

# 지상기준점 개수 변화에 따른 무인항공 사진측량 성과물의 위치 정확도 분석\*

윤부열<sup>1</sup> · 성상민<sup>2\*</sup>

## Location Accuracy of Unmanned Aerial Photogrammetry Results According to Change of Number of Ground Control Points\*

Bu-Yeol YUN<sup>1</sup> · Sang-Min SUNG<sup>2\*</sup>

### 요 약

무인항공사진측량(UAV Photogrammetry)의 대표적인 성과물인 DSM(Digital Surface Model)과 정사영상은 고품질 공간정보 데이터로서 최근 공간정보산업 여러 분야에서 다양하게 활용되고 있다. 하지만 무인항공사진측량은 무인항공기체의 촬영고도, 촬영 카메라의 캘리브레이션, 촬영 당시의 기상조건, 기체에 사용된 GPS/IMU의 성능, 지상기준점의 개수 등 여러 가지 요인으로 인해 성과물의 품질이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 지상기준점 개수 변화에 따른 무인항공사진측량 성과물의 위치정확도를 분석하고자 하였다. 실험에 사용한 기체는 고정익 기체이며, 촬영고도는 130m와 260m로 설정하였다. 사용한 지상기준점은 총 9개이며 각각 9, 8, 5, 4개를 사용하였다. 검사점은 연구 대상지에 골고루 분포된 총 10개의 검사점을 사용하였으며, RMSE 분석방법을 사용하여, 정사영상에서는 XY RMSE를 DSM에서는 Z RMSE를 비교 분석하였다. 또한, 정사영상의 해상도가 평면위치 정확도 검증시 작업자의 판단에 영향을 미친다고 판단하여 Siemens star 타겟을 이용하여 시각적해상도를 분석하였다. 분석결과, 지상기준점의 개수가 달라지는 경우 평면위치 정확도의 변화량보다 수직위치 정확도의 변화량이 더 큰 결과를 나타내었으며 촬영고도가 높을수록 지상기준점의 개수의 변화가 위치 정확도에 미치는 영향이 큰 결과를 나타내었다.

**주요어 :** 무인항공사진측량, 지상기준점, 정사영상, DSM

2018년 5월 8일 접수 Received on May 8, 2018 / 2018년 5월 10일 수정 Revised on May 10, 2018 / 2018년 5월 11일 심사완료 Accepted on May 11, 2018

\* 이 논문은 2017학년도 창신대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(과제번호 창신-2017-교내-44)

1 창신대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Changshin University

2 동아대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Donga University

\* Corresponding Author E-mail : cantona777@naver.com

## ABSTRACT

DSM and orthoimage, which are representative results of UAV photogrammetry, are high-quality spatial information data and are widely used in various fields of spatial information industry in recent years. However, the UAV photogrammetry has a problem that the quality of the output of the UAV deteriorates due to the altitude of the UAV, the camera calibration, the weather conditions at the time of shooting, the performance of the GPS / IMU and the number of the ground reference points. The purpose of this study is to analyze the location accuracy of unmanned aerial photogrammetry according to the change of the number of ground control points. Experiments were made with fixed wing, and the shooting altitude was set at 130m and 260m. The number of ground reference points used was 9, 8, 5, and 4, respectively. Ten checkpoints were used. XY RMSE for orthoimage and Z RMSE for DSM were compared and analyzed. In addition, the resolution of the orthoimage was determined to affect the judgment of the operator in the verification of the planimetric position accuracy, and the visual resolution was analyzed using the Siemens star target. As a result of the analysis, the variation of the vertical position accuracy is larger than the variation of the planimetric position accuracy when the number of the ground reference points are different. Also The higher the flying height, the greater the effect of change of ground control points on position accuracy.

