Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 37, No. 6, 525-533, 2019
https://doi.org/10.7848/ksgpc.2019.37.6.525

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

무인항공사진측량을 이용한 벡터화의 3차원 위치정확도 분석

Analysis of Three Dimensional Positioning Accuracy of Vectorization Using UAV-Photogrammetry

이재원[1] · 김두표[2]
Lee, Jae One · Kim, Doo Pyo

Abstract

There are two feature collection methods in digital mapping using the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Photogrammetry: vectorization and stereo plotting. In vectorization, planar information is extracted from orthomosaics and elevation value obtained from a DSM (Digital Surface Model) or a DEM (Digital Elevation Model). However, the exact determination of the positional accuracy of 3D features such as ground facilities and buildings is very ambiguous, because the accuracy of vectorizing results has been mainly analyzed using only check points placed on the ground. Thus, this study aims to review the possibility of 3D spatial information acquisition and digital map production of vectorization by analyzing the corner point coordinates of different layers as well as check points. To this end, images were taken by a Phantom 4 (DJI) with 3.6 cm of GSD (Ground Sample Distance) at altitude of 90 m. The outcomes indicate that the horizontal RMSE (Root Mean Square Error) of vectorization method is 0.045 cm, which was calculated from residuals at check point compared with those of the field survey results. It is therefore possible to produce a digital topographic (plane) map of 1:1,000 scale using ortho images. On the other hand, the three-dimensional accuracy of vectorization was 0.068~0.162 m in horizontal and 0.090~1.840 m in vertical RMSE. It is thus difficult to obtain 3D spatial information and 1:1,000 digital map production by using vectorization due to a large error in elevation.

Keywords : UAV Photogrammetry, Feature Collection, Vectorization, Stereo Plotting

초 록

무인항공사진측량을 이용한 지도제작의 지형·지물 묘사 방법에는 벡터화와 수치도화 방법이 있다. 벡터화 방법은 정사영상에서 평면위치를 추출하고, 수치표면모델(DSM: Digital Surface Model) 혹은 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)에서 높이 값을 취득하고 있다. 그러나 지금까지 벡터화 성과의 정확도는 대부분 검사점만을 이용하여 분석하고 있어 지상시설물과 건물 등 3차원 지물의 위치정확도 판단이 어렵다. 이에 본 연구에서는 검사점 뿐만 아니라 지형 · 지물의 Layer별 모서리에 대한 정확도를 분석하여 벡터화를 이용한 3차원 공간정보취득 및 수치지도제작 가능성을 판단하고자 하였다. 촬영은 DJI사 Phantom 4 pro로 비행고도 90m에서 GSD (Ground Sample Distance) 3.6cm의 영상을 취득하였다. 연구 결과, 벡터화에 의한 묘사의 정확도는 현장측량 성과와 비교하여 검사점의 잔차를 분석한 결과 평면 RMSE (Root Mean Square Error)가 0.045m로 나타나 정사영상을 이용한 1/1,000 축척의 수치지형(평면)현황도 제작이 가능할 것으로 판단된다. 반면 전주, 옹벽 및 건물 등 Layer별 모서리 좌표를 기준자료와 비교하여 3차원 정확도를 분석한 결과 RMSE가 평면 0.068~0.162m, 표고 0.090~1.840m로 나타났다. 따라서 벡터화로 취득한 3차원 성과의 표고위치에서 오차가 크게 발생하여 벡터화를 이용한 3차원 공간정보 취득 및 1/1,000 수치지도제작이 어려운 것으로 판단된다.

