

지상기준점 선점 위치에 따른 DSM 높이 정확도 분석

Quality Assessment of Digital Surface Model Vertical Position Accuracies by Ground Control Point Location

이 종 필*
Lee, Jong Phil

Abstract

Recently, Unmanned Aerial Vehicle utilization and image processing technology for remote sensing have diversified remarkably with Orthophoto and Digital Surface Model. In particular, It uses more application fields such as spatial information analysis and hazardous areas as well as land surveying. This study analyses the accuracy of the coordinate on Orthophoto and DSM height on slope area with high and low differences by using UAV images. As the result of this study, in the case of GCP on 2D orthophoto, the location error was not produced significantly. The vertical position of the DSM showed the highest accuracy when the height difference between GCPs is under 30m(RMSEZ=0.07m). The location of the GCPs was divided into approximately 10m, 20m, 30m, and 40m with analysis for each of the eight points of GCP and inspection points in general. This study expects that producing both horizontal accuracy of Orthophoto and vertical accuracy of DSM using UAV on the sloped area which similar to this research area will help in spatial information fields.

Keywords: UAV, Orthophoto, Digital Surface Model, Ground Control Point, Vertical Position Accuracy

1. 서론

최근 무인비행장치 활용과 영상처리 소프트웨어 기술 발달로 인해 정사영상과 수치표면모델(Digital Surface Model, DSM) 등을 활용한 응용분야가 많아지고 있다. 이러한 디지털영상의 결과물은 공간정보 기술을 기반으로 경사면 위험지역 분석, 산사태 및 산불진화와 같은 자연재해 모니터링 등 다양한 분야에서 공간정보 활용성을 향상시키고 있다. 무인비행장치(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 사람이 직접

접근하기 곤란한 지역에서도 다양한 센서를 기반으로 고해상도 영상을 실시간으로 제공하는 등 최신 위치 기반 공간정보를 통해 지리적 위치와 높이값 등과 함께 사용자에게 편리성과 데이터의 정확성을 제공하는 장점이 있다.

측량분야에서는 UAV에 장착된 고해상도 디지털 카메라와 다양한 센서 활용을 통해 취득된 정사영상을 바탕으로 해당 지역의 영상 좌표를 독취하여 측량 보조 데이터 등으로 이용하거나 DSM 또는 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하여 다양한 분야로 확대·활

* 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(수료) Dept. of Geoinformatics, University of Seoul(jplee@lx.or.kr)

용되고 있다. 특히, 위치와 고도의 정확성을 요하는 측량분야에서 3차원 데이터 취득을 위하여 항공삼각측량을 통해 지상기준점(Ground Control Point, GCP) 성과를 기준으로 사진좌표를 지상좌표로 전환시키는 작업을 위해 지상기준점측량을 통한 절대좌표 변환을 실시한다. 지상기준점측량이란 항공삼각측량 등에 필요한 기준점의 성과를 얻기 위하여 현지에서 실시하는 지상측량을 말한다(무인비행장치 측량 작업규정 제2조제5항 및 제6항).

무인비행장치를 활용하여 취득한 정사영상과 DSM의 위치정확도는 지상기준점 수 또는 선점위치에 따라 차이가 발생하게 된다. 최근 지적공부의 좌표체계는 평면직각좌표계에서 세계측지계로의 좌표변환으로 평면위치 뿐만 아니라 높이값의 중요성도 인지되고 있으나 그 기준은 아직 모호하다. 무인비행장치 측량 작업규정 제23조 정확도 점검에 따르면 수치표면모델의 최종성과물일 경우 항공레이저측량 작업규정의 수직위치 정확도를 준용한다. 수직위치 정확도는 수치지도축척(1/1,000, 1/2,500, 1/5,000)에 따라 RMSE는 각각 0.5m 이내(최대 0.75m 이내), 0.7m 이내(최대 1m 이내), 1.0m 이내(최대 1.5m 이내)로 규정되어 있다. 그러나 지형의 기복이 심한 지역에서 GNSS 측량 방식을 통한 관측값과 무인비행장치를 활용한 영상 내 좌표 독취 값의 수평·수직 정확도에 대한 비교연구는 아직 미비한 실정이다.

본 연구에서는 지형의 기복이 심한 지역에서 GCP 위치에 따른 정사영상 왜곡 최소화와 DSM 수직위치 정확도를 위한 GCP 선점 위치를 분석하였다. 현재 지적측량과 같은 공간정보를 다루는 분야에서는 지형형태에 따른 GCP 선점 위치 기준은 모호한 실정이다. 따라서 지상기준점 선점 위치의 높이차가 정사영상의 위치정확도에 미치는 정도와 DSM 수직위치 오차를 비교·분석하여 본 연구의 대상지역과 같은 형태의 기복이 심한 지형에서 평면 및 수직 위치정확도 비교를 통해 공간정보와 3D데이터를 활용하는 측량분야에서

수직위치 정확도의 불확실성 해소를 목적으로 한다.

