

항공용 다각사진 카메라 시스템의 플랫폼 캘리브레이션 Platform Calibration of an Aerial Multi-View Camera System

이창노¹⁾ · 김창재²⁾ · 서상일³⁾

Lee, Chang No · Kim, Chang Jae · Seo, Sang Il

Abstract

Since multi-view images can be utilized for 3D visualization and surveying as well, a system calibration is an essential procedure. The cameras in the system are mounted to the holder and their locations and attitudes are relatively fixed. Therefore, the locations and the attitudes of the perspective centers of the four oblique looking cameras can be calculated using the location and attitude of the nadir looking camera and the boresight values between the cameras. In this regard, this research is focusing on the analysis of the relative location and attitude between the nadir and oblique looking cameras based on the results of the exterior orientation parameters after the aerial triangulation of the real multi-view images. We acquired high standard deviations of the relative locations between the nadir and oblique cameras. Standard deviations of the relative attitudes between the cameras were low when only the exterior orientations of the oblique looking cameras were allowed to be adjusted. Moreover, low standard deviations of the relative attitudes came when we considered not all the exterior orientations of the cameras but the attitudes of them only.

Keywords : Oblique Image, Multi-view Camera System, Platform modeling, Camera system calibration

초 록

다각사진은 3차원 공간정보의 시각화 뿐 아니라 측정 목적으로도 사용되므로 카메라 시스템에 대한 캘리브레이션이 요구된다. 다각사진 카메라 시스템을 구성하는 각 카메라는 홀더에 장착되어 상대적인 자세 및 위치가 고정된다. 따라서 투영중심점 위치와 자세각은 중앙에 장착된 연직사진에 대해서 적용하고 나머지 4대의 경사사진용 카메라에 대한 투영중심점 위치 및 자세각은 연직사진에 대한 상대적인 값으로부터 계산될 수 있다. 이에 본 연구에서는 다각사진 카메라 시스템에 의해 실제 촬영된 다각사진을 이용하여 항공삼각측량을 실시 한 후 얻어진 다각사진의 외부표정요소로부터 연직사진을 기준으로 경사사진의 상대적 자세각과 투영중심점의 상대적 위치에 대해 조사 분석하였다. 연구결과 연직사진에 대한 경사사진의 투영중심점 위치는 표준편차가 크게 나타났으며 자세각에 대해서는 경사방향에 관계없이 연직사진을 고정하고 경사사진만 조정할 때 그 표준편차가 더 작게 나타났다. 또한 전체 외부표정요소를 구할 경우보다 자세각만 구할 경우 전반적으로 표준편차가 작으며 안정적인 것을 알 수 있었다.

핵심어 : 경사사진, 다각사진촬영시스템, 플랫폼 모델링, 카메라 시스템 캘리브레이션

1. 서 론

최근 국내에서는 도시지역을 중심으로 3차원 공간정보 요구에 대한 필요성이 증대됨에 따라 3차원 공간정보를 신속하고 효율적으로 구축하기 위한 항공용 다각사진측량 시스템 개발이 요구되고 있다. 항공용 다각사진

카메라 시스템은 여러 대의 카메라를 하나의 홀더에 장착한 후 연직사진과 함께 경사사진을 동시에 촬영하여 지형지물에 대한 3차원 공간정보를 제공한다. 연직사진과 함께 촬영된 경사사진은 항공사진에 대한 전문 지식이 없는 일반인들도 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있으며 도시지역의 건물 측면에 대한 경사사진을 제공하여 3차

1) 정회원 · 서울산업대학교 건설공학부 조교수(E-mail:changno@snut.ac.kr)

2) 교신저자 · 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사후 과정(E-mail:earth2moon@gmail.com)

3) 정회원 · (주)범아엔지니어링 국토정보시스템연구소 주임연구원(E-mail:ssi760@panasia.co.kr)

원 공간정보에 구축에 중요한 역할을 담당할 수 있다. 외국의 경우 2~8개의 필름카메라를 하나의 수직 카메라 주변에 설치한 연구는 이미 1930년대부터 있어 왔다 (Slama, 1952). 최근 미국의 Pictometry International에 의해 디지털화 되면서 다각 항공 수직사진이 도시계획을 위한 3차원 도시공간정보 구축 뿐 아니라 치안, 화재, 구조 등 다양한 적용분야에 활용되어 가고 있다. 또한, 항공사진촬영시스템을 주로 개발하던 네덜란드의 Track'Air사에서 Canon EOS 1Ds Mk II 5대를 조합하여 하나의 연직사진과 네개의 경사사진을 동시에 촬영할 수 있는 시스템인 MIDAS를 개발하여 활용하고 있다 (Jacobsen, 2008).