핵심어 : 무인항공사진측량, 지형 · 지물 묘사, 벡터화, 수치도화

Received 2019. 11. 21, Revised 2019. 11. 27, Accepted 2019. 12. 03
1) Member, Dept. of Civil Engineering, Dong-A University (Email: leejo@dau.ac.kr)
2) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Dong-A University (Email: ksosdgk@hanmail.net)

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. 서 론

최근 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)에 정밀 항법장치와 다양한 센서를 장착 할 수 있게 되면서 무인항공사진측량(UAV Photogrammetry)은 고정밀 위치정보가 필요한 지도제작, 지적측량, 시설물조사 및 각종 모니터링에 활발히 이용되고 있다. 또한, 3차원 공간정보를 기반으로 하는 플랫폼과 서비스분야의 확대로 정밀 지도제작에 대한 수요가 증가하여 고해상도의 영상 취득이 가능한 무인항공사진측량이 각광받고 있다. 국토지리정보원의 "무인비행장치 이용 공공측량 작업지침"에 따르면 지도제작의 지형·지물 묘사 방법은 벡터화와 수치도화로 나뉜다(NGII, 2018). 현재 주로 활용이 편리하고 수치도화에 비하여 시스템을 구성하는데 비용이 저렴한 벡터화를 이용하여 2차원 적인 수치지형(평면)현황도가 제작되고 있다(Lee and Lee, 2018; Kim, 2019). 그러나, 3차원 공간정보에 대한 필요성과 수요가 증가 하면서 무인항공사진측량으로 생성한 3차원 공간정보의 정확도에 대한 다양한 분석이 필요하다.

한편, 무인항공사진측량을 이용한 수치지도제작 및 3차원 공간정보 취득에 관한 연구동향을 살펴보면 Udin and Ahamad (2014)는 회전익 UAV로 고도별 영상을 취득하여 정사영상, DEM (Digital Elevation Model), 3D 모델을 제작하였으며 정상영상에서 취득한 검사점의 좌표를 토탈스테이션으로 취득한 좌표와 비교하여 정확도를 분석하였다. 분석 결과 촬영고도가 높아질수록 3차원 오차가 증가되고 있음을 확인하였다. Uysal *et al*. (2015)은 무인항공기에 탑재된 카메라의 성능 평가를 위하여 60m 고도로 영상을 취득하여 DEM을 제작하였다. DEM 정확도를 30개의 검사점으로 분석한 결과 표고 RMSE (Root Mean Square Error)가 0.066m로 나타났다. Lim (2016)은 무인항공사진측량을 이용해 제작된 정사영상과 DEM을 벡터화하여 1/1,000 수치지도를 제작하였다. 검사점을 이용한 정확도 분석 결과 1/1,000 축척의 묘사허용오차 범위를 만족하고 있어 수치지도 갱신 적용 가능성이 있음을 판단하였다. Yun *et al*. (2018)은 무인항공영상의 수치지형도의 제작 가능성 판단을 위하여 수치도화 하였으며, 검사점을 이용한 정확도 분석 결과 RMSE가 평면 0.216m, 표고 0.231m로 1/2,500∼1/3,000의 도화오차 규정을 만족함을 입증하였다. Choi (2018)는 무인항공사진측량을 이용하여 정사영상 및 수치지형도를 제작하고 검사점을 이용하여 정확도를 분석한 결과, 오차의 평균이 평면 0.040m, 표고 0.110m로 1/1,000 수치지형도 허용오차 범위를 만족하고 있어 수치지형도의 신규 제작 및 갱신 가능성을 제시하였다. Kim *et al*. (2018)은 저가의 UAV로 시가지를 촬영하여 제작한 정사영상의 정확도를 평가하기 위하여 지상기준점의 개수 및 배치형태에 따른 검사점의 정확도를 분석하였다. 지상기준점은 유심다각망의 형태로 배치하는 것이 오차가 작으며, 고도 100m 이내에서 영상을 취득하여 제작한 정사영상의 경우 검사점 정확도가 수평 · 수직 위치 모두 5~10cm 내외의 정확도를 나타내고 있음을 확인하였다. Park and Jung (2019)은 무인항공기를 이용하여 하나의 건물을 대상으로 경사사진을 취득하고 3D 모델을 생성하여 검사점으로 정확도를 분석하였다. 3D 모델에서 취득한 검사점 성과를 토탈스테이션으로 취득한 성과와 비교한 결과 X, Y, H 각 축 방향으로 최대 0.19m, 평균 0.11m의 오차를 보이고 있어 면적 측정, 단면 생성, 도면화등 다양한 활용이 가능할 것으로 판단하였다. 또한, Lee *et al*. (2019)은 정확도 분석을 위하여 주로 평지에만 설치하던 검사점 대신 실제 지형 · 지물의 모서리를 벡터화 하여 수치도화 성과와 비교하였다. 평균오차 확인 결과 고저차가 크고 복잡한 지형 · 지물의 경우 오차가 더 크게 발생함을 입증하였다.