2. 선행연구 고찰

UAV 영상을 활용하여 위치정확도에 대한 연구는 지금까지 다양하게 수행되어 왔다. 이승웅(2018) 외는 회전인 UAV를 활용하여 촬영한 영상을 상용 소프트웨어를 이용하여 정사영상을 제작하고 정사영상에서 취득된 사진좌표와 지상에서 취득한 좌표를 GCP 정합수에 따른 정확도를 비교 분석하였다. GCP 정합수에 따라 사진 상의 좌표와 지상의 좌표 정확도를 비교한 결과 사진정합수가 많을수록 평면 상(X, Y) RMSE (Root Mean Square Error) 오차는 크지 않았으나 Z값의 경우 급격히 줄어든다는 결과를 제시하였다. 특히, 항공사진측량 촬영 시 촬영 코스별 지상기준점 배치는 모든 사진의 코스와 최외각을 고정시킬 수 있도록 하는 것이 Direct Georeferencing에 매우 중요하다(이용욱 2014). 토지소유권 보호와 밀접한 관련이 있는 토지측량분야에서 UAV를 활용한 고해상도 정사영상은 필지경계의 좌표 독취를 위해 위치정확도가 무엇보다 중요하다. 또한, 비행고도별 공간해상도의 차이는 지형지물별 영상인식의 정확도 향상에 많은 영향을 미치게 된다. 김정훈·김준현(2018)은 대공표지 유무와 색상별로 구분·비교를 통해 영상인식에 따른 정확도를 분석하였다. 지적기준점과 필지경계점을 비행고도(40m, 100m)와 다양한 대공표지 색상을 구분하여 사진좌표를 추출한 후 지상현황측량을 통해 필지경계점 간의 좌표 차이를 해상도에 따른 오차와 정확도를 분석한 결과 대공표지의 색상과 비행고도별 오차 발생은 미미함을 제시하였다. 지상기준점을 위한 대공표지란 항공삼각측량과 세부도화 작업에 필요한 지점의 위치를 항공사진상에 나타내기 위하여 그 점에 표지를 설치하는 작업을 말한다(항공사진측량 작업규정 제2조 제2항). 상공에서 비행하는 UAV 기체는 바람의 저항력이 약하여 자세의 불안정성을 안고

있어 기체에 탑재된 GNSS(Global Navigation Satellite System)/INS(Inertial Navigation System)을 이용하여 제작한 정사영상 및 DSM은 위치정보의 정확도에 문제가 있다. 이를 위해 데이터 후처리 시 지상기준점 사용이 필수적이며 이는 Geo-referencing 정확도를 향상시킨다(Ai et al. 2015). 박소연(2020) 외는 다양한 공간정보로부터 취득한 GCP를 활용하여 UAV 영상의 3차원 위치 정확도를 비교·분석하였다. DSM 제작 시 센티미터급 정확도 확보와 UAV 영상의 위치 보정을 위해 광범위한 지역에 GCP가 필요할 경우 이를 대체하기 위한 방법으로 사전에 구축되어 있는 세 가지 공간정보 데이터를 활용하였다. 연구에 사용한 공간정보 중 GCP 없이 UAV에 탑재된 GNSS/INS 정보만 사용했을 경우 RMSE는 GCP를 사용했을 경우 대비 수평·수직으로 각 15배, 7배 이상의 오차가 발생한 결과 등을 제시하였다. GCP의 경우 촬영대상 지역에 고르게 분포되었을 때 정사영상과 수치표면모델 등 결과물의 정확도를 확보할 수 있다. 지리참조에 사용되는 GCP 수가 항공사진측량으로 취득된 DSM과 정사영상 정확도에 미치는 영향에 관한 연구에서는 정사영상의 수평/수직 정확도를 GCP 수 증가에 따른 분석을 수행하여 비행계획이 이미지 사이의 높은 중복도를 보장하고 명확하게 보이는 충분한 GCP가 대상 지역 전체에 고르게 분포되었을 때 2.5~4.0cm의 정확도가 확보되었으며(Harwin·Lucieer 2012), 20개 이상의 지상기준점을 고도 120m에서 80%이상의 중·횡 중복도로 촬영한 지역의 GCP 수에 따른 RMSE(X, Y, Z) 평균값 분석에 대한 연구에서는 고전적 기술을 사용하여 조사할 때 15개의 GCP를 사용하여 촬영해야 정확도 향상에 효율적임이 제시되었다(Agüera-Vega et al. 2017). 최근에는 고해상도 정사영상과 수치모델을 생성을 목적으로 초경량무인비행장치가 많이 활용되고 있다. 특히 전통적인 방법으로 특정지역 등을 측량하는 것은 지형지물의 복잡성과 다양성이 존재하는 객체의 동적 상태를 측정하는 것은 부적합

