

저가형 드론의 외부표정요소에 따른 위치결정 정확도 분석

김두표* · 이재원**

Kim, Doo Pyo*, Lee, Jae One**

Positional Accuracy Analysis According to the Exterior Orientation Parameters of a Low-Cost Drone

ABSTRACT

Recently developed drones are inexpensive and very convenient to operate. As a result, the production and utilization of spatial information using drones are increasing. However, most drones acquire images with a low-cost global navigation satellite system (GNSS) and an inertial measurement unit (IMU). Accordingly, the accuracy of the initial location and rotation angle elements of the image is low. In addition, because these drones are small and light, they can be greatly affected by wind, making it difficult to maintain a certain overlap, which degrades the positioning accuracy. Therefore, in this study, images are taken at different times in order to analyze the positioning accuracy according to changes in certain exterior orientation parameters. To do this, image processing was performed with Pix4D Mapper and the accuracy of the results was analyzed. In order to analyze the variation of the accuracy according to the exterior orientation parameters in detail, the exterior orientation parameters of the first processing result were used as meta-data for the second processing. Subsequently, the amount of change in the exterior orientation parameters was analyzed by in a strip-by-strip manner. As a result, it was proved that the changes of the Omega and Phi values among the rotation elements were related to a decrease in the height accuracy, while changes in Kappa were linked to the horizontal accuracy.

Key words : Drone, Positioning, Exterior orientation parameters, Accuracy

초 록

최근 개발되는 드론은 저가이면서 운용의 편의성 또한 높아 드론을 이용한 공간정보 제작 및 활용이 나날이 증대되고 있다. 그러나, 대부분 저가형의 드론은 저정밀도 GNSS (Global Navigation Satellite System), IMU (Inertial Measurement Unit)를 탑재하여 영상을 취득하기 때문에 영상이 초기에 가지고 있는 위치정보 및 회전각 요소의 정확도가 낮다. 또한, 기체가 작고 가벼워 바람의 영향을 많이 받기 때문에 일정한 중복도를 유지하기에 어려움이 있으며 이러한 문제가 위치결정 정확도에 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 외부표정요소 변화에 따른 위치 정확도 변화를 분석하기 위하여 서로 다른 시기에 촬영한 영상을 Pix4D Mapper로 영상처리하고 성과물의 정확도를 분석하였다. 외부표정요소에 따른 정확도 변화를 세밀하게 분석하기 위하여 1차 처리 결과의 외부표정요소를 2차 처리 시 메타데이터로 활용하였다. 이후 외부표정요소를 스트립별로 나누어 변화량을 분석하였다. 분석 결과 회전각 요소 중 Omega, Phi값의 변화는 표고위치 정확도, Kappa값은 평면위치 정확도의 저하에 더욱 관련되어 있음을 입증하였다.

검색어 : 드론, 위치결정, 외부표정요소, 정확도

* 동아대학교 토목공학과 박사수료 (Dong-A University · ksosdgk@hanmail.net)

** 종신회원 · 교신저자 · 동아대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Dong-A University · leejo@dau.ac.kr)

Received November 18, 2021/ revised December 16, 2021/ accepted December 22, 2021

1. 서론

드론사진측량은 목적에 따라 효율적이고 경제적인 영상 취득 및 공간정보 생성이 가능하여 최근 다양한 분야에 활용되고 있다. 특히, 저가의 운용성이 높은 드론이 개발되면서 드론을 이용한 영상취득 및 활용이 증대되고 있으며, 영상처리 프로그램이 개발되면서 드론사진측량을 통한 3차원 공간정보를 제작하고 이용하는 비중이 높아지고 있다.

드론사진측량으로 제작되는 3차원 공간정보를 활용하기 위하여 성과물의 정확도를 확보하는 것은 중요한 문제이다. 이에 따라, 무인항공사진측량을 통하여 3차원 포인트클라우드, 정사영상, DSM (Digital Surface Model), 3D Mesh와 같은 성과물에 대한 정확도를 분석하는 연구가 활발히 진행되어 왔다.