다각사진 카메라 시스템의 경우 일반적인 연직 항공 사진에 비해 중복도가 높고 사진들의 경사각 차이가 심하다. 따라서 번들 블록조정은 많은 시간을 필요로하고 복잡하므로 주로 GPS/INS에 의한 항공삼각측량에 의존한다. 또한 다각사진은 3차원 공간정보의 시각화 뿐 아니라 측정 목적으로도 사용되므로 카메라 시스템에 대한 캘리브레이션이 요구된다 (오재홍 등, 2006). 일반적인 항공측량용 디지털 카메라도 다수의 카메라에서 동시에 촬영된 여러 사진을 하나의 사진으로 합성하기 위하여 먼저 영상들의 중복된 영역에서 매칭기법에 의해 접합점을 추출하고, 추출된 접합점을 이용하여 번들 블록조정에 의해 자세에 대한 정확한 각을 계산하지만 (Heier 등, 2002 ; Kröpfel 등, 2004 ; Paparoditis 등, 2006 ; Zeitler 등, 2002), 다각사진은 사진 간의 자세각의 차이가 커서 일반적인 자동매칭에 의해 접합점을 추출하는 것은 불가능하다(Jacobsen, 2008).

다각사진 카메라 시스템을 구성하는 각 카메라는 홀더에 장착되어 상대적인 자세 및 위치가 고정된다. 따라서 GPS/INS에 의한 투영중심점 위치와 자세각은 중앙에 장착된 연직사진에 대해서 적용하고 나머지 4대의 경사사진용 카메라에 대한 투영중심점 위치 및 자세각은 연직사진에 대한 상대적인 값으로부터 계산될 수 있다(이창노 등, 2008).

본 연구에서는 다각사진 카메라 시스템에 의해 실제 촬영된 다각사진을 이용하여 항공삼각측량을 실시 한 후 얻어진 다각사진의 외부표정요소로부터 연직사진을 기준으로 경사사진의 상대적 자세각과 투영중심점의 상대적 위치에 대해 조사 분석하였다.

2. 플랫폼 캘리브레이션

다각사진 카메라 시스템에서 촬영된 연직사진과 경사사진의 외부표정요소는 촬영시간에 따라 계속 변하지만 각 카메라는 홀더에 견고히 장착되어 상대적인 자세각과 투영중심점의 위치는 변하지 않고 일정하다. 따라서 카메라 간의 상대적인 외부표정요소를 알고 있으면 기준이 되는 연직사진의 외부표정요소로부터 동시에 촬영된 경사사진의 외부표정요소를 구할 수 있다(이창노 등, 2008).

연직사진(첨자 1으로 표시)과 경사사진(첨자 2로 표시)에 대해 사진좌표와 지상좌표와의 관계는 식(1)에서와 같이 공선조건식으로 나타낼 수 있다. 식(1)에서 \tilde{x} , \tilde{y} 는 영상의 주점과 렌즈왜곡 보정량이 고려된 영상좌표를, c 는 초점거리를 나타낸다. λ 는 스케일 요소를, M 은 지상좌표계에서 센서좌표계로의 회전행렬을, X , Y , Z 는 지상물체의 좌표를, 그리고 X_L , Y_L , Z_L 은 각 사진의 투영중심점의 지상좌표를 나타낸다. 또한 x_o , y_o 는 영상의 주점을, Δx_r , Δy_r 는 렌즈왜곡 보정량의 각 x, y 성분을 나타낸다.