**KEYWORDS** : UAV-Photogrammetry, Ground Control Point, Orthoimages, Digital Surface Model

## 서 론

최근 공간 정보 분야에서는 기존 항공사진측량 방법에 비해 시간적, 공간적, 경제적인 면에서 나은 무인항공사진측량이 새로운 공간 정보 구축 기술로 주목받고 있다. 하지만 무인항공사진측량은 기체의 촬영고도, 기체에 장착한 촬영 카메라의 캘리브레이션, 촬영 당시의 기상조건, 기체에 사용된 GPS/IMU의 성능, 지상기준점의 개수 등 여러 가지 요인으로 인해 성과물의 품질이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 문제점 중 지상기준점 설치작업은 가장 시간과 비용이 많이 드는 작업이다. 이에 본 연구에서는 무인항공사진측량 성과물의 위치 정확도에 지상기준점의 수와 배치가 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

무인항공영상의 지상기준점의 개수 및 배치에 관한 연구의 국외 연구동향으로는 Markus Gerke(2016)는 지상기준점을 사용하지 않고

촬영하는 RTK-GNSS 방식의 무인항공기와 일반 무인항공기를 지상기준점 개수와 배치, 촬영 방향을 달리하여 각각의 검사점의 XY RMSE와 Z RMSE, XYZ RMSE 를 비교하였다. 연구 결과 RTK-GNSS 방식의 무인항공기가 평평한 지형에서 보다 나은 결과를 나타냄을 알 수 있었다. Francisco Aguera-Vega *et al.*(2017)는 사용한 지상기준점의 개수가 DSM과 정사영상의 정확도에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 비행고도는 120m이며, 17.42 헥타르의 면적을 160개의 이미지로 촬영하였다. GCP는 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20개의 개수를 총 5가지의 서로 다른 배치를 이용하여 총 45가지의 결과를 비교하였다. 비교 결과 120m의 고도에서는 15개의 GCP를 사용하였을 때 X RMSE, Y RMSE, Z RMSE, XY RMSE의 결과가 가장 좋음을 확인할 수 있었다.

국내 연구동향으로는 Kim(2008)은 유인 항공사진측량용 카메라인 ADS40을 이용하여 현재 규정의 적합성 여부와 동시에 GPS/IMU 결

합에 의한 ADS40 항공디지털사진의 사진기준점 측량 시 지상기준점 선점 분포를 달리하여 정확도를 비교 하였다. 비교 결과 1/1,000 정확도를 제외한 축척의 지도제작에는 지상기준점이 4점 이상이면 정확도에 만족하는 결과를 얻었으며, 8모델마다 1점씩의 지상기준점을 관측하면 높은 정확도의 정사영상을 확보할 수 있었다. Han(2013)은 항공사진측량에서 필요로 하는 지상기준점 측량의 시간과 경비를 절감하기 위한 GPS/INS 자료를 이용하여 현재 항공사진측량작업규정의 기준점 배치 모델과 새로운 기준점 배치 모델과의 정확도를 여러 측면에서 비교하여 새로운 지상기준점 배치 모델의 활용성을 검증하였으며, 비교 결과 GPS/INS를 활용하면 소수의 기준점만으로 현재 항공사진측량작업규정의 정확도에 부합할 수 있는 결과를 나타내었다. Han(2015)는 저고도 무인항공영상을 이용하여 정사영상 제작 시 효율적이며 경제적으로 만족할 만한 정확도를 얻기 위한 지상기준점 배치 방안을 모색하였다. 연구 결과 1~2km의 좁은 지역의 1:5,000 저고도 무인항공사진측량에서는 8점 정도의 기준점을 고르게 분포시켜 촬영하면 만족할 만한 정확도를 얻을 수 있는 것

으로 나타났다. Yu(2016)는 무인항공기를 이용하여 정사영상과 DSM을 취득함에 있어서 중복도와 지상기준점의 개수가 데이터의 품질에 미치는 영향을 분석하여, GCP를 사용하였을 경우에는 개수에 따른 평면위치정확도의 편차는 큰 차이가 없지만, 높이정확도의 편차는 GCP의 개수가 많을수록 감소함을 확인하였다.