드론사진측량의 정확도를 분석하는 가장 대표적인 방법은 검사점을 이용한 것으로 영상처리 후 제작되는 정사영상 및 DSM에서 3차원 좌표를 취득하고 실제 현장에서 취득한 실측값과 비교하여 X, Y, Z의 RMSE (Root Mean Square Error) 값을 분석하고 있다(Lee and Kim, 2019; Oh et al., 2018; Uysal et al., 2015; Vittorio et al., 2020; Yang and Lee, 2019). 또한, 관련 연구로 드론사진측량으로 제작되는 성과의 정확도를 높이기 위하여 항공삼각측량의 변들 조정에 연직사진과 경사사진을 같이 사용하여 성과물을 제작하고 검사점을 이용하여 3차원 좌표의 정확도를 분석한 결과 경사사진을 같이 이용한 경우 정확도가 향상됨을 입증하였다(Cho et al., 2021; Park and Jung, 2019). 정확도가 높은 비교적 고가의 RTK-GNSS (Real Time Kinematic-Global Navigation Satellite System) 및 IMU가 탑재된 드론을 이용하여 영상을 취득하고 GCP의 개수변화 및 촬영 경로 변화에 따른 성과의 정확도를 검사점으로 분석한 결과 기준점 개수가 적어도 높은 정확도를 확보 할 수 있으며, 평탄한 지형에서 경로를 교차로 촬영하였을 때 정확도가 높아지는 사실을 입증하였다(Desta et al., 2020; Gerke and Prazybilla, 2016; Lee and Sung, 2018). 드론사진측량으로 제작된 3차원 모델에서 3차원 좌표를 취득하여 현장에서 실측한 좌표와 비교하고 텍스처의 세밀도를 분석하였으며(Lee et al., 2020), 드론영상 기반 수치도화를 통하여 점·선·면 Layer별 3차원 좌표를 취득하고 실측값과 비교하여 드론사진측량의 수치지형도 작성 가능성을 판단한바 있다(Lee and Kim, 2020).

드론에 탑재되는 GNSS 및 IMU는 저가형을 주로 사용하기 때문에 정확도가 낮은 위치 및 자세 정보를 취득하고 이는 결국 제작되는 성과의 정확도를 저하시킬 수 있는 요인이 된다. 물론 프로그램을 이용한 영상처리과정에서 외부표정 요소가 추정되어 사용되고, GCP를 이용하여 정확도를 높이고 있지만 더욱 쉽고 경제적인 정확도 향상 방안을 제안하는데 도움을 줄 수 있도록

외부표정 요소의 변화와 정확도의 관계를 연구할 필요가 있다. 드론의 외부표정요소와 관련된 연구로 Mateo and Luka(2017)은 외부표정요소 결정에 대한 짐벌의 영향을 분석하여 짐벌의 사용이 외부표정요소의 정확도 안정화에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 실험으로 확인하였다. Han and Hong(2020)은 RTK GNSS 및 IMU로 영상 취득 당시의 카메라의 3차원 좌표와 짐벌 회전각을 측정하고 Agisoft의 Metashape로 내·외부표정요소를 추정·갱신하여 정확도와 연관성을 분석하였으며, 그 결과 경사사진의 활용이 항공삼각측량의 정확도 향상에 효과가 있음을 입증하였다. Liu et al.(2021)은 저가형 드론에 탑재되는 GNSS와 IMU의 품질로 인하여 카메라의 기하학적 위치 및 자세의 재구성에 발생하는 문제를 해결하기 위한 알고리즘을 개발하여 정확도를 향상시킨바 있다.

기존의 검사점을 이용한 정확도 분석 및 외부표정요소와 관련된 연구는 대부분 정확도 자체만을 분석하거나 향상시키기 위한 알고리즘을 개발해 왔다. 그러나 드론사진측량은 낮은 고도에서 촬영을 하는 만큼 바람에 의한 기체의 움직임이 커 GSD (Ground Sample Distance) 및 중복도와 같이 다양한 요소의 변화가 발생하고 정확도에 영향을 미치기 때문에 드론사진측량의 정확도에 영향을 미치는 다양한 요소들과 외부표정요소간의 세밀한 분석이 필요하다. 이에 본 연구에서는 서로 다른 시기에 동일 지역에 대한 영상을 취득하고 처리하여 위치결정 정확도를 분석하고 더 나아가 외부표정요소에 따른 정확도 변화 및 관계를 분석함으로써 더 정확한 영상 취득을 위한 방안 수립에 도움이 되는 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 자료취득 및 처리

2.1 연구 방법 및 내용

본 연구의 목적은 외부표정요소가 드론사진측량의 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위함으로 Fig. 1과 같이 영상을 서로 다른 날짜에 취득하여 총 2회 촬영하였다. 각 영상 취득 시 바람은 1회차가 1.6 m/s, 2회차가 4.6 m/s로 상이하였으며 각 회차 별