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{y}_1 \\ -c_1 \end{bmatrix} = \lambda_1 M_1 \begin{bmatrix} X - X_{L1} \\ Y - Y_{L1} \\ Z - Z_{L1} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_2 \\ \tilde{y}_2 \\ -c_2 \end{bmatrix} = \lambda_2 M_2 \begin{bmatrix} X - X_{L2} \\ Y - Y_{L2} \\ Z - Z_{L2} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

$$\tilde{x} = x - x_o + \Delta x_r, \quad \tilde{y} = y - y_o + \Delta y_r$$

식(1)에서 경사사진에 대한 공선조건식은 동시에 촬영된 연직사진의 외부표정요소로부터 식(2)에 의해 계산될 수 있다. 즉, 경사사진의 회전행렬은 지상좌표계에서 연직사진 센서좌표계로 회전한 후 연직사진 센서좌표계에서 경사사진 센서좌표계로 회전한다. 같은 방법으로 경사사진에 대한 투영중심점의 지상좌표는 연직사진의 투영중심점의 지상좌표에 연직사진과 경사사진의 투영중심점의 지상좌표의 차를 더해서 구할 수 있다. 연직사진과 경사사진의 투영중심점의 지상좌표의 차는 연직사진 센서좌표계에서의 경사사진의 투영중심점의 좌표를 연직사진의 회전행렬의 역행렬 즉 전치행렬을 곱해서 지상좌표로 변환하여 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_2 \\ \tilde{y}_2 \\ -c \end{bmatrix} = \lambda_2 M_{12} M_1 \left\{ \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \left(\begin{bmatrix} X_{L1} \\ Y_{L1} \\ Z_{L1} \end{bmatrix} + M_1^T \begin{bmatrix} X_{L12} \\ Y_{L12} \\ Z_{L12} \end{bmatrix} \right) \right\} \quad (2)$$

식(2)에서 M_{12} 는 연직사진과 경사사진의 상대적인 자세각을, X_{L12} , Y_{L12} , Z_{L12} 는 연직사진과 경사사진의 상대적인 투영중심점의 위치를 나타낸다. 식(2)를 식(1)의 경사사진에 대한 공선조건식과 비교하면 연직사진 센서 좌표계에서 경사사진 센서좌표계로 회전행렬은 식(3)과 같고 연직사진 센서좌표계에서의 경사사진의 투영중심점의 좌표는 식(4)와 같다.

$$M_{12} = M_2 M_1^T \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} X_{L12} \\ Y_{L12} \\ Z_{L12} \end{bmatrix} = M_1 \begin{bmatrix} X_{L2} - X_{L1} \\ Y_{L2} - Y_{L1} \\ Z_{L2} - Z_{L1} \end{bmatrix} \tag{4}$$

일반적으로 다각사진 시스템에서 카메라 간의 간격은 매우 좁기 때문에 외부표정요소 간의 높은 상관계수로 인해 연직사진에 대한 경사사진의 상대적 자세각과 투영중심점의 위치 모두를 정확히 구하는 것은 불가능하다. 즉 식(3)과 식(4)에 의해 상대적 자세각과 투영중심점의 위치 모두를 구할 경우 계산된 값들은 일정하지 않고 편차가 크게 나타난다.

경사사진의 상대적 자세각은 정확한 측정이 어려우므로 식(2)에서와 같이 외부표정요소로부터 계산되어야 하지만 경사사진의 상대적 투영중심점의 위치는 직접적인 측정을 통해서도 요구되는 정확도를 만족하는 결과를 얻을 수 있다. 따라서 경사사진에 대해 측정된 상대적 투영중심점의 위치가 식(4)에 의해 구한 상대적 투영중심점 좌표와 같도록 경사사진의 외부표정요소를 변환할 필요가 있다. 이러한 목적으로 먼저 그림 1에서와 같이 경사사진의 외부표정요소를 이용하여 경사사진에 고르게 분포 되도록 격자점을 생성한 후 광선이 높이가 일정한 다수의 평면과 교차하는 3차원 지상격자점을 생성한다. 다음으로 식(2)에서와 같이 연직사진의 외부표정요소와 측정된 경사사진의 상대적 투영중심점의 위치를 이용하여 경사사진의 투영중심점의 위치를 계산하고 상

수로 고정하고 3차원 지상격자점의 좌표값을 이용하여 최소제곱법에 의해 경사사진의 자세각을 다시 추정한다. 추정된 경사사진의 자세각과 연직사진의 자세각으로부터 상대적인 자세각 $M_{12} = M_2 M_1^T$ 를 계산한다.

