

선형 대상지에 대한 저가의 무인항공기 사진측량 정확도 평가 Accuracy Analysis of Low-cost UAV Photogrammetry for Corridor Mapping

오재홍¹⁾ · 장영재²⁾ · 이창노³⁾

Oh, Jae Hong · Jang, Yeong Jae · Lee, Chang No

Abstract

Recently, UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) or drones have gained popularity for the engineering surveying and mapping because they enable the rapid data acquisition and processing as well as their operation cost is low. The applicable fields become much wider including the topographic monitoring, agriculture, and forestry. It is reported that the high geospatial accuracy is achievable with the drone photogrammetry for many applications. However most studies reported the best achievable mapping results using well-distributed ground control points though some studies investigated the impact of control points on the accuracy. In this study, we focused on the drone mapping of corridors such as roads and pipelines. The distribution and the number of control points along the corridor were diversified for the accuracy assessment. In addition, the effects of the camera self-calibration and the number of the image strips were also studied. The experimental results showed that the biased distribution of ground control points has more negative impact on the accuracy compared to the density of points. The prior camera calibration was favored than the on-the-fly self-calibration that may produce poor positional accuracy for the case of less or biased control points. In addition, increasing the number of strips along the corridor was not helpful to increase the positional accuracy.

Keywords : Photogrammetry, Drone, Ground Control Point, Accuracy, Road, Linear

초 록

최근 들어 운용비용이 저렴하고 신속한 데이터 획득 및 처리가 가능한 무인항공기(드론)를 이용한 측량 및 지도 제작이 활발히 진행되고 있으며, 그 활용도는 지형 변화분석, 시설물 모니터링, 농업, 임업 등 여러 분야로 확장되고 있다. 드론의 높은 활용도의 바탕에는 높은 공간 정확도의 획득이 가능하다는데 있으며, 관련하여 드론 기반 공간 정확도의 평가 결과가 여러 연구를 통해 보고되었다. 대부분의 연구는 잘 분포된 지상기준점을 활용하여 획득 가능한 정확도를 분석한 경우이며, 부분적으로 기준점의 개수의 변화에 따른 정확성을 평가한 경우가 있다. 본 연구에서는 도로, 관로, 철도 등 선형 대상지에 드론을 이용한 측량을 수행할 경우 획득 가능한 공간 정확성을 확인하기 위해, 기준점 배치를 여러 조합으로 나누어 정확성을 평가 해보았다. 선형 대상지를 따라 기준점의 편위 및 밀도에 따른 정확성을 평가하였고, 추가적으로 카메라 캘리브레이션의 영향, 횡중복 스트립 개수에 따른 정확성 또한 평가하였다. 실험 결과 기준점의 밀도에 비해 기준점 배치의 편위가 정확성에 더 큰 악영향을 주었으며, 미리 카메라 캘리브레이션을 수행하고 사용하는 것이 현장 셀프 캘리브레이션에 비해 기준점의 배치나 개수가 충분치 못한 경우에 오차를 줄일 수 있었다. 또한, 선형 방향으로의 스트립 수를 늘리는 것은 정확도 향상에 큰 도움이 되지 않았다.

핵심어 : 사진측량, 드론, 기준점, 정확도, 도로, 선형

Received 2018. 11. 22, Revised 2018. 11. 29, Accepted 2018. 12. 05

1) Member, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University (E-mail: jhoh@kmou.ac.kr)

2) Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University (E-mail: 93173444@kmou.ac.kr)

3) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology (E-mail: changno@seoultech.ac.kr)

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. 서론

최근 무인항공기(드론)를 이용한 측량 및 지도 제작이 활발히 진행되고 있으며(Colomina and Molina, 2014), 그 활용도는 지형 변화분석, 시설물 모니터링, 농업, 임업 등 여러 분야로 확장되고 있다(Kim *et al.*, 2014). 다양한 응용 분야에서 요구하는 정확도 조건을 하나의 수치로 제공하기는 어려우나, 일반적으로 3~5cm에서 20~30cm 정도의 수평, 수직 정확도를 요구하는 경우가 많다(Benassi *et al.*, 2017).