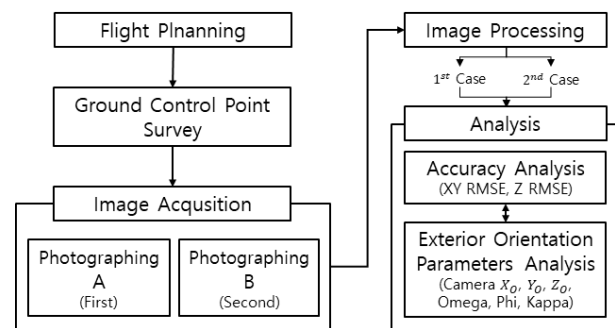


Fig. 1. Study Flowchart

외부표정요소의 변화량 분석결과 Omega, Phi 값의 변화가 2회차 영상에서 더 크게 나타났다. 또한, 세밀한 분석을 위하여 영상처리를 1, 2차 두 번 수행하였다. 첫 번째 영상처리는 지상기준점을 입력하여 제작하였으며, 두 번째는 앞선 영상처리 결과의 외부표정요소인 카메라 위치(X_o, Y_o, Z_o) 및 회전각 요소(Omega, Phi, Kappa)를 원본영상의 메타데이터로 활용하여 지상기준점 없이 성과를 다시 제작하였다. 제작된 성과를 이용하여 외부표정요소와 정확도의 관계 및 정확도에 영향을 주는 요인을 세부적으로 분석하고자 하였다.

2.2 영상취득

본 연구의 범위는 경남 소재의 대학교내 0.2 km²을 대상으로 하였다. 영상은 DJI Phantom4 pro에 탑재된 해상도 20 MP의

FC6310 센서를 이용하여 촬영하였으며 영상의 외부표정요소의 변화에 영향을 미치는 요소와 정확도의 관계를 분석하기 위하여 서로 다른 시기에 90 m의 동일 고도와 중중복 80 %, 횡중복 60 %의 동일한 중복도로 1회 232매, 2회 212매를 취득하였다. 영상취득 전 지상기준점 측량을 위하여 Fig. 2와 같이 연구대상지 내 6개의 지상기준점과 3개의 검사점을 선점하고 RTK-GNSS (Real Time Kinematic-Global Navigation Satellite System) 방법을 이용하여 3차원 좌표를 취득하였다. 본 연구대상지의 경우 경사가 있어 면적 대비 지상기준점의 개수를 더 많이 설치하여 영상처리성과의 정확도를 높이고자 하였다. 지상기준점 및 검사점은 지형·지물에 있는 영상에서 구별 가능한 지점으로 선점하였으며 1, 2회 촬영 모두 동일 지상기준점을 이용하였다. Table 1은 영상 취득 장비와 지상기준점 측량 장비의 세부 제원을 나타낸 것이다.

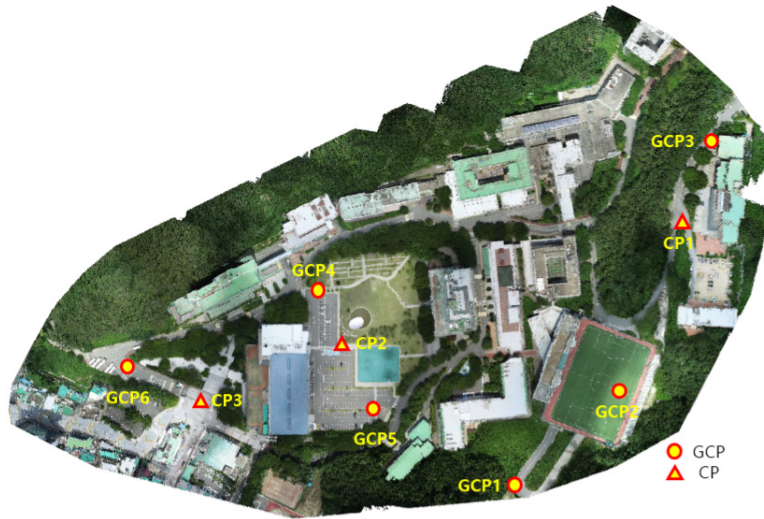




Fig. 2. Distribution of GCPs and CPs

Table 1. Specification of UAV (Built in Camera) and RTK-GPS

	Phantom 4 pro ver.2.0 (FC6310)	FC 6310	5472 × 3648 pixel	
		Focal Length	8.8 mm	
		Pixel Size	2.41 μm	
		Flight Time	Approx. 20~25 min	
	RTK-GNSS (GSX2)	Channel Number	226	
		Tracking Signal	GPS, GLONASS, SBAS, QZSS	
		Positioning Precision	RTK (L1+L2)	H: 10 mm + 1.0 ppm