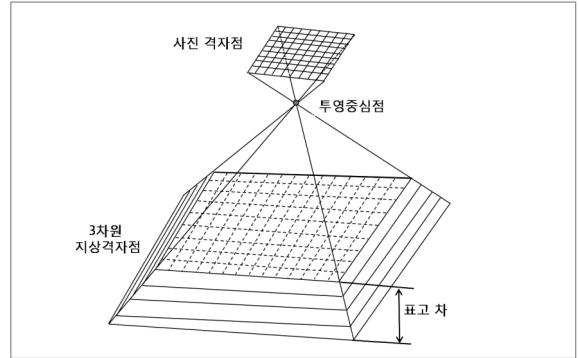


그림 1. 생성된 사진격자점과 3차원 지상격자점

3. 실험데이터

3.1 다각사진 카메라 시스템의 구성

테스트를 위해 중형급 해상도를 지니고 있는 카메라로서 Rollei AIC P20 한 대와 4대의 P45장비를 사용되었다. P20은 CCD가 픽셀크기가 $9 \mu\text{m}$ 에 4080×4080 픽셀로 되어 있으며, P45의 경우 픽셀크기가 $6.8 \mu\text{m}$ 에 7216×5412 픽셀이며, 초점거리는 모두 72mm이다. 그림2에서와 같이 고정형 홀더를 제작하여 P45 4대중 1대는 연직방향으로 장착하고 (그림 2에서 가운데 카메라) 나머지 3대 (그림 2에서 가운데 카메라를 둘러싸고 있는 4대의 카메라들)를 45도 경사카메라로 장착하였다. 또한 P20은 좌측 방향을 바라보도록 45도 경사카메라로 장착하여 다각사진 시스템을 구성하였다.

다각사진 시스템은 대형 3축 Gimbal 자이로 마운트에 장착되었고 연직카메라를 기준으로 카메라별 설치 위치 및 방향은 표 1과 같다.

표 1. 연직카메라를 기준으로 한 경사카메라별 설치 위치 및 방향

Camera Model	View Direction	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	Omega (deg)	phi (deg)	Kappa (deg)
P45+	Nadir	0	0	0	0	0	0
P45+	Backward	0.030	-0.239	-0.07	0	45	90
P45+	Right	0.239	0.030	-0.07	-45	0	-180
P45+	Forward	-0.030	0.239	-0.07	0	-45	-90
P20	Left	-0.239	-0.030	-0.07	45	0	0

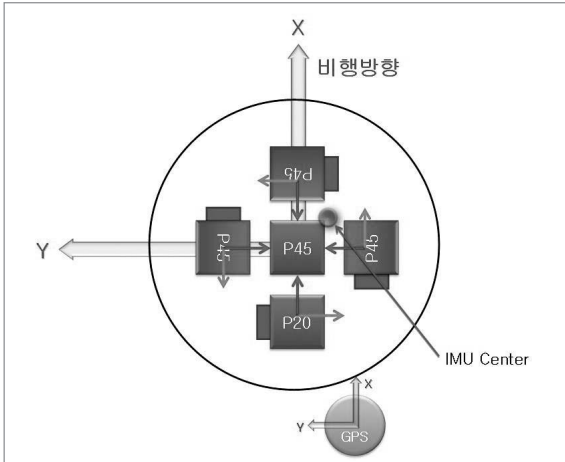


그림 2. 다각사진 카메라 시스템 개념도

3.2 항공촬영

2009년 12월 4일 충남 아산을 촬영대상지역으로 선정하여 촬영면적 4km×4km, 수평 5코스와 수직 4코스를 격자촬영을 실시하였다. 촬영고도는 1000m로 연직사진의 지상해상도는 약 10cm가 되도록 하였으며 연직사진에 대한 중복율은 중중복이 60%, 횡중복은 40%로 촬영을 실시하였다. 아산 지역에 지상기지국을 설치하여 사진촬영과 함께 GPS/INS 데이터를 관측하였다. 다각사진의 특성상 대상영역의 포함된 사진매수는 촬영방향에 따라 다르며, 항공 촬영된 전체 사진매수 중 연직방향 99매, 우측방향 62매, 전방 73매, 좌측방향 123매, 후방 65매로 전체 422매의 항공사진이 항공삼각 측량을 위해 사용되었다. 그림 3은 5개의 서로 다른 방향으로 찍힌 샘플 사진들을 보여주고 있다.

