} : 지상기준점의 평균고도

3. 디지털카메라를 이용한 사진기준점측량 결과

실험대상은 디지털 카메라(DMC)로 촬영된 5개코스 56매의 사진과 35점의 GCP성과를 이용하여 자동접합점 추출에 필요한 사진주점의 위치정보를 지형도에서 얻어 초기치로 입력했을 경우인 A방법과 A방법에서 4개의 기준점을 이용하여 1번의 블록조정을 거친 외부표정요소를 초기치로 입력하였을 경우인 B방법으로 나누어 사진기준점측량을 수행하였다. 사진기준점측량의 블록조정은 독일 INPHO사의 MATCH-AT를 이용하여 수행하였다.

3.1 A방법에 의한 사진기준점측량

실험대상지역은 대전광역시 유성구일원이며 디지털카메라(DMC)로 2008년에 촬영한 5개코스 56매의 디지털 사진(GSD 12cm)을 이용하여 실험하였다. 실험대상지역의 지형은 산악지가 약30%, 평지 40%, 구릉지 30%이었다.

사진배치를 위해 필요한 사진주점좌표는 지형도와 사진을 비교하여 UTM좌표로 추출하고 Z에 대한성과는 촬영고도인 1,300m로 통일하여 입력하였다. 지상기준점

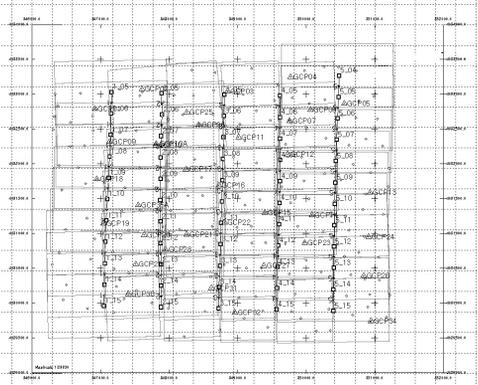


그림 3. GCP 배치도(35점)

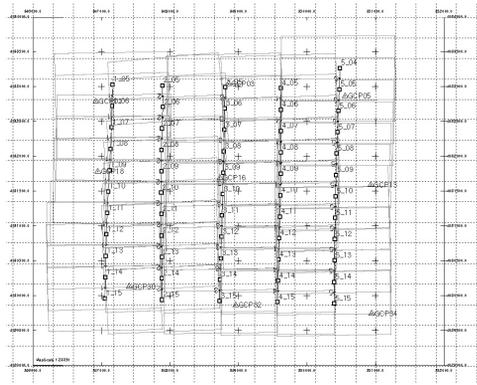


그림 5. GCP 배치도(9점)

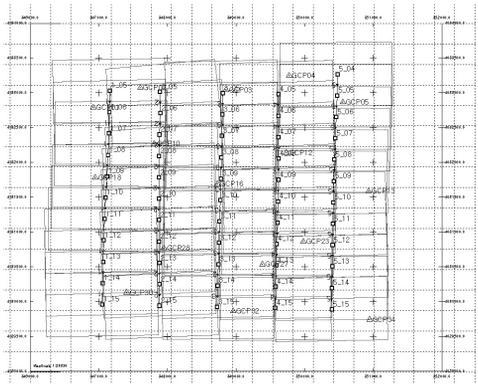


그림 4. GCP 배치도(16점)

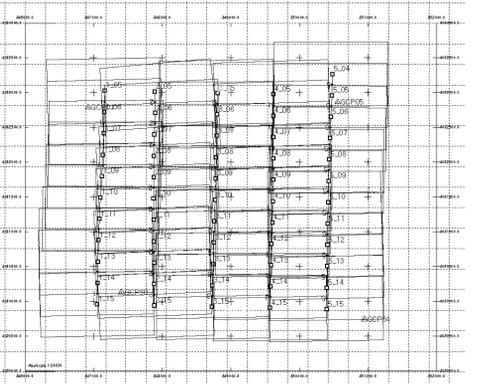


그림 6. GCP 배치도(4점)

성과는 GPS측량에 의해 이루어진 GCP 35점을 UTM좌표로 입력하였으며, 그 배치는 그림 4와 같다. 또한 GCP 16점, 9점, 4점에 대한 배치는 그림 5, 그림 6, 그림 7과 같이 균일하게 배치되도록 하였다.