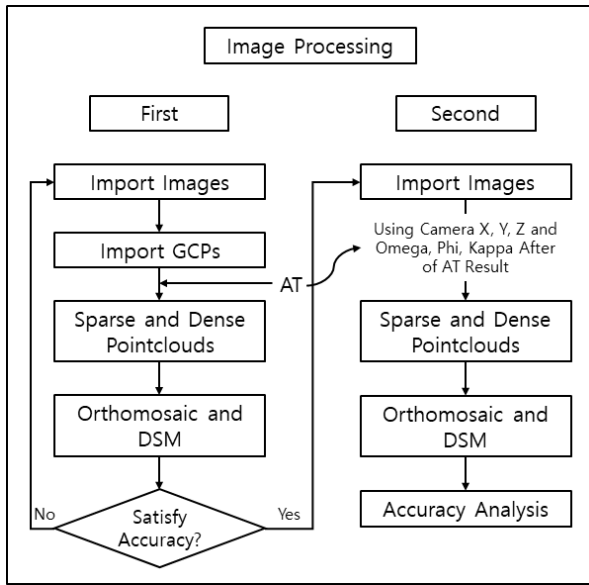


Fig. 3. Image Processing Flowchart

2.3 자료처리

영상처리는 Fig. 3과 같이 취득 영상에 대하여 1, 2차 처리를 수행하였으며 1차 영상처리를 통하여 정확한 외부표정요소를 계산하기 위하여 지상기준점을 입력하여 항공삼각측량을 수행하고 정사영상 및 DSM을 제작하였다. 이후 2차 영상처리는 1차 영상처리 후 계산된 외부표정요소를 활용하기 때문에 1차 영상처리 성과의 정확도를 분석하여 이상 유무를 확인하였다. 이후 1차 영상처리 과정에서 계산된 외부표정요소를 원본영상에 입력하여 2차 영상처리 하였으며 지상기준점 없이 처리하였다. Fig. 4는 1, 2회 촬영 영상 각각의 영상처리 결과를 나타낸 것이다.

3. 결과 분석

3.1 1차 영상처리 결과 분석

본 연구는 외부표정요소의 변화가 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 서로 다른 날짜에 촬영하여 1, 2회차 영상을 취득하였으

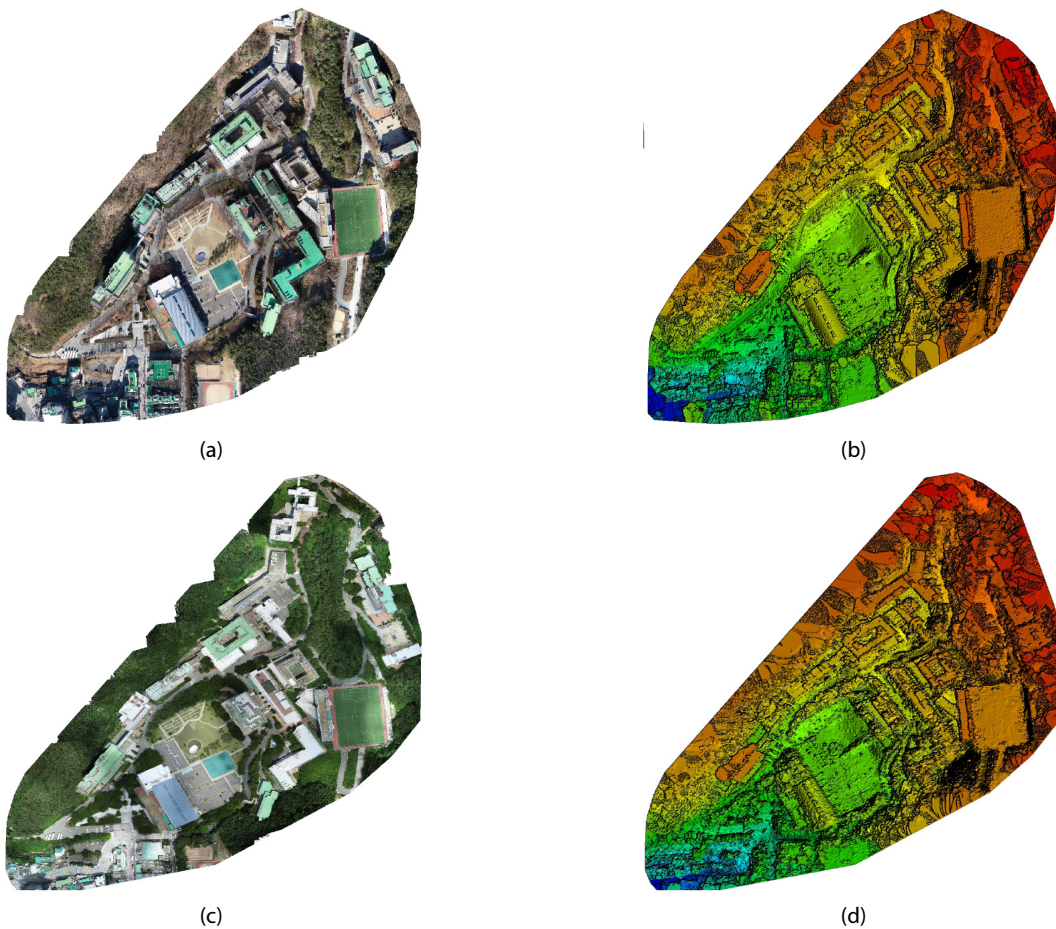


Fig. 4. Results of Image Processing. (a) Orthomosaic for the First Time, (b) Digital Surface Model for the First Time, (c) Orthomosaic for the Second Time, and (d) Digital Surface Model for the Second Time