## 실험자료 취득 및 처리

### 1. 연구 방법

무인항공영상의 위치 정확도를 분석하기 위하여 도로, 필답지역, 저층의 주거지 등이 다양하게 분포해 있는 지역을 연구 대상지로 선정하였다. 무인항공촬영 전에 총 9개의 지상기준점과 10개의 검사점을 골고루 배치하여 VRS-RTK 방법으로 지상기준점과 검사점의 측량을 수행한 후, 대공표지를 설치하였다. 그 후 고정익 무인항공기를 이용하여 고도 130m, 260m로 촬영 후 지상기준점의 개수와 배치를 달리하여 정사영상과 DSM을 제작한 후 정사영상에서는 XY RMSE, DSM에서는 Z RMSE를 각각 비교분석하였다. 또한 Siemens star 타겟을 이용하여 시각적 해상도

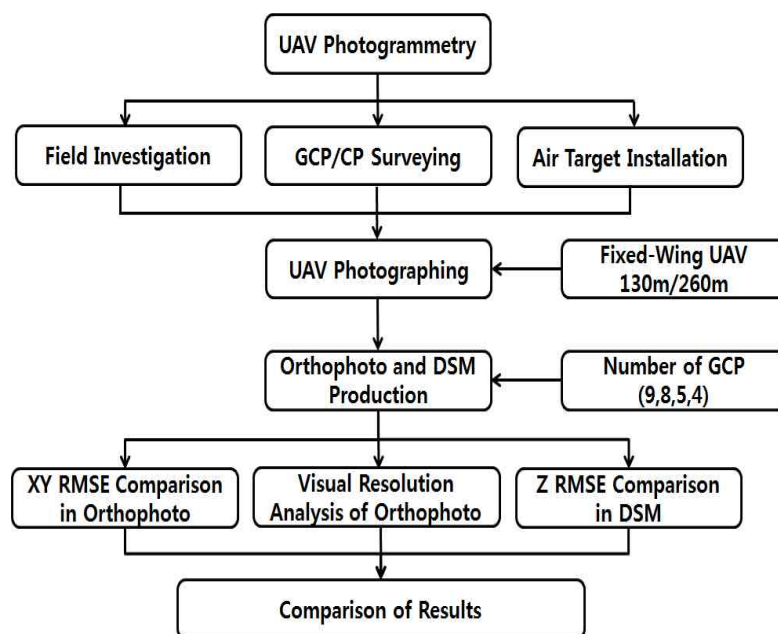


FIGURE 1. Study flowchart

를 분석하였다. 본 연구의 전체적인 흐름도는 그림 1과 같다.

### 2. 연구대상 지역 및 지상기준점 설치

본 연구의 대상지는 그림 2에 나타난 동경 128° 39′, 북위 35° 17′ 인 대한민국 경상남도 창원시 동읍에 위치해 있는 농경지, 주거지 및 일부 산지로 구성된 전형적인 농촌지역이다. 촬영 면적은 약 800m×800m이다. 연구대상지역내 9개의 지상기준점과 10개의 검사점에 대

해 VRS-RTK 방법으로 지상측량을 수행하였다. 연구대상지역내 지상기준점과 검사점의 위치는 그림 4와 같으며 지상기준점의 개수에 따른 위치정확도를 비교 분석하기 위해 고도별로 9, 8, 5, 4개의 지상기준점을 (A), (B), (C), (D), (E), (F), (G), (H)의 경우로 그림 3과 같이 배치하여 성과물을 제작하였다.