수동 접합점 관측은 모델당 약 2-3점 정도를 선정하였다. 자동접합점 관측은 MATCH-AT로 FBM(Feature Based Matching)과 LSM(Least Squares Matching) 방법을 사용하여 관측하였으며, 자동접합점 편집과 블록조정을 수행하였다.

각 점별 평면위치와 높이의 오차는 그림 7, 그림 8과 같으며 자가검정을 포함하여 블록조정을 시행한 각 점별 평면위치와 높이 오차는 그림 9, 그림 10과 같다.

3.2 B방법에 의한 사진기준점측량

A방법에 의한 사진기준점측량에서 GCP 4점을 사용하여 블록조정을 실시하여 산출된 외부표정요소중 일부는

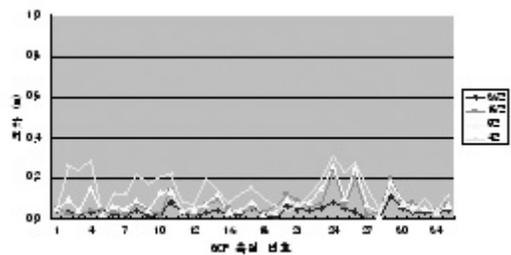


그림 7. A방법의 각 점별 평면 오차그림

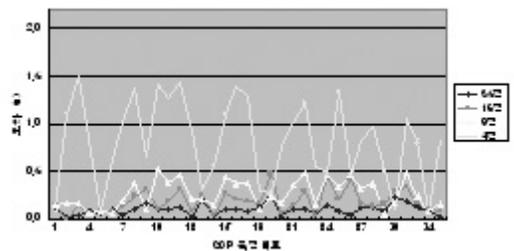


그림 8. A방법의 각 점별 표고 오차

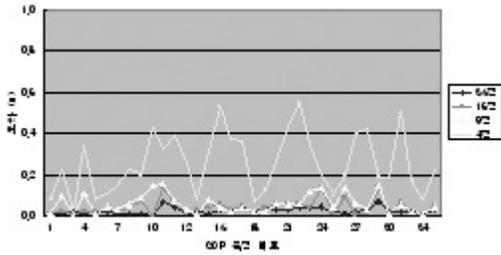


그림 9. A방법의 각 점별 평면오차(자기검정)

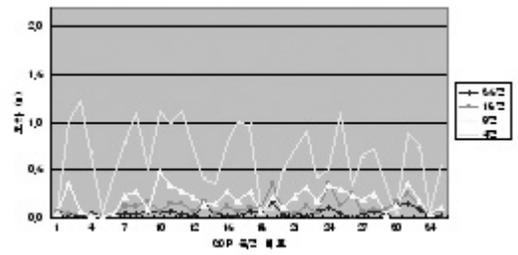


그림 12. B방법의 각 점별 표고오차

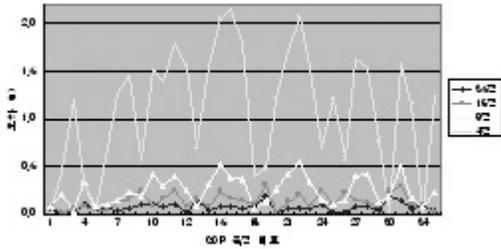


그림 10. A방법의 각 점별 표고 오차(자기검정)

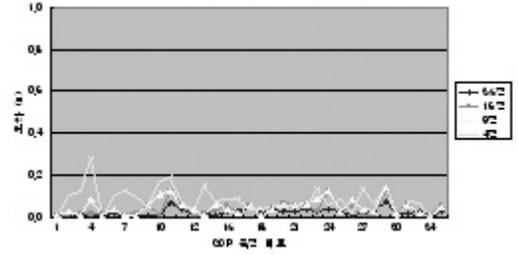


그림 13. B방법의 각 점별 평면오차(자기검정)

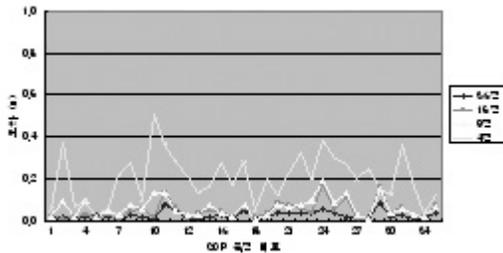


그림 11. B방법의 각 점별 평면오차그림

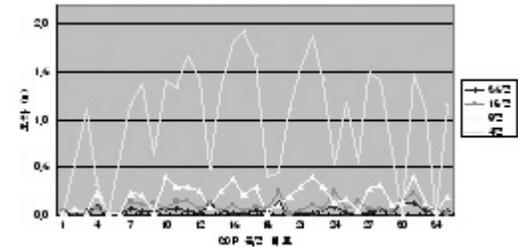


그림 14. B방법의 각 점별 표고오차(자기검정)

