

드론사진측량을 위한 프로젝트 설계방안

한승희*

Han, Seung Hee*

Project Design Plan for Drone Photogrammetry

ABSTRACT

The drone photogrammetry is actively utilized for obtaining highly accurate spatial information and other various monitoring purposes. It is general to plan the drone photogrammetry by referring to previous experiences or cases in order to obtain the required accuracy, but the drone photogrammetry is often carried out again due to poor accuracy. Since the required spatial accuracy of the drone photogrammetry process result becomes the means of objective evaluation regardless of the type of result, it should be determined carefully. Therefore, it is necessary to determine flight height, overlap, number and arrangement of ground control point, and exterior orientation factor acquisition method in order to meet the required 3D positional accuracy for the design of drone photogrammetry project. In this study, previous study cases for the analysis of drone photogrammetry accuracy were carefully analyzed and verified by applying such cases to testing area, and design guideline of drone photogrammetry project for a small area was prepared based on the analysis result. The presented project design guideline is expected to be a great help to business practice although it is not perfect, and if the design guideline is prepared through comprehensive analysis in future, it would be possible to provide a perfect manual.

Key words : Drone photogrammetry, Ground control point, Exterior orientation factor, RTK GPS, PPK

초록

드론사진측량(Drone photogrammetry)은 높은 정확도의 공간정보획득과 각종 모니터링 목적으로 활발히 활용되고 있다. 요구하는 정확도를 얻기 위한 드론사진측량 계획 시 경험 또는 기존의 사례를 참고하여 계획하는 경우가 일반적이나 불량한 정확도로 인하여 재 촬영하는 경우가 종종 발생한다. 요구하는 드론사진측량 처리결과와 공간정확도는 결과물의 종류에 관계없이 객관적인 평가의 수단이 되므로 신중히 결정할 필요가 있다. 따라서 드론사진측량의 프로젝트설계는 요구하는 공간정확도(3D positional accuracy)를 충족시키기 위해 촬영고도, 중복도, 지상기준점(GCP; Ground Control Point)의 수와 배치, 외부표정(EO; Exterior Orientation)요소에 대한 획득방법의 결정이 필요하다. 본 연구에서는 드론사진측량 정확도분석에 대한 기존 연구사례를 면밀히 분석하고 시험지역에 적용하여 검증하였으며 이 분석결과를 토대로 소규모지역 드론사진측량 프로젝트시의 설계지침을 마련하였다. 제시한 프로젝트설계지침은 완벽하지는 않지만 실무에 많은 도움이 될 수 있을 것을 기대하며 추후 종합적분석을 통한 설계지침이 마련된다면 완벽한 매뉴얼을 제공할 수 있을 것이다.

검색어 : 드론사진측량, 지상기준점, 외부표정요소, 공간정보, RTK GPS, PPK

1. 서론

영상을 통한 지형정보획득은 센서를 탑재하는 플랫폼에 따라 장단점을 가지고 있다. 기존의 항공기 대신 드론을 활용한다는 것은 시간적, 공간적인 제약없이 고해상도의 영상을 얻을 수 있다는 점에서 강점이 있다. 항공삼각측량의 핵심은 공간후방교회법(Space Resection)과 전방교회법(Space Intersection)이며 공간후방교회법과정에서 외부표정요소결정의 정확도에 따라 공간전방교회법의 결과정

* 중신회원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학부 교수 (Corresponding Author · Kongju National University · shhan@kongju.ac.kr)

Received November 22, 2018/ revised December 11, 2018/ accepted January 10, 2019

확도가 결정된다. 전통적인 사진측량에서는 지상기준점을 통해 외부표정요소를 결정해 왔으나 시간 및 경비의 절약을 위해 네트워크 RTK 또는 PPK를 사용하는 추세이다. 그러나 어떠한 방법을 사용하는 것이 좋은지에 대해서는 아직까지 논란의 여지가 있다. 따라서 촬영 전에 요구정확도를 만족할 수 있는 프로젝트설계가 필요하다. 알려진 바와 같이 프로젝트 설계 시 고려해야할 요소들은 기준점 수와 배치, 촬영고도 및 중복도, 외부표정요소의 결정방법 등이다. 기준점 수와 배치의 경우에는 최소의 기준점을 어떻게 배치할 것인가에 대한 면밀한 계획이 필요하며 높은 표고정확도를 위해서는 다양한 표고의 기준점배치가 필요하다.

촬영고도의 경우 역시 공간해상도에 직접 관계가 있으므로 정확도에 영향을 미친다. 드론촬영고도의 법적인 제한범위인 150 m 내에 대한 사전오차분석을 통한 시뮬레이션도 필요하다.

본 연구에서는 드론사진측량의 정확도에 영향을 미치는 외부표정요소의 결정방법, 기준점의 수와 배치, 촬영고도에 대한 정확도분석에 관련된 사전연구를 분석하고 테스트필드에 직접 적용하여 이를 검증함으로써 프로젝트 수행에 필요한 촬영계획 지침을 제공하고자 한다.

