

방향코사인을 이용한 드론영상의 에피폴라 영상제작 Generation of Epipolar Image from Drone Image Using Direction Cosine

김의명¹⁾ · 최한승²⁾ · 홍승표³⁾

Kim, Eui Myoung · Choi, Han Seung · Hong, Song Pyo

Abstract

Generating an epipolar image which is removed a y-parallax from an original image is an essential technique for creating a 3D stereoscopic model or producing a map. In epipolar image production, there is a method of generating epipolar images by estimating the relative orientation parameters after matching the extracted distinct points in two images and a method of generating epipolar images by using the baseline and rotation angles of the two images after determining the exterior orientation parameters. In this study, it was proposed a methodology to generate epipolar images using direction cosine in the exterior orientation parameters of the input images, and a method to use the transformation matrix for easy calculation when converting from the original image to the epipolar image. The applicability of the proposed methodology was evaluated by using images taken from the fixed wing and rotary wing drones. As a result, it was found that epipolar images were generated regardless of the type of drones.

Keywords : Epipolar Image, Direction Cosine, Fixed-Wing Drone, Rotary-Wing Drone, Relative Orientation Parameters

초 록

에피폴라 영상은 원 영상에서 y-시차를 제거한 영상으로 3차원 입체 모델을 생성하거나 지도를 제작하기 위해서 필수적인 기술이다. 에피폴라 영상 제작에는 두 영상에서 특징점을 정합한 후 상호표정요소를 추정하여 생성하는 방법과 외부표정요소를 결정한 후 두 영상의 기선과 회전각을 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 입력 영상의 외부표정요소에서 방향코사인을 이용하여 에피폴라 영상을 제작하는 방법과 원 영상에서 에피폴라 영상으로 변환할 때 용이한 계산을 위하여 변환관계를 행렬을 이용하는 방법론을 제안하였다. 제안한 방법론의 적용성은 고정익과 회전익 드론에서 촬영한 영상을 이용하여 평가하였으며 그 결과 드론의 형태에 관계없이 에피폴라 영상이 적합하게 제작됨을 알 수 있었다.

핵심어 : 에피폴라 영상, 방향코사인, 고정익 드론, 회전익 드론, 상호표정요소

Received 2018. 05. 09, Revised 2018. 06. 21, Accepted 2018. 06. 26

1) Corresponding Author, Member, Department of GIS Engineering, Namseoul University (E-mail: kemyoung@nsu.ac.kr)

2) Member, Department of GIS Engineering, Namseoul University (E-mail: hseung.choi@gmail.com)

3) Department of GIS Engineering, Namseoul University (E-mail: bbcuco@gmail.com)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

에피폴라(epipolar) 영상제작은 3차원 입체 모델을 생성하거나 지도를 제작하기 위해서 필수적인 기술이며, 원 영상에서 y-시차(또는 종시차)를 제거한 영상이다. 이러한 영상은 스테레오 정합 시 동일한 지점을 찾을 때 탐색지역을 최소화할 수 있는 장점이 있으며 x-시차에 따라 시차지도(disparity map)를 생성할 수 있다(Han *et al.*, 2014). 시차지도를 생성하기 위한 에피폴라 영상은 두 영상에서 특징점을 정합한 후 상호표정요소를 추정하여 생성하는 방법과 외부표정요소를 결정한 후 두 영상의 기선과 회전각을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다(Mikhail *et al.*, 2001; Kim and Kim, 2012; Kim and Kim, 2013).

에피폴라 영상제작과 관련된 연구동향을 살펴보면, 근거리에서 촬영한 영상에서 두 영상의 상호표정요소와 에피폴라 라인을 이용하여 시차지도를 생성한 연구(Jang *et al.*, 2012), 두 영상에서 상호표정요소의 추정 방법에 따라 에피폴라 라인생성의 정확도를 비교분석한 연구가 수행되었다(Ben-Artzi *et al.*, 2016). 이와 같이 두 영상의 기선거리가 고정되지 않은 상호표정요소를 이용한 경우에는 축척이 결정되지 않았기 때문에 실제 거리를 측정하기 어렵다.