하다. Zimmerman et al.(2020)은 초경량무인비행장치인 DJI Phantom4Pro(1.4kg/20M pixels)을 SfM (Structure from Motion) 방법으로 비행고도와 지상기준점 구성에 관하여 촬영고도 67m, 91m, 116m에서 해안가를 촬영하여 RMSE를 비교하고 GCP 분포와 개수에 따른 정확도를 비교하였다. 연구결과 전통적 방법에 비해 UAV-SfM 기술은 효율성, 자동성, 용이성 그리고 반복성에서 유리함을 입증하였고 116m 고도에서 효율적이며 정확한 영상을 취득하였다. 또한 언제나 많은 수의 GCP 활용보다 지형에 따라 선점한 GCP개수와 위치가 가 더 정확한 결과를 만들 수 있다고 제안하였다. 사진영상을 이용한 3D 모델링에서는 GCP의 배치 방법에 의해서도 정확도와 정밀도에 영향을 받게 되어 일정한 간격으로 촬영 대상지역 내에 고르게 배치하는 것이 더 좋은 결과를 보이게 된다. 특히 평지가 아닌 고저차가 심한 지형의 경우 지형에 따른 GCP 배치가 성과물의 위치 정확도를 향상시키는 데 중요한 요소가 된다. 윤공현 외(2018)는 촬영고도 200m에서 80% 중복도로 촬영된 무인항공기 영상을 수치도화기를 이용하여 부분적으로 제작된 수치지형도와 중첩한 결과 RMSE $\pm 21.5\text{cm}$ (평균), $\pm 23.1\text{cm}$ (수직)로 항공사진측량 작업규정(2013)의 1/1,000 축척 및 수치도화의 묘사 허용오차 기준에는 불충분하나 1/2,500~1/3,000 축척의 도화 오차규정에는 충족하다는 결과를 제시하였다. UAV 영상을 지적측량에 적용하기 위한 노력도 지속되고 있다. 고정현(2019)은 지적측량업무 프로세스 개선을 위해 다양한 무인비행장치와 소프트웨어를 이용하여 비행고도 180m에서 촬영 후 고해상도 정사영상을 생성하여 지상기준점과의 정확도를 검증하고 지적공부의 세계측지계좌표사업지구를 선정하여 지적측량 현황선을 평면위치($\Delta x, \Delta y$)만으로 비교·분석하였다. 연구결과 지적측량시행규칙에서 규정한 지적기준점 위치 허용오차에 부합하였으나 최대오차 기준을 초과하여 적용하기에는 난해한 결과라 제시하였다. 최근에는 3차원 공간정

보 구축을 위해 저비용, 고품질의 3차원 모형 구축에 무인비행장치 활용 사례가 많아지고 있다. 디지털트윈 3차원 모형 구축을 위해 드론영상을 사진측량 소프트웨어와 스마트시티 응용시스템을 연계하여 정확성을 평가한 임성하 외(2020)는 평탄한 도심지에서 비행고도 125m에서 촬영된 드론 정사영상에서 총 8점의 검사점을 육안으로 독취한 결과 RMSE $\Delta x = 0.03m$, $\Delta y = 0.04m$, $\Delta z = 0.02$ 로 우수한 결과를 보였으나 대상지역은 고저차가 없는 평탄한 지역이라는 공간적 특성을 갖고 있어 기복이 심한 지형에서는 결과에 많은 차이가 있을 것으로 사료된다.

선행논문에서는 평탄한 지형에서 무인비행장치의 비행고도 변화와 지상기준점 수에 따른 정확도 비교만을 연구하여 높이차가 심한 지형에서 평면과 높이 위치에 대한 연구의 한계를 가지고 있다. 따라서 기복변위가 심한 지형에서 GCP 선정 위치에 따라 취득된 정사영상과 DSM이 전반적으로 안고 있는 위치와 높이 정확도 측면에서 오차 범위를 확인해 볼 필요가 있다고 사료된다. 본 연구에서는 초경량무인비행장치를 활용하여 취득된 고해상도 영상으로부터 정사영상과 DSM을 생성하여 GCP 높이값에 따라 수직위치 정확도를 검증하고, 고도차가 심한 지형에서 적합한 GCP 선정위치를 찾아 UAV를 측량분야에 이용 시 영상처리방법의 효율적 적용 가능성을 확인하고자 한다.

3. 데이터 취득과 처리

3.1. 시·공간적 범위

연구지역의 시간적 범위는 2021년 3월로 평균기온 12.2°C, 풍속은 1m/s 이하로 항공영상을 촬영하기에 적합한 시기로 선정하였다. 공간적 범위는 충남 공주시 사곡면 연수단지길 지역을 선정하였다. 본 지역은 2020년 7월에 경기도 용인시에서 이전한 공공기관 부설기관인 교육연구시설로써 대지면적은 약 139천㎡



Figure 1. Location of study area

이며 부지의 상단과 하단의 최대 고저차가 약 40m로 본 연구의 목적과 부합하는 지역이다(Figure 1).

3.2. 데이터 취득

촬영에 사용된 무인비행장치는 Figure 2와 같이 자동항법이 가능한 쿼드콥터 형식의 회전익 장치이다. 최대이륙중량은 약 6.14kg이며 최대 각속도는 pitch/yaw 각 300°/s와 120°/s이다. 자동항법장치는 GPS/IMU로 구성되며, 촬영 시 무인비행체에 대한 자세값 (pitch, roll, yaw)을 측정하고 계획된 촬영 지점으로 자동비행할 수 있도록 기체를 유도하는 장치이다.

연구 대상지역 영상촬영 계획은 Figure 3 및 Table 3과 같다. 비행고도 120m 상공에서 14스트립의 비행 경로를 따라 약 3cm급의 GSD(Ground Sample Distance)로 총 298매의 디지털 영상을 취득하였다.