2. 기존연구사례분석

2.1 촬영면적 및 기준점수 및 배치

기존의 드론측량을 이용한 응용프로젝트의 면적과 분석된 사항

을 Fig. 1에 제시하였다. 대부분의 프로젝트의 경우 1 km²미만의 소규모 지역이었으며 촬영고도는 150 m안팎에서 중복도 70~80 %로 촬영하였다. 대규모지역으로는 2.5*1.4 km (3.5 m²)지역에 대해 지상해상도 7 cm로 6점과 9점을 고르게 GCP를 분포시키고 촬영하여 처리한 경우이다(Dronemapper.com^①). 처리결과에서 GCP 9점을 배치시켰을 경우가 수평위치 오차 0.14~0.16 m로 GCP6점의 경우보다 50 % 감소한 반면 표고오차는 1/3로 감소한 0.6 m을 얻었다. 연구에서 등간격으로 GCP를 배치하는 것이 좋으며 DEM edge영향을 줄이기 위해 대상지역 가장자리 부분에도 배치해야함을 강조하였다. 좁은지역에서는 최소 4점, 넓은 지역에서는 10점 이상의 GCP배치가 요구되며 촬영지역이 표고차가 있을 경우 최소한 한 점이상 다른 표고지역에 배치하는 것이 바람직하다고 결론지었다.

블록지역 1*1 km와 스트립 2200*160 m 지역에 대한 연구(D. Skarlatos et al., 2013^③)에서는 각각 109 m와 264 m의 고도로 촬영하여 GCP 4점에서 16점까지 적용한 결과를 분석하였다. 블록지역의 경우 잘 분포된 5점의 GCP는 양호한 수평오차(XY) 및 표고오차(Z)분포를 보이며 Strip지역의 경우 수평정확도는 Block지역의 경우와 유사하나 표고의 경우 GCP의 수가 증가할 수록 오차감소율이 크게 나타남을 보이고 있다. 따라서 도로 및 하천 등과 같이 좁고 긴 대상지역의 경우 필히 중간에 기준점을 설치해야 한다고 제시하고 있다.

Lee et al.(2015a)^④는 450*450 m 노천광산의 지형측량에서

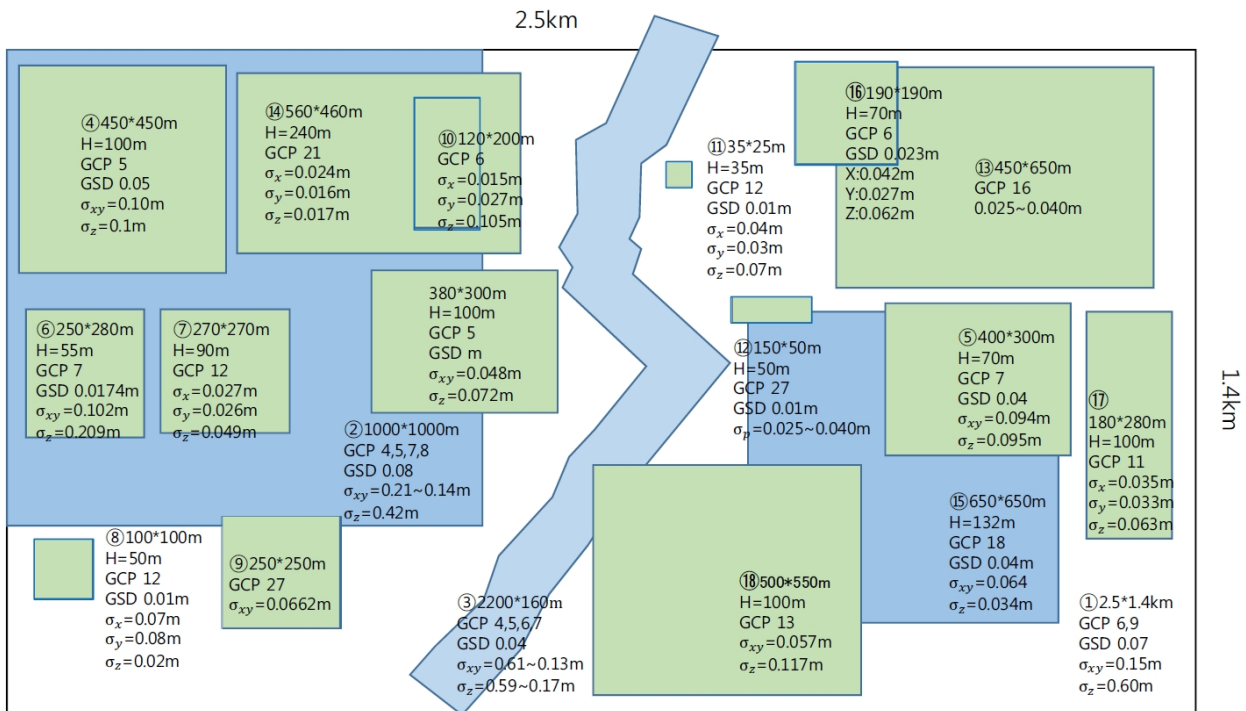


Fig. 1. Project Area and Acquired Results for Existing Case Study

촬영고도 100 m, 5점의 GCP적용, X, Y, Z 각각 모두 10 cm 내외의 오차를 얻었다. 또한 Lee et al.(2016b)⑤는 400*300 m 토목공사현장에서 7점의 GCP를 설치하고 eBee와 팬텀으로 각각 110 m, 70 m 고도로 촬영하여 처리, 각각 X : 0.022 m, Y : 0.047 m, Z : 0.057 m 와 X : 0.048 m, Y : 0.081 m, Z : 0.095 m의 오차를 얻었다.