이에 반해, 기선거리가 고정된 스테레오 카메라와 에피폴라 라인을 이용하여 절대좌표로 3차원 위치를 결정하고 이에 대한 정확도를 분석한 연구가 수행되기도 하였다(Hwa *et al.*, 2015). 특징점 정합을 통해 상호표정요소를 추정하여 에피폴라 영상을 생성한 후 가상의 3차원 좌표를 추정할 수도 있으나 GNSS/IMU (Global Navigation Satellite System / Inertial Measurement Unit) 센서로부터 카메라의 위치와 자세에 대한 정보를 이용하면 절대좌표로 3차원 위치결정이 가능하다. 넓은 지역의 3차원 위치결정을 위해서 위성영상을 이용하여 에피폴라 영상을 제작하거나 분석하는 연구를 수행하였다(Kim and Hahm, 2005; Idrissa and Beumier, 2016). 위성영상을 이용하는 경우 광범위한 지역의 3차원 위치결정이 가능하나 항공영상에 비해 공간해상도가 낮기 때문에 3차원 좌표의 정확도가 떨어진다. 촬영비용이 적게 들고 높은 공간해상도를 확보할 수 있는 고정익과 회전익 드론을 상업용 소프트웨어를 이용하여 지형 측량의 정확도를 비교하는 연구가 수행되기도 하였다(Lee and Choi, 2016; Sung and Lee, 2017). 하지만 드론 영상을 이용하여 3차원 위치를 결정하기 위해서 선행되어야 할 에피폴라 영상생성 알고리즘에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이에, 본 연구에서는 고해상도의 고정익, 회전익의 드론영상을 좌표축과 방향코사인을 이용하여 에피폴라 영상을 제작하고, 원 영상에서 에피폴라 영상으로 변환할 때 용이한 계산을

위하여 변환관계를 행렬을 이용하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 검증하기 위해서 에피폴라 영상에서 공액점을 추출한 후 y-시차 및 3차원 위치의 정확도를 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 제안한 방법론의 흐름도

본 연구에서 제안한 에피폴라 영상제작 방법은 Fig. 1과 같고 다섯 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 좌우측 원 영상의 외부표정요소를 이용하여 에피폴라 영상이 제작될 축을 계산한다. 두 번째는 방향코사인을 이용하여 원 영상의 좌표축과 에피폴라 영상의 좌표축과의 회전행렬을 계산한다. 세 번째는 원 영상의 사진좌표를 카메라 렌즈왜곡이 보정된 사진좌표로 변환한다. 네 번째는 원영상의 경계를 이용하여 제작될 에피폴라 영상의 크기를 설정한다. 다섯 번째는 원 영상의 보정된 사진좌표에서 에피폴라 영상좌표로 변환하는 행렬을 계산하여 에피폴라 영상을 제작한다.

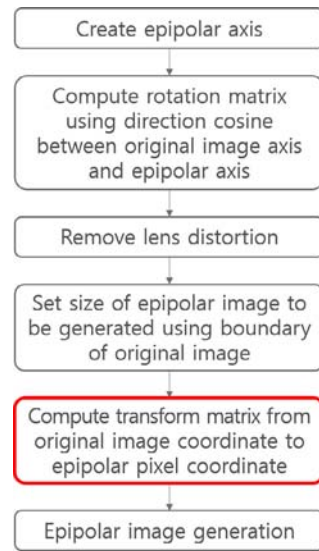


Fig. 1. Flowchart for generating epipolar image

2.2 에피폴라 좌표축 설정

Fig. 2는 본 연구에서 제안하는 방법으로 원 영상의 좌표축과 투영중심을 이용하여 기선벡터를 구성한 후, 방향코사인을 이용하여 원 영상과 에피폴라 영상간의 회전행렬을 계산하는 것이다(Conen *et al.*, 2016).