Figure 2. Quadcopter UAV(Matrice 210)

Table 1. UAV specifications

UAV model	Matrice 210
Type	Multicopter
Span(mm)	883x886x398
Max Speed	61.2km/h(P Mode)
Hovering accuracy	(V)±0.1m / (H)±0.3m
Flight time	≤ 34min

Table 2. Camera Sensor specifications

Camera model	Zenmuse X4S
Field of View(FOV)	84°
Resolution	5,472x3,648
Sensor size(mm)	13.2x8.8
Focal length(mm)	8.8
Photo type	DNG, JPEG



Figure 3. Flight planning and Camera locations

Table 3. Description of UAV image acquisitions

Coverage area(km ²)	0.32
Number of calibrated images	294 out of 298
Flight height(m)	120(AGL)
GSD(cm)	3.2
Image overlap(%)	80

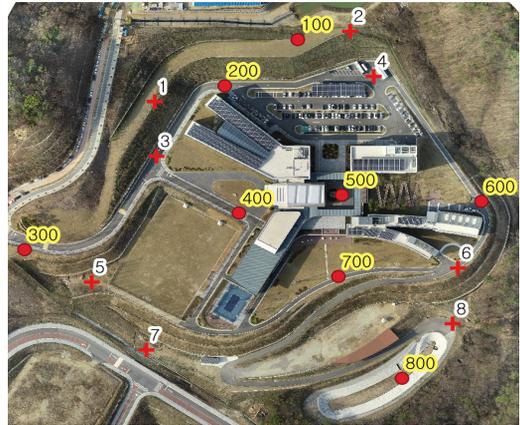


Figure 4. GCP and Check Points location

3.3. 데이터 처리

무인비행장치로 취득된 데이터는 영상정합과 DSM 생성, 정사영상 제작을 위해 상용소프트웨어인 Pix4-Dmapper로 처리하였으며, GCP는 네트워크 RTK (Real-Time Kinematic) 측량방법의 VRS (Virtual Reference Station) 측량 방식을 적용하였다. 지상기준점은 무인비행장치 측량 작업규정에 따라 연구지역 전체를 포괄할 수 있도록 총8점을 배치해 위치에 따라 4점씩 이용하였으며, 검사점은 지형기복이 심한 지역에서 더 정밀한 검사를 위하여 총 8점을 배치하여 비교하였다. Figure 4는 취득된 연구지역의 정사영상을 보여주며 연구지역 전체에 분포하도록 배치한 지상기준점(GCP) 및 검사점(CP)의 좌표는 Table 4와 같다. 수치표면모델과 정사영상은 Pix4Dmapper에서 지원하는 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)과 SfM기법 기능을 통해 GCP를 생성하였으며, GCP 선점 위치별 높이차를 비교하기 위하여 각 Case 별 네 점의 GCP를 한 그룹으로 구성하였다. 그룹별 제작된 정사영상과 수치표면모델은 오픈소스인 QGIS 소프트웨어로 GCP 점에 대한 평면좌표와 수직위치를 검사하였다. 그 결과 그룹별 GSD와 RMSE는 Table 5와 같다.

Table 4. GCPs and Check Points(CP) Coordinates by VRS-RTK

No.	X(m)	Y(m)	Z(m)	Remark
1	436750.247	205021.331	166.901	GCP
2	436809.774	205168.937	165.407	GCP
3	436703.918	205022.956	153.074	GCP
4	436771.554	205186.535	151.003	GCP
5	436597.370	204973.751	148.354	GCP
6	436609.330	205250.296	143.983	GCP
7	436539.975	205015.293	135.180	GCP
8	436562.010	205246.448	126.952	GCP
100	436802.707	205129.613	166.023	CP
200	436763.459	205074.318	150.951	CP
300	436624.650	204923.332	162.578	CP
400	436655.699	205084.915	150.929	CP
500	436671.200	205162.875	151.002	CP
600	436665.485	205268.213	145.495	CP
700	436602.018	205160.042	143.985	CP
800	436515.959	205208.057	123.680	CP

Table 5. Georeferencing results

Case	GCP No.	GSD (cm)	RMSE(m)			
			X	Y	Z	Mean
A	3,4,5,6	3.48	0.015	0.022	0.011	0.015
B	3,4,6,7	3.48	0.008	0.014	0.004	0.008
C	1,2,6,7	3.49	0.006	0.009	0.003	0.006
D	1,2,7,8	3.49	0.005	0.009	0.030	0.014

3.4. 검사점을 활용한 정확도 평가

무인비행장치 측량 작업규정에서 규정한 지상기준점 선점은 사진과 현장에서 명확히 분별될 수 있는 지점으로 되도록 평탄한 장소를 선정하여야 하며 수량은 1km²당 9점 이상을 원칙으로 한다. 평탄한 지역의 경우 지상기준점 배치 규정에 따라 고저차가 심한 지역의 경우 지형특성에 따라 GCP분포가 고르지 않을 경

우도 발생한다. 본 연구에서 GCP 선점방법은 무인비행장치 측량 작업규정을 따라 각 선점 위치에 따라 높이값은 다르나 평탄한 장소를 선정하여 대공표지를 설치하였다. 각 위치에서의 GCP점은 Table 4에서와 같이 높이값(Z좌표)을 가지고 있다. 점들 간의 높이차는 Case A(3, 4, 5, 6)의 경우 3번과 6번에서 차이가 가장 크다(9.1m). Case B(3, 4, 6, 7)의 경우 3번과 7번, Case C(1, 2, 6, 7)는 1번과 7번 그리고 Case D(1, 2, 7, 8)는 1번과 8번에서 가장 크게 나타나고 이는 각각 17.9m, 31.7m, 39.9m의 높이차를 가지고 있다. 또한 연구지역과 같이 북서에서 남동 방향으로 경사가 심한 지역에서 정밀한 DSM을 생성하기 위해서는 지상 기준점 선점이 무엇보다 중요하다 할 수 있다. 정확한 데이터 생성을 위해 Figure 4 및 Table 4와 같이 총 8점의 검사점(m)을 활용하여 연구지역의 상단과 하단, 가장자리와 중앙에 위치한 점들의 지상관측값(Z_{rtk})과 영상에서의 검사점(Z_{cp}) RMSEz를 식 (1)로 구하고 참조데이터를 활용하여 제작된 DSM 수직위치의 정확도를 비교하였다.