드론을 이용한 매핑의 정확도는 탑재된 카메라 성능, 지상 기준점분포, 고도 변화 등에 따라 달라진다. 그 중 지상 기준점의 분포가 매핑 정확도에 가장 큰 영향을 미치게 되는데, 정확하고 밀도 있는 지상기준점을 이용하는 경우, 수평 정확도는 0.5에서 1픽셀, 수직 정확도는 1.5에서 2픽셀 가량이 획득 가능성이 보고되었다(Santise *et al.*, 2014). 또한 기준점의 변화에 따른 정확도 평가(Martinez-Carricondo *et al.*, 2018)에서는 대상지 영역의 중심 및 경계선에 골고루 기준점을 설치하여야 최적의 정확도를 얻을 수 있고 기준점 밀도가 올라갈수록 높은 정확도를 얻을 수 있음을 실험적으로 보였으나, 드론을 이용한 매핑의 절차 중 기준점 작업이 가장 많은 시간 및 비용이 소요되므로 적절한 기준점의 사용이 중요함을 결론으로 제시하였다. RTK (Real-Time Kinematic) 레벨의 GNSS (Global Navigation Satellite System)를 장착한 드론의 경우 기준점의 개수를 줄일 수 있으며, 600m에 이르는 선형 대상지(제방) 매핑에 대해 진행된 하나의 연구 사례에 따르면 무기준점으로도 5cm급의 정확성을 확보할 수 있음이 보고되었다(Zhou *et al.*, 2018).

선형 대상지 매핑의 경우 하천, 해안, 도로, 철도 등의 계획, 설계, 분석 등에 필수적으로 수행되어야 하는 작업으로서, 지상 측량이나 유인 항공기에 비해 드론의 운용 장점이 부각되는 분야이다. 특히, 지상 측량에 비해 효율적이고, 접근이 힘든 지역의 촬영이 가능할 뿐 아니라 유인 항공기에 비해 저예산으로 고해상도의 영상의 획득이 가능하다. 이러한 장점으로 인해 세계 각국에서도 선형 대상지 매핑에 드론을 활용한 사례가 많이 보고되고 있다.

멕시코에서는 1,000km에 이르는 고속도로를 매핑하기 위하여 드론이 사용되었으며(Smith, 2015), 터키에서는 드론을 사용하여 길이 140km, 폭 600m에 이르는 고속 철도 구간의 매핑이 진행되기도 하였다(SenseFly, 2017). 이때 공간 정확도 20cm를 목표로 총 9000장 이상의 10cm해상도 영상이 취득되어 활용되었다. 미국 캘리포니아에서도 2029년 고속철도 개통을 위해 드론을 활용하여 매핑을 수행하기도 하였다(GIM International, 2018). 우리나라에서도 도로 지도 제작을 위해 드론을 활용한

연구가 진행되기도 하였다(Park *et al.*, 2016).

기존 드론을 이용한 정확도 평가와 관련한 대부분의 연구는 잘 분포된 지상기준점을 활용하여 획득 가능한 최대의 정확도를 분석하고, 부분적으로는 기준점의 개수의 변화에 따른 정확성을 평가하였다. 그러나 저가의 드론을 활용한 선형 대상지 측량에 대한 정확도를 다양한 조건에서 평가해본 연구사례는 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 도로, 관로, 철도 등 선형 대상지에 드론을 이용한 측량을 수행할 경우 다양한 조건 하에서 획득 가능한 공간 정확성을 평가하기 위한 실험을 진행하였다. 즉, 선형 대상지의 매핑과 관련하여 달성 가능한 위치 정확도의 정도, 기준점의 밀도 및 선형을 따라 기준점이 멀어짐에 따른 위치 정확도의 저하, 카메라 캘리브레이션 기법의 영향, 중복 스트립 개수에 따른 영향 등을 알아보기 위해 선형 대상지를 따라 배치된 기준점을 여러 경우의 조합으로 나누어 정확성을 평가해 보았다. 실험은 저가의 드론을 이용하여 도로 구간을 따라 여러 개의 블록으로 획득된 데이터에 대해 수행되었고, GNSS측량을 통해 획득된 기준점 및 검사점을 활용하여 정확성을 평가하였다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 2장에서는 정확도를 평가하기 위하여 변화시킨 기준점 조건, 카메라 캘리브레이션, 스트립 수 등에 대한 설명을 통해 연구 방법론을 제시하였다. 3장에서는 실제 정확도 평가를 위한 드론, 기준점 데이터 획득 및 결과 분석을 제시하였고, 마지막 4장에서 결론을 제시하였다.