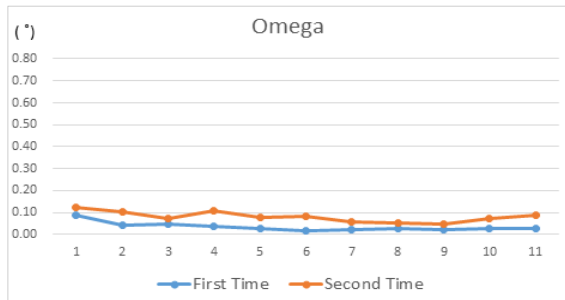
며 영상처리 시 지상기준점을 입력하여 정확한 카메라 위치 및 자세를 계산하였다. 제작된 성과의 정확도 확인을 위하여 지상기준점 및 검사점의 영상 추출 값과 실제 현장 측량 성과를 비교하였다. 정확도 분석 결과 Table 2와 같이 1회차 영상처리 성과의 정확도가 2회차 영상처리 성과의 정확도 보다 평면 오차가 크게 나타났으며 표고오차는 반대로 작게 발생하였다.

원인 분석을 위하여 카메라 자세 요소를 스트립별로 평균값을 계산하여 변화량을 분석하였다. 그 결과 Fig. 5와 같이 2회차 영상이 대체적으로 Omega, Phi 값의 변화가 1회차 영상보다 심하였으며,

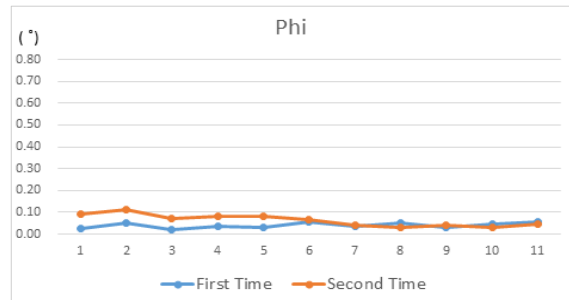
Kappa값의 변화는 1회차 영상이 2회차 영상보다 더 큰 것을 알 수 있었다. 그리고 두 번의 촬영에서 Omega, Phi 값은 대체로 상관성이 매우 높으나 Kappa값은 서로 상관성이 낮음을 알 수 있다. 일반적으로 Omega, Phi값은 바람의 영향과 기체의 진동으로 인하여 상당히 크게 변할 수 있으며 이러한 변화는 결국 영상의 GSD에 영향을 미쳐 표고위치 정확도에 더 많은 영향을 줄 것으로 사료된다. 또한, Kappa 값의 경우 기체의 비행 방향을 의미하는데 비행 방향의 변화로 인하여 중복도에 영향을 미쳐 평면위치 정확도를 저하 시키는 원인이 될 수 있다고 판단된다.

Table 2. Accuracy Results of GCPs and CPs in X,Y and Z (Round 1)

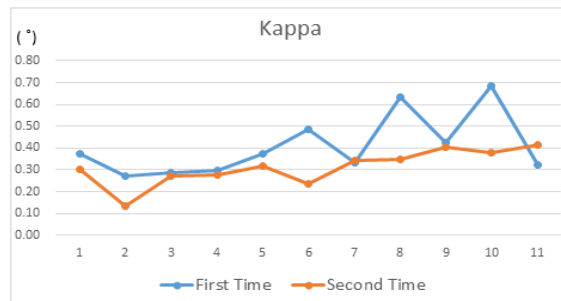
No.	First Images		Second Images	
	ΔXY (m)	ΔZ (m)	ΔXY (m)	ΔZ (m)
GCP 1	0.030	-0.029	0.009	0.026
GCP 2	0.039	0.000	0.005	0.041
GCP 3	0.031	-0.091	0.008	0.044
GCP 4	0.030	0.088	0.030	0.015
GCP 5	0.052	0.007	0.025	0.002
GCP 6	0.017	-0.033	0.031	0.065
CP 1	0.078	-0.056	0.065	0.101
CP 2	0.034	0.071	0.018	-0.119
CP 3	0.041	0.090	0.048	0.157
RMSE (m)	0.045	0.065	0.035	0.085