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{rtk} - Z_{cp})^2} \quad (1)$$

4. 좌표 비교 및 정확도 평가

4.1. DSM에서 3차원 지상기준점 오차 비교

선점 위치별 고도가 다른 GCP 8점에 대하여 Network RTK 측량을 실시한 각 지상기준점과 높이값을 비교한 결과 최고 0.12m의 차이를 보였다. Table 6에서 나타난 것과 같이 최고점과 최저점의 높이차가 약 10m에 이르는 Case A에서 RMSE가 가장 크게 나타났으며 Case C(약 30m)에서 가장 오차가 적었다. 전체적인 RMSEz는 Case A에서 0.124m, Case B(약 20m)에서 0.098m, Case C에서 0.055m 그리고 Case D(약

Table 6. Comparison between GCPs and ground observation coordinates on DSM

GCPs	Case A(m)			Case B(m)			Case C(m)			Case D(m)		
	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
1							0.029	0.035	0.019	0.037	0.032	0.047
2							-0.004	0.002	-0.028	-0.01	0.024	-0.06
3	0.033	0.023	-0.019	0.019	0.02	-0.028						
4	0.023	0.008	-0.116	-0.053	0.014	-0.093						
5	0.010	0.036	0.037									
6	0.004	0.030	-0.012	0.001	0.022	-0.009	0.000	0.013	-0.017			
7				0.026	0.040	-0.003	0.005	0.066	-0.040	0.005	0.041	-0.011
8										-0.007	0.023	-0.030
RMSE	0.042	0.053	0.124	0.062	0.052	0.098	0.030	0.076	0.055	0.039	0.062	0.083

Table 7. Comparison between CPs coordinates and ground observation coordinates on orthophoto

	Case A(m)		Case B(m)		Case C(m)		Case D(m)	
	Δx	Δy						
Max	0.092	0.049	0.075	0.073	0.081	0.088	0.087	0.081
Min	-0.034	0.003	-0.017	0.004	-0.038	0.015	-0.046	-0.004
Mean	0.045	0.029	0.037	0.039	0.023	0.037	0.027	0.034
RMSE	0.059	0.032	0.048	0.041	0.042	0.040	0.049	0.039

40m)에서 0.083m의 결과를 보였다.

4.2. 정사영상에서 2차원 검사점 비교

UAV를 활용해 제작된 정사영상에서 GCP 높이차를 4개 부분으로 구분하여 좌표를 추출하였으며 이에 대한 비교 결과는 Table 7과 같다.

검사점 총 8점에 대해 정확도를 비교한 결과 Case A의 경우의 RMSExy는 $x=0.059m$, $y=0.032m$ 이며 Case B는 $x=0.048m$, $y=0.041m$, Case C의 경우 $x=0.042m$, $y=0.040m$ 그리고 Case D는 $x=0.049m$, $y=0.039m$ 이다. 이차원정보인 정사영상에서 X와 Y좌표에 대한 오차는 평균 $x=0.049m$, $y=0.038m$ 로 무인비행장치 이용 공공측량 작업지침에서 적용한 지상표

본거리 0.12m 이내 (도화축척 1/1,000~1/1,200)에 충족하여 측량분야에서 활용 가능할 만족한 결과이며 GCP 선점 위치별 좌표차는 약 4cm 내외로 근소한 차이를 보였다.

4.3. DSM에서 3차원 검사점 비교

지상기준점 선점위치별 고도차가 발생한 지역을 대상으로 생성된 DSM에서 총 8점의 검사점을 동, 서, 남, 북 그리고 중앙에 배치하여 DSM이 내포하고 있는 높이값에 대한 전반적인 오차를 비교하였다. Figure 5에서는 연구지역의 DSM을 지형적 특징으로 가시화한 것이다. 검사점 점명 100, 200, 300의 높이는 각각 166.0m, 150.9m, 162.6m로 높은 위치에 배치되어 있

으며, 검사점 점명 600, 700, 800은 각각 145.5m, 144.0m, 162.6m로 높은 위치에 배치되어 있으며, 검사점 점명 600, 700, 800은 각각 145.5m, 144.0m, 123.7m에 위치되어 있어 고저차가 심한 지형임을 알 수 있다. 연구지역 전체를 포괄하는 검사점을 이용하여 Network RTK를 통해 취득한 지상기준점 높이값과 DSM에서 3차원 검사점 높이값의 상호 비교를 통해 정확성을 검증하였다.