팬텀2 vision+를 사용하여 약 250*280 m지역에 대한 연구에서 GCP 7점을 설치하고 촬영고도 55 m에서 촬영하여 수평오차 $\sigma_{xy} = \pm 0.102$ m, 표고오차 $\sigma_v = \pm 0.209$ m의 결과를 얻었다. 수직 좌표성분의 최대오차는 0.570 m로 타 연구사례에 비해 2배정도의 오차가 발생했는데 FOV 110°의 렌즈채움에 따른 왜곡이 원인인 것으로 판단하였다(Lee, 2015)⑥.

광산지역과 야적장에 대한 응용이 Cryderman et al.(2014)⑦과 Qiuling Wang et al.(2014)⑧에 의해 수행되었는데 광산지역 100*100 m에 대해 12점의 GCP를 설치하고 촬영고도 90 m로 촬영, $\sigma_x = \pm 0.07$ m, $\sigma_y = \pm 0.08$ m, $\sigma_z = \pm 0.02$ m의 표준편차를 얻었으며 270*270 m야적장의 부피산정을 위해 GCP12점, 촬영고도 90 m에서 촬영하여 $\sigma_x = \pm 0.027$ m, $\sigma_y = \pm 0.026$ m, $\sigma_z = \pm 0.049$ m의 표준오차를 얻었는데 이는 1:200 수치지도제작과 15 cm의 등고선 작성에 충분한 정확도이다.

Uysal et al.(2015)⑨은 DEM제작을 위한 UAV사진측량의 정확도 검증연구에서 250*250 m의 지역을 GCP 27점이라는 많은 수의 기준점을 사용하였음에도 6.62 cm의 위치정확도를 얻었는데 그쳤으며 이는 RTK GPS를 이용하는 경우와 비슷한 정확도를 얻었다. 따라서 과도한 GCP를 사용하는 것은 비효율적임을 권고하고 있다.

Giovanna Sona(2014)⑩는 촬영면적 450*650 m를 132 m 촬영고도, GCP16점을 설치하고 Sensefly eBee고정익드론으로 촬영, Erdas-LPS, EyeDEA, Agisoft Photoscan, Pix4UAV, PhotoModeler Scanner 처리소프트웨어를 이용하여 처리한 결과를 비교하였는데 0.025~0.040 m의 정확도로 점군데이터를 얻었다.

Lee et al.(2015)⑪는 560*460 m 지역을 싱글 그리드와 더블 그리드로 촬영고도 240 m에서 촬영하여 처리하였는데 더블 그리드촬영 결과가 양호한 것으로 분석되었으나 큰 차이는 아니었으므로 더블 그리드는 3차원 모델링을 위한 경우의 촬영방법으로 권장하고 있다(Table 1).

Choi et al.(2015)⑫는 650*650 m에 대해 GCP 18점으로

$\sigma_{xy} = \pm 0.064$ m, $\sigma_z = \pm 0.034$ m를 얻어 기존 연구의 결과를 뒷받침 하고 있다.

좁은 지역에 대한 적용도 빈번히 이루어 졌는데 Johor Bahru 캠퍼스에서 120*200 m, 6점의 GCP, 60 m 촬영고도로 평평한 지역과 경사지역을 촬영하여 수평정확도를 각각 0.105 m와 0.343 m로 얻었는데 이는 다양한 표고점에 GCP를 설치하지 않은데서 기인한다고 판단하였다(Fuad et al., 2018)⑬.

Remondino (2011)⑭는 발굴지 35*25 m에 대해 촬영고도 35 m, GCP 27점으로 처리하여 $\sigma_x = \pm 0.04$ m, $\sigma_y = \pm 0.03$ m, $\sigma_z = \pm 0.07$ m의 결과를 얻었는데 좁은 지역의 경우 과도한 GCP의 배치는 시간과 경비를 낭비할 수 있음을 알려주는 결과라 할 것이다.

수변지역에 대해서도 연구가 수행되었는데 Steve Harwin et al.(2012)⑮는 150*50 m 지역에 대한 침식조사를 위해 GCP 27점, 촬영고도 50 m로 0.025~0.040 m의 위치정확도로 점군데이터를 획득하였다.

Kim et al.(2017)⑯은 조립식 소형드론을 이용하여 촬영고도 70 m에서 190*190 m 지역에 대해 사진측량을 실시, GCP 6점으로 번들조정하여 X=0.042 m, Y=0.027 m, Z=0.062 m의 오차를 얻었다.

종합적으로 프로젝트수행지역의 면적과 획득한 수평위치정확도와 표고정확도를 Fig. 1에 도시하였다. 적용대상지역의 크기가 작게는 35*25 m부터 400*400 m 이내의 지역이 대부분이었으며 잘 분포된 소수의 기준점으로 만족할만한 결과를 제시하고 있다. 전체적인 정확도분석은 3.3절에서 정리하였다.

2.2 촬영고도

국내외에서 적용된 드론촬영의 고도는 35 m부터 260 m까지 다양하나 대부분 150 m 이내에서 수행되었다. 본 절에서는 촬영고도에 따른 정확도에 대해 살펴보고자 한다.

