

단사진 해석기법을 이용한 평면좌표 결정에 관한 연구 A Study on the Determination of Plane Coordinates Using Single Photo Method

柳 福 模* 朴 雲 龍**
Yeu Bock-Mo Park Woon-Yong
趙 鋼 衍*** 李 龍 熙****
Cho Kang-Yeon Lee Yong-Hee

要 旨

단사진을 이용한 측량은 교통, 산업, 산림, 범죄수사 및 일상생활에서 많은 활용면이 있으므로 본 논문에서는 이와같은 단사진 측량방법중 공간후방회법(Space Resection)을 이용하는 방법과 2차원 사영변환을 이용하는 방법으로 나누어 해석기법을 제시하였다. 또한 측량용 비측량용 사진기를 사용한 단사진의 정확도를 비교분석 하였으며, 정확도를 향상시킬 수 있는 최적의 상태를 알기 위하여 기준점 수 및 배치형태를 변화시키면서 좌표 및 길이의 오차에 대하여 분석하였다. 그 결과 초점거리가 긴 측량용 사진기 Wild P31이나 중형사진기 ASAHI PENTAX 6×7의 경우 기준점 수 및 배치형태가 오차에 미치는 영향이 작았으나 초점거리가 짧은 비측량용 사진기 NIKON FM2는 기준점 수 및 배치형태가 오차에 미치는 영향이 컸다. 따라서 이러한 단점을 극복하고 오차가 수렴하기 위해서는 최소한 기준점수 6 점 이상을 측량대상 지역에 고루 분포시키고 또한 측량대상물을 촬영축에 직각방향으로 배치하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The single photo method has a lot of applications in forestry, traffic accident managements, industry, criminal investigation, and in daily life. In this study a new single photo method was developed by classifying into the Space resection method and the 2'Dimensional Perspective Transformation method.

Metric and nonmetric cameras were used to analyse the accuracy by means of single photo method, and the errors in coordinates and lengths were studied by changing the number and arrangement of control points to obtain the optimum condition for the single photo method. The influence of number and arrangement of control points on the accuracy was relatively small in case of the Metric WILD P31 and ASAHI PENTAX 6×7 cameras, where as for errors it was a major factor

* 延世大學校 工科學 教授
** 東亞大學校 工科學 教授
*** 延世大學校 大學院
**** 東亞大學校 大學院 博士課程

in the Non-metric Nikon FM2.

To overcome these defects, at least 6 control points should be used for the errors to be convergent and they should be distributed evenly over the surveying area. It was found that accuracy increased as the object to be photographed was placed in the perpendicular direction to the axis of camera.

1. 序 論

사진을 이용한 관측에는 입체사진과 단사진이 이용된다. 그러나 입체사진인 경우는 촬영방법별 해석기법과 정확도 분석면에서 많은 발전이 있었으나, 단사진인 경우는 활용면에 비해 해석방법과 응용방법이 거의 없는 상태였다.

또한, 촬영시의 까다로운 조건과 경제적인 면 및 돌발사건과 같은 시간의 제한성에 의해 입체사진은 사용범위가 제한되어지는 반면에 단사진을 이용한 측량은 3차원 좌표를 구할 수 없는 단점은 있지만 일상생활에서 발생하는 사진과 관계된 소송사건이나 산림조사, 교통사고 처리, 범죄수사 등 평면상의 2차원 좌표나 길이 등이 문제시 되는 경우에는 일반 비측량용 사진기로 촬영된 단사진이 경제적인 면이나 시간의 제약성을 극복할 수 있다는 면에서 많은 적용면이 있다고 할 수 있겠다.

따라서, 본 연구에서는 실험목적에 맞게 Test-Field를 설치하고 측량용 및 비측량용 사진기로 단사진을 촬영하여 좌표 및 길이의 오차를 분석함으로써 단사진의 해석방법과 활용면을 제시함에 목적이 있다.

2. 단사진의 해석이론

2.1 공간 후방교회법을 이용한 단사진 측량

공간상의 임의의 점으로부터 나오는 광선은 모두 투영중심을 통과하여 사진상에 상이 맺어지므로 그림 2-1과 같이 하나의 광선상에 있는 점 P_1, P_2, P_3 가 사진상에 상점 P 로 맺어질때 상좌표로부터 점 P_1 의 Z 좌표를 알

거나 점 P_2 가 기하학적으로 정의된 평면이나 곡면상에 있는 경우를 제외하고는 공간상의 3차원 좌표를 구하는 것은 불가능하다.