첫 번째로 에피폴라 영상의 x축을 나타내는 \hat{x}_n 은 기선벡터와 평행해야 하므로 Eq. (1)과 같이 원 영상의 투영중심을 이용

하여 기선벡터를 계산한다.

$$\hat{x}_n = \frac{O_2 - O_1}{\|O_2 - O_1\|} \quad (1)$$

where (O_1, O_2) is the perspective center of the left and right images, \hat{x}_n is the x -axis of the epipolar image.

두 번째는 에피폴라 영상의 y, z 좌표축을 설정하기 위해 원 영상의 외부표점요소를 이용하여 Eq. (2)와 같이 투영중심을 원점으로 하는 좌표축을 계산한다.

$$\begin{aligned} [\hat{x}_1 \ \hat{y}_1 \ \hat{z}_1] &= R_{x_1y_1z_1}^{XYZ} = (R_{XYZ}^{x_1y_1z_1})^T \\ [\hat{x}_2 \ \hat{y}_2 \ \hat{z}_2] &= R_{x_2y_2z_2}^{XYZ} = (R_{XYZ}^{x_2y_2z_2})^T \end{aligned} \quad (2)$$

where $(\hat{x}_1, \hat{y}_1, \hat{z}_1)$ and $(\hat{x}_2, \hat{y}_2, \hat{z}_2)$ are unit vectors representing three-dimensional coordinate axes of the left and right images, $R_{x_1y_1z_1}^{XYZ} = (R_{\omega_1} R_{\phi_1} R_{\kappa_1})^T$, $R_{x_2y_2z_2}^{XYZ} = (R_{\omega_2} R_{\phi_2} R_{\kappa_2})^T$

세 번째는 원 영상의 좌표축과 기선벡터를 이용하여 에피폴라 영상상의 y, z 축을 계산한다. \hat{z}_n 는 Eq. (3)과 같이 벡터 외적을 통하여 \hat{z}_1 과 \hat{z}_2 의 평균을 취한 축과 \hat{x} 축과 직교하는 임시의 y 축을 설정한 후, \hat{x} 축과 임시의 y 축을 외적하여 \hat{z}_n 를 계산한다.

$$\hat{z}_n = \frac{\hat{x}_n \times \left(\frac{\hat{z}_1 + \hat{z}_2}{2} \times \hat{x}_n \right)}{\left\| \hat{x}_n \times \left(\frac{\hat{z}_1 + \hat{z}_2}{2} \times \hat{x}_n \right) \right\|} \quad (3)$$

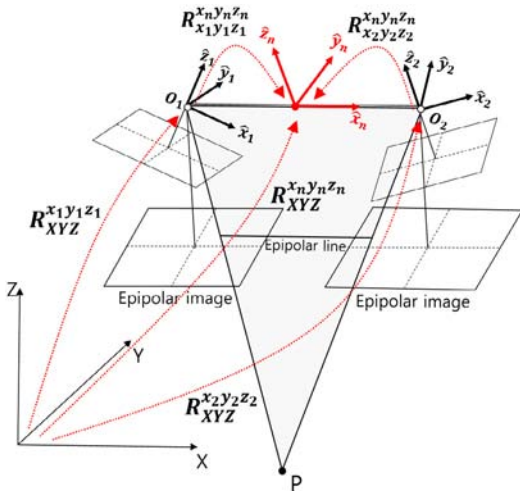


Fig. 2. Selection of unit vector for epipolar geometry

where (\hat{z}_1, \hat{z}_2) is a unit vector representing the z -axis of the left and right images, \hat{z}_n is the z -axis of the epipolar image.

\hat{y}_n 는 Eq. (4)와 같이 \hat{z}_n 과 \hat{x}_n 를 외적하여 직교하게 만들 수 있다. 여기서, $\hat{x}_n, \hat{y}_n, \hat{z}_n$ 는 모두 벡터의 크기가 1인 단위벡터를 나타낸다.

$$\hat{y}_n = \hat{z}_n \times \hat{x}_n \quad (4)$$

where \hat{y}_n is the y -axis of the epipolar image.