Kim et al.(2018)⑰는 180*280 m 지역에 대해 11점의 GCP를 배치하고 촬영고도 40 m와 100 m로 촬영하여 정사영상을 얻었다. 정사영상 상에서 16점의 검사점을 검토한 결과 촬영고도 40 m에서 $\sigma_x = \pm 0.023$ m, $\sigma_y = \pm 0.024$ m, $\sigma_z = \pm 0.039$ m, 100 m에서 $\sigma_x = \pm 0.035$ m, $\sigma_y = \pm 0.033$ m, $\sigma_z = \pm 0.063$ m를 얻음으로써 촬영고도와 정확도는 반비례함을 알 수 있었다. 촬영고도의 증가는 공간해상도의 저하 및 space intersection의 공간교차각의 저하로 인해 항공삼각측량의 결과를 불량하게 함을 알 수 있다.

Sung et al.(2017)은 고정익과 회전익 드론으로 130 m와 260 m 촬영고도로 촬영하여 번들조정한 결과 130 m에서 수평위치오차가 0.076 m, 260 m에서는 0.136 m로 증가하여 촬영고도가 2배로 됨에 따라 오차가 약2배 증가함을 알 수 있었으며 이는 고정익드론으로 촬영한 결과도 동일한 결과를 보여 앞선 연구결과를 뒷받침해

Table 1. RMSE of Each Exposure Method (Lee et al., 2015)

exposure method	Error (RMSE)			
	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	dl (m)
X single grid	± 0.025	± 0.070	± 0.022	± 0.078
Y single grid	± 0.028	± 0.078	± 0.021	± 0.085
Double Grid	± 0.024	± 0.016	± 0.017	± 0.033

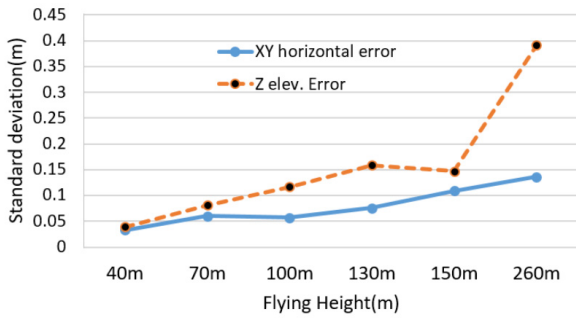


Fig. 2. Relation between Flying Height and Positional Error

주고 있다.

Kim et al.(2018)은 500*550 m 지역에 대해 GCP 13점을 설치하고 촬영고도 70, 100, 150 m로 촬영하여 얻은 결과분석에서, 70 m 수평위치오차 0.060 m, 표고오차 0.081 m, 100 m에서 0.057 m, 0.117 m, 150 m에서 0.109 m, 0.147 m를 얻음으로써 70 m에서 150 m로 증가함에 따라 오차 역시 약 2배로 증가한 것을 알 수 있다.

2.1절에서 거론했던 Fuad et al.(2018)은 20 m, 40 m, 60 m에 대해 수평위치정확도를 각각 0.323 m, 0.450 m, 0.616 m를 얻었다. 역시 앞서 거론했던 Kim et al.(2018)은 촬영고도 40 m, 100 m에서 각각 $\sigma_x = \pm 0.023$ m, $\sigma_y = \pm 0.024$ m, $\sigma_z = \pm 0.039$ m와 $\sigma_x = \pm 0.035$ m, $\sigma_y = \pm 0.033$ m, $\sigma_z = \pm 0.063$ m를 얻었으며 두 배이상 증가한 촬영고도에 대해 약 2배정도의 오차 증가를 보이는 것을 알 수 있다.

이들을 종합하여 촬영고도 별 오차를 그래프로 Fig. 2에 제시하였다. 촬영고도의 변화는 수평위치정확도에 비해 표고정확도에 영향을 많이 주는 것으로 분석되며 0.1 m의 허용정확도를 고려할때 수평위치정확도를 만족시키기 위한 촬영고도는 약 150 m, 표고정확도를 만족시키기 위한 촬영고도의 한계는 약 120 m 정도라 할 수 있다.

3. 테스트필드 검증

기존의 연구사례의 결과를 검증하기 위해 양호한 조건의 테스트 필드(300*300 m)를 선정하여 기준점 수 및 촬영고도를 다양하게 적용 처리하여 결과를 분석하였다.

3.1 촬영

연구목적이 위치정확도 분석이기 때문에 상글 그리드로 촬영하였으며 중복도는 80 %로 하였다. DJI사의 Phantom4 pro를 사용하였다. 센서로는 1인치 20Mega pixel CMOS 센서를 탑재하였으며 기계식셔터를 채용하여 움직임에 따른 왜곡(허용흔들림량)을 최소화 하여 보다 선명한 영상을 얻을 수 있었다. 촬영고도에 따른 정확도를 분석하기 위해 70 m, 100 m, 125 m, 150 m 촬영고도에서