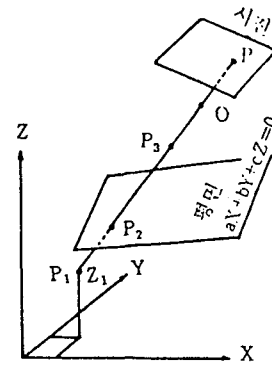


그림 2-1 단사진측량의 원리

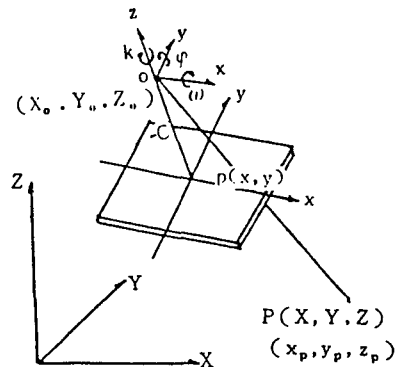


그림 2-2 단사진의 기하학적 원리

따라서 상기의 조건에 의하여 미지수의 차수가 2차원으로 감소되어지며, 공선조건식을 이용한 단사진표정과 2차원 사영변환에 의하여 단사진의 해석이 가능해진다.³⁾⁴⁾

그림 2-2에서 사진기를 정방향에 대하여 (κ, ϕ, ω) 만큼 순차적으로 회전한 경사사진을 역으로 회전시키면 회전행렬에 의해 지상점 P 의 사진기 좌표 (x_p, y_p, z_p) 는

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos w - \sin w \\ 0 & \sin w - \cos w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

이 되므로, 투영중심과 사진상 및 지상점이 일직선상에 있다는 공선조건식은 다음과 같이 된다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾

$$x = -C \cdot \frac{x_p}{z_p} = -C \cdot \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (2.2)$$

$$y = -C \cdot \frac{y_p}{z_p} = -C \cdot \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

여기서 C는 주점거리이며 a_{ij} 는 회전행렬의 요소이다.

식(2.2)는 지상점 P를 (X_0, Y_0, Z_0) 의 위치에서 ω, φ, κ 만큼 회전한 사진상에 나타난 사진좌표를 구하는 식이다.

식(2.2)는 비선형 방정식이므로 이를 Taylor 전개하여 선형화하고 초기근사값을 대입하여 반복계산하여 풀면 다음과 같은 간단한 선형화된 공식이 얻어진다.

$$v_x = F(X_{00}, Y_{00}, Z_{00}, w_0, \varphi_0, k_0) - \frac{\partial F}{\partial X_0} \Delta X_0 - \frac{\partial F}{\partial Y_0} \Delta Y_0 - \frac{\partial F}{\partial Z_0} \Delta Z_0 - \frac{\partial F}{\partial w} \Delta w - \frac{\partial F}{\partial \varphi} \Delta \varphi - \frac{\partial F}{\partial k} \Delta k \quad (2.3)$$

$$v_y = G(X_{00}, Y_{00}, Z_{00}, w_0, \varphi_0, k_0) - \frac{\partial G}{\partial X_0} \Delta X_0 - \frac{\partial G}{\partial Y_0} \Delta Y_0 - \frac{\partial G}{\partial Z_0} \Delta Z_0 - \frac{\partial G}{\partial w} \Delta w - \frac{\partial G}{\partial \varphi} \Delta \varphi - \frac{\partial G}{\partial k} \Delta k$$

따라서 각각의 기준점에 대하여 2개의 식이 가능하므로 최소한 3개의 기준점이 있으면 6개의 방정식이 얻어지고 만약 3개 이상의 기준점이 사용되면 최소제곱법에 의하여 해가 얻어져 6개의 외부표정인자가 구하여지게 된다. 외부표정요소가 구하여지면 사영변환식의 계수가 결정되기 때문에 다음과 같은 사영변환식을 얻게 된다.⁷⁾⁸⁾

$$X = (Z - Z_0) \frac{a_{11}x + a_{21}y - a_{31}C}{a_{13}x + a_{23}y - a_{33}C} + X_0 \quad (2.4)$$

$$Y = (Z - Z_0) \frac{a_{21}x + a_{22}y - a_{31}C}{a_{13}x + a_{23}y - a_{33}C} + Y_0$$

식(2.4)에 특수조건인 일정한 Z값을 대입하고 임의점의 사진좌표와 노출점의 지상좌표를 대입하여 주면 평면좌표 X, Y를 구할 수 있다.