이와 같이 기존의 무인항공사진측량을 이용한 지도제작은 주로 정사영상과 DSM (Digital Surface Model) 또는 DEM을 벡터화하여 지형 · 지물이 아닌 평지에 설치된 검사점만으로 정확도를 분석하거나 일부 건물만을 대상으로 3차원 모델을 생성하여 정확도를 분석하여 왔다. 하지만 최근 정밀도로지도, 스마트시티, 3차원 가상세계 구축 등 세밀한 3차원 공간정보 취득에 대한 필요성이 증대되고 있으며 공간정보의 갱신 주기가 짧아짐에 따라 무인항공사진측량을 이용한 벡터화의 정확도를 보다 세부적으로 분석할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 벡터화로 지형·지물을 묘사하고 검사점 뿐만 아니라 점·선·면 Layer별 모서리 좌표를 이용하여 정확도를 분석한 결과로 부터 수치지도 제작 및 정밀한 3차원 공간정보 취득 가능성을 판단하고자 하였다.

2. 자료 취득 및 처리

2.1 연구방법

본 연구의 지형 · 지물 묘사 및 정확도 분석 흐름은 Fig. 1과 같다. 자료취득 단계는 촬영계획 및 지상기준점 측량을 수행하는 단계이다. 현장 확인을 통하여 비행고도 및 범위를 선정하였으며 영상은 저가형 UAV를 이용하여 취득하였다. 자료처리 단계는 취득된 원본 영상을 이용하여 벡터화에 필요한 정사영상 및 DSM을 제작하고 벡터화로 묘사하는 단계이다. Agisoft사의 Metashape (Agisoft, 2019)를 이용하여 정사영상과 DSM을 제작하였으며 제작된 성과물을 기반으로 Global Mapper에서 벡터화 하였다. 결과 분석 단계는 앞서 벡터화로 취득한 묘사 성과의 정확도를 분석하는 단계이다. 정확도는 크게 CP (Check

Point)를 이용한 방식과 점 · 선 · 면 Layer를 이용한 방식으로 나누어 분석하였다. 이때, CP점을 이용한 정확도 분석의 경우 벡터화 성과를 현장측량성과와 비교하였으며 Layer별 분석의 경우 전문도화사가 묘사한 성과를 검증하여 비교대상의 기준 자료로 사용하였다.

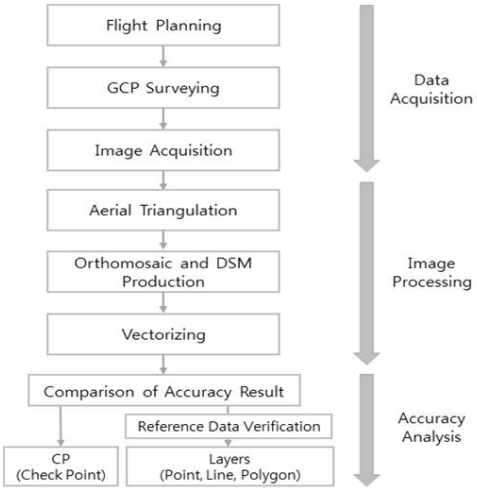


Fig. 1. Flow chart

2.2 연구대상지

연구대상지는 다양한 지형 · 지물의 정확도 분석을 위하여 농경지, 산지 및 주거지가 혼재된 전형적인 소도시로 약 0.75㎢ 범위를 대상으로 하였다. Fig. 2와 같이 대상지 내 도로, 건물, 필지, 하천 등 다양한 지형·지물이 존재하고 있다.