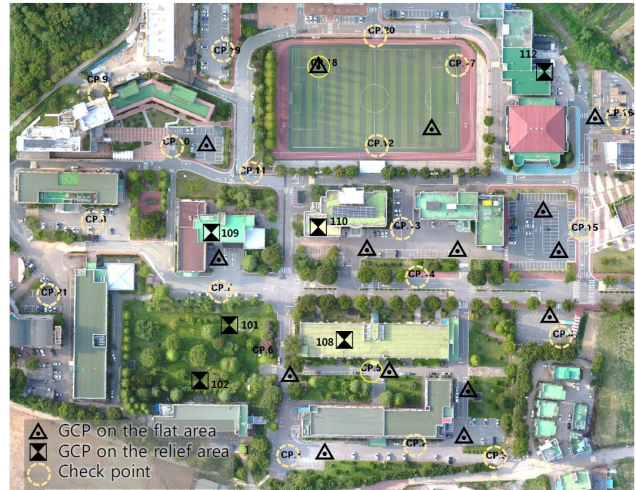


Fig. 3. Ground Control Points and Check Point Placed in Test Field

촬영하였다. 이 중 기준점 수 및 배치가 오차에 미치는 영향을 분석하기 위해서 100 m 촬영고도에서 촬영한 영상을 이용하였다.

3.2 기준점 수 및 배치

기준점은 수평위치 정확도와 표고정확도를 별도로 비교하기 위해 평지부분과 기복변화가 있는 지역에 총 21점을 배치하여 촬영하였다. 기준점배치에 따른 표고 변화는 45-67 m로 약 22 m의 표고차를 보이는데 촬영고도 100 m인점을 감안할 때 약 20 % 범위이다. 기복지역에는 8점을 배치하였으며 평지에는 13점을 배치하였다. 지상 기준점의 공간적 배치양상은 Fig. 3과 같다.

3.3 기준점수와 배치에 따른 위치정확도분석

65*65 m (약 4300 m²)당 1점씩 기준점을 배치하고 기준점 분포밀도를 균일하게 유지한 상태에서 4점씩 감소시켜 각각 처리하고 얻은 정사영상상에서 20점의 검사점좌표와 현장 GPS좌표를 비교하여 위치정확도를 분석하였다. 우선, 평지와 기복지역에 설치한 기준점 밀도를 유지하며 기준점 수를 최소기준점 수인 3점까지 감소시키며 처리하였다. 기준점의 기하학적 분포는 Fig. 4와 같다.

정사영상에서 측정한 좌표와 GPS좌표의 차이를 계산하고 평균 값을 Table 2와 Fig. 5에 제시하였다. 수평위치오차는 0.04 m에서 0.07 m까지 서서히 증가하였으며 표고오차 역시 0.06 m에서 0.09 m까지 증가하였다. 표고오차는 수평위치오차에 비해 약 50 %정도 크게 나타났다.

21점부터 5점까지 기준점을 감소시켰을 경우 완만한 오차의 증가를 보였으나 3점의 경우 다소 큰 증가를 보여 잘 배치된 유심망 형태의 5점의 GCP는 양호한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 앞 2절에서 분석한 연구사례와 같은 결과이다.

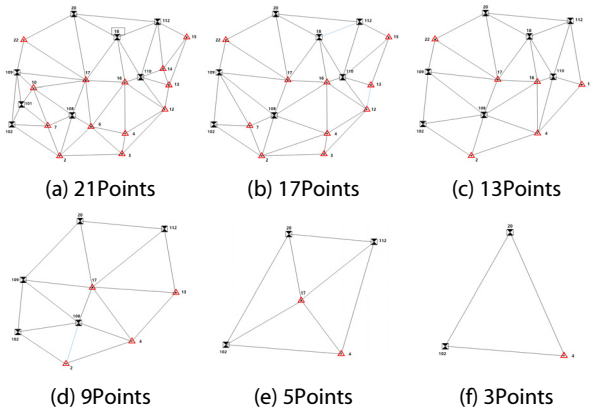


Fig. 4. The Number of Ground Control Point and Geometric Layout

Table 2. Horizontal Error and Vertical Error with Respect to Decrease of Control Points (m)

# of GCP	21	17	13	9	5	3
Ave. XY Diff.	0.040	0.043	0.046	0.055	0.048	0.068
Ave. Z Diff.	0.059	0.060	0.062	0.078	0.072	0.090

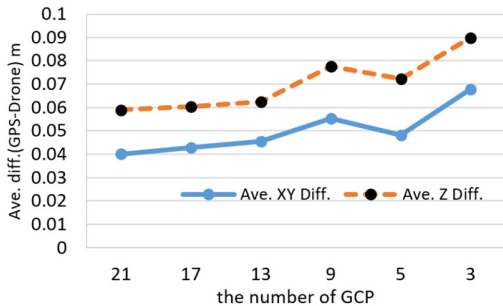


Fig. 5. Positional Error of Check Point According to Decrease of Control Points

기준점 수와 위치오차의 상관성을 분석하기 위해 회귀분석을 실시하여 Fig. 6에 보였다. XY수평위치오차의 경우 결정계수 $R^2 = 0.6867$, 표고오차의 경우 $R^2 = 0.7756$ 으로 약 70%의 설명력을 가진다고 볼 수 있다. 이 결과는 테스트필드에 대한 결과이나 사례분석 시 타 연구사례의 경우에도 상관성이 강함을 알 수 있다. 보다 폭넓고 다양한 경우의 수에 대한 실험이 이루어 진다면 오차방정식의 유도도 인해 정확도의 예측이 가능할 것으로 판단된다.

기복지역에 GCP분포여부에 대한 오차양상을 분석하기 위해 GCP 21점 중 8점의 기복지역 GCP를 제외하여 처리하고 5점의 기준점도 모두 평지에 배치하여 동일 기준점 수 처리결과와 비교하였다(Fig. 7).