2.2 2차원 사영변환을 이용한 단사진측량

한 평면상의 임의의 점의 위치는 또다른 평면상이 투영되어 나타낼 수 있다. 이 관계는 지상면이 평면일 경우 지상의 임의의 점과 이의 사진상과의 관계에 대해서도 적용이 되는데 이를 2차원 사영기하학으로 표현하면 다음과 같다.⁵⁾

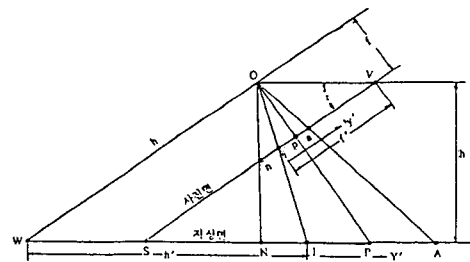


그림 2-3 지상면과 사진면과의 사영기하학 관계

그림 2-3으로 부터 2차원 사영변환식을 유도하면 다음과 같다.

$$\text{삼각형 } aVO \text{와 } OWA \text{의 비례관계에 의하여} \quad \frac{WA}{WO} = \frac{VO}{Va} \quad (2.5)$$

의 식이 성립한다. 이를 다시 고쳐쓰면

$$\frac{Y'_A + h'}{h'} = \frac{f'}{f' - y'_a} \quad (2.6)$$

따라서 a, A에 대하여

$$Y'_A = \frac{h' y'_a}{f' - y'_a} \quad (2.7)$$

좌표 y, Y인 임의점에 대해서는

$$Y' = \frac{h' y'_a}{f' - y'_a} \quad (2.8)$$

지상면에 수직인 방향에 대해서도 마찬가지로 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{X'_a}{x'_a} = \frac{OA}{aO} = \frac{WO}{Va} \quad (2.9)$$

따라서

$$X' = \frac{h' x'}{f' - y'} \quad (2.10)$$

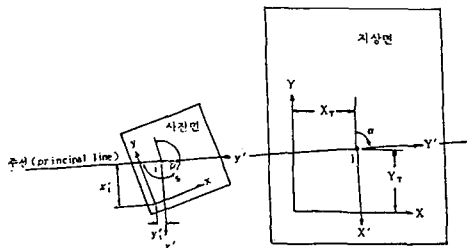


그림 2-4 사진좌표계와 지상좌표계

그림 2-4은 지상면 좌표계 X', Y'와 사진 좌표계 x', y'에 대한 임의좌표계 x, y와 X, Y와의 관계를 나타내고 있다. 여기에서 x', y', X_T, Y_T는 좌표계간의 변이를 나타내고 각 s와 alpha는 회전각 swing과 azimuth를 나타낸다.

이 관계는 사진좌표와 지상좌표에 대하여 다음과 같이 해석적으로 나타낼 수 있다.

$$x' = x'_t - x \cos s + y \sin s \quad (2.11)$$

$$y' = y'_t - x \sin s - y \cos s$$

$$X = X_T + X' \cos \alpha + Y' \sin \alpha \quad (2.12)$$

$$Y = Y_T - X' \sin \alpha + Y' \cos \alpha$$

식(2.8), (2.10), (2.11)를 식(2.12)에

대입하면 다음과 같은 사영변환식이 성립한다.⁸⁾⁹⁾

$$X = \frac{a_1 x + b_1 y + d_1}{a_1 x + b_1 y + 1} \quad (2.13)$$

$$Y = \frac{a_2 x + b_2 y + d_2}{a_1 x + b_1 y + 1}$$

3. 관측 및 결과분석

3.1 Test-Field의 설치 및 표정점 배치

본 연구에서 설치한 Test-Field는 단사진의 가정조건인 평면상태에 가장 접근한 지역으로 연세 대학교 체육관 앞 도로를 촬영지역으로 선정하였고 격자와 도로면에 각각 9개의 표정점을 설치하였다.

격자의 모양은 정방형으로 크기는 180cm×180cm이며 한 변을 다시 2등분 하여 90cm×90cm 격자가 4개 모여있는 형태를 취하고 있다. 기준점 수 및 표정점 배치에 따른 좌표 및 길이의 정확도 분석을 고려하여 표정점의 배치는 격자의 모서리점에 9개의 표정점을 정방형으로 배치하였고 또한 자연표정점으로도 역시 9개의 표정점을 정방형에 가깝게 고루 분포시켰다. 그리고 단사진의 실제적인 면을 고려하여 차적으로 표정점 11과 17, 표정점 12와 16사이에 백색 tape를 설치하였다.

본 논문에 Test-Field와 표정점배치 및 번호는 다음과 같다.