2.3 에피폴라 회전행렬 설정

새롭게 설정된 3차원 에피폴라 사진좌표축 $\hat{x}_n, \hat{y}_n, \hat{z}_n$ 과 3차원 원 영상의 사진좌표축 $(\hat{x}_1, \hat{y}_1, \hat{z}_1, \hat{x}_2, \hat{y}_2, \hat{z}_2)$ 간의 회전 관계는 방향코사인을 이용하여 Eq. (5)와 같이 좌우측 영상과 에피폴라 영상간의 회전행렬을 계산할 수 있다. 여기서 모든 좌표축의 요소들은 단위벡터 이므로 벡터내적으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{x_1y_1z_1}^{x_ny_nz_n} &= \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \cdot \hat{x}_n & \hat{y}_1 \cdot \hat{x}_n & \hat{z}_1 \cdot \hat{x}_n \\ \hat{x}_1 \cdot \hat{y}_n & \hat{y}_1 \cdot \hat{y}_n & \hat{z}_1 \cdot \hat{y}_n \\ \hat{x}_1 \cdot \hat{z}_n & \hat{y}_1 \cdot \hat{z}_n & \hat{z}_1 \cdot \hat{z}_n \end{bmatrix}, \\ R_{x_2y_2z_2}^{x_ny_nz_n} &= \begin{bmatrix} \hat{x}_2 \cdot \hat{x}_n & \hat{y}_2 \cdot \hat{x}_n & \hat{z}_2 \cdot \hat{x}_n \\ \hat{x}_2 \cdot \hat{y}_n & \hat{y}_2 \cdot \hat{y}_n & \hat{z}_2 \cdot \hat{y}_n \\ \hat{x}_2 \cdot \hat{z}_n & \hat{y}_2 \cdot \hat{z}_n & \hat{z}_2 \cdot \hat{z}_n \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (5)$$

where $R_{x_1y_1z_1}^{x_ny_nz_n}$ and $R_{x_2y_2z_2}^{x_ny_nz_n}$ denote the rotation matrix from the left and right images to the epipolar images, respectively.

이상의 3차원 좌표에서 에피폴라 영상으로의 회전행렬은 Eq. (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{XYZ}^{x_ny_nz_n} = R_{x_1y_1z_1}^{x_ny_nz_n} R_{XYZ}^{x_1y_1z_1} = R_{x_2y_2z_2}^{x_ny_nz_n} R_{XYZ}^{x_2y_2z_2} \quad (6)$$

where $R_{XYZ}^{x_ny_nz_n}$ is a rotation matrix from ground coordinate system to epipolar image coordinate system.

2.4 에피폴라 왜곡보정 및 행렬표현 기법

사진좌표는 영상의 주점을 원점으로 하고 있으며 영상좌표는 좌측 상단을 원점으로 하고 있다. 따라서, 영상좌표와 사진좌표간에는 부등각 사상변환을 이용하여 변환할 수 있으며 이

를 행렬 형태로 표현하면 Eq. (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_{bar} \\ y_{bar} \\ -c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & -y_0 \\ 0 & 0 & -c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_0 \\ b_1 & b_2 & b_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = KA \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

where (x', y') is a pixel coordinate, A is a matrix for affine transformation, K is a camera matrix, (x_{bar}, y_{bar}) is a photo coordinate with principal point removed.

Eq. (7)을 통해서 계산한 사진좌표는 카메라 렌즈의 왜곡을 고려하여 Eq. (8)과 같이 왜곡이 보정된 사진좌표를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{free} &= x_{bar} - \Delta x \\ y_{free} &= y_{bar} - \Delta y \end{aligned} \quad (8)$$

where $(\Delta x, \Delta y)$ is a camera lens distortion, (x_{free}, y_{free}) is a photo coordinate with lens distortion removed.