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Changes in the Camera Orientation Parameters for each Strip. (a) Changes in Omega between the First and Second Time, (b) Changes in Phi between the First and Second Time, and (c) Changes in Kappa between the First and Second Time

3.2 외부표정 요소에 따른 영상 재처리 결과 분석

카메라의 위치 및 자세에 따른 정확도를 세부적으로 분석하기 위하여 1차 영상처리 결과에서 초기 외부표정요소보다 정확하게 추정하여 계산된 카메라 위치 및 자세 값을 원영상의 메타데이터로 활용하여 지상기준점 없이 영상처리 하였다. 2차 영상처리 결과 분석에서는 앞서 1차 영상처리 시 활용한 지상기준점 전부를 검사점으로 활용하여 정확도를 분석하였다. 그 결과 Table 3과 같이 1회차 영상의 경우 평면위치 오차가 크게 증가하였으며, 2회차 영상의 경우 표고위치 오차가 크게 증가하였다.

외부표정요소의 변화와 정확도의 관계를 분석하기 위하여 카메라의 평면위치 변화, 표고위치 변화, 회전각요소(Omega, Phi, Kappa) 별 변화량을 스트립별로 평균값을 산출하여 정리 하였으며, 전체 변화량 평균 대비 스트립별 평균 변화량이 얼마나 차이가 있는지 분석하였다. Tables 4 and 5는 각각 1, 2회 영상의 스트립별 외부표

정요소들의 평균과의 편차를 나타낸 것이다.

스트립별 외부표정요소의 변화 비교 결과 1회차 영상 보다 2회차 영상이 평면 위치 및 표고 위치의 변화가 더 크게 나타났으며, 회전각 요소 중 Omega, Phi값의 변화가 더 크게 나타났다. 외부표정 요소 중 평면 및 표고위치의 변화량은 정확도 변화와 일정한 관계를 보이지 않지만 회전각 요소의 변화는 Fig. 6과 같이 Omega, Phi값의 변화가 클수록 표고 위치 정확도가 낮아지고, Kappa값의 변화가 크면 평면 위치 정확도가 낮아지는 경향을 보였다.

또한, 세부적인 정확도 분석을 위하여 오차가 상대적으로 크게 나타난 검사점별 영상 정합 시 사용된 원본 영상의 스트립을 분석하고자 하였다. 1회차 영상 정확도는 평면위치 오차가 크게 발생하였으며 그 중에서도 GCP6, CP1, CP3점의 오차가 크게 나타났다. 해당 지점의 영상 정합 시 사용된 원본 영상 스트립 확인 결과 GCP6, CP3은 2~4번 스트립, CP1은 8~10번 스트립에 포함된

Table 3. Accuracy Results of GCPs and CPs in X,Y and Z (Round 2)

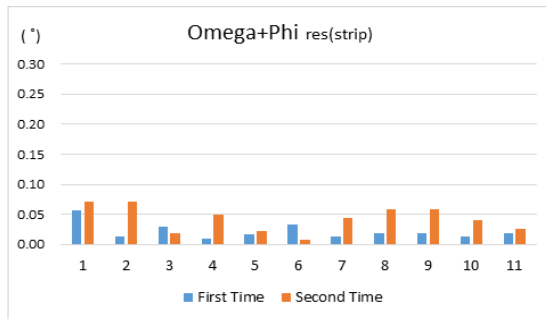
No.	First Images		Second Images	
	ΔXY (m)	ΔZ (m)	ΔXY (m)	ΔZ (m)
GCP 1	0.141	-0.193	0.028	-0.460
GCP 2	0.150	-0.013	0.031	-0.709
GCP 3	0.209	-0.118	0.003	-0.716
GCP 4	0.172	-0.047	0.044	-0.650
GCP 5	0.139	-0.100	0.035	-0.493
GCP 6	0.467	-0.276	0.083	-0.834
CP 1	0.449	-0.137	0.047	-0.731
CP 2	0.138	-0.002	0.049	-0.674
CP 3	0.422	-0.235	0.065	-0.896
RMSE (m)	0.307	0.163	0.051	0.740

Table 4. Residuals of the Exterior Orientation Parameters in Each Strip (First Time)