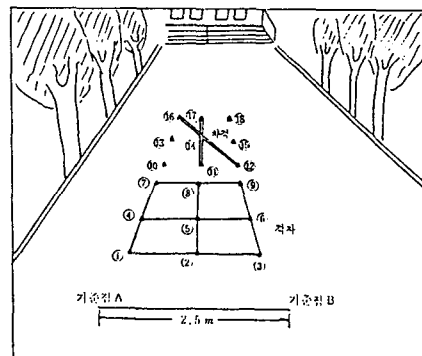


그림 3-1 Test-Field 및 표정점배치

3.2 기준점 측량

본 논문에서는 실험목적에 맞게 표정점 배치에 따른 길이 및 좌표에 대한 정확도 분석을 하기 위하여 격자상에 설치한 9개의 표정점과 임의로 설치한 자연 표정점 9개를 모두 Theodolite로써 기준점 측량하였다.

기준점 측량은 정밀 테오도라이트(1" 읽기)인 Wild T2에 의하여 실시하였으며, 삼각수준 측량법에 의하여 계산하였으며 관측이 불량한 점(표정점 번호 3,9번)은 기준점에서 제외시켰다. 삼각수준측량법에 의하여 계산된 좌표값은 3차원 절대좌표이므로 본 논문의 결과값 분석에 맞게 Z축을 일정하게 소거하여 X, Y 축으로 변환된 좌표값을 관측값 분석에 이용하였다.

또한 표정점 배치에 따른 길이분석을 위하여 격자 및 표정점들간의 길이를 촬영축 방향 10개 및 촬영축 직각방향 10개로 나누어 모두 20개의 표정점간의 길이를 검측선으로 사용하였다. 기준점 측량성과의 변환된 좌표 및 검측선의 길이는 다음과 같다>(*는 관측불량으로 결과값 분석에서 제외된 점)

3.3 결과분석

본 논문에서는 2차원 사영변환에 의해 결정된 좌표값과 기준점측량성과를 변환한 좌표값에 대하여 기준점의 수와 배치를 변화해 가며 모든 표정점에 대한 좌표 및 길이의 오차를 분석하였다.

분석에 이용된 25 Case의 기준점 수 및 배치와 검측선의 길이는 다음과 같다.

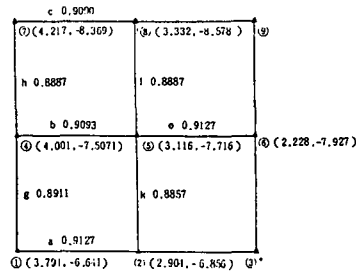
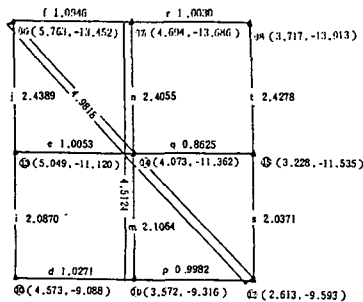


그림 3-2 변환된 격자의 평면좌표와 검측선의 길이

기준점 4	기준점 5	기준점 6	기준점 7	기준점 8
Case 1	Case 6	Case 11	Case 16	Case 21
Case 2	Case 7	Case 12	Case 17	Case 22
Case 3	Case 8	Case 13	Case 18	Case 23
Case 4	Case 9	Case 14	Case 19	Case 24
Case 5	Case 10	Case 15	Case 20	Case 25

그림 3-3 분석에 이용된 기준점 수 및 배치형태

기준점의 수는 사영변환의 계수를 결정하기 위한 최소점인 4점에서 8점까지 변화하여가며 분석하였으며, 각 경우마다 배치형태에 따른 길이 및 좌표의 정확도를 각 기준점수 별로 5가지의 배치형태를 취하여 총 25 Case에 대하여 길이 및 좌표의 평균제곱근 오차를 구하여 정확도를 분석하였다.

전 Case에 대하여 계산된 모든 표정점 좌표의 평균제곱근 오차와 기준점 수에 따른 평균제곱근 오차의 평균값은 표 3.1 와 같다.

표 3.1 기준점수 및 배치에 따른 좌표의 평균제곱근 오차

기준점수	Case	Wild P31	ASAHI PENTAX 6×7	NIKON FM2
4	1	0.0448	0.0498	0.0488
	2	0.0432	0.0334	0.4328
	3	0.0357	0.0469	0.0463
	4	0.0146	0.0193	0.0297
	5	0.0230	0.0296	0.0364
	평균	0.0323	0.0358	0.1188
5	6	0.0180	0.0294	0.0377
	7	0.0399	0.0486	0.2595
	8	0.0342	0.0330	0.0418
	9	0.0147	0.0196	0.0315
	10	0.0415	0.0262	0.0789
	평균	0.0297	0.0314	0.0899
6	11	0.0181	0.0296	0.0447
	12	0.0400	0.0335	0.0634
	13	0.0168	0.0245	0.0296
	14	0.0246	0.0300	0.0303
	15	0.0219	0.0361	0.0626
	평균	0.0243	0.0307	0.0461
7	16	0.0180	0.0276	0.0377
	17	0.0318	0.0416	0.0359
	18	0.0155	0.0209	0.0265
	19	0.0239	0.0290	0.0292
	20	0.0152	0.0214	0.0312
	평균	0.0209	0.0281	0.0321
8	21	0.0179	0.0330	0.0462
	22	0.0167	0.0236	0.0327
	23	0.0150	0.0209	0.0252
	24	0.0234	0.0268	0.0293
	25	0.0154	0.0216	0.0280
	평균	0.0177	0.0252	0.0323