수평위치오차는 GCP 13점과 GCP 5점 모두 기복지역에 배치한 경우에 비해 평지에 배치한 경우가 현저히 크게 나타났으며 표고오차는 오히려 감소한 결과를 보였는데 이는 검사점이 모두 평지에 위치하기 때문인 것으로 분석되며 다양한 표고의 검사점에 대해

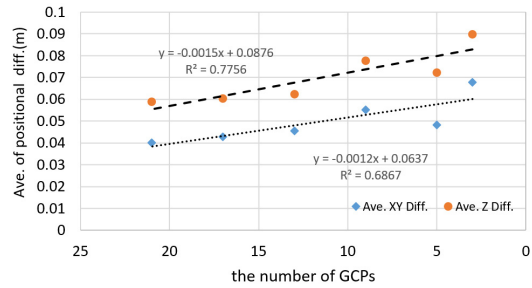


Fig. 6. Regression Analysis between the Number of GCP and Positional Error

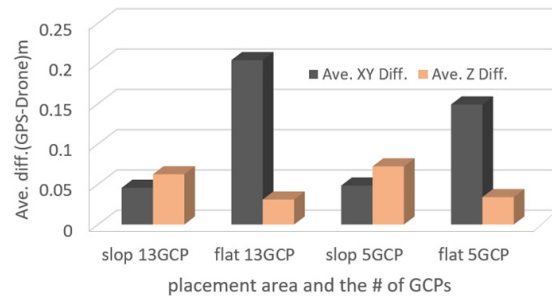


Fig. 7. Positional Error using GCP Placed in the Various Height Area and Flat Area

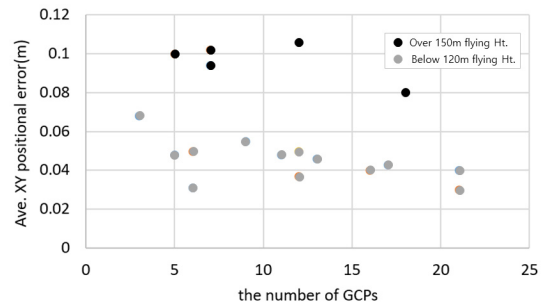


Fig. 8. Horizontal Error Distribution with Respect to the Number of GCP (Within 600*600 m Area)

오차분석을 실시한다면 표고정확도 역시 증가할 것으로 판단된다. 이로써 다양한 높이에 GCP를 설치하는 것은 평면위치오차에도 많은 영향을 미침을 알 수 있었다. 그러므로 기복이 있는 지역의 표고정확도를 좋게 하기 위해서는 다양한 표고의 GCP 배치가 필요함을 알 수 있다.

일반적으로 현장에서 행해지고 있는 드론촬영은 중복도 70~80%를 적용하고 있으므로 본 연구에서는 촬영고도와 기준점 수가 오차에 미치는 영향을 종합적으로 분석해 보았다. Fig. 8은 사례분석과 본 연구에서 수행한 결과를 같이 도시한 것이다. Fig. 8에서 기준점수가 증가할수록 수평위치오차가 서서히 감소하는 양상을 보이나 감소율이 크지는 않으며 특히, 넓지 않은 지역(400*400 m이

Table 3. Average Positional Error According to Flying Height

Flying Ht. (m)	70	100	125	150
Ave. XY Diff. (m)	0.052	0.049	0.074	0.078
Ave. 3D Diff. (m)	0.072	0.072	0.111	0.111

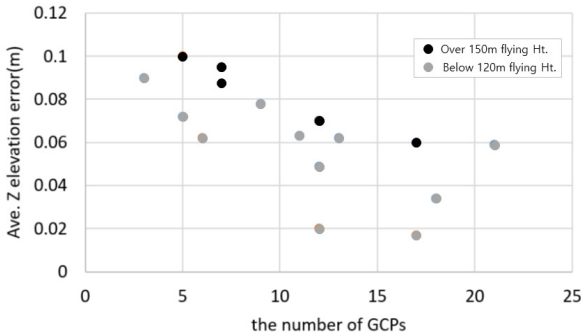


Fig. 9. Vertical Error Distribution According to Flying Height

내)에 있어서는 기준점 5점의 배치할 경우 오차가 다소 크기는 하나 경제적, 시간적 효율성을 고려해 볼 때 적절한 기준점수라고 판단된다.

3.4 촬영고도가 오차에 미치는 영향

Table 3은 촬영고도 별 수평위치오차와 3차원 위치오차를 보인 것이다. 표에서 수평위치오차 보다 3차원 위치오차가 약 30~40 % 큰 양상을 보이고 있으며 촬영고도가 높을수록 오차는 증가하는데 지상해상도의 감소와 공간교회 시 교회각의 감소로 인한 것으로 판단된다.

Fig. 9는 사례연구와 본 연구에서 테스트한 결과를 촬영고도와 Z표고오차로 도시한 것이다. 촬영고도의 변화는 XY수평위치오차 보다는 Z표고오차에 더 영향을 주는 것으로 나타났으며 이는 공간전방교회 시 교차각의 감소는 특히 표고오차를 증대시킨다는 연구결과(Brown, 1990)와 일치하는 결과이다.