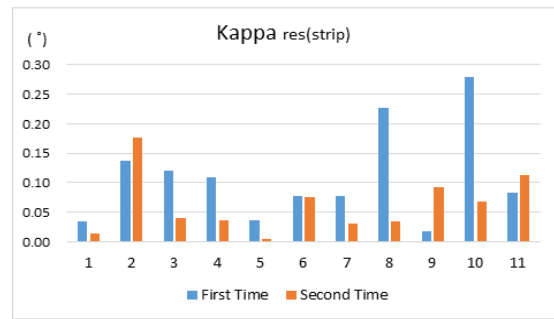
Strip No.	$ \Delta XY_{aver} - \Delta XY_{strip} $ (m)	$ \Delta Z_{aver} - \Delta Z_{strip} $ (m)	$ \Delta \Omega_{aver} - \Delta \Omega_{strip} $ (°)	$ \Delta \Phi_{aver} - \Delta \Phi_{strip} $ (°)	$ \Delta \text{Kappa}_{aver} - \Delta \text{Kappa}_{strip} $ (°)
1	1.4265	0.0400	0.0437	0.0125	0.0342
2	0.5290	0.0036	0.0005	0.0119	0.1382
3	1.1345	0.0137	0.0110	0.0178	0.1208
4	0.5700	0.0690	0.0044	0.0049	0.1102
5	0.1791	0.0124	0.0040	0.0127	0.0363
6	0.4030	0.0168	0.0149	0.0174	0.0779
7	0.4703	0.0333	0.0073	0.0064	0.0772
8	0.1978	0.0233	0.0072	0.0116	0.2270
9	0.0212	0.0043	0.0095	0.0097	0.0174
10	0.3679	0.0075	0.0076	0.0058	0.2787
11	0.5299	0.0549	0.0005	0.0174	0.0841
Ave.	0.5299	0.0254	0.0101	0.0116	0.1093

Table 5. Residuals of the Exterior Orientation Parameters in Each Strip (Second Time)

Strip No.	$ \Delta XY_{aver} - \Delta XY_{strip} $ (m)	$ \Delta Z_{aver} - \Delta Z_{strip} $ (m)	$ \Delta \Omega_{aver} - \Delta \Omega_{strip} $ (°)	$ \Delta \Phi_{aver} - \Delta \Phi_{strip} $ (°)	$ \Delta \text{Kappa}_{aver} - \Delta \text{Kappa}_{strip} $ (°)
1	0.6390	0.0632	0.0424	0.0290	0.0132
2	0.0300	0.1302	0.0206	0.0512	0.1767
3	2.3320	0.0570	0.0096	0.0089	0.0408
4	0.2070	0.0715	0.0285	0.0205	0.0372
5	0.4165	0.0536	0.0052	0.0167	0.0046
6	0.0973	0.0271	0.0033	0.0048	0.0752
7	0.4417	0.0601	0.0204	0.0239	0.0317
8	0.8693	0.0022	0.0267	0.0324	0.0338
9	0.7169	0.0608	0.0353	0.0237	0.0926
10	0.3780	0.0696	0.0065	0.0337	0.0673
11	0.1258	0.0059	0.0088	0.0176	0.1131
Ave.	0.5685	0.0547	0.0188	0.0239	0.0624



(a)



(b)

Fig. 6. Differences in the Camera Orientation for Each Flight Time: (a) Residuals of Omega and Phi in Each Strip, (b) Residuals of Kappa in Each Strip

영상을 이용하여 정합이 이루어 졌으며 이는 Fig. 6(b)의 Kappa 변화량이 큰 스트립과 일치 하여 Kappa값의 변화가 평면 위치 정확도에 미치는 영향이 크다는 것을 확인 할 수 있었다. 2회차 영상 정확도는 평면위치 오차보다 표고위치 오차가 크게 발생되었다. 그 중 상대적으로 오차가 큰 GCP6, CP3점의 정합 시 사용된 원본 영상 스트립을 분석한 결과 1~2번 스트립에 포함되어 있는 영상 이였으며, 이는 Fig 6(a)의 Omega, Phi 값의 변화량 그래프와 일치하는 결과를 보여주고 있다. 또한, 8~9번 스트립의 Omega, Phi값의 변화도 크게 나타났는데 해당 스트립의 검사점은 GCP2, GCP3, CP1로 표고위치 오차가 비교적 크게 발생한 곳과 일치 되는 결과를 나타냈다.

4. 결론

본 연구에서는 외부표정요소의 변화가 위치 정확도에 미치는

영향을 분석하기 위하여 서로 다른 시기의 영상을 촬영하여 영상처리 하였다. 영상처리는 1차, 2차로 나누어서 진행하였으며 제작된 성과를 이용한 정확도 및 스트립별 외부표정요소의 변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

첫 번째, 위치 정확도 변화와 카메라 회전각요소의 관계를 분석한 결과 Omega, Phi값의 변화가 클수록 표고위치 정확도가 낮아지는 경향을 보이고 있어 Omega, Phi값의 변화가 표고위치 정확도에 더 많은 영향을 미친다고 판단된다.