표 3.1에서, 기준점 수에 따라 분석하여 보면 촛점거리가 비슷한 Wild P31과 ASAHI PENTAX 6×7의 경우는 기준점의 수에 따른 오차의 변화량이 적었으나, 비측량용이며 촛점거리가 30mm로 작은 NIKON FM2의 경우 기준점수 6점을 기준으로 오차량이 큰 변화를 나타내었다.

또 기준점 배치에 따른 좌표오차는 동일 기준점인 경우, 기준점이 측량대상지역 전면

에 걸쳐 골고루 배치된 경우인 Case 4, 9, 13, 18, 23의 분포가 가장 적었다. 그러나 NIKON FM2의 경우 촛점거리가 작음에 따라 촬영축 방향인 Y좌표의 오차가 큰 영향을 미치므로 촬영점에서 멀리 떨어져 있는 표정점 16, 17, 18의 정확도가 떨어져 기준점수 4, 5점인 기준점이 촬영축 방향에 가까이 배치된 Case 2, 7에서 정확도가 현저히 저하되었으나, 기준점수에 따른 오차가 수렴되는 기준점수 6, 7점 일 때는 정확도가 크게 향상되었다.

기준점의 배치가 촬영점 가까이 배치된 Case 5, 6, 11, 16를 비교하여 보면 촬영점에서 멀리 배치된 Case 2, 7, 12, 17와 촬영점에서 멀리 배치된 Case 5, 6, 11, 16가 정확도가 훨씬 좋았다. 이는 사진촬영시 촬영된 사진의 좌표 오차가 촬영축 방향인 Y축 방향에 크게 발생하고, 촬영점에서 멀어질수록 커지는데 Case 5, 6, 11, 16가 표정점들이 촬영축에서 멀리 배치되어 있어 Y축 방향오차를 소거하여 주는 배치가 이루어졌기 때문이다.

각 사진기별 기준점수에 따른 오차분포는 다음 그림 3-4와 같다.

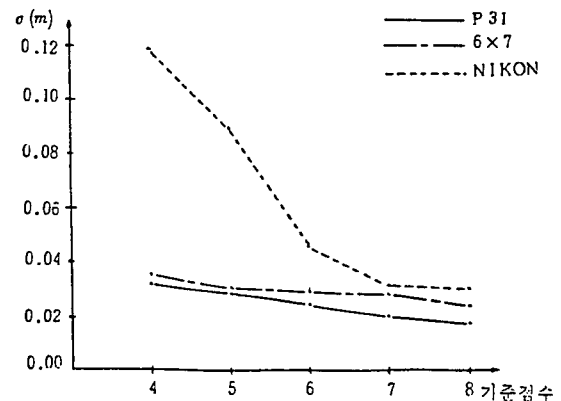


그림 3-4 각 사진기별 기준점수에 따른 좌표오차

그림 3-4에서 볼 수 있는 것처럼 총 25 Case에 대한 기준점의 수와 배치형태에 따른 2차원 좌표의 정확도를 분석한 결과 촛점거리가 99.57mm와 105mm로 큰 측량용 사진기인 Wild P31과 중형 사진기인 ASAHI PENTAX 6×7의 경우 기준점 수 및 배치형태에

따른 오차의 변화가 작았으나 초점거리가 30 mm로 짧은 비측량용 사진기 NIKON FM2의 경우 기준점의 수나 배치형태에 따라서 정확도가 많은 영향을 받았다. 따라서 초점거리가 짧은 비측량용 사진기인 NIKON FM2로 단 사진을 촬영할 때에는 측량대상지역을 전부 포함하도록 골고루 기준점을 분포시켜며 기준점수에 따른 오차가 수렴하는 6점 이상의 기준점을 배치시키는 것이 초점거리가 작고, 비측량용 사진기인 단점을 극복하고, 정확도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

또 기준점수 및 배치형태에 따른 길이분석을 하기 위하여 먼저 전 Case에 대한 20개의 검측선의 오차를 평균제곱근 오차에 의하여 분석하여 보면 표 3.2 및 그림 3-5와 같다.