표 1. GCP 4점 사용한 블록조정 후 산출된 외부표정요소의 일부

| 사진번호 | X (m) | Y (m) | Z (m) | omega(ω) ($^{\circ}$) | phi(Φ) ($^{\circ}$) | kappa(κ) ($^{\circ}$) |
|------|------------|-------------|----------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 1_05 | 347164.342 | 4033028.365 | 1349.722 | -0.1158 | 0.4473 | -88.7174 |
| 1_06 | 347157.663 | 4032721.045 | 1349.959 | 0.0746 | -0.1484 | -88.6742 |
| 1_07 | 347147.767 | 4032414.266 | 1349.937 | 0.3362 | -1.1062 | -89.8203 |
| 1_08 | 347134.083 | 4032107.909 | 1348.326 | 0.3475 | -0.9231 | -90.2103 |
| 1_09 | 347119.428 | 4031801.339 | 1346.229 | 0.2956 | -0.7430 | -89.8047 |
| 1_10 | 347102.158 | 4031494.741 | 1344.535 | 0.1451 | -0.6883 | -90.2194 |
| 1_11 | 347084.645 | 4031188.079 | 1343.848 | -0.0402 | 0.1617 | -90.1753 |
| 1_12 | 347072.318 | 4030881.667 | 1344.456 | -0.1360 | 1.3076 | -89.1454 |

표 1과 같으며, 그림 2의 작업흐름도에 따라 사진기준점 측량을 수행하였다.

각 점별 평면위치와 높이의 오차량은 그림 11, 그림 12과 같으며 자가검정을 포함하여 블록조정된 각 점별 평면위치와 높이 오차량은 그림 13, 그림 14와 같다.

4. 사진기준점측량 결과의 비교분석

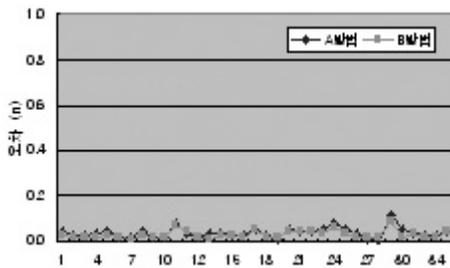
4.1 평면성과 비교

A방법과 B방법의 평면성과의 RMSE를 비교하면 표 2와 같으며, B방법에 의한 블록조정 성과가 더 양호한 것을 확인할 수 있다. 그림 15는 각 점별 오차를 비교한 것으로 A방법의 경우 GCP 16점을 사용한 성과에서부터 0.2m이상의 오차 발견 되었고 B방법의 경우에는 GCP 4점을 사용한 성과에서만 0.2m이상의 오차가 발견되었다.

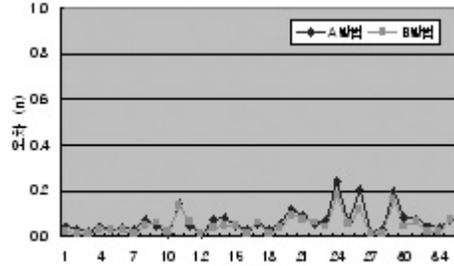
B방법에서 자가검정을 포함 여부에 따른 블록조정 성과를 비교한 결과는 그림 16과 같으며, 자가검정을 포함한 블록조정성과에서 과대오차점에 대한 오차량이 많이 감소하였음을 알 수 있다.

표 2. A방법과 B방법의 평면 RMSE 비교

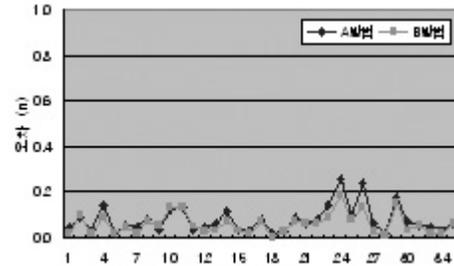
| 구분 | | 평면(RMSE) | |
|-----|------|----------|-------|
| | | A방법 | B방법 |
| 35점 | 일반 | 0.04m | 0.03m |
| | 자가검정 | 0.03m | 0.03m |
| 16점 | 일반 | 0.08m | 0.06m |
| | 자가검정 | 0.06m | 0.05m |
| 9점 | 일반 | 0.10m | 0.08m |
| | 자가검정 | 0.08m | 0.06m |
| 4점 | 일반 | 0.16m | 0.12m |
| | 자가검정 | 0.12m | 0.10m |