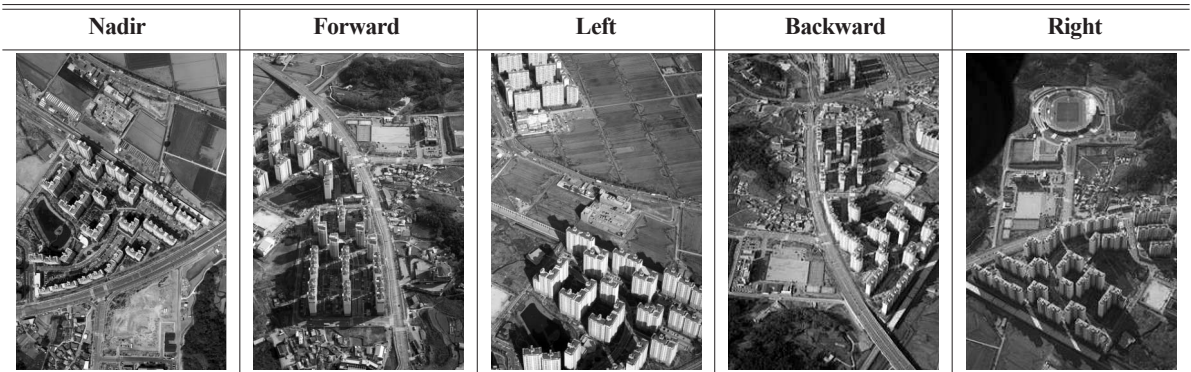


그림 3. 5개의 서로 다른 방향으로 찍힌 샘플 사진들

3.3 항공삼각측량 결과

다각사진의 블록조정은 사진 간의 해상도의 차이가 크고 관측방향의 차이가 커서 전체 사진을 동시에 조정할 경우 접합점의 자동추출이 불가능하다. 따라서 항공삼각측량을 2단계로 나누어 먼저 연직사진에 대해 항공삼각측량을 실시한 후 그 결과를 초기값으로 하여 연직사진을 포함한 전체사진에 대해 항공삼각측량을 실시하였다. 연직사진 만을 사용하여 얻어진 항공삼각측량 결과는 지상기준점 평균제곱근오차(Root Mean Square Error)가 X방향으로 0.110m, Y방향 0.086m, Z방향 0.099m로 양호한 결과를 얻었다. 반면에 전체사진에 대한 항공삼각측량 결과는 지상기준점 평균제곱근오차는 X방향으로 0.271m, Y방향 0.320m, Z방향 0.332m로 크게 증가하였으며 이는 경사사진의 해상도가 연직사진에 비해 크게 낮으며 사진 간의 관측방향 차이로 인해 오히려

정확도가 크게 저하 되었다. MIDAS 다각사진을 대상으로 한 최근 해의 연구사례에서도 유사한 결과가 얻어졌다(Jacobsen, 2008). 이러한 문제점을 해결하기 위해 연직사진은 초기결과에 의해 얻어진 외부표정요소로 고정하고 경사사진에 대해서만 블록조정을 실시하였으며 전체사진에 대해 항공삼각측량 결과와 비교하였다.

4. 플랫폼 캘리브레이션 실험결과 및 분석

전체 422장의 항공사진에 대해 항공삼각측량을 실시하여 얻어진 외부표정요소로부터 연직사진에 대한 각각의 경사사진의 외부표정요소를 계산하였다. 전체 422장의 항공사진에 대한 외부표정요소는 연직사진의 외부표정요소를 초기 항공삼각측량 결과로 고정하고 경사사진만 블록조정된 경우와 연직사진을 포함한 전체 항공사

진을 블록조정된 경우를 비교하였다. 또한 연직사진에 대한 각각의 경사사진의 외부표정요소는 두가지 방법 즉, 자세각과 투영중심점 모두를 계산하는 방법과 투영중심점은 연직사진과 경사사진 간의 측정된 값으로 고정하고 상대적인 자세각만을 계산하는 방법으로 실시되었다.

4.1 모든 외부표정요소를 계산하는 경우

전체사진의 외부표정요소로부터 4방향의 경사사진 별로 각 경사사진에 해당하는 연직사진이 있는 경우 식(3)과 식(4)를 이용하여 연직사진에 대한 외부표정요소를 계산하였다. 방향별로 선택된 사진쌍의 수는 각각 우측방향이 39쌍, 전방 73쌍, 좌측방향 99쌍, 후방 64쌍 이었다.