이제 왜곡이 보정된 사진좌표에서 에피플라 영상좌표로 변환하는 관계를 구하면 되는데 이는 Eq. (9)와 같이 나타낼 수 있다. Eq. (9)에서 M_{ep} 행렬은 왜곡이 보정된 원영상의 사진좌표에서 에피플라 영상의 영상좌표로 변환되는 관계를 행렬로 표현한 것이다.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = M_{ep} \begin{bmatrix} x_{free} \\ y_{free} \\ -c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S & 0 & x_{shift} \\ 0 & S & y_{shift} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_{x,y,z_1}^{x,y,z_n} \begin{bmatrix} x_{free} \\ y_{free} \\ -c \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$x'_n = \frac{u}{w}, \quad y'_n = \frac{v}{w}$$

where c denotes a principal distance, c_n denotes a mean principal distance calculated by averaging the left(c_1) and right(c_2) principal distance, S is a constant value that is the reciprocal of pixel size, (x_{shift}, y_{shift}) is an origin movement amount in x -axis and y -axis, (x'_n, y'_n) is an epiplara image coordinate.

2.5 에피플라 영상 생성

에피플라 영상좌표에서 역으로 좌우 영상좌표를 계산한 후 밝기값을 가져와야 한다. 이를 위해 M_{ep} 와 KA 행렬의 역행렬을 이용하며, 이때 렌즈 왜곡량($\Delta x, \Delta y$)은 더해주어 좌우 영상의 밝기값을 가져온다. 좌우 영상의 밝기값을 가져올 때 보간

법을 적용하여야 하며 본 연구에서는 공일차 보간법(bilinear interpolation)을 사용하여 에피플라 영상을 제작하였다.

3. 실험

3.1 연구지역 및 데이터

연구대상지역은 Fig. 3과 같이 천안시 남서울대 지역으로 선정하였고, 촬영된 영상은 고정익 드론(eBee)과 회전익 드론(Phantom 4 pro)으로 구분하여 촬영하였다. Table 1과 같이 고정익 드론으로 촬영된 영상의 지상표본거리(GSD: Ground Sampling Distance)는 4cm이고, 회전익 드론으로 촬영된 영상의 지상표본거리는 3cm이다. 두 드론을 이용하여 촬영한 영상의 내·외부표정요소(지상기준점(GCP: Ground Control Point)을 이용하여 자체 개발한 광속조정법(BBA: Bundle Block Adjustment) 프로그램을 사용하였다.

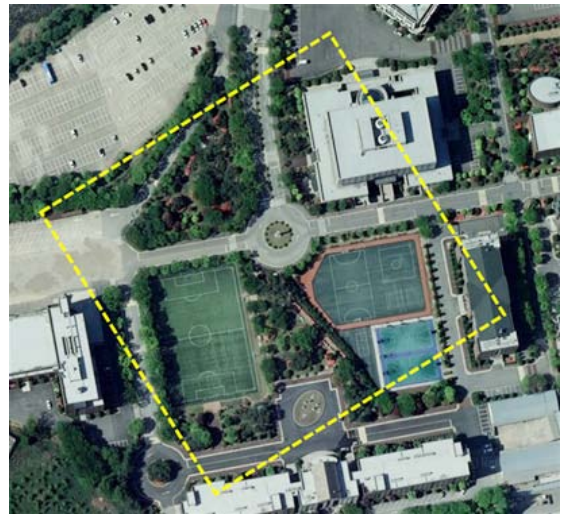


Fig. 3. Study area

Table 1. Dataset for image registration

GSD	Image acquisition	Image size (width×height)	Data source	Flying height
4cm	2016	4,896×3,672	eBee	150m
3cm	2017	5,472×3,648	Phantom 4 pro	100m