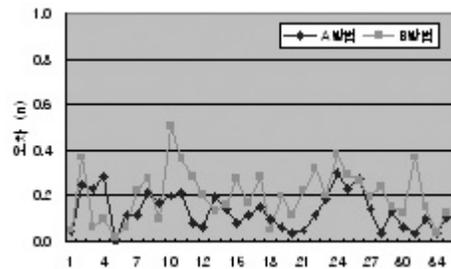
a. GCP 35점 사용



b. GCP 16점 사용



c. GCP 9점 사용



d. GCP 4점 사용

그림 15. A방법과 B방법의 각 점별 평면오차

4.2 표고성과 비교

A방법과 B방법의 표고성과의 RMSE는 표 3과 같으며, A방법에 의한 성과는 GCP 35점을 사용한 성과에서만 0.2m 이하로 양호하게 나타났으며 B방법의 경우는 GCP 16점을 사용한 성과까지 0.2m 이하로 양호하게 나타났음을 알 수 있다.

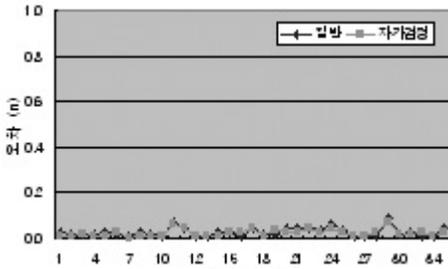
각 점별 오차량을 비교하면 그림 17과 같으며, A방법에서는 GCP 35점을 사용한 성과에서 0.2m 이상인 점이 3점 발견되었으나 B방법에서는 한 점도 발견되지 않았다. GCP 16점을 사용한 성과에서도 A방법에서 12점, B방법에서는 4점이 발견되었으므로, B방법의 성과가 보다 양호하게 나타남을 알 수 있었다. GCP 9점과 GCP 4점을 사용한 결과는 표고기준점 부족으로 만족할 만한

성과를 얻지 못하였다.

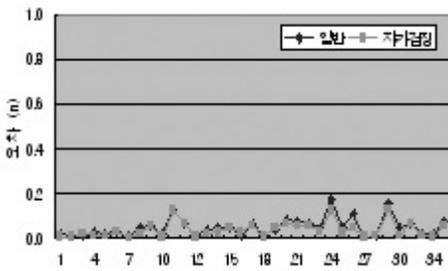
B방법에서 자가검정 포함 유무에 따른 사진기준점측량 시행 성과는 그림 16과 같으며, 각 점별 오차를 비교하면 자가검정이 포함된 블록조정 성과 중 GCP 35점 ~ GCP 9점에서는 과대오차점에 대한 오차량이 어느 정도 감소되었으나 표고기준점이 부족했던 GCP 4점 사용성과는 더욱 커져있음을 알 수 있었다.

표 3. A방법과 B방법의 표고 RMSE 비교

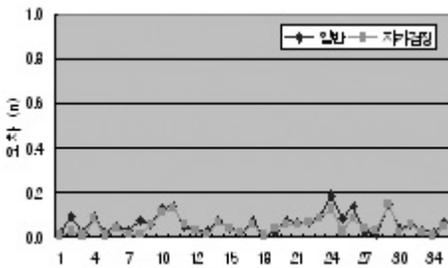
| 구분 | | 표고(RMSE) | |
|-----|------|----------|-------|
| | | A방법 | B방법 |
| 35점 | 일반 | 0.11m | 0.06m |
| | 자가검정 | 0.08m | 0.05m |
| 16점 | 일반 | 0.22m | 0.14m |
| | 자가검정 | 0.16m | 0.11m |
| 9점 | 일반 | 0.30m | 0.22m |
| | 자가검정 | 0.29m | 0.23m |
| 4점 | 일반 | 0.94m | 0.73m |
| | 자가검정 | 1.28m | 1.18m |