표 2에서와 같이 연직사진에 대한 경사사진의 투영중심점 위치는 전체사진을 조정된 경우에 비해 연직사진을 고정하고 경사사진만 조정된 경우의 표준편차가 우측사진(Right)의 경우 X, Y, Z성분이 0.52m, 0.12m, 0.08m

감소했다. 전방사진(Forward) 경우 X, Y성분이 0.23m, 0.03m 감소했으며, Z성분이 0.07m 증가했다. 좌측사진(Left)의 경우 X성분이 0.36m감소했으며, Y성분이 0.22m 증가했고, Z성분이 0.26m 증가했다. 또한 후방사진(Backward)의 경우 X, Y성분이 0.50m, 0.02m 감소했으며 Z성분이 0.03m 증가했다. 전반적으로 표준편차가 다소 줄어들기는 하지만 두 경우 모두에서 표준편차가 크게 나타났으며 최소 0.30m에서 최대 1.31m이고 대부분 0.5m에서 0.8m 범위의 값을 가졌다. 또한 평균값 역시 표 1에 나타난 측정값과 최소 0.11m에서 최대 2.30m의 차이를 보였다. 이와 같이 표준편차와 평균값의 차이가 큰 이유는 다각사진을 구성하는 카메라 간의 간격이 매우 작아서 자세각에 의한 영향과 분리하는 것이 어렵기 때문이다. 표 1에서 측정값의 오차는 1cm 이내로 볼 수 있으므로 연직사진에 대한 경사사진의 투영중심점 위치는 측정값을 적용하는 것이 더 정확하다.

자세각에 대해서는 표 3에서와 같이 경사방향에 관계 없이 연직사진을 고정하고 경사사진만 조정된 경우 계

표 2. 연직사진에 대한 경사사진의 투영중심점 위치 (모든 외부표정요소를 고려시)

경사사진		전체사진 조정			연직사진 고정		
		Xl(m)	Yl(m)	Zl(m)	Xl(m)	Yl(m)	Zl(m)
Right	평균	0.5596	2.3674	0.3873	-0.5485	0.7075	0.0688
	표준편차	1.3088	0.7347	0.6159	0.7875	0.6167	0.5374
Forward	평균	-0.6267	-0.1346	-0.1793	-1.2129	-0.4592	-0.5506
	표준편차	0.8618	0.6636	0.2996	0.6271	0.6289	0.3659
Left	평균	0.4171	-1.2608	-0.0173	-0.1867	-0.1894	1.2385
	표준편차	1.2023	0.7931	0.6946	0.8421	1.0169	0.9539
Backward	평균	1.1843	-0.0196	-1.1084	1.6670	0.0443	-1.8799
	표준편차	0.8852	0.5885	0.2911	0.3881	0.5659	0.3184

표 3. 연직사진에 대한 경사사진의 자세각 (모든 외부표정요소를 고려시)

경사사진		전체사진 조정			연직사진 고정		
		Roll(deg)	Pitch(deg)	Yaw(deg)	Roll(deg)	Pitch(deg)	Yaw(deg)
Right	평균	-44.3425	0.1169	179.6789	-44.2788	0.0627	179.6811
	표준편차	0.0536	0.0650	0.0454	0.0267	0.0356	0.0160
Forward	평균	-0.0224	-45.6841	-89.9302	-0.0061	-45.7060	-89.9461
	표준편차	0.0456	0.0534	0.0182	0.0329	0.0182	0.0159
Left	평균	44.4158	0.0658	-0.4071	44.3101	0.0342	-0.3992
	표준편차	0.0547	0.0566	0.0398	0.0454	0.0320	0.0301
Backward	평균	0.0182	45.1379	89.8233	0.0225	45.1710	89.8280
	표준편차	0.0399	0.0551	0.0195	0.0276	0.0118	0.0163

산된 자세각의 표준편차가 최소 0.0032도에서 최대 0.0433도까지 감소함을 확인할 수 있었다. 즉 다각사진에서 연직사진에 대한 경사사진의 외부표정을 계산할 경우 연직사진을 고정하는 것이 더 안정된 결과를 얻을 수 있다.