평면상의 거리는 두점의 좌표값에 의하여 결정되므로 검측선의 길이 분석에 있어서도 그림 3-5에서 보는 바와 같이 좌표분석의 결과값과 유사한 경향을 나타내었다. 그런데 표 3.2에서 보는 바와 같이 기준점이 골고루 배치된 Case 4, 9, 13, 18, 23의 경우 비교적 정확도가 좋았으나 기준점분포가 격자를 벗어나서 촬영점에서 멀리 배치된 Case 6, 11, 16, 21의 경우가 정확도가 더 좋은 이유는 이들 격자를 벗어난 표점점들의 분포가 격자간 격인 90cm보다 넓게 분포되어 있고, 특히 오차가 크게 발생하는 Y축 방향으로 길게 분포되어 있어서 촬영축 방향인 Y축 방향의 오차가 크게 줄었기 때문이다.

기준점수에 따른 오차분석에 있어서는 검측선에 의한 길이 분석에서도 좌표분석에서도 같이 기준점수 6, 7점을 기준으로 정확도가 수렴하는 경향을 나타내었다. 따라서 길이분석에 있어서도 좌표분석에서와 마찬가지로 기준점 수에 따른 오차가 수렴하는 기준점수 6, 7점 이상을 촬영대상 지역에 고루 배치시키는 것이 초점거리가 짧은 비측량용 사진기의 단점을 극복하고, 정확도를 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

또한 촬영축 방향 및 촬영축에 직각방향에 관한 길이오차를 비교분석 하기 위하여 20개

표 3.2 기준점수 및 배치형태에 따른 전 검측선의 평균제곱근 오차

기준점수	Case	Wild P31	ASAHI PENTAX6×7	NIKON FM2
4	1	0.0383	0.0431	0.0446
	2	0.0636	0.0397	0.4488
	3	0.0615	0.0810	0.0685
	4	0.0307	0.0382	0.0410
	5	0.0331	0.0415	0.0410
	평균	0.0454	0.0487	0.1297
5	6	0.0284	0.0343	0.0357
	7	0.0597	0.0641	0.2588
	8	0.0336	0.0377	0.0407
	9	0.0308	0.0378	0.0418
	10	0.0627	0.0401	0.0769
	평균	0.0430	0.0428	0.0908
6	11	0.0299	0.0356	0.0384
	12	0.0608	0.0483	0.0608
	13	0.0319	0.0395	0.0413
	14	0.0356	0.0416	0.0363
	15	0.0300	0.0386	0.0466
	평균	0.0376	0.0406	0.0447
7	16	0.0293	0.0359	0.0395
	17	0.0510	0.0515	0.0490
	18	0.0294	0.0362	0.0383
	19	0.0363	0.0424	0.0373
	20	0.0298	0.0361	0.0370
	평균	0.0312	0.0374	0.0402
8	21	0.0293	0.0357	0.0390
	22	0.0311	0.0379	0.0420
	23	0.0306	0.0362	0.0363
	24	0.0365	0.0423	0.0379
	25	0.0293	0.0351	0.0360
	평균	0.0312	0.0374	0.0382

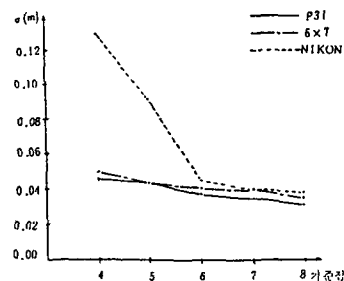


그림 3-5 전 검측선 20개의 기준점수에 따른 오차 분포

의 검측선 중 촬영축에 직각방향으로 배치된 검측선 10개와 촬영축방향으로 배치된 검측선 10개로 각각 나누어 각 Case에 대하여 평균

제공근오차를 구하여 분석하여 보면 다음과 같다.