2. 연구방법

2.1 캘리브레이션 방식에 따른 정확도 비교

드론으로 취득된 영상의 번들 조정 시, 카메라의 내부표정요소(IOPs: Interior Orientation Parameters)를 번들 조정에 추가하여 진행하는 현장(on-the-fly) 셀프 캘리브레이션(Oh *et al.*, 2006)을 수행하는 경우가 많이 활용되고 있으며, 정확성 있는 캘리브레이션을 위해서 대상지에 잘 분포된 지상기준점을 활용하는 것이 일반적이다. 그러나 대상지가 접근이 어려워 지상기준점의 확보가 쉽지 않거나 대상지가 높낮이 변화가 크지 않는 지역 등에서는 내부표정요소와 외부표정요소(EOPs: Exterior Orientation Parameters)간의 높은 상관도로 인해 측량의 정밀도를 높이기가 힘든 경우가 발생할 수 있다(Oh *et al.*, 2006). 따라서, 이러한 상관도 문제를 피하기 위해 번들조정 시 미리 캘리브레이션을 수행하는 사전 작업 캘리브레이션(prior project calibration)를 이용하여 내부표정요소는 고정하고, 외부표정요소만을 미지수로 설정하여 활용할 수도 있는데, 본 연구에서는 이러한 캘리브레이션의 적용 여부에 따른 차이를 확인해보기

위해 두 경우에 대해 정확도를 비교하여 평가하였다.

2.2 중복 스트립 개수의 변화

선형 대상지의 경우 선형을 따라 영상 스트립을 획득하게 되는데, 일반적으로 횡방향으로 폭이 좁기 때문에 2개 또는 4개 정도의 스트립 획득이 가능하다. Fig. 1과 같이 드론 운용의 효율성을 높이기 위해 출발지점으로 돌아올 수 있도록 한 번 왕복하는 경우 2개의 영상 스트립 확보가 가능하고, 두 번 왕복할 경우 4개의 영상 스트립 확보가 가능해진다. 당연히도 스트립 수를 늘림에 따라 영상 획득에 따른 외업시간, 사진 수 증가에 따른 내업시간 모두 증가하게 되므로 처리의 경제성은 낮아질 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 두 스트립만을 사용하는 경우와 4개의 스트립 모두 활용하는 경우의 정확성을 비교 평가해본다.