4.2 투영중심점은 측정값으로 고정하고 자세각에 대한 표정요소만 계산하는 경우

자세각에 대한 표정요소만 계산하는 경우에는 표 4에

서와 같이 자세각에 따라 다른 결과가 나타났다. 즉, Roll의 경우 우측방향 경사사진은 연직사진을 고정한 경우가 전체사진을 조정된 경우의 표준편차보다 0.0063도 작았으나 나머지 세 경우 사진들에서는 반대로 전체사진을 조정했을 때의 표준편차가 최대 0.0059도까지 줄어들었다. Roll의 경우를 제외하고 Pitch와 Yaw에 대해서는 연직사진을 고정한 경우의 표준편차가 최대 0.0174도까지 줄어들었다. 위에서 설명한 네가지 경우를 비교하기 위해 연직사진에 대한 경사사진의 자세각의 표준편

표 4. 연직사진에 대한 경사사진의 자세각 (투영중심점은 측정값으로 고정시)

경사사진		전체사진 조정			연직사진 고정		
		Roll(deg)	Pitch(deg)	Yaw(deg)	Roll(deg)	Pitch(deg)	Yaw(deg)
Right	평균	-44.2768	0.1029	179.6704	-44.2586	0.0982	179.7035
	표준편차	0.0165	0.0135	0.0224	0.0102	0.0107	0.0187
Forward	평균	-0.0461	-45.6598	-89.9365	-0.0501	-45.6521	-89.9577
	표준편차	0.0099	0.0242	0.0163	0.0123	0.0130	0.0138
Left	평균	44.3751	0.0368	-0.3929	44.3425	0.0321	-0.3976
	표준편차	0.0189	0.0100	0.0243	0.0248	0.0143	0.0182
Backward	평균	0.0313	45.0705	89.8206	0.0397	45.0669	89.8246
	표준편차	0.0107	0.0249	0.0189	0.0126	0.0075	0.0188

차를 경사사진의 방향 별로 그림 4-6에 나타내었다. 그림에서와 같이 전체 6개의 외부표정요소를 모두 구하는 것보다 투영중심점 위치는 측정값으로 고정하고 자세각만 계산하는 것이 전반적으로 표준편차가 작으며, 자세각만 구할 경우 Roll, Pitch, Yaw에 따라 다소 차이는 있지만 연직사진을 고정한 경우가 전반적으로 표준편차가

작으며 안정적인 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 아래의 그림들에서 All_6EO는 전체사진을 조정하면서 모든 외부표정요소를 고려한 경우를, All_Rot는 전체사진을 조정하면서 자세각에 대한 표정요소만 고려한 경우를, Nadir_6EO는 연직사진을 고정하고 경사사진만을 조정하면서 모든 외부표정요소를 고려한 경우를, 그