두 번째, Kappa값의 변화가 클수록 평면위치 정확도가 낮아지는 경향을 보여 Kappa값의 변화는 평면위치 정확도에 더 많은 영향을 미친다고 판단된다.

세 번째, 회전각 요소의 변화에 따른 정확도 저하의 세부적인 원인을 살펴보면 Omega, Phi의 경우 영상의 중복도 및 경사에 따른 블럭 외곽의 GSD의 변화 등이 직접적인 영향을 주는 것으로 보이며, Kappa의 경우 기체의 진행방향을 의미하는데 방향의 변화

로 인한 중복도변화가 평면위치 오차발생에 영향을 주었을 것으로 보인다. 또한, 연구 대상지의 외과부분의 경우 항공삼각측량에 활용되는 영상 수가 적어 자세의 정확도가 낮아지기 때문에 정확도 저하가 복합적으로 이루어졌을 것으로 사료된다.

네 번째, 외부표정요소 중 카메라 위치 정확도의 변화보다 자세요소의 변화가 위치결정 정확도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

그러나, 본 연구는 한 가지 종류의 기체로 총 2회 촬영한 영상을 이용하여 영상 처리한 결과를 기반으로 분석한 내용으로 더 다양한 기체 및 대상지에 대한 촬영 영상을 이용해 분석할 필요가 있다. 또한, 본 연구 대상지는 경사면으로 지형의 기복에 따른 GSD의 변화 등 다양한 원인이 정확도 변화를 일으킨 것으로 판단된다. 따라서, 평탄지에서 촬영한 영상을 처리하여 분석을 하게 되면 더 명확한 관계를 확인 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 수행되었음(과제번호: NRF-2018R1D1A1A 02085675).

References

Cho, J. M., Lee, J. S. and Lee, B. G. (2021). "A study on the on the accuracy evaluation of UAV photogrammetry using oblique and vertical images." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 39, No. 1, pp. 41-46 (in Korean).

Desta, E., Francesco, N. and Norman, K. (2020). "Accuracy assessment of real-time kinematics (RTK) measurements on unmanned aerial vehicles (UAV) for direct geo-referencing." *Geo-spatial Information Science*, Vol. 23, No. 2, pp. 165-181.

Gerke, M. and Przybilla, H. J. (2016). "Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns." *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, Vol. 16, No. 1, pp. 17-30.

Han, S. H. and Hong, C. K. (2020). "Accuracy assessment of aerial triangulation of network RTK UAV." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 38, No. 6, pp. 663-670 (in Korean).

Lee, J. O. and Kim, D. P. (2019). "Analysis of three dimensional positioning accuracy of vectorization using UAV-Photogrammetry." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 37, No. 6, pp. 525-533 (in Korean).

Lee, J. O. and Kim, D. P. (2020). "Accuracy assessment of feature collection method with unmanned aerial vehicle images using stereo plotting program StereoCAD." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, Vol. 40, No. 2, pp. 257-264 (in Korean).

Lee, J. O. and Sung, S. M. (2018). "Assessment of positioning accuracy of UAV photogrammetry based on RTK-GPS." *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol. 19, No. 4, pp. 63-68 (in Korean).

Lee, J. O., Kim, D. P. and Sung, S. M. (2020). "Assessment of LODs and positional accuracy for 3D model based on UAV Images." *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol. 21, No. 10, pp. 197-205 (in Korean).

Liu, X., Zhou, G. and Yuan, M. (2021). "Orientation of small UAV images with constraint." *Proceedings of 2nd International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing*, IOP Publishing, Zhangjiajie, China, Vol. 783.

Mateo, G. and Luka, J. (2017). "Gimbal influence on the stability of exterior orientation parameters of UAV acquired images." *Sensors*, Vol. 17, No. 2, pp. 401-417.

Oh, J. H., Jang, Y. J. and Lee, C. N. (2018). "Accuracy analysis of low-cost UAV photogrammetry for corridor mapping." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 36, No. 6, pp. 565-572 (in Korean).

Park, J. K. and Jung, K. Y. (2019). "3D model generation and accuracy evaluation using unmanned aerial oblique image." *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol. 20, No. 3, pp. 587-593 (in Korean).

Uysal, M., Toprak, A. S. and Polat, N. (2015). "DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill." *Measurement*, Vol. 73, No. 51, pp. 539-543.

Vittorio, C., Filiverto, C., Marica, F. and Ambrogio Maria, M. (2020). "Accuracy assessment of a UAV block by different software packages, processing schemes and validation strategies." *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 9, No. 3, pp. 164-185.

Yang, S. R. and Lee, H. S. (2019). "Generation and comparison of 3-dimensional geospatial information using unmanned aerial vehicle photogrammetry software." *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 15, No. 3, pp. 427-439 (in Korean).