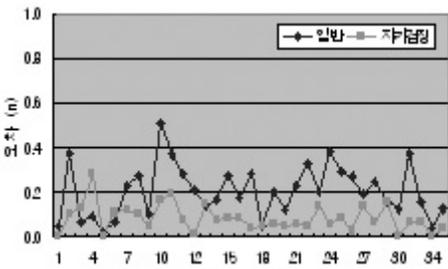
a. GCP 35점 사용



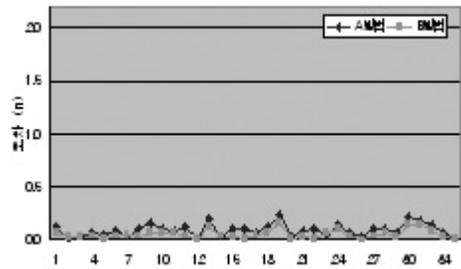
b. GCP 16점 사용



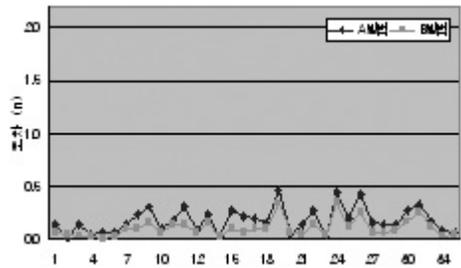
c. GCP 9점 사용



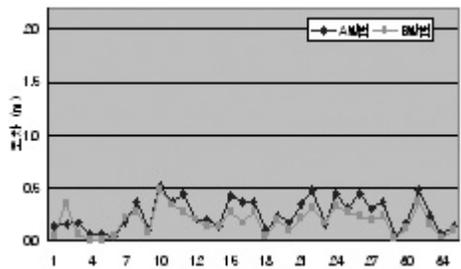
d. GCP 4점 사용



a. GCP 35점 사용

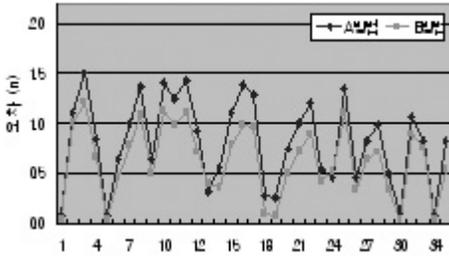


b. GCP 16점 사용



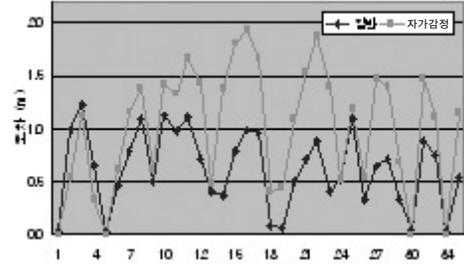
c. GCP 9점 사용

그림 16. B방법의 블록조정 유무에 따른 각 점별 평면오차



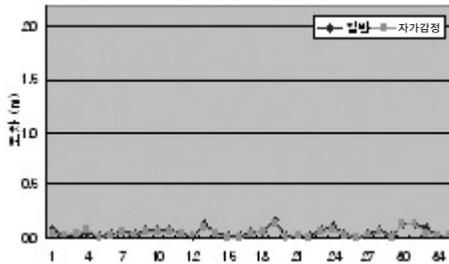
d. GCP 4점 사용

그림 17. A방법과 B방법의 각 점별 표고오차 비교

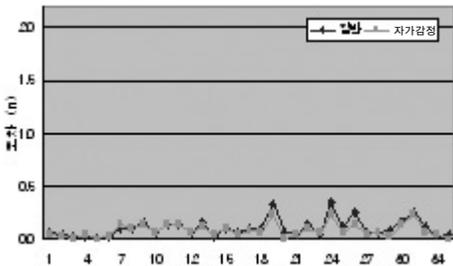


d. GCP 4점 사용

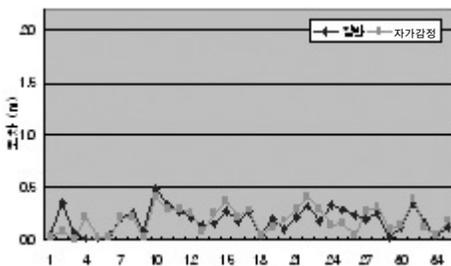
그림 18. B방법의 자가검정을 포함여부에 따른 각 점별 표고오차 비교



a. GCP 35점 사용



b. GCP 16점 사용



c. GCP 9점 사용

5. 결론 및 고찰

디지털 카메라촬영성과 중 각 사진의 위치정보나 자세정보 등을 가지지 못하는 사진을 이용하여 사진기준 점측량시 보다 정확한 사진기준점 성과를 얻기 위해, 사진주점의 위치를 초기치로 입력하는 A방법과 블록조정을 거친 외부표정요소를 초기치로 입력하는 B방법에 대한 실험을 진행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. A방법의 경우 RMSE는 GCP 35점 사용에서 평면 0.04m, 표고 0.11m, 16점 사용에서 평면 0.09m, 표고 0.22m 이였고, B방법의 경우에는 GCP 35점 사용에서 평면 0.03m, 표고 0.07m, 16점 사용에서 평면 0.07m, 표고 0.14m 이므로, B방법에 의한 성과의 정확도가 더 양호함을 알 수 있었다.
2. 자가 검정하여 블록 조정을 실시한 결과, A방법의 경우 GCP 35점 사용에서 평면 0.03m, 표고 0.08m, 16점 사용에서 평면 0.06m, 표고 0.16m 이였고, B방법의 경우에는 GCP 35점 사용에서 평면 0.03m, 표고 0.06m, 16점 사용에서 평면 0.05m, 표고 0.11m 이므로, 자가검정을 추가하여 보다 나은 결과를 얻을 수 있었다.
3. B방법에 의한 사진기준점 측량에 자가검정을 사용하여 지상기준점 수를 줄일 수 있으므로 측량비용적인 측면에서도 효과적이라 할 수 있다. 단 약간의 추가적인 표고기준점이 필요하다.