### 3. 영상취득 및 처리

본 연구의 촬영에 사용된 UAV는 고정익인

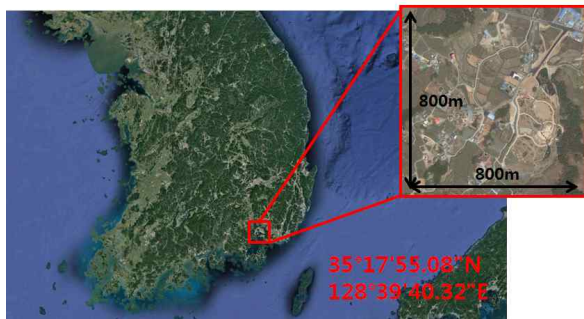


FIGURE 2. Study area

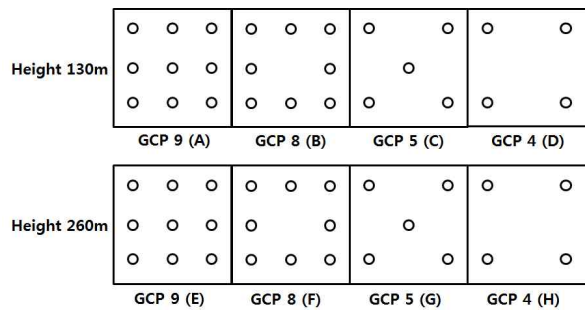


FIGURE 3. Operating conditions case by case

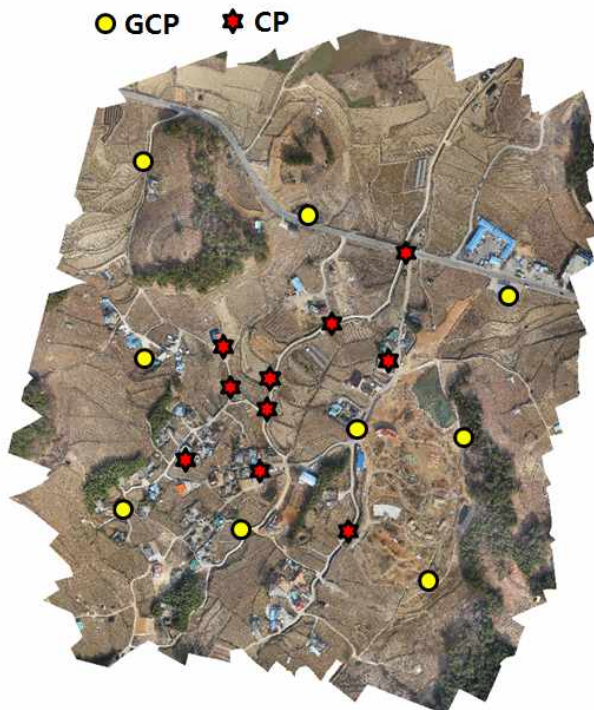


FIGURE 4. Distribution of GCPs and CPs

TABLE 1. Specifications of UAVs and the cameras


	UAV model	Weight	Flight time
	senseFly ebee	700g	max. 50min.
	Camera model	Focal length	CCD Sensor size
	Canon IXUS 127 HS	4.3mm	4,608×3,456pixel

TABLE 2. Flight parameters for UAV images

Flight parameters	UAV	Fixed Wing (eBee)
Height(m)	130	260
area(km <sup>2</sup> )	0.66	1.03
Number of images	175	87
GSD(cm)	4.0	7.7
Overlap(%)	P=75 Q=65	P=75 Q=65

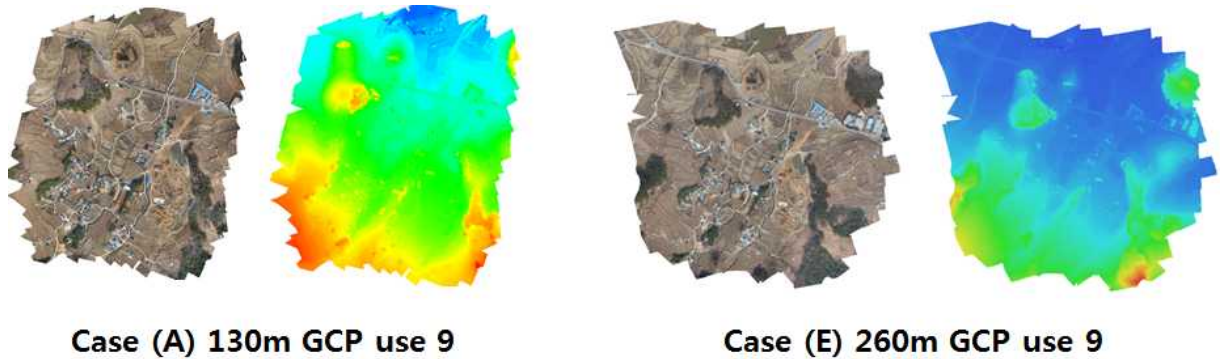


FIGURE 5. Orthoimages and DSM

SenseFly사의 eBee로 Canon IXUS 127 카메라를 탑재하여 영상을 취득하였다. 표 1은 촬영에 사용된 UAV와 카메라를 보여주고 있다. 카메라의 초점거리는 4.3mm, 영상해상력은 16MP (4,608×3,456pixel)이며, 한 픽셀 크기는 1.3  $\mu$ m이다. 촬영고도는 130m, 260m 로 하였으며, 촬영영상의 면적, 매수, GSD, 중복도는 표 2와 같다.