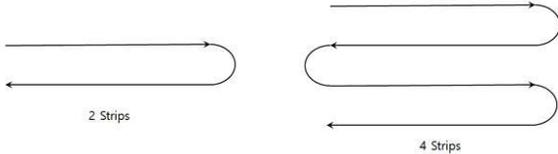


Fig. 1. Number of image strips

2.3 기준점 편위에 따른 정확도 평가

부지와 같은 평면 대상지의 경우 가로 세로 격자 형태의 비행을 통해 중복도가 높은 드론 영상의 획득이 가능하고, 기준점의 경우에도 대상지의 경계부분과 사진 블록의 중앙 등을 고려하여 영역 전반에 걸쳐 잘 분포시켜 공간 정확도를 확보한다. 그러나 도로와 같은 선형 대상지의 경우 종방향으로 길고, 횡방향으로는 좁으므로, 드론의 촬영은 Fig. 2와 같이 대상지를 따라 1회당 취득 가능한 촬영 범위를 고려하여 여러 번에 나누어 시행된다. 따라서 기준점 또한 선형대상지를 따라 종방향으로 일정한 간격으로 획득되어 데이터 처리에 활용하게 된다. 선형대상지에 대해 드론을 이용한 측량을 위해서는 블록별로 영상에서 판독이 가능한 특징점에 대해 GNSS측량을 통해 좌표를 획득한다. 획득된 특징점 중 일부를 기준점으로 분류하여 번들조정에 활용하고, 나머지는 검사점으로 분류하여 정확도를 평가에 활용한다. 이 때 첫 번째로 기준점의 편위에 따른 영향을 보기 위한 실험으로 기준점 확보의 경우의 수를 아래와 같이 나누어 번들조정 후 정확도를 평가한다.

- Case Bias1: 블록 1에서만 기준점 사용 (나머지 모두 검사점)
- Case Bias1/2: 블록 1,2에서 기준점 사용
- Case Bias1/2/3: 블록 1,2,3에서 기준점 사용

다음으로, 상기의 경우는 한쪽 방향인 블록 1,2,3까지 기준점을 배치해 보고 정확도를 평가하였으므로, 다른 쪽 블록인 6부터 반대방향으로 기준점 배치를 증가시켜 동일하게 정확도를 평가해보았다. 이를 통해 기준점 편위에 따른 정확도 결과가 유사하게 도출되는지 확인해볼 수 있다.

- Case Bias6: 블록 6에서만 기준점 사용 (나머지 모두 검사점)
- Case Bias5/6: 블록 5,6에서 기준점 사용
- Case Bias4/5/6: 블록 4,5,6에서 기준점 사용

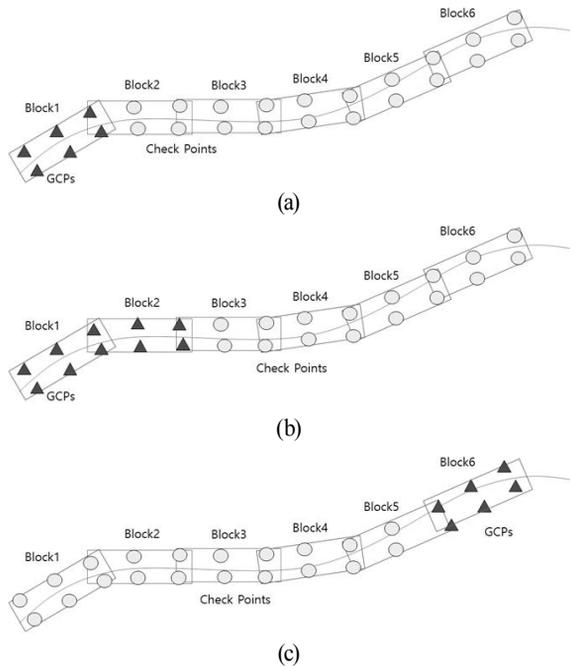


Fig. 2. GCPs bias cases (a) Case Bias1, (b) Case Bias1/2, (c) Case Bias6

2.4 기준점 밀도에 따른 정확도 평가

기준점 밀도에 따른 정확도 평가는 아래의 경우로 나누어 수행되었다. Case Density1의 경우 선형 대상지의 양 끝에 각각 1개의 기준점을 활용하는 것으로 하였다(Fig. 3(a)). 횡방향으로 두 개의 기준점을 각각 배치하지 않은 이유는 본 연구의 선형 대상지의 경우 횡방향의 너비가 넓지 않아 그 효율성이 높지 않다고 판단되었기 때문이다. 만약 선형 대상지가 넓은 횡방향 너비를 갖는다면, 횡방향으로 기준점을 추가하여 평가해볼 수도 있다. 다음으로, Density2에서는 중앙 블록에 기준점을 하나 추가하였고(Fig. 3(b)), Density3,4,5는 매 블록마다 기준점을 설치하였으나, 그 개수를 1개에서 3개까지 각각 증가시켰다.