Fig. 2. Study area

2.3 지상기준점 측량

연구대상지내에는 총 8개의 지상기준점과 함께 정확도 분석을 위하여 7개의 검사점을 별도로 설치하였다. Fig. 3은 지상기준점과 검사점의 분포도를 나타내고 있다. 지상기준점은 가로·세로 30cm의 정방형의 타겟을 제작하여 촬영 전에 설치하였으며 검사점은 타겟 및 영상에서 식별 가능한 점들을 이용하였다. 지상기준점측량은 "공공측량 작업규정"의 공공기준점 3급에 준하여 평면위치는 GNSS (Global Navigation Satellite System) 네트워크 RTK-VRS (Real-Time Kinematic Virtual Reference System) 방식으로, 표고위치는 직접수준측량으로 결정하였으며 검사점 좌표는 RTK-VRS 방식으로 취득하였다. Fig. 4는 RTK-VRS를 이용한 지상기준점 측량 모습을 나타낸 것이다.

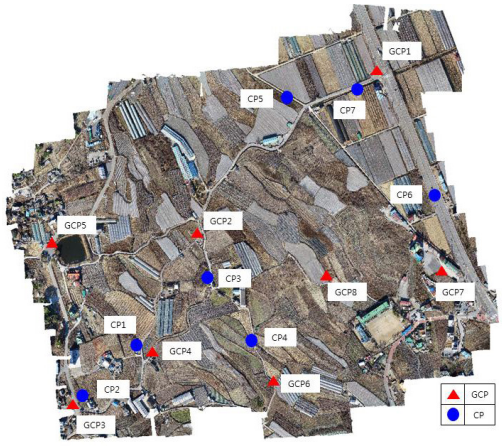


Fig. 3. Distribution of GCPs and CPs

Fig. 4. GCPs and CPs surveying

2.4 영상취득 및 처리

영상취득은 저가형 UAV인 DJI사 Phantom 4 pro 회전익 기체를 이용하였다. 영상 취득에 사용한 기체 및 카메라의 제원은

Table 1과 같다. 무인항공영상의 특성상 다양한 요인들로 인하여 영상처리 후 GSD (Ground Sample Distance)가 이론적 GSD보다 커지게 되며 이런 점을 고려하여 90m의 저고도로 촬영하여 고해상도 영상을 취득하였다. 중복도는 "무인비행장치 이용 공공측량 작업지침" 제13조에 의거 대상지가 대부분 평탄지인 점을 고려하여 종중복 65%, 횡중복 60%로 하였으며, 촬영 경로는 배터리 용량의 한계로 인해 Table 2와 같이 2회에 걸쳐 총 405장의 영상을 취득하였다.

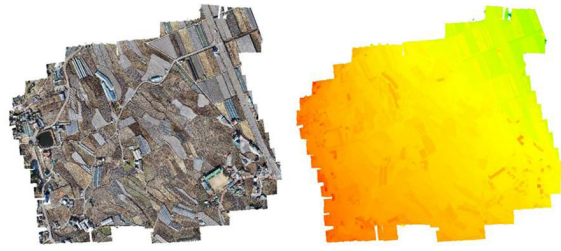
Table 1. Specification of UAV and camera

UAV model	DJI Phantom 4 pro
Camera model	FC 6310
Focal length	8.8 mm
Image resolution	5472 × 3648 pix
Pixel size	2.41 ㎛

Table 2. Flight trajectory and overlap

Flight height	90 m
Overlap	End lap : 65 % Side lap : 60 %

Agisoft사의 Metashape를 이용하여 영상을 처리하였으며, 영상 매칭, 지상기준점 입력, 포인트 클라우드 생성, DSM제작, 정사영상 제작 순서로 수행하였다. 성과물로 정사영상과 수치표면모델이 제작 되었으며 두 가지 성과를 기반으로 벡터화하여 지형 · 지물을 묘사하였다. Fig. 5는 제작된 정사영상과 수치표면모델을 나타내고 있다.