Case A의 경우 점명 400이 0.006m로 가장 정확하였으며 점명 800에서 0.240m로 가장 높은 오차를 보였다. Case B에서는 점명 700에서 -0.008m로 정확성을 확보하였으며 점명 800에서 0.235m로 가장 많은 오차를 발생하였다. Case C의 경우 점명 600이 -0.003m로 가장 정확하고 점명 800에서 0.196m로 오차범위가 큰 것으로 나타났다. 이와 반대로 Case D에서는 점명 300에서 0.247m로 큰 오차가 발생하였고 점명 800에서는 -0.032m로 Case A, B, C와 대립되는 결과를 보였다(Table 8). 검사점 비교 결과 GCP 분포가 연구지역 전체를 포괄한 경우와 GCP 위치와 거리가 멀어지는 지역일수록 오차의 발생은 점진적으로 발생하는 것으로 나타났다(Tonkin and Midgley 2016). Case A는 3, 4, 5, 6번 GCP 분포에 따라 DSM 높이차가 가장 적은 CP는 400(0.006m)과 700(0.011m)이며 큰 오차량을 보인 CP는 100(-0.109m), 300(0.087m), 800(0.240m)이다. Case B의 경우 3, 4, 6, 7번 GCP를 사용하여 400(-0.016m), 700(-0.008m) CP가 가장 적은 오차량을 보였고 100(-0.098m)과 800(0.235m) CP는 많은 오차를 나타냈다. 또한 GCP 1, 2, 6, 7번을 기준으로 생성된 Case C의 경우 CP 200(-0.004m)과 600(-0.003m)의 오차가 적게 발생하였고 CP 800(0.196m)은 이전 Case와 유사하게 오차량이 가장 크게 나타났다. 반면 Case D (GCP 1, 2, 7, 8)는 CP 200(-0.036m)과 800(-0.032m)로 이전 Case에 비해 DSM 높이값에 다른 결과를 보였다. 이상의 경우로 보았을 때 지상기준점 높이차에 따른 선점위

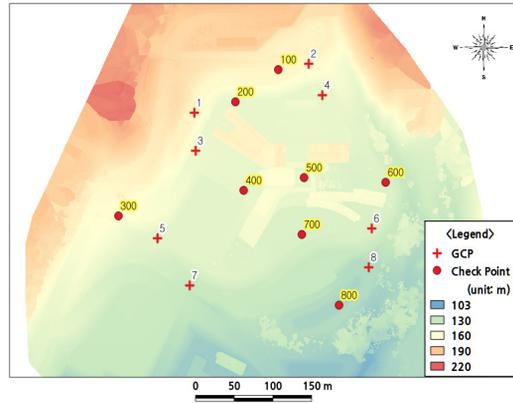


Figure 5. Location of Check Points with ground elevation in study area

치와 분포형태가 DSM 높이값에 영향을 주는 요인이 되고 GCP와 점군데이터의 거리에 따라 DSM 높이값 오차를 다르게 발생시킬 수 있는 원인으로 분석된다.

4.4. 정확도 평가

본 연구의 정확도 검증은 Network RTK 측량 방법을 적용하여 지상기준점측량 성과를 취득하여 DSM에서 전체 8점의 검사점의 RMSE로 평가하였다. Figure 6과 Table 8과 같이 Case A의 RMSE는 0.095m, Case B는 0.092m, Case C는 0.07m 그리고 Case D의 경우는 0.164m로 분석되었다. 또한 높이값 오차가 가장 많이 발생한 경우는 Case D이며 오차량이 가장 적은 경우는 Case C이다. 연구 대상 지역의 지형은 최고와 최저점의 높이차가 약 40에 이르는 경사가 심한 지역이다. 지상기준점의 선점 위치별 DSM 높이값을 Case A, B, C, D로 구분하여 정확도를 비교한 결과 GCP 높이차가 약 10m에서 RMSE는 0.095m, 약 20m에서 RMSE는 0.092m로 10cm 이하로 근소한 차이를 보였으며, 약 30m에서의 RMSE는 0.07m로 가장 높은 결과를 나타냈다. 반면 약 40m에서는 RMSE는 0.164m로 수직위치 정확도가 다소 떨어진 것을 알 수 있다.

Table 8. Comparison elevation of ground observation(Network RTK) and CPs in study area

CPs	Network RTK Coordinate(m)			Case A(m)	Case B(m)	Case C(m)	Case D(m)
	X	Y	Z	(Z _{rtk} -Z _A)	(Z _{rtk} -Z _B)	(Z _{rtk} -Z _C)	(Z _{rtk} -Z _D)
100	436802.707	205129.613	166.023	-0.109	-0.098	-0.020	-0.044
200	436763.459	205074.318	150.951	-0.053	-0.066	-0.004	-0.036
300	436624.65	204923.332	162.578	0.087	0.071	0.061	0.247
400	436655.699	205084.915	150.929	0.006	-0.016	-0.014	-0.113
500	436671.200	205162.875	151.002	-0.022	-0.039	-0.028	-0.208
600	436665.485	205268.213	145.495	-0.034	-0.022	-0.003	-0.273
700	436602.018	205160.042	143.985	0.011	-0.008	-0.022	-0.217
800	436515.959	205208.057	123.680	0.240	0.235	0.196	-0.032
Max				0.240	0.235	0.196	0.247
Min				0.006	-0.008	-0.003	-0.032
RMSE				0.095	0.092	0.070	0.164