3.2 에피플라 영상 제작 및 종시차의 정확도 검증

본 논문에서 제안한 에피플라 영상제작 기법을 Visual

Studio 2015, C++ 기반의 이미지 프로세싱이 가능한 OpenCV 라이브러리와 행렬연산이 가능한 Eigen 라이브러리를 이용하여 제작하였으며, 입력 영상으로는 연속 촬영된 고정익과 회전익 드론의 좌우 영상을 이용하였다. 제작된 에피폴라 영상의 정확도 검증은 좌우 에피폴라 영상에서 공액점을 관측 후 y-시차의 차이로 검증하였다. 고정익 드론으로 제작된 에피폴라 영상은 Fig. 4와 같고, 회전익 드론으로 제작된 에피폴라 영상은 Fig. 5와 같다.

과 회전익 드론에 상관없이 에피폴라 영상이 적합하게 제작되는 것을 알 수 있다. 에피폴라 영상의 y-시차를 정량적으로 살펴보기 위해 Fig. 4와 Fig. 5와 같이 동일한 지역에 8개의 검사점을 선정하였다. 정량적인 값은 고정익 드론과 회전익 드론으로 제작된 에피폴라 영상에서 검사점에 대한 공액점을 각각 관측한 후 공액점의 y-시차를 평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error)로 계산하였다. y-시차의 참값은 0으로 하였다. Table 2는 고정익 드론과 회전익 드론에서 제작된 에피폴라 영상의 y-시차에 대한 RMSE를 나타내는 것으로 각각 0.604픽셀과 0.770픽셀로 나타났다.

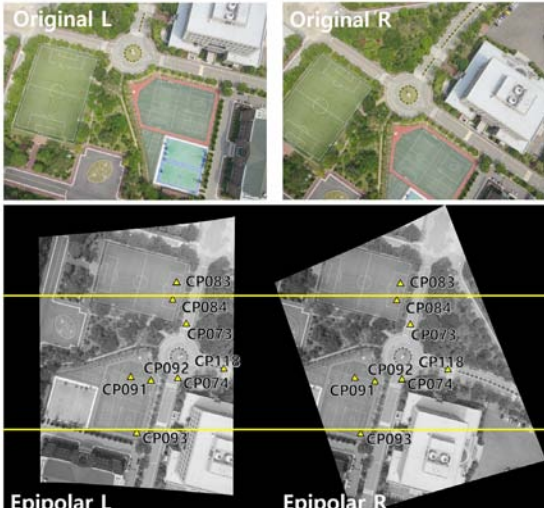


Fig. 4. Epipolar image of fixed-wing drones



Fig. 5. Epipolar image of rotary-wing drones

제작된 에피폴라 영상을 정성적으로 살펴보면 고정익 드론

Table 2. Information y-parallax in epipolar images (unit : pixel)

CP	Fixed-wing	Rotary-wing
CP083	0.213	0.153
CP084	0.614	0.241
CP092	0.008	0.096
CP091	1.133	0.096
CP093	0.004	1.313
CP074	0.590	0.639
CP073	0.406	1.566
CP118	0.839	0.229
RMSE	0.604	0.770

Table 2에서 계산한 y-시차에 대해 가장 큰 값을 갖는 CP091 과 CP073에 대해서 자세히 살펴보면 고정익 드론에서는 CP091 의 y-시차가 크게 나타난 반면 회전익 드론에서는 CP073의 y-시차가 가장 크게 나타났다. Fig. 6과 Fig. 7은 이들 두 검사점에 대한 y-시차를 자세히 나타낸 것으로 약 1픽셀 내외의 작은 시차값을 갖는 것을 알 수 있다.