(a) Orthomosaics (b) DSM

Fig. 5. Extracted orthomosaics and DSM

2.5 지형·지물 묘사

"무인비행장치 이용 공공측량 작업지침"에 따르면 벡터화는 연속정사영상과 수치표면(또는 표고)모델 기반의 벡터화를 통하여 2차원으로 지형·지물을 묘사하는 방법으로 높이 정보가 필요한 경우 수치표면(또는 표고)모델로 부터 표고 또는 등고선을 추출하여 이용하는 방법으로 규정하고 있다(NGII, 2018). 본 연구에서는 벡터화의 정확도 분석을 위하여 Metashape로 제작된 정사영상과 DSM을 Global Mapper (Global Mapper, 2019)에 입력하여 지형·지물을 묘사하였다. Fig. 6은 벡터화로 묘사한 성과와 정사영상을 중첩시킨 모습이다.

Fig. 6. Overlaps of vectorizing results on orthomosaics

3. 결과 분석

3.1 정확도 분석 방법

지형·지물 묘사 정확도 분석은 검사점을 이용한 방법과 점·

선·면 Layer별 모서리 좌표를 이용한 방법의 두 가지로 수행하였다. 검사점의 정확도는 정사영상에서 벡터화로 취득한 좌표를 현장측량 성과와 비교하였다. 점·선·면 Layer별 모서리 좌표를 이용한 정확도 분석은 20년 이상의 경력을 가진 전문 도화사가 축척 1/1,000 도화작업규정을 기준으로 묘사한 성과를 기준자료로 사용하여 비교하였다.

3.2 검사점 정확도

정확도 분석을 위한 검사점은 고저차가 없는 평면에 가로 · 세로 30cm 정방형의 타겟 및 영상 식별 가능 지점 7개를 선점하여 사용하였으며, 90m의 저고도로 촬영하여 GSD 3.6cm의 정사영상을 벡터화 하였다. 검사점의 벡터화 성과와 현장측량 성과를 비교한 결과 Table 3과 같이 RMSE가 평면 0.045m로 "항공사진측량 작업규정"의 1/1,000 수치도화 묘사의 평면 허용오차를 만족하는 정확도를 나타내어 수치지형(평면)현황도 작성이 가능하다고 판단된다.

Table 3. Comparison of CPs coordinates between field surveying and vectorizing (unit: m)

CPs No.	Field surveying		Vectorizing		Residual
	X	Y	X	Y	△XY
CP 1	319768.576	175309.662	319768.574	175309.673	0.011
CP 2	319641.904	175170.387	319641.900	175170.412	0.025
CP 3	319908.295	175464.140	319908.267	175464.130	0.030
CP 4	319773.918	175563.947	319773.950	175563.953	0.033
CP 5	320307.397	175647.317	320307.342	175647.281	0.066
CP 6	320106.718	175954.384	320106.682	175954.336	0.060
CP 7	320326.306	175786.293	320326.267	175786.292	0.039
RMSE					0.045
Max					0.066

3.3 점·선·면 Layer별 모서리 정확도

3.3.1 기준자료 검증

도화사의 묘사 성과를 기준자료로 사용하기 위하여 총 7개의 지형·지물의 좌표를 현장측량성과와 비교하여 검증하였다. 검증 결과 RMSE가 평면 0.091m, 표고 0.092m로 축척 1/1,000의 묘사 허용오차 범위를 만족하고 있어 기준자료로 사용하기에 적합함을 확인하였다. Table 4는 기준자료의 정확도 분석 결과를 나타내고 있다.

3.3.2 점 Layer

정밀한 3차원 공간정보 취득 및 수치지도 제작 가능성을 판단하기 위하여 점·선·면 Layer별 정확도를 분석하였다. Fig. 7과 같이 표준 지형·지물 코드에서 점에 해당하는 전신주, 맨홀, 표지판, 신호등의 좌표를 벡터화로 취득하여 기준자료와 비교하였다. 정확도 분석 결과 Table 5와 같이 RMSE가 평면 0.108m, 표고 0.170m로 나타났다. 1번 점(전신주)의 경우 영상에 정확하게 나타나지 않아 좌표취득이 어려웠으며 대부분 고저차가 있는 전신주, 신호등과 같은 지형 · 지물에서 표고오차가 더 크게 발생하였다.