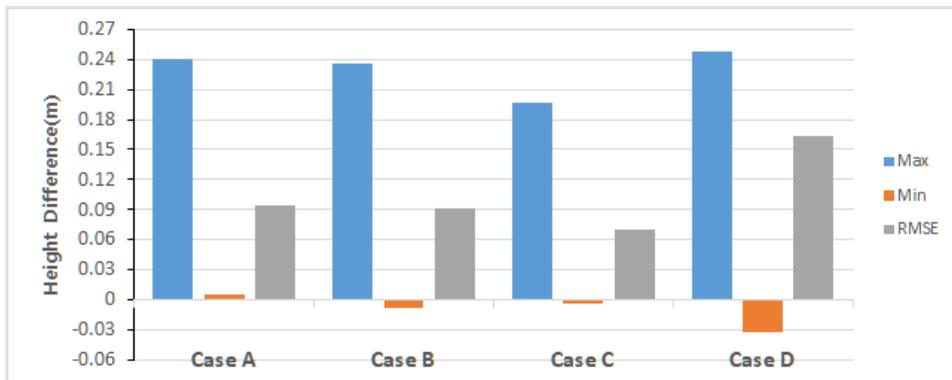


Figure 6. Height Difference(max, min, RMSE) of Check Points for various cases

무인비행장치 측량 작업규정에서는 수치표면모델 또는 수치표고모델이 최종성과물일 경우에 정확도 점검을 항공레이저측량 작업규정의 수직위치 정확도를 준용한다. 활용분야 및 제작목적에 따라 정확도를 별도로 정할 수 있지만 규정에서 정한 수직위치 정확도의 최소 RMSE는 0.5m 이내이다. 이와 같은 결과로 볼 때 그룹별 RMSE는 최소 0.070m, 최대 0.164m로 항공레이저측량 작업규정에서 규정한 오차한계 이내의 결과를 나타냈다. 무인비행장치 활용 빈도가 높아지는 지

적측량 분야에서는 평면위치 정확도에 대한 규정만으로 입체지적을 구현하기에는 한계가 따른다. 따라서 본 연구 대상지역과 유사한 지역에서는 무인비행장치 고해상도 영상을 활용하여 DSM의 정확도를 높이기 위해서 GCP 선점 시 점간 높이차가 약 30m 이내로 크게 배치하는 것이 DSM 수직위치 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

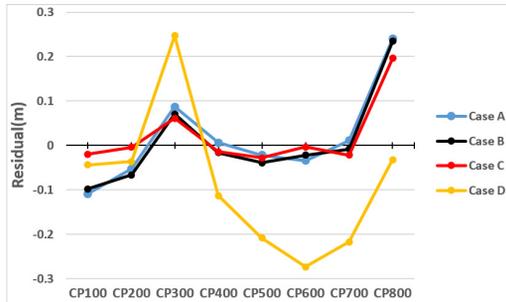


Figure 7. Comparison 4-case residual by ground observation coordinates

5. 결론

본 연구는 경사가 심한 지형에서 UAV를 활용한 정사영상과 DSM에서 높이값 차이를 분석하여 GCP 선점위치를 검증하고 공간정보와 측량분야에서 무인비행장치를 활용한 수치표면모델의 수직위치 정확도를 검증할 목적으로 수행하였다. 비교 분석 자료를 검증한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, DSM에서 GCP의 높이 정확도를 분석한 결과 실제지형에서 GCP점 간 높이차가 30m인 경우 RMSE가 0.070m로 가장 적었다. 이에 따라 지형적 특성에 따른 절대좌표 변환과 UAV 비행코스별 GCP 배치와 Direct Georeferencing에 매우 중요함을 확인하였다.

둘째, 2차원 정사영상에서 X와 Y 좌표의 위치정확도 검증 결과 지형 경사로 인한 왜곡발생은 미미함을 알 수 있었다. 총 8점의 검사점의 $RMSE_{xy}$ 결과 약 0.04m 내외로 근소한 차이를 보여 공공측량 작업지침에 따른 GCP 분포 기준을 측량분야에 적용 시 경사지에 대한 정사영상에 문제없이 활용 가능함을 확인하였다.

셋째, 전반적으로 DSM 수직위치 정확도는 GCP의 배치와 선점위치가 매우 중요함을 알 수 있었다. 무인비행장치 측량 작업규정에서 규정한 수직위치 오차 한계에는 충족하나, 총 8점의 검사점을 연구지역 전반

에 배치하여 $RMSE_z$ 를 확인한 결과 GCP점 높이차에 따른 선점위치와 분포형태가 DSM의 수직위치 정확도에 영향을 주는 요인이 되고 GCP 위치와 점군데이터의 거리에 따라 DSM 높이값 오차를 다르게 발생시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 본 연구 지역과 유사한 지형에서 GCP점 상호 간 높이차를 약 30m 이내로 선점할 경우 평면 및 수직위치 정확도를 요구하는 공간정보 데이터로 활용 가능한 UAV 영상 제작 방법의 적용 가능성을 확인하였다.