촬영 영상의 처리는 Agisoft사의 photoscan을 사용하여 AT 작업과 dense image매칭 과정을 거쳐 DSM과 정사영상을 제작하였다

(Agisoft, 2014). 그림 5에는 가독성을 위하여 대표적인 Case (A)와 Case (E)의 성과물만 나타내었다.

## 결과 분석

### 1. 분석방법

고도별 비교를 위하여 130m, 260m의 2가지 고도로 촬영하였으며, 연구대상지에 총 9개의 지상기준점과 10개의 검사점을 배치하였다. 촬영 후 정사영상과 DSM을 획득하였다. 정사영상에서는 검사점을 벡터라이징하여 추출한 평면위



TABLE 3. Accuracy Standards for Photogrammetry Regulation

Map scale	standard deviation (m)	maximum error (m)
1/500~1/600	0.14	0.28
1/1,000~1/1,200	0.20	0.40
1/2,500~1/3,000	0.36	0.72
1/5,000	0.72	1.44
1/10,000	0.90	1.80
1/25,000	1.00	2.00

치 좌표값을 추출하였으며, DSM에서는 해당 검사점의 수직위치값을 추출하였다. 이와 같은 작업 후 VRS-RTK 방법으로 해당 검사점을 측량하여 얻은 좌표값과 비교하여 RMSE 값을 계산하였다. 또한 표 3의 “항공사진측량작업규정의 도화축척별 평면위치와 표고의 잔차 기준”을 참고하여 평면 및 수직위치 정확도를 평가하였다.

### 2. 정사영상의 고도별 해상도 분석

본 연구에서 사용한 상용 S/W의 영상처리 원리와 방법을 고려하였을 때, 고도의 변화에 따른 단영상의 해상도 차이로 인해 작업자가 지상기준점을 S/W상에서 선점할때의 오차와 작업자가 정사영상에서 평면위치 정확도의 검증시 검사점 선점의 오차가 고도별 평면위치 정확도의 변화에 영향을 미친다고 판단하여, Siemens star 타겟을 이용하여 정사영상의 시각적해상도를 분석하여 참고하였다. Siemens star 타겟의 직경은 2m이며 표 4는 고도별로 촬영된

Siemens star 타겟 이미지와 시각적해상도를 나타내고 있다.

### 3. 평면 및 수직위치 정확도

무인항공기체로 촬영하여 획득한 성과물 중 정사영상을 이용하여 평면위치 정확도를 분석하였고, DSM을 이용하여 수직위치 정확도를 분석하였다. 고도별 비교를 위하여 촬영고도를 130m, 260m 고도로 촬영하여 분석하였다.

#### 1) 촬영고도 130m의 경우

촬영고도 130m에서의 평면위치 정확도는 9(A)개의 경우 0.041m, 8(B)개의 경우는 0.043m, 5(C)개의 경우는 0.046m, 4(D)개의 경우는 0.047m의 결과를 나타내었고, 9(A)개의 경우와 4(D)개의 변화량은 0.006m를 나타내었다. 수직위치 정확도는 9(A)개와 8(B)개의 경우는 각각 0.028m와 0.025m로 큰 차이가 없지만 지상기준점 개수가 줄어든 5(C)개와 4(D)개의 경우는 각각 0.051m, 0.071m의 결

TABLE 4. Visual resolution by Siemens star



	Fixed wing 130m	Fixed wing 260m
Siemens star image		
Visual resolution(cm)	5.49	9.04

TABLE 5. Residuals at check points in RMSE (unit:m)