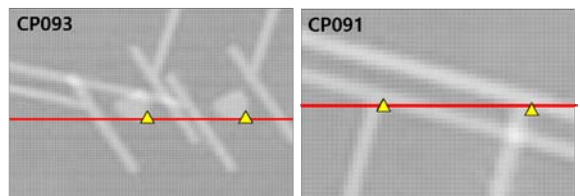


Fig. 6. Areas with large and small error in fixed-wing drones

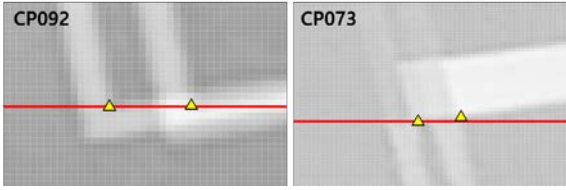


Fig. 7. Areas with large and small error in rotary-wing drones

따라서, 고정의 드론과 회전익 드론에 상관없이 본 연구에서 제안한 방법으로 에피플라 영상의 제작이 가능한 것을 알 수 있다.

3.3 3차원 위치의 정확도 검증

본 연구에서 제작한 에피플라 영상을 통해 정밀도화가 가능한지 검증하기 위해서 에피플라 영상의 정확도를 분석하기 위해 사용된 공역점을 이용하여 3차원 위치를 계산하였다. 이에 대한 정확도를 분석하기 위해서 Fig. 4, Fig. 5와 같이 8개의 검사점 중 Table 3과 같이 4개의 검사점을 선정하였다. 검사점 측량은 오차가 2~5cm인 RTK-VRS (Real Time Kinematic -Virtual Reference Station)로 측량하였다.

Table 3은 선정된 검사점을 이용하여 고정의 드론과 회전익 드론에서 각각 3차원 위치오차를 계산한 것으로 X_e, Y_e, Z_e 는 오차를 나타낸다. 고정의 드론에서 X, Y, Z 의 RMSE는 각각 0.051m, 0.025m, 0.104m로 나타났으며, 회전익 드론에서 X, Y, Z 의 RMSE는 각각 0.038m, 0.032m, 0.145m로 나타났다. 고정의 드론과 회전익 드론이 촬영된 영상의 지상표본거리가 각각 4cm, 3cm인 것을 고려하면 X, Y 는 1픽셀 내외로 오차가 나타날 것을 알 수 있다. 또한, 3차원 위치의 정확도가 1픽셀 내외이기 때문에 적합한 3차원 위치를 계산할 수 있음을 알 수 있다.

Table 3. Errors using checkpoints (unit : m)

CP	Fixed-wing			Rotary-wing		
	X_e	Y_e	Z_e	X_e	Y_e	Z_e
CP092	0.011	-0.039	0.172	0.010	-0.015	-0.145
CP074	-0.020	0.019	-0.063	0.020	0.027	0.020
CP073	-0.090	-0.016	0.044	-0.065	-0.020	-0.089
CP118	-0.043	0.021	-0.087	0.030	-0.053	0.235
RMSE	0.051	0.025	0.104	0.038	0.032	0.145

수평위치 오차(X_e, Y_e)에 따른 수직오차(Z_e)를 살펴보기 위해서 오차전파식을 이용하여 Eq. (10)과 같이 계산하였

다. 여기서 관측오차는 1픽셀로 하였는데, 그 이유는 Table 3의 X_e, Y_e 값 들이 1픽셀 내외였기 때문이다. 계산 결과 고정의 드론은 $\pm 0.247m$, 회전익 드론은 $\pm 0.420m$ 의 수직오차를 보였다. 따라서, 검사점의 수직오차는 오차전파식을 이용한 수직오차 이내로 들어온 것을 알 수 있었다.

$$\sigma_H = \sqrt{2} \frac{H^2}{Bc} \sigma_x \tag{10}$$

where σ_x is a measurement error in the image, c denotes a principal distance, B denotes a baseline, H denotes a flying height.

4. 결론

본 연구는 고정의 드론과 회전익 드론 영상을 이용하여 에피플라 영상을 제작하는 방법을 제안하고 에피플라 영상과 3차원 위치 정확도를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 좌표축 및 방향코사인을 이용하여 에피플라 영상을 제작하고, 용이한 계산을 위하여 변환관계를 행렬을 이용하는 방법을 제안하였다. 변환관계의 행렬을 구성해 두면 원 영상에서 에피플라 영상으로 변환 시 하나의 픽셀마다 반복하여 계산할 필요가 없음을 알 수 있었다.