Fig. 7. Layout of point layers

Table 4. Results of reference data accuracy in X,Y and Z (unit: m)

CPs No.	Field surveying			Stereo plotting by DPW			Residual	
	X	Y	Z	X	Y	Z	△XY	△Z
P 1	320347.764	175833.975	17.010	320347.839	175834.049	16.984	0.106	0.026
P 2	320347.815	175836.948	17.057	320347.919	175836.932	17.180	0.105	-0.123
P 3	320347.298	175837.502	17.620	320347.323	175837.532	17.536	0.040	0.084
P 4	320332.746	175848.693	16.973	320332.665	175848.733	16.950	0.090	0.023
P 5	320361.645	175832.079	14.855	320361.642	175832.095	14.828	0.016	0.027
P 6	320355.013	175842.968	15.183	320355.036	175843.009	15.052	0.047	0.131
P 7	320352.343	175816.717	14.863	320352.229	175816.762	14.764	0.122	0.099
RMSE							0.091	0.092
Max							0.122	0.131

Table 5. Residuals at point layers by vectorizing and stereo plotting (unit: m)

Point No.	Reference data vs Vectorizing		Remarks
	△XY	△Z	
1	-	-	Electric pole
2	0.183	-0.326	
3	0.060	-0.108	
4	0.061	0.003	Manhole
5	0.078	-0.031	
6	0.074	-0.012	
7	0.047	-0.091	Sign board
8	0.006	-0.179	
9	0.074	-0.067	
10	0.031	-0.234	Traffic light
11	0.210	-0.207	
RMSE	0.108	0.170	-
Max	0.210	-0.326	-

3.3.3 선 Layer

선 Layer는 Fig. 8과 같이 소하천의 양 끝점 좌표를 이용하여 정확도를 분석 하였다. 분석 결과 Table 6과 같이 RMSE가 평면은 0.100m이나, 표고에서는 1.840m로 과대오차가 발생하였다. 과대오차가 발생한 이유를 분석한 결과 Fig. 9와 같이 영상정합이 이루어지지 않아 3차원 포인트 클라우드가 생성 되지 않았으며 DSM의 경우에도 명확한 경계가 구분되지 않아 표고오차가 크게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 8. Stone wall as a line layer

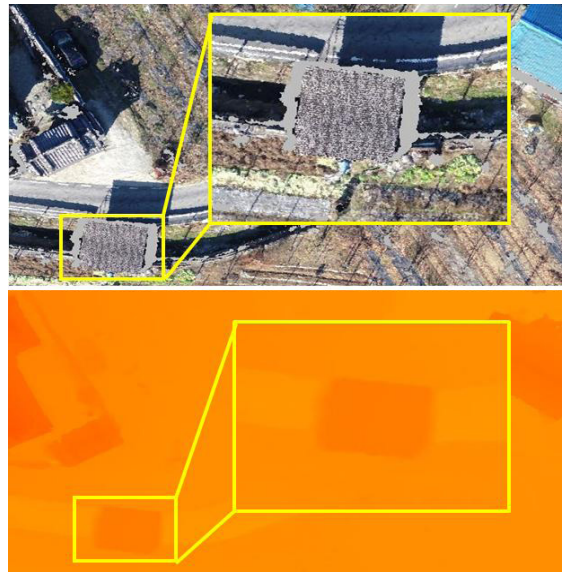


Fig. 9. Gross height error caused by non-generation of point clouds and inaccurate DSM

3.3.4 면 Layer

면 Layer는 바닥면에 위치한 횡단보도의 모서리와 고저차가 있는 건물의 모서리를 이용하여 정확도를 분석하였다. Fig. 10과 같이 총 3개의 횡단보도 모서리와 3개의 건물 모서리 좌표를 벡터화로 취득하여 기준자료와 비교 하였으며 Table 7과 같이 횡단보도는 RMSE가 평면 0.068m, 표고 0.090m, 건물 모서리는 RMSE가 평면 0.162m, 표고 1.035m로 나타났다. 건물 모서리의 경우 표고위치에서 과대오차가 발생하였으며 과대오차 발생 이유는 Fig. 11과 같이 건물의 모서리가 불완전하게 생성되거나 일그러져 발생되는 오차로 보인다.