No.	130m GCP 9(A)		130m GCP 8(B)		130m GCP 5(C)		130m GCP 4(D)	
	dxy	dz	dxy	dz	dxy	dz	dxy	dz
CP 1	0.008	-0.009	0.010	-0.019	0.020	0.048	0.005	-0.016
CP 2	0.080	0.028	0.087	0.007	0.082	0.009	0.082	-0.068
CP 3	0.036	0.045	0.030	-0.009	0.045	0.084	0.042	-0.032
CP 4	0.019	0.029	0.021	-0.010	0.028	0.060	0.049	-0.077
CP 5	0.007	0.009	0.008	-0.051	0.021	-0.009	0.013	-0.115
CP 6	0.014	0.022	0.033	0.021	0.022	0.041	0.032	-0.065
CP 7	0.079	0.019	0.039	-0.009	0.044	0.039	0.023	-0.069
CP 8	0.006	0.029	0.056	0.019	0.060	0.060	0.025	-0.069
CP 9	0.018	0.022	0.028	-0.025	0.035	-0.055	0.075	0.077
CP 10	0.019	0.029	0.029	-0.029	0.040	-0.019	0.026	-0.035
RMSE	0.041	0.028	0.043	0.025	0.046	0.051	0.047	0.071

과를 나타내었고, 9(A)개의 경우와 4(D)개의 변화량은 0.043m를 나타내었다. 분석 결과 지상기준점의 개수가 감소하면 평면 및 수직위치 정확도가 감소하는 결과를 나타내고 있다. 또한 평면위치 정확도의 변화량보다 수직위치 정확도의 변화량이 더 큰 결과를 나타내고 있다. 표 5는 각 경우의 평면 및 수직위치 정확도 분석 결과를 나타내고 있다.

#### 2) 촬영고도 260m의 경우

촬영고도 260m에서의 평면위치 정확도는 9(A)개의 경우 0.074m, 8(B)개의 경우는 0.074m, 5개(C)의 경우는 0.075m, 4개(D)의

경우는 0.097m의 결과를 나타내었고, 9(A)개의 경우와 4(D)개의 변화량은 0.023m를 나타내었다. 수직위치 정확도는 9(A)개의 경우 0.072m, 8(B)개의 경우는 0.090m, 5개(C)의 경우는 0.135m, 4개(D)의 경우는 0.145m의 결과를 나타내었고, 9(A)개의 경우와 4(D)개의 변화량은 0.073m를 나타내었다. 분석 결과 130m 촬영고도의 경우와 마찬가지로 지상기준점의 개수가 감소하면 평면위치 정확도가 저하되는 결과를 나타내고 있으나, 130m 촬영고도의 결과와 비교하여 위치 정확도의 변화량이 더 큰 결과를 나타내고 있다.

TABLE 6. Residuals at check points in RMSE (unit:m)

No.	260m GCP 9(E)		260m GCP 8(F)		260m GCP 5(G)		260m GCP 4(H)	
	dxy	dz	dxy	dz	dxy	dz	dxy	dz
CP 1	0.067	-0.036	0.076	-0.076	0.072	0.156	0.111	0.156
CP 2	0.019	0.140	0.046	-0.095	0.028	-0.110	0.045	-0.110
CP 3	0.079	0.041	0.068	-0.112	0.081	-0.160	0.097	-0.170
CP 4	0.076	0.037	0.071	-0.082	0.089	-0.135	0.105	-0.135
CP 5	0.103	-0.044	0.100	-0.079	0.089	-0.102	0.111	-0.122
CP 6	0.059	-0.055	0.065	-0.099	0.087	-0.097	0.097	-0.123
CP 7	0.069	0.069	0.055	0.066	0.056	-0.116	0.095	-0.121
CP 8	0.083	0.067	0.045	0.087	0.056	-0.121	0.089	-0.098
CP 9	0.055	0.080	0.091	-0.088	0.071	-0.128	0.095	-0.153
CP 10	0.055	-0.045	0.067	-0.057	0.055	0.140	0.055	0.125
RMSE	0.074	0.072	0.074	0.090	0.075	0.135	0.097	0.140