둘째, 고정의 드론과 회전익 드론을 이용하여 각각 제작한 에피플라 영상의 y-시차를 정량적으로 분석하였다. 그 결과 고정의 드론과 회전익 드론 영상과 관계없이 본 연구에서 제안한 방법론으로 에피플라 영상이 적합하게 제작되는 것을 알 수 있었다.

셋째, 고정의, 회전익 드론을 이용하여 제작한 에피플라 영상에서 공역점을 관측한 후 검사점의 3차원 위치오차를 분석하였다. 고정의 드론과 회전익 드론에 상관없이 3차원 위치가 계산될 수 있음을 알 수 있었다.

넷째, 본 연구에서는 실내에서 카메라 캘리브레이션을 수행하지 않고, 지상기준점을 이용하여 항공삼각측량을 통해서 내부표정요소와 외부표정요소를 동시에 추정하였기 때문에 제작된 에피플라 영상에서 1픽셀 이상의 y-시차가 나타난 곳이 있었다.

향후 사전에 카메라 캘리브레이션을 통해 내부표정요소를 추정한 후 항공삼각측량을 통해 외부표정요소를 추정하여 에피플라 영상을 제작하는 실험이 필요한 것으로 판단된다.

References

- Ben-Artzi, G., Halperin, T., Werman, M., and Peleg, S. (2016), Epipolar geometry based on line similarity, *2016 23rd International Conference on, Pattern Recognition, ICPR*, 4-8 December 2016, Cancun, Mexico, pp. 1865-1870.
- Conen, N., Jepping, C., Luhmann, T., and Maas, H.-G. (2016), Rectification and robust matching using oriented image triplets for minimally invasive surgery, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 12-19 July 2016, Prague, Czech, Vol. III-3, pp. 27-34.
- Han, D.I., Choi, J.H., and Chin, H.C. (2014), A real-time hardware architecture for image rectification using floating point processing, *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 51, No. 2, pp. 102-113. (in Korean with English abstract)
- Hwa, J.H., Song, E.H., Lee, M.Y., Lee, B.K., and Lee, D.W. (2015), Development of an image processing algorithm for paprika recognition and coordinate information acquisition using stereo vision, *Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol. 24, No. 3, pp. 210-216.
- Idrissa, M. and Beumier C. (2016), Generic epipolar resampling method for perspective frame camera and linear push-broom sensor, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 37, No. 15, pp. 3494-3504.
- Jang, W.S., Lee, C., and Ho, Y.S. (2012), Efficient depth map generation for various stereo camera arrangements, *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 37, No. 6, pp. 458-463. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.M. and Hahm, C.H. (2005), Analysis of epipolar geometry of linear array scanner scenes, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 25, No. 2D, pp. 347-352. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.I. and Kim, T.J. (2012), Precise rectification of misaligned stereo images for 3D image generation, *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 17, No. 2, pp. 411-421. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.I. and Kim, T.J. (2013), Development of photogrammetric rectification method applying bayesian approach for high quality 3D contents production, *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 18, No. 1, pp. 31-42. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.J. and Choi, Y.S. (2016), Comparison of topographic surveying results using a fixed-wing and a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle, *Korean Society for Rock Mechanics*, Vol. 26, No. 1, pp. 24-31. (in Korean with English abstract)
- Mikhail, E.M., Bethel, J.S., and McGlone, J.C. (2001), *Introduction to Modern Photogrammetry*, John Wiley & Sons Inc., New York, N.Y.
- Sung, S.M. and Lee, J.O. (2017), Accuracy assessment of parcel boundary surveying with a fixed-wing UAV versus rotary-wing UAV, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 35, No. 6, pp. 535-543. (in Korean with English abstract)