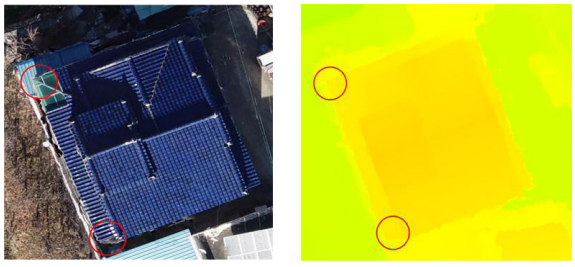
Table 6. Residuals at line layers by vectorizing and stereo plotting (unit: m)

Point No.	Reference data vs Vectorizing		Remarks
	△XY	△Z	
1	0.074	-0.091	Top of retaining wall
2	0.020	-0.057	
3	0.112	-3.040	Bottom of retaining wall
4	0.108	-0.952	
RMSE	0.100	1.840	-
Max	0.112	-3.040	-

Table 7. Residuals at polygon layer of crosswalk and building **(unit: m)**

Point No.	Reference data vs Vectorizing (Crosswalk)		Remarks	Reference data vs Vectorizing (Building)		Remarks
	△XY	△Z		△XY	△Z	
1	0.103	0.095	Area1	0.110	3.121	Area3
2	0.059	0.112		0.218	-0.454	
3	0.051	0.200		0.206	2.332	
4	0.060	0.102		0.188	0.180	
5	0.079	-0.096	Area2	0.162	0.249	
6	0.052	0.030		0.052	0.298	
7	0.007	0.024		0.119	0.024	
8	0.055	0.067		0.027	2.393	
9	0.072	0.043		0.082	-0.419	Area4
10	0.052	-0.059		0.009	-0.313	
11	0.051	-0.033		0.176	-0.298	
12	0.038	-0.024		0.082	-0.358	
13	0.063	0.037	Area3	0.267	-0.173	
14	0.063	0.087		0.078	-0.182	
15	0.125	0.114		0.141	-0.220	
16	0.037	0.073		0.196	-0.137	
17	-	-	-	0.204	-0.177	Area5
18	-	-	-	0.120	0.637	
19	-	-	-	0.142	0.017	
20	-	-	-	0.109	0.375	
21	-	-	-	0.155	-0.007	
22	-	-	-	0.277	-0.096	
RMSE	0.068	0.090	-	0.162	1.035	-
Max	0.125	0.200	-	0.277	3.121	-

Fig. 10. Polygon layer(Crosswalk and building)



(a) Orthomosaics at building (b) DSM at building

Fig. 11. Inaccuracy of a DSM in a building edge

4. 결 론

본 연구는 무인항공사진측량을 활용한 벡터화 성과의 3차원 정확도 분석을 위하여 지상기준점을 설치 후 무인항공기로 영상을 취득하였다. 취득된 영상은 Metashape로 정사영상과

DSM을 제작하였으며 벡터화는 제작된 정사영상과 DSM을 기반으로 Global Mapper의 Vectorizing tool을 이용하여 묘사하였다. 묘사 성과의 정확도 분석은 검사점과 점·선·면 Layer별 모서리 좌표를 지상측량 성과 및 기준 성과와 비교하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 벡터화를 위한 고해상도의 정사영상 제작을 위하여 90m의 저고도로 영상을 취득하고 Metasape로 정사영상을 제작하였다. 그 결과, GSD 3.6cm의 높은 해상도를 나타내는 정사영상을 생성하였으며 정확도 분석을 위하여 정사영상과 DSM을 벡터화하여 지형 · 지물을 묘사하였다.