표 3.3 촬영축 방향 및 촬영축에 직각방향으로 배치된 검측선의 기준점수 및 배치형태에 따른 길이의 평균제공근 오차

기 준 점 수	횡방향으로 분포된 10개의 검측선 a,b,c,d,e,f,o,p,q,r사용				종방향으로 분포된 10개의 검측선 g,h,i,j,k,l,m,n,s,f사용		
	Case	P31	ASAGI	NIKON	P31	ASAHI	NIKON
4	1	0.0277	0.0358	0.0333	0.0465	0.0519	0.0511
	2	0.0088	0.0327	0.1648	0.0895	0.0456	0.6129
	3	0.0177	0.0179	0.0133	0.0862	0.1131	0.0960
	4	0.0087	0.0172	0.0134	0.0425	0.0511	0.0564
	5	0.0059	0.0161	0.0131	0.0465	0.0564	0.0629
	평균	0.0126	0.0239	0.0476	0.0622	0.0636	0.1759
5	6	0.0127	0.0240	0.0212	0.0380	0.0422	0.0458
	7	0.0083	0.0200	0.1036	0.0841	0.0884	0.3466
	8	0.0080	0.0177	0.0143	0.0429	0.0504	0.0574
	9	0.0226	0.0306	0.0306	0.0418	0.0481	0.0488
	10	0.0083	0.0289	0.0476	0.0882	0.0489	0.0979
	평균	0.0120	0.0244	0.0435	0.590	0.556	0.1193
6	11	0.0105	0.0248	0.0268	0.0410	0.0428	0.0473
	12	0.0080	0.0237	0.0396	0.0855	0.0641	0.0763
	13	0.0097	0.0192	0.0096	0.0440	0.0525	0.0576
	14	0.0138	0.0206	0.0193	0.0484	0.0551	0.0475
	15	0.0197	0.0336	0.0253	0.0376	0.0429	0.0608
	평균	0.0123	0.0244	0.0241	0.0513	0.0515	0.0579
7	16	0.0124	0.0270	0.0283	0.0395	0.0429	0.0482
	17	0.0084	0.0207	0.0155	0.0716	0.0801	0.0676
	18	0.0112	0.0200	0.0125	0.0400	0.0472	0.0527
	19	0.0128	0.0195	0.0169	0.0497	0.0568	0.0500
	20	0.0090	0.0188	0.0160	0.0412	0.0474	0.0499
	평균	0.0108	0.0212	0.0178	0.0484	0.0549	0.0539
8	21	0.0124	0.0264	0.0269	0.0395	0.0431	0.0481
	22	0.0083	0.0191	0.0161	0.0432	0.0501	0.0572
	23	0.0101	0.0201	0.0152	0.0411	0.0471	0.0491
	24	0.0123	0.0196	0.0165	0.0501	0.0505	0.0509
	25	0.0099	0.0200	0.0169	0.0403	0.0455	0.0481
	평균	0.0106	0.0210	0.0183	0.0428	0.0485	0.0507

각 사진기별로 촬영축에 직각방향으로 배치된 검측선의 오차와 촬영축 방향으로 배치된 검측선의 오차 및 전 Case에 대한 검측선의 오차를 그래프로 나타내면 다음과 같다.

표 3.3과 그림 3-6에서 볼 수 있는 바와 같이 단사진측량에서의 오차는 촬영축에 대해서 직각방향보다는 촬영축 방향에 검측선을 배치시킨 경우가 훨씬 크다는 것을 알 수 있

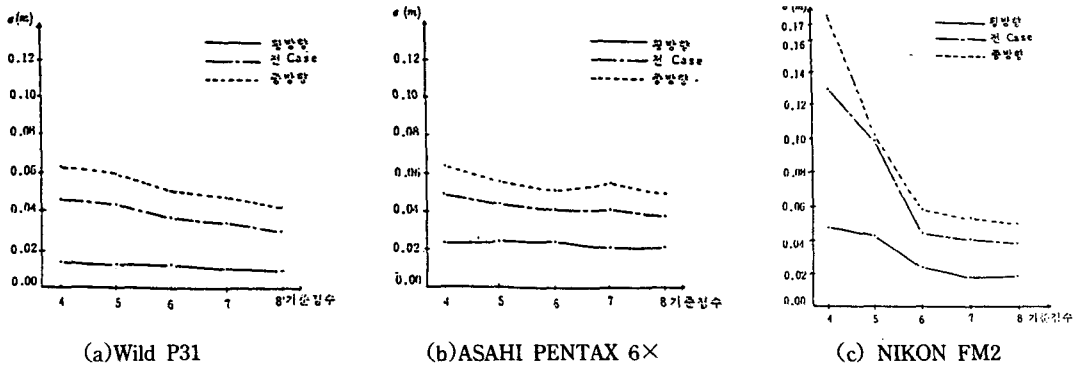


그림 3-6 촬영축방향 및 촬영축에 직각방향으로 배치된 검측선의 각 사진기별 오차분포

었다. 또한 기준점 수에 따른 오차의 변화도 검측선을 촬영축에 직각방향으로 배치시킨 경우가 촬영축 방향에 검측선을 배치시킨 경우보다 작았다. 따라서 여기에서 알 수 있는 것은 단사진 측량을 할 때 촬영대상물을 촬영축에 직각방향으로 배치시켜 주는 것이 오차를 줄이고 정확도를 향상시킬 수 있다는

것을 알 수 있었다.