- Case Density1: 선형 대상지의 양끝(블록1과 블록6)에 각각 기준점 1개씩만 사용(총 2개)
- Case Density2: 선형 대상지의 양끝 및 중앙에 각각 기준점 1개씩만 사용(약 2블록 당 1개, 총 3개)
- Case Density3: 1블록 당 1개의 기준점 사용
- Case Density4: 1블록 당 2개의 기준점 사용
- Case Density5: 1블록 당 3개의 기준점 사용

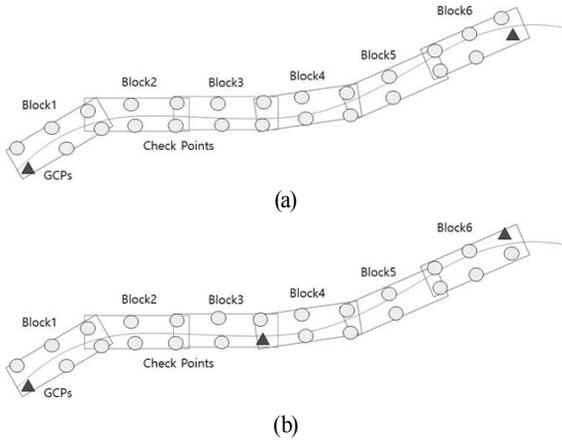


Fig. 3. GCPs density cases (a) Case Density1, (b) Case Density2

3. 실험 및 결과분석

3.1 실험 데이터

실험 영상은 저가의 드론인 DJI Phantom 4 Pro v2.0을 이용하여 취득되었다(Table 1). 대상지는 부산 해양특구 도로이며, 도로 주변으로는 지형의 표고차이가 크지 않은 지역이다. 초점 거리는 약 8.8mm이며, 영상 크기는 4000x3000픽셀이다. 비행고도는 80m로 설정되었으며, GSD (Ground Sampling Distance)는 약 2.2cm으로 예측되었다. 선형 대상지를 총 6개의 블록(블록별로 약 200m 정도의 종 방향 길이)으로 쪼개고, 4개의 영상 스트립으로 데이터를 획득하였으며, 중/횡 중복도는 80%로 설정하였다. 블록의 종 방향으로 약 12장 정도의 사진이 취득되어, 전체 대상지에 대해 총 290장의 사진이 취득되었다. 대상지에 대해 기준점 및 검사점 획득을 위해 Network RTK 기반으로 GNSS 측량이 수행되었다. 총 48개의 점이 선형 대상지를 따라 획득되었으며, 그 분포는 Fig. 4와 같다. 즉 블록당 약 8개의 측점이 배치되도록 하였고, 선형구간의 횡단 방향의 폭을 고려하여 2개씩 도로 양옆에 위치하도록 하였다.

Table 1. Specification of the drone and camera

Drone		Camera	
Weight	1375 g	Focal length	8.8 mm / 24 mm (35 mm equivalent)
Max speed	72 km/h	Pixel pitch	0.00234 mm
Flight time	30 mins	FOV (Field Of View)	94 deg
GNSS	GPS/ GLONASS	Sensor size	5472x3648