디지털 항공사진의 경우에는 사진의 위치정보와 자세정보가 성과의 정확도를 결정하는데 매우 중요하게 작용할 수 있으므로 관리에 주의를 기울여야 하며 상황에 따른 기준점의 배치의 적정성에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 국토지리정보원 (2006), 항공사진측량 작업내규.
- 김재학, 최윤수, 이입평 (2004), RTK-GPS와 항공정사사진에 의한 도해지적측량방법 개선 연구, 한국지적학회지, 한국지적학회, 제 20권, 제 2호, pp. 133-145.
- 김충평(2000), GPS를 이용한 투영중심 위치결정 및 항공삼각측량에 관한 연구, 박사학위논문, 명지대학교, pp. 93-102.
- 박운용, 조성태, 이재원, 신상철 (1999), 다중 수신점에 기초한 항공사진측량의 정밀 결합 블록조정, 대한토목학회지, 대한토목학회, 제 19권, 제 Ⅲ-1호, pp. 91-103.
- 박운용, 이동락, 신상철 (1997), GPS 코드파 관측에 의한 항공삼각측량의 외부표정요소의 결정, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 15권, 제 2호, pp. 157-164.
- 배경호, 윤부열, 손호웅 (2006), 수치사진측량의 효율적 적용을 위한 3차원 지형모델링 대한 연구, 지구물리학회지, 지구물리학회, 제 9권, 제 4호, pp. 371-376.
- 서현덕 (2000), GPS 자료를 이용한 광속조정법과 재래식 광속조정법의 비교, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 13-16.
- 신상철 (1997), GPS 보조에 의한 항공사진측량의 블록조정, 박사학위논문, 동아대학교.
- 유복모 (2002), 사진측량학, 문운당, pp. 76-83.
- 유복모, 김원대 (1999), 접합점 자동선정에 의한 항공삼각측량의 자동화, 한국지형공간정보학회지, 지형공간정보학회, 제 7권, 제 2호, pp. 47-56.
- 윤부열, 이재원, 손호웅 (2009), 경량 항공사진촬영 시스템을 이용한 남극 세종기지 수치지형도 제작과 활용에 관한 연구, 대한토목학회지, 대한토목학회, 제 29권, 제 1D호, pp. 121-128.
- 이재원 (1996), *Untersuchung von Verfahren zur kombinierten Aerotriangulation mittels integriertem GPS/INS*, 박사학위논문, University Hannover.
- 이종출, 이병걸, 심봉섭 (1996), 비측량용 사진에 의한 기준점 위치해석의 정확도 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 13권, 제 1호, pp. 95-106.
- 정성혁, 윤홍식, 위광재 (2000), 수치 사진측량에 있어서 정합 강도 측정에 의한 불량 정합점 제거에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 18권, 제 2호, pp. 191-198.

(접수일 2009. 3. 21, 심사일 2009. 4. 7, 심사완료일 2009. 4. 9)