실제 적용예로 Test-Field 상에 설치한 차적의 길이분석에 있어서는 각 사진기 중 기준점수 별로 가장 정확도가 좋은 Case 5, 6, 13, 18, 23을 택하여 분석해 본 결과 다음과 같다.

표 3.4 각 사진기별 기준점수에 따른 차적길이오차와 정확도

사진기명	Wild P31		ASAHI PENTAX 6×7		NIKON FM2		
	측선	11-17	12-16	11-17	12-16	11-17	12-16
잔 차	Case5	-0.0200	0.0004	-0.0248	0.0004	-0.0272	0.0004
	6	-0.0162	0.0006	-0.0201	0.0001	-0.0229	-0.0002
	13	-0.0031	0.0130	-0.0121	-0.0230	-0.0245	0.0284
	18	0.0075	0.0051	-0.0145	-0.0024	-0.0241	0.0045
	23	0.0057	0.0076	-0.0146	-0.0024	-0.0279	-0.0031
평균		0.0105	0.0053	0.0172	0.0057	0.0253	0.0073
정확도		1/430	1/940	1/262	1/880	1/178	1/682
(X+Y)/2		0.0079		0.0115		0.0163	

표 3.4에서 볼 수 있는 바와 같이 구하려는 길이상에 기준점이 분포된 경우 촬영축에 대각선 방향인 차적 12-16의 경우가 촬영축 방향인 차적 11-17보다 거리오차가 작게 나타났으며, 두 거리의 잔차에 대하여 정확도를 구하여 보면 Wild P31은 1/601, ASAHI PENTAX 6×7은 1/413, NIKON FM2는 1/291이

되었다. 따라서 비측량사진기로 2차원 평면상의 길이를 구할때 될 수 있으면 구하려는 길이상에 기준점을 배치시키는 것이 좋으며 촛점거리에 따른 오차를 고려하여 촛점거리가 긴 사진기를 사용하면 정확도가 측량용 사진기에 접근함을 알 수 있었다.

4. 결 론

측량용 및 비측량용 사진기로 촬영된 좌표 및 길이의 오차를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기준점수 및 배치형태의 변화에 따른 좌표 및 길이의 정확도를 분석해 본 결과 촛점거리가 긴 사진기인 측량용 사진기 Wild P31와 중형 사진기 ASAHI PENTAX 6×7에서는 기준점 수 및 배치형태의 변화가 좌표 및 길이의 오차에 미치는 영향이 작았으나 촛점거리가 짧은 비측량용 사진기인 NIKON FM2에서는 기준점 수 및 배치형태의 변화가 좌표 및 길이의 오차에 미치는 영향이 컸다.

2. 촛점거리가 짧은 비측량용 사진기의 경우 위의 단점을 극복하고 정확도를 향상시키기 위해서 좌표 및 길이의 오차가 수렴하기 위해서는 기준점수 6점이상을 측량 대상지역에 고루 배치시켜야 한다는 것을 알 수 있었다.

3. 비측량용 사진기로 2차원평면의 길이를 산정하는 경우 측정대상물이 촬영축 방향인

Y축 방향보다는 촬영축에 직각 방향인 X축 방향으로 배치되는 것이 Y축 방향의 오차가 감소되어 좌표 및 길이의 정확도를 향상시킬 수 있었다.

參考文獻

1. 유복모, 사진측정학개론, 회중당, 1977, pp. 167-178.
2. 유복모, 측량학 원론(I), 개문사, 1984, pp. 164-170, 343-348.
3. 村井|侑治, "Analytical Rectification for Oblique Aerial Photograph taken by Non-metric Camera", 寫眞測量比リモートセンシング, Vol. No. 3, 1979, pp. 16-25.
4. Rampal, K. K., "A Closed Solution for Space Resection", P. E. & R. S., 1979, pp. 1255-1262.
5. Wolf, P. P., Elements of Photogrammetry, McGraw-Hill International Book Company, 1983, pp. 226-263, 439-462.
6. Moffit, H. Mikhail, M., Photogrammetry, Harper & Row Publishers, New York, 1980, pp. 148-169, 219-240, 308-334.
7. 일본사진측량학회, 解析寫眞測量, 일본사진측량학회, 1983, pp. 1-9, 46-56.
8. A. S. P., Manual of Photogrammetry 4th ed., A. S. P., 1980, pp. 723-760.
9. 坪川家恒, 現代測量 제 6 권, 일본측량학회, 1981, pp. 90-92, 233-252, 324-329.