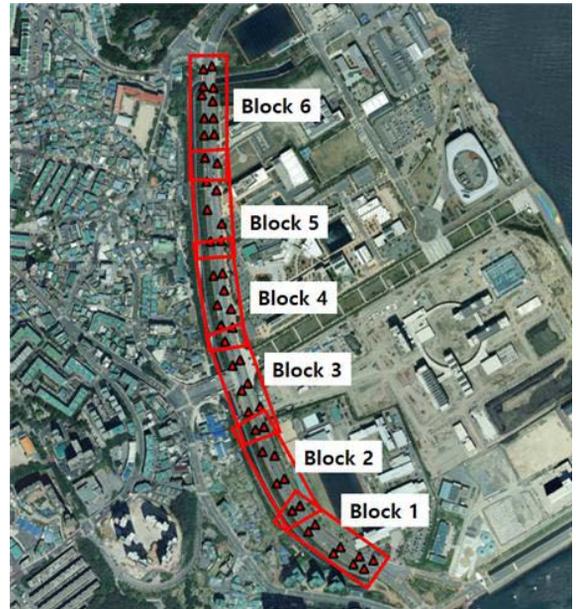


Fig. 4. Test area and GNSS-surveyed point distribution

3.2 번들조정

먼저 기준점을 사용하지 않고 번들조정 후 대상지 전체에 분포된 48개의 측점에서 정확도를 평가해본 결과를 Table 2 및 Fig. 5에 나타내었다. 현장 셀프 캘리브레이션 방식(on-the-fly)으로 수행된 번들조정의 경우 수평 4.70m, 수직 1.89m의 RMSE (Root Mean Square Error) 오차를 보였으며, 기존의 다른 프로젝트에서 기준점을 이용하여 번들조정하여 예측된 내부 표정요소를 상수로 고정하고, 외부표정요소만을 미지수로 두어 번들 조정한 사전 프로젝트 캘리브레이션(prior project calibration) 결과, 검사점에서 수평 0.92m, 수직 1.90m의 오차

를 보이며 현장 셀프 캘리브레이션 결과보다 정확성 있는 결과를 보여주었다. 이는 대상지가 표고차이가 크지 않아 셀프 캘리브레이션 시에 내부표정요소와 외부표정요소간의 높은 상관도 등으로 인해 지상좌표의 부정확성이 발생하는 것으로 추정된다(Oh *et al.*, 2006). 따라서, 기준점을 확보하기가 어려운 대상지의 경우 미리 캘리브레이션을 수행하고, 해당 내부표정요소값을 상수로 활용하여 대상지 측량을 하는 것이 보다 나은 결과를 얻을 수 있음을 알 수가 있었다. Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)는 오차를 동일한 축척의 화살표로 나타낸 것으로 시각적으로 오차의 차이를 확인할 수 있다. 추가적으로, Fig. 5(a)에서 보면 수평 오차가 서쪽으로 주로 발생하고, 남쪽과 북쪽방향 요소도 존재하므로, 절대 표정과 같은 모델의 이동(shift)만으로는 높은 정확성을 담보하기는 힘든 것을 추가적으로 알 수 있었다.

Table 2. Accuracies of bundle adjustments without GCPs

RMSE [m]	On-the-fly calibration	Prior project calibration
Horizontal	4.70	0.92
Vertical	1.89	1.90

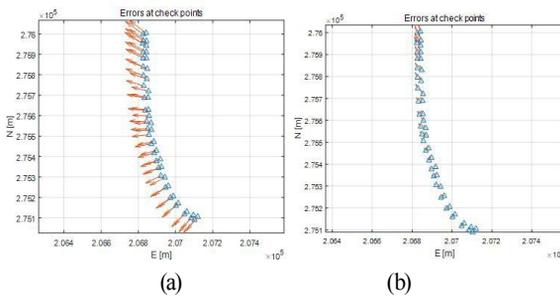


Fig. 5. Error vectors at check points with no GCPs (a) on-the-fly calibration, (b) prior project calibration

다음으로는 대상지 전체에 분포된 측점 48개를 24개씩 기준점 및 검사점으로 분류하여 번들조정을 수행하였다. 이때 24개씩 각각을 번들가 기준점 및 검사점으로 사용하였다(GCPs Set1, GCPs Set2). Table 3에서 확인할 수 있듯이 두 경우 모두 수평 5.3~5.5cm, 수직 3.7~4.3cm의 정확도를 보이며 영상 해상도 대비 약 2-3픽셀가량의 정확도를 달성하고 있음을 보여주고 있다. 또한 번들 조정 시 현장 셀프 캘리브레이션을 수행하는 경우와 사전 작업 캘리브레이션 결과를 사용하는 경우 모두 유사한 번들 조정 결과 정확도를 보여주었다. 즉, 대상지에 기준점의 확보가 용이할 경우에는 두 가지 캘리브레이션 방식 중 자유로

운 선택이 가능함을 알 수 있었다.