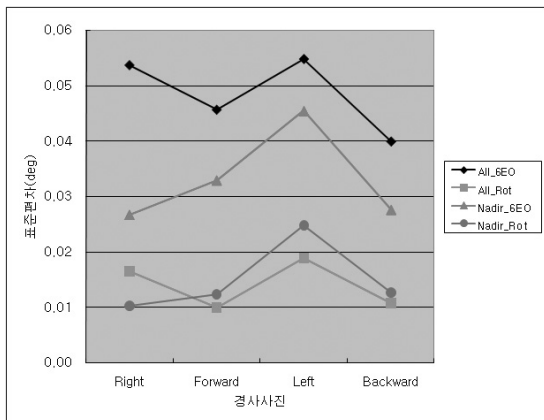


그림 4. Roll의 표준편차

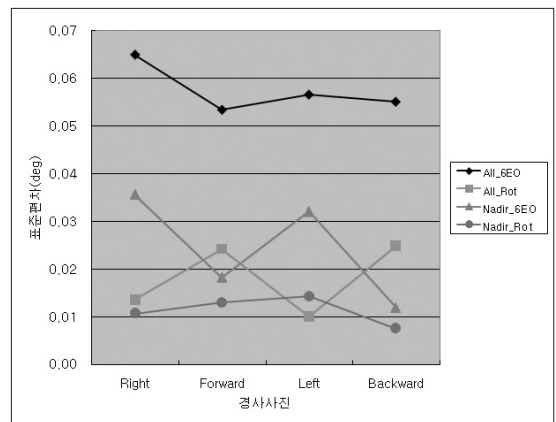


그림 5. Pitch의 표준편차

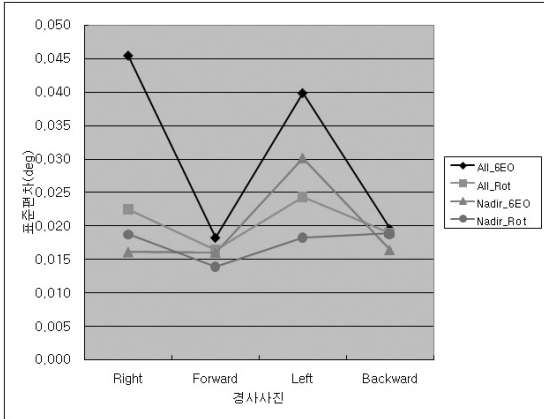


그림 6. Yaw의 표준편차

리고 Nadir_Rot는 연직사진을 고정하고 경사사진만을 조정하면서 자세각에 대한 표정요소만을 고려한 경우를 나타낸다.

5. 결 론

본 연구에서는 다각사진 카메라 시스템에 의해 촬영된 다각사진의 외부표정요소로부터 연직사진을 기준으로 경사사진의 자세각과 투영중심점 위치에 대해 조사 분석하였다. 연구결과 연직사진에 대한 경사사진의 투영중심점 위치는 표준편차가 크게 나타났으며 최소 0.30m에서 최대 1.31m이고 대부분 0.5m에서 0.8m 범위의 값을 가졌다. 또한 평균값 역시 측정값과 큰 차이가 있었다. 측정값의 오차는 약 1cm 이내로 볼 수 있으므로 연직사진에 대한 경사사진의 투영중심점 위치는 측정값을 적용하는 것이 더 정확하였다. 자세각에 대해서는 경사방향에 관계없이 연직사진을 고정하고 경사사진만 조정할 때 자세각의 표준편차가 더 작은 것을 알 수 있었다. 또한 전체 외부표정요소를 구할 경우보다 자세각만 구할 경우 Roll, Pitch, Yaw에 따라 다소 차이는 있지만 전반적으로 표준편차가 작으며 안정적인 것을 알 수 있었다. 향후 보다 많은 실험을 통해 다각사진 카메라 시스템에서 카메라 간의 상대적 자세각이 잘 유지되는지에 대한 실험이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형 국토정보기술혁신사업과제(과제번호:07국토정보C02)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

오재홍, 이창노, 어양담 (2006), 비측정용 디지털 카메라의 효율적인 자체 검정을 위한 대상지 구성, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 24권, 제 3호, pp. 281-288.

이창노, 이병길, 어양담 (2008), 비측정용 카메라를 이용한 Multi-Looking 카메라의 플랫폼 캘리브레이션 실험 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 26권, 제 4호, pp. 351-357.

Heier, H., Kiefner, M., Zeitler, W. (2002), Calibration of the Digital Modular Camera, *FIG XXII International Congress*, FIG, Washington, D.C. USA, unpaginated CD-ROM.

Jacobsen, K. (2008), Geometry of vertical and oblique image combinations, 28th *EARSel Symposium, Remote Sensing for a Changing Europe*, EARSel, Istanbul, Turkey, unpaginated CD-ROM.

Kröpfl, M., Kruck, E., Gruber, M. (2004), Geometric calibration of the digital large format aerial camera UltraCamD, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS Commission I, Istanbul, Turkey, pp 42-44.

Paparoditis, N., Souchon, J. P., Martinoty, G., Marc, P. D.(2006), High-end aerial digital cameras and their impact on the automation and quality of the production workflow, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 60, pp. 400-412.

Slama, C., Theurer, C., Henriksen, S. (1952), *Manual of Photogrammetry-2nd edition*, chapter II, part1, Aerial cameras and accessories, ASPRS, pp. 69-137.

Zeitler, W., Doerstel, C., Jacobsen, K. (2002), Geometric calibration of the DMC: method and results, *Proceedings of ISPRS Commission I Symposium on Integrated Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale*, ISPRS, Denver, USA, unpaginated CD-ROM.