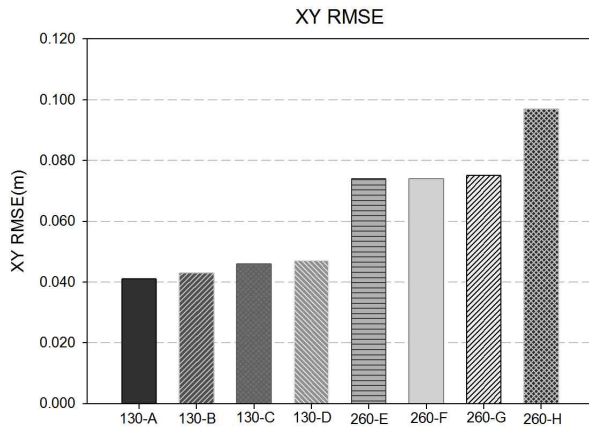


FIGURE 6. Residuals at check points in XY RMSE

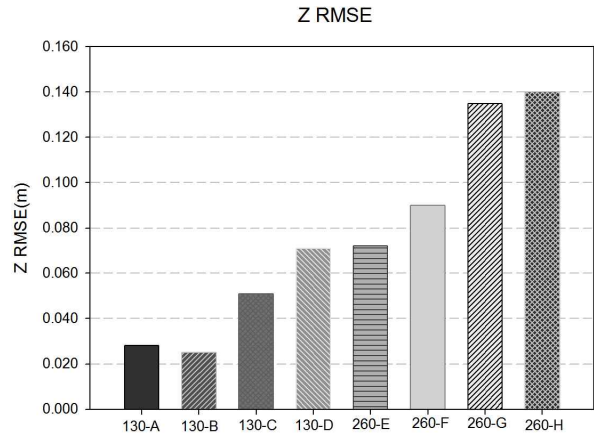


FIGURE 7. Residuals at check points in Z RMSE

### 결론

본 연구는 고도별 지상기준점의 개수에 따른 성과물의 위치 정확도를 분석하여 최적의 지상기준점 배치를 도출하고자하는 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 평면위치 정확도의 변화량은 130m 촬영고도 일 때 0.006m, 260m 촬영고도 일 때는 0.023m이다. 수직위치 정확도의 변화량은 130m 촬영고도 일 때 0.043m이며, 260m 촬영고도에서 수직위치 정확도 변화량은 0.073m이다. 이와 같은 결과로 보아 지상기준점의 개수가 달라지는 경우 평면위치 정확도의 변화량보다 수직위치 정확도의 변화량이 더 큰 결과를 나타내었다. 이는 지상기준점의 개수가 평면위치 정확도 보다 수직위치 정확도에 더 큰 영향을 미치고 있다고 볼 수 있다.

둘째, 130m 촬영고도일 때, 평면위치정확도와 수직위치정확도의 변화량은 각각 0.006m, 0.043m이고, 260m 촬영고도일 때, 평면위치정확도와 수직위치정확도의 변화량은 각각 0.023m, 0.066m로 260m 촬영고도일 때 위치 정확도의 변화량이 더 큰 결과를 나타내고 있다. 이 같은 결과는 촬영고도가 높을수록 지상기준점의 개수가 위치 정확도에 미치는 영향이 크다고 볼 수 있으므로 촬영고도에 따른 지상기준점의 적절한 개수의 배치가 필요할 것으로 판


단된다.

셋째, 평면과 수직위치 정확도를 분석한 결과, 고도별로 가장 낮은 정확도의 결과를 나타낸 경우인 130m 고도에서 지상기준점 4개를 사용한 Case (D)의 경우 평면위치 정확도가 0.047m, 수직위치 정확도가 0.071m, 260m 고도에서 지상기준점 4개를 사용한 Case (H)의 경우는 평면위치 정확도가 0.097m, 수직위치 정확도가 0.140m로 나타났다. 이는 “항공사진측량작업규정의 도화축척별 평면위치와 표고의 잔차 기준”에서 1/1,000~1/1,200 도화축척의 표준편차와 최대값의 기준을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 일부 검사점에서 잔차기준을 초과하는 최대오차가 발생할수도 있어 정밀한 위치의 결정을 위해서는 8~9개 이상의 지상기준점을 사용하는 것이 안정적인 것으로 판단된다.

넷째, 정사영상의 해상도가 평면위치 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위해 시각적해상도를 분석한 결과, 130m 고도에서는 5.49cm, 260m 고도에서는 9.04cm의 약 1.6배의 차이가 나는 결과를 나타내었다. 또한 130m 고도와 260m 고도에서 같은 지상기준점 개수를 사용하였을 때 평면위치 정확도의 차이도 시각적 해상도의 차이와 비슷한 약 1.7배의 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 촬영고도 변화로 인한 무인항공영상의 해상도의 차이로 인해 발생한 작



업자의 지상기준점 선점과 검사점 선점시의 오차가 정확도에 영향을 미친다고 판단된다.