둘째, 정확도 분석 결과 검사점의 잔차를 이용한 경우 평면 RMSE가 0.045m로 "항공사진측량 작업규정" 1/1,000 평면 묘사허용오차를 만족하고 있어 수치지형(평면)현황도 제작이 가능하여 지상측량의 대체방법으로써 비용절감을 할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 이에 따라 지적재조사사업, 도시개발사업 후보지 조사 및 현지조사와 보상업무 등 다양한 분야에 활용 가능할 것으로 보인다.

셋째, Layer별 모서리 좌표를 이용한 정확도 분석 결과 RMSE가 평면 0.068~0.162m, 표고 0.090~1.840m로 나타났다. 대부분 고저차가 있는 지형 · 지물에서 표고위치 오차가 크게 발생하였으며 이는 정사영상 및 DSM 제작 시 그림자와 구조물의 모양으로 인하여 발생되는 영상정합의 오류와 매끄럽지 못한 모서리 생성이 영향을 미치는 것으로 보인다.

정확도 분석 결과 정사영상 및 DSM을 기반으로 3차원 정보를 취득하는 벡터화는 표고오차의 정밀도가 낮아 벡터화를 이용한 수치지도제작 및 정밀 3차원 공간정보 취득에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

하지만 본 연구는 한 종류의 기체와 센서만을 이용하여 분석한 결과로 추후 다양한 조건을 이용하여 분석할 필요가 있으며 Layer별 정확도 분석에 실제 현장측량 성과를 이용하여 절대적인 정확도를 분석할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2018년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 수행되었음 [과제번호: NRF-2018R1D1A1A02085675]

References

Agisoft. (2019), Methashape, *Agisoft*, Petersburg, https://www.agisoft.com (last date accessed: 12 September 2019)

Choi, M.S. (2018), *A Study on the Effects of Development of Digital Mapping in the Island Areas Using the Drone Photogrammetry Method*, Master's thesis, Inha University, Incheon, Korea, 66p.

Global Mapper. (2019), *Blue Marble Geographics, Gardiner*, https://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php (last date accessed: 17 September 2019)

Kim, D.P. (2019), *Accuracy analysis of feature collection methods using UAV-photogrammetry*, Master's thesis, Dong-A University, Busan, Korea, 69p.

Kim, Y.D., Park, B.W., and Lee, H.S. (2018), Accuracy analysis according to GCP layout type and flying height in orthoimage generation using low-cost UAV, *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 26, No. 3, pp. 31-39. (in Korean with English abstract)

Lee, J.O. and Lee, S.B. (2018), Quality evaluation method for surveying results with UAVs, *Proceedings of 2018 KSGIS Fall Conference*, 1-3 Nov., Jeju, Korea, Vol.11, pp. 265-266.

Lee, J.O., Sin, S.Y., Jung, J.W., and Kim, D.P. (2019), Accuracy analysis of 3D geo-information through vectorizing in UAV-photogrammetry, *Proceedings of KSCE 2019 Convection*, 16-18 Oct., Pyeong Chang, Korea, Vol. 7, pp. 265-266.

Lim, S.B (2016), *Geospatial Information Data Generation Using Unmanned Aerial Photogrammetry and Accuracy Assessment*, Ph.D. dissertation, Chungnam University, Daejeon, Korea, 136p.

National Geographic Information Institute (NGII). (2018), *Guidelines for the Public Survey Using UAV*, NGII Guidelines No. 2018-1075, pp. 13-14.

Park, J.K. and Jung, K.Y. (2019), 3D model generation and accuracy evaluation using unmanned aerial oblique image, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 20, No. 3, pp. 587-593. (in Korean with English abstract)

Udin, W.S. and Ahamad, A. (2014), Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation flying altitude usingunmanned aerial vehicle, *International Symposium of the DigitalEarth*, IOP, 26-29 August, Sarawak, Malaysia, Vol. 18, pp. 1-7.

Uysal, M., Toprak, A.S., and Polat, N. (2015), DEM generation with UAV photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, *Measurement*, Vol. 73, pp. 539-543.

Yun, K.H., Kim, D.I., and Song, Y.S. (2018), Accruacy assessment

on the Stereoscope based digital mapping using unmanned aircraft vehicle image, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol. 48, No. 1, pp. 111-121. (in Korean with English abstract)