연구의 한계점으로는 최근 새로이 조성된 특정 지역은 표고모형 데이터가 미 구축되어 비교할 수 있는 기준데이터 확보가 불가능했다. 추후 새로이 갱신되는 공공데이터(DEM)를 기준으로 면밀한 추가 연구가 수행된다면 수치모형 사용자의 편리성을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

References

- 고정현. 2019. UAV를 활용한 지적측량 업무방식 개선에 관한 연구. *지적과 국토정보*. 49(2):169-185.
- Ko JH. 2018. A Study on the Improvement of Working Methods for Cadastral Survey Using UAV. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 49(2):169-185.
- 김정훈, 김준현. 2018. UAV를 활용한 비행고도별 지적기준점 및 필지경계점 정확도 분석. *한국측량학회*. 36(4):223-233.
- Kim JH, Kim JH. 2018. Accuracy Analysis of Cadastral Control Point and Parcel Boundary Point by Flight Altitude Using UAV. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 36(4):223-223.
- 윤공현, 김덕인, 송영선. 2018. 무인항공기 영상을 이

- 용한 입체시기반 수치도화 정확도 평가. 지적과 국토정보. 48(1):111-121.
- Yun KH, Kim DI, Song YS. 2018. Accuracy Assessment on the Stereoscope based Digital Mapping Using Unmanned Aircraft Vehicle Image. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 48(1):111-121.
- 이승웅, 문두열, 성우경, 김재우. 2018. 지상기준점 함수에 따른 정확도 분석. 한국지리정보학회지. 21(3):127-137.
- Lee SU, Mun DY, Seong WK, Kim JW. 2018. Accuracy Analysis According to the Number of GCP Matching. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 21(3):127-137.
- 이용욱. 2014. 지상기준점을 이용한 디지털카메라 Boresight Calibration. 한국측량학회. 32(4):293-298.
- Lee YW. 2014. Digital Photogrammetry Camera Boresight Calibration Using Ground Control Points. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 32(4-1):293-298.
- 임성하, 최규명, 조기성. 2020. 드론기반 도심지 디지털트윈 3차원 모형 구축에 관한 연구. 지적과 국토정보. 50(1):163-180.
- Lim SH, Choi KM, Cho GS. 2020. A Study on 3D Model Building of Drones-Based Urban Digital Twin. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(1):163-180.
- 박소연, 최윤조, 배준수, 홍승환, 손흥규. 2020. 다중 공간정보로부터 취득한 지상기준점을 활용한 UAV 영상의 3차원 위치 정확도 비교 분석. 대한원격탐사학회지. 36(5-3):1013-1025.
- Park SY, Choi YJ, Bae JS, Hong SH, Sohn HG. 2020. Three-Dimensional Positional Accuracy Analysis of UAV Imagery Using Ground Control Points Acquired from Multisource Geospatial Data. *Korean Journal of Remote Sensing*. 36(5-3):1013-1025.
- AI M, Hu Q, Li J, Wang M, Yuan H, Wang S. 2015. A Robust Photogrammetric Processing Method of Low-Altitude UAV Images. *Remote Sensing*. 7:2302-2333. DOI:10.3390/rs70302302.
- Forlani G, Dall'Asta E, Diotri F, Cella U, Roncella R, Santise M. 2018. Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. *Remote Sensing*. 10:311. DOI:10.3390/rs10020311.
- Francisco AV, Fernando CR, Patricio MC. 2016. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*. 98:221-227.
- Tonkin TN, Midgley NG. 2016. Ground-Control Networks for Image Based Surface Reconstruction: *An Investigation of Optimum Survey Designs Using UAV Derived Imagery and Structure-from-Motion Photogrammetry*. 8:786. DOI:10.3390/rs8090786.
- Zimmerman T, Jansen K, Miller J. 2020. Analysis of UAS Flight Altitude and Ground Control Point Parameters on DEM Accuracy along a Complex, Developed Coastline. *Remote Sensing*. 12:2305. DOI:10.3390/rs12142305.

2021년 5월 5일 원고접수(Received)
 2021년 6월 7일 1차심사(1st Reviewed)
 2021년 6월 21일 2차심사(2nd Reviewed)
 2021년 6월 28일 게재확정(Accepted)

초 록

최근 초경량무인비행장치(UAV)의 활용과 영상처리 기술 발달로 인해 정사영상과 수치모형 등을 활용한 응용 분야가 다양해지고 있다. 특히 토지측량분야에서도 이러한 결과물을 활용하여 위험지역분석과 같은 공간정보 활용이 활발해지고 있다. 본 연구에서는 UAV 고해상도 영상을 활용하여 고저차가 심한 경사지에서 정사영상의 위치정확도와 수치표면모델의 수직위치 정확도를 분석하고자 하였다. 연구 결과 대상지역 전역에 고르게 분포한 지상기준점(GCP)인 경우 2차원 정사영상에서 평면위치 오차는 크지 않았다. DSM의 수직위치의 경우 GCP의 선점위치를 점 간 고도차를 약 10m, 20m, 30m, 40m로 구분하여 전체를 포괄하는 각 8점의 GCP와 검사점을 대상으로 분석한 결과 비행코스별 고르게 분포되고 GCP 점 간 높이차가 30m일 경우(RMSEZ=0.07m) 가장 높은 정확도를 보였다. 본 연구지역과 유사한 대상지역을 UAV를 활용하여 수치모형을 제작할 경우 GCP 위치선정과 수직위치 정확도 향상에 도움이 될 수 있기를 기대한다.

주요어 : 초경량무인비행장치, 정사영상, 수치표면모델, 지상기준점, 수직위치 정확도