4. 외부표정요소(EO) 결정방법

드론사진측량의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 외부표정요소를 얼마나 정확하게 결정하느냐에 달려있다. 지형정보획득 목적에 따라 어떠한 방법으로 EO를 결정할 것인가를 정해야 한다. 단지 상대적인 값으로 정사영상과 3D 매쉬를 구할 목적이라면 드론자체의 GPS와 INS를 이용해 직접구해도 된다. 이 경우 2-3 m의 절대위치오차는 감수해야한다. 따라서 본 연구에서 논의하기로 하고 GCP 방법, RTK-GPS 방법, PPK 방법에 대해 기존 연구결과를 분석하여 평가하고자 한다.

Chris et al.(2016)은 측량용 RTK GPS, GCP 이용한 경우의 DSM비교분석하였다. 17점의 수평검사점과 180점의 수직검사점

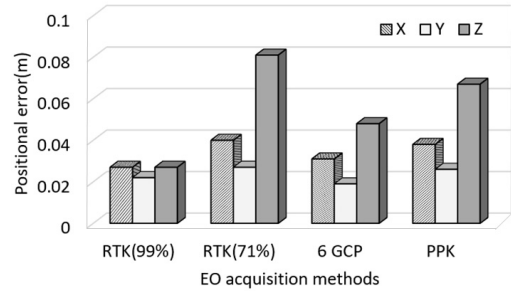


Fig. 10. Coord. Error (X, Y, Z) of Each EO Decision Method

에 대한 RMSE비교하였다. GCP이용한 경우와 RTK GPS이용한 경우를 비교한 결과 수평위치의 정확도는 두 방법 모두 유사하나 수직정확도에 대해서는 GCP를 사용한 경우가 RTK GPS보다 2-3배 정확도가 우수하다는 결론을 얻었다. 따라서, 정확한 지형측량을 위해서는 GCP를 사용해야함을 시사하였다.

RTK-GPS와 GCP를 이용한 경우의 정확도 비교는 Lee and Sung(2018)에 의해서도 연구되었는데 약 0.73~0.93 km²에 대해 촬영고도 160 m에서 시도하였다. GCP 5점을 배치하여 RMSE $\sigma_{XY} = \pm 0.048m$, $\sigma_Z = \pm 0.082m$ 를 얻었으며 RTK GPS 방법으로 $\sigma_{XY} = \pm 0.131m$, $\sigma_Z = \pm 0.157m$ 를 얻음으로써 GCP의 높은 정확도를 입증하였다.

드론사진측량에서 외부표정요소의 결정방법은 드론제조회사에서도 중요한 관심사인데 DJI사의 기술보고서(2018)에 의하면 약 400*400 m지역에서 잘 분포된 6점의 GCP를 사용한 결과는 일반적인 위성수신상태(71 % fixed)하에서의 RTK-GPS보다 양호한 결과를 얻었으며 PPK의 결과와는 유사한 것으로 얻어졌다(Fig. 10). 단, 지상관제시설과 드론의 통신이 장애물로 인하여 두절될 우려가 있는 경우에는 PPK방법을 선택하는 것이 바람직하다고 권고하고 있다. PPK방법은 잘 분포된 GCP를 사용하여 처리된 결과보다 더 나은 정확도를 제공하지 않는 것으로 결론을 내릴 수 있다.

5. 결론

드론사진측량에서 기준점수와 배치, 촬영고도, 외부표정요소의 결정방법에 대해 기존 연구를 분석하고 테스트필드 적용실험을 통해 검증한 결과 드론 프로젝트설계 시 다음 사항을 고려해야 함을 제안한다.

5.1 기준점 수와 배치

1) 블록촬영의 경우 400*400 m범위 내에서 잘 분포된 5점의 유사망모양의 GCP 배치는 10 cm내의 수평위치(XY) 및 표고(Z)오차를 얻을 수 있다.

2) 블록지역 내 표고차가 있는 지형인 경우 GCP배치 시 표고가 다른 위치에 배치함으로써 수평위치오차 및 표고오차를 줄일 수 있다.

3) GCP수가 증가할수록 수평위치정확도보다 표고정확도의 향상률이 더 크므로 표고정확도를 중요시하는 프로젝트인 경우 기준점 수를 증가시키는 것이 바람직하다.

4) 노선 및 하천측량을 위한 Strip촬영의 경우 Block의 경우보다 기준점 수의 증가가 정확도에 미치는 영향이 크므로 Strip처음과 마지막에 최소 2점씩, 그리고 중간에 1-2점 필히 배치하는 것이 요구정확도를 충족시킬 수 있다.

5.2 촬영고도

1) 촬영고도의 변화는 수평위치정확도에 비해 표고정확도에 영향을 많이 주는 것으로 분석되었으며 수평위치오차 보다 3차원 위치오차가 약 30-40 % 큰 양상을 보이고 있는데 이는 지상해상도(GSD)의 감소와 공간교회 시 교회각의 감소로 인한 것으로 판단된다.

2) 허용오차를 0.1 m라고 가정한다면 수평위치오차를 만족시키기 위한 촬영고도한계는 약 150 m, 표고정확도를 만족시키기 위한 촬영고도한계는 약 100 m로 계획하는 것이 안전하다.