본 연구의 결과는 한가지 기종의 UAV를 이용하여 제한된 면적의 대상지역에서 분석한 결과이므로 보다 다양한 촬영고도, 촬영대상지 및 촬영기체를 이용한 결과의 분석을 통해 보편적인 정확도의 분석결과가 필요할 것으로 판단된다. 또한 무인항공사진측량의 작업공종 중 지상기준점의 설치하는 가장 시간이 많이 걸리는 작업으로서 시간과 경제성을 고려 및 판단하여 무인항공영상을 촬영하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 

## REFERENCES

- Agisoft, 2014. Photoscan User Manual: Professional Edition, Ver 1.1.
- Gerke, M. and Przybilla, H.J. 2016. Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns. PFG Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation 2016/(1):17-30.
- Han, J.D. 2013. A study on the plan to optimize photo reference point using GPS/INS. Master's Thesis, Kyonggi University, Suwon, Korea (한지동. 2013. GPS/INS를 이용한 사진기준점 최적화 방안에 관한 연구. 경기대학교 대학원 석사논문).
- Han, S.H. 2015. Accuracy analysis of bundle adjustment for low altitude aerial photo according to density and array pattern of GCPs. Proceedings of the Spring Conference of The Korean Society for Geo-Spatial Information System. pp.73-74 (한승희. 2015. 지상기준점 밀도 및 기하학적 배치에 따른 저고도 항공영상의 번들조정 정확도 분석. 2015 한국지형공간정보학회 춘계 학술발표논문 초록집. 73-74쪽).
- Kim, K.J. 2008. This study on the optimal ground control point for ADS 40. Master's Thesis, Kyonggi University, Suwon, Korea (김경중. 2008. 디지털 항공 카메라 ADS40 사진기준점 측량의 최적 기준점에 관한 연구. 경기대학교 대학원 석사논문).
- Lee, J.O., B.Y. Yun, and J.B. Lee. 2015. A study on the work regulation for uUAV application in the field of spatial information, Journal of The Korean Cadastre Information Association 18(1): 397-405 (이재원, 윤부열, 이재봉, 2015, 초경량 무인비행장치(uUAV)의 공간정보 분야 적용을 위한 작업규정(안)에 관한 연구, 한국지적정보학회지 18(1): 397-405).
- Lee, T.Y. and J.O. Lee. 2016. Analysis of spatial resolution characteristics for DMC/Ultra CamXp /ADS80 digital aerial image based on visual method, The Korea Society For Geospatial Information System 24(1):61-68 (이태윤, 이재원, 2016, 시각적 기법에 의한 DMC/UltraCamXp/ADS80 디지털 항공영상의 공간해상도 특성 분석, 한국지형공간정보학회지 24(1):61-68).
- Yoo, Y.H. 2016. Effect analysis of overlap and GCPs for generating orthoimage and DSM based on fixed wing UAV. Master's Thesis, Chungbuk University, Cheongju, Korea (유용호. 2016. 고정익 UAV 기반 정사영상 및 DSM 제작을 위한 중복도와 지상기준점의 영향 분석. 충북대학교 대학원 석사논문).
- Yun, B.Y. 2017. Experimental applicability evaluation for renewal and modification task of digital topographic map by low-cost drone acquired images, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 20(4):115-126 (윤부

- 열, 2017, 저가형 드론영상을 이용한 수치지형도 수정 · 갱신업무 적용 가능성 실험 평가, 한국지리정보학회지 20(4):115-126).
- Yun, B.Y. and J.O. Lee. 2014. A study on application of the UAV in Korea for integrated operation with spatial information, Journal of The Korean Society for Geospatial Information System, 22(2):3-9 (윤부열, 이재원.
- 2014, 무인항공기(UAV)의 공간정보 통합운영을 위한 국내적용 방안, 한국지형공간정보학회지, 22(2):3-9).
- Vega, F.A., F.C. Ramirez and P.M. Carricondo. 2017. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. Measurement 98:221-227. **KAGIS**