5.3 EO결정방법

1) GCP 이용한 경우와 RTK GPS 이용한 경우를 비교한 결과 수평위치의 정확도는 두 방법 모두 유사하나 수직정확도에 대해서는 GCP를 사용한 경우가 RTK GPS보다 유사하거나 2-3배정도 정확도가 우수한 것으로 나타났으므로 정확한 지형측량을 위해서는 잘 배치된 지상 기준점을 사용하는 것이 바람직하다.

2) 표고정확도의 경우 RTK GPS 사용시는 GCP 3점 사용시와 유사한 정확도를 보였으며 GCP를 사용하지 않고 자체 센서만을 이용하여 항공삼각측량을 수행한 경우는 절대정확도는 매우불량하지만 거리 및 면적과 같이 상대적인 값을 측정하는 목적이라면 편리하게 사용할 수 있다.

3) RTK GPS는 식물이 밀식되어 있는 곳이나 자동매치포인트팅이 어려운 경우에 효과적이나 RTK-float상태 즉, 도심지와 같이 드론과 지상제어국 간의 장애물로 인한 통신두절이 염려될 경우에는 PPK방법을 사용하는 것이 바람직하다.

4) GCP를 사용하여 EO를 구할 경우에는 촬영할 때 마다 기준점 측량을 해야 하므로 시간과 비용이 지불되지만 RTK GPS또는 PPK 방법은 한번 장비를 구입하면 반복적사용이 가능하므로 어떤 방법을 사용할 것인지는 측량지역의 여건에 따라 측량엔지니어가 결정하여야 한다.

감사의글

본 논문은 공주대학교 2018년도 교내학술연구비지원을 받아 연구된 것으로 이에 감사드립니다.

본 논문은 2018 CONVENTION 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

References

- Choi, Y. W., You, J. H. and Cho, G. S. (2015). "Accuracy analysis of UAV data processing using DPW." *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 23, No. 4, pp. 3-10 (in Korean).
- Chris, H., Owen, B., Jordan, W., Thomas, B., Paul, N., Maja, K. and Steve, M. (2016). "Spatial accuracy of UAV-derived orthoimagery and topography: comparing photogrammetric models processed with direct geo-referencing and ground control points." *GEOMATICA*, Vol. 70, No. 1, pp. 21-30.
- Cryderman, C., Bill Mah, S. and Shuffertski, A. (2014). "Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations." *Geomatica*, Vol. 68, No. 4, pp. 309-317.
- DJI (2018). "What is the best way go georeferencing? non-RTK, GCP, RTK or PPK?" Available at: <https://pix4d.com/rtk-ppk-drones-gcp-comparison> (Accessed Feb., 25, 2018).
- Fuad, N. A., Ismail, Z., Majid, Z., Darwin, N., Ariff, M. F. M., Idris, K. M. and Yusoff, A. R. (2018). "Accuracy evaluation of digital terrain model based on different flying altitudes and conditional of terrain using UAV LiDAR technology." IOP conference, *Earth and Environment Science*, 169 012100.
- Giovanna, S., Livio, P., Diana, P., Daniele, P. and Rossana, G. (2014). "Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images." *Earth Science Informatics*, Vol. 7, No. 2, pp. 97-107.
- Kim, J. C. and Kim, B. G. (2017). "Analysis of orthomosaic and DSM generation using an assembled small-sized drone." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 35, No. 3, pp. 195-202 (in Korean).
- Kim, J. H. and Kim, J. H. (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*, Vol. 36, No. 4, pp. 223-233 (in Korean).
- 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 the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 26, No. 3, pp. 31-39 (in Korean).
- Lee, G. S., Choi, Y. W., Jung, K. S. and Cho, G. S. (2015). "Analysis of the spatial information accuracy according to photographing direction of fixed wing UAV." *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 17, No. 3, pp. 141-149 (in Korean).

- Lee, J. W. and Sung, S. M. (2018). "Assessment of positioning accuracy of UAV photogrammetry based on RTK-GPS." *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 4, pp. 63-68 (in Korean).
- Lee, S. J. and Choi, Y. S. (2015a). "Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (Drone)." *Tunnel & Underground Space*, Vol. 25, No. 5, pp. 462-469 (in Korean).
- Lee, S. J. and Choi, Y. S. (2016b). "Comparison of topographic surveying results using a fixed-wing and a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (Drone)." *Tunnel & Underground Space*, Vol. 26, No. 1, pp. 24-31 (in Korean).
- Lee, Y. C. (2015). "Assessing the positioning accuracy of high density point clouds produced from rotary wing quadcopter unmanned aerial system based imagery." *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 23 No. 2, pp. 39-48 (in Korean).
- Qiuling, W., Lixin, W., Shaojie, C., Defu, S., Zhihua, X., Fashuai, L. and Ran, W. (2014). "Accuracy evaluation of 3D geometry from low-attitude UAV images: a case study at zijin mine." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-4, 2014ISPRS Technical Commission IV Symposium.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. and Sarazzi, D. (2011). "UAV Photogrammetry for Mapping and 3D modeling." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics.
- Skarlatos, D., Procopioub, E., Stavrouc, G. and Gregorioua, M. (2013). "Accuracy assessment of minimum control points for UAV photography and georeferencing." *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*.
- Steve, H. and Arko, L. (2012). "Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery." *Journal of Applied Remote Sensing*, 4, pp. 1573-1599.
- 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. 535-544 (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, pp. 539-543.