Table 3. Accuracies of bundle adjustments with GCPs

RMSE [cm]	On-the-fly calibration		Prior project calibration	
	GCPs Set 1	GCPs Set 2	GCPs Set 1	GCPs Set 2
Horizontal	5.5	5.3	5.5	5.4
Vertical	3.7	4.3	3.9	4.3

3.3 중복 스트립 수에 따른 정확도

중복 스트립 수에 따른 정확도 비교를 위해 번들 조정 시 2개의 스트립 영상만 사용하는 경우와 4개의 스트립 영상을 모두 사용하는 경우의 결과 정확도를 비교하여 Table 4에 나타내었다. 두 경우는 오차 레벨 내의 차이를 보이며 4개의 스트립을 사용하는 것이 2개의 스트립을 사용하는 경우에 대비하여 유의미한 정확도의 향상이 없음을 알 수가 있었다. 즉, 2개의 스트립만을 사용하여 경제적인 측량을 수행 가능함을 실험결과 알 수 있었다.

Table 4. Accuracies for different numbers of strips

RMSE [cm]	On-the-fly calibration		Prior project calibration	
	4 strips	2 strips	4 strips	2 strips
Horizontal	5.5	5.5	5.5	5.7
Vertical	3.7	4.0	3.9	4.1

3.4 기준점 편위에 따른 정확도 평가

기준점 편위에 따른 정확도 평가를 위해, 한쪽에 치우친 기준점의 활용에 따른 정확도를 평가하였다. 먼저 현장 셀프 캘리브레이션을 수행한 경우의 블록별 검사점 오차를 Fig. 6에 그래프로 제시하였다.

Fig. 6(a) 좌측은 블록1에서 3까지를 기준점을 활용하고, 블록 2에서 6까지 검사점에서 정확도를 평가한 결과이며, Fig. 6(a) 우측은 반대쪽인 블록 6에서 4방향으로 기준점을 활용한 경우이다. 두 경우 모두 기준점이 활용된 블록에서 멀어짐에 따라 수평 위치 정확도가 낮아지는 것을 관찰할 수 있다. 특이할 점은 블록이 멀어짐에 따라 정확도 저하의 정도는 각 경우마다 약간씩 다르지만 무기준점 블록에서의 위치 정확도는 크게 저하가 된다는 점이다. 정확도 저하 양상이 조금씩 다른 이유는 무 기준점 블록이 시작되는 시점을 기준으로 하였을 때, 기준점까

지의 거리와 배치 등이 약간 다를 수 있고, 또한 기준점 블록과 무기준점 블록 간의 중복도나 특징점 매칭 등의 성능 차이로 인해 번들조정의 결과가 조금씩 달라질 수 있기 때문에 판단된다. 결론적으로 선형 대상지 측량에서 한 블록만이라도 기준점이 한쪽으로 치우친 편위가 발생할 경우 정확도 품질에는 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 6(b)의 경우는 동일한 경우에 대해 수직 오차를 평가한 것으로서, 마찬가지로 Case 5/6을 제외한 대부분의 경우 오차가 크게 증가함을 볼 수가 있다. Case 5/6의 경우에는 아주 미약한 정확도 저하가 발생했고, 2번 블록에서 반대로 정확도 증가가 이루어진 것으로 보일 수 있으나, 증가 정도는 8cm 정도로서, 기준점 측량 시 사용된 Network RTK의 표고 정밀도를 고려했을 때 오차범위정도의 수치이므로 의미를 부여하기 힘들었다. 참고로, 블록 1,2 및 5,6에서의 수직 오차가 무기준점 블록 전체 RMSE 수치인(1.89m)보다 큰데, 이것은 무기준점의 경우에도 대상지 약 끝단에 위치한 블록인 1,2 및 5,6에서 3m내외의 수직 오차가 집중되어 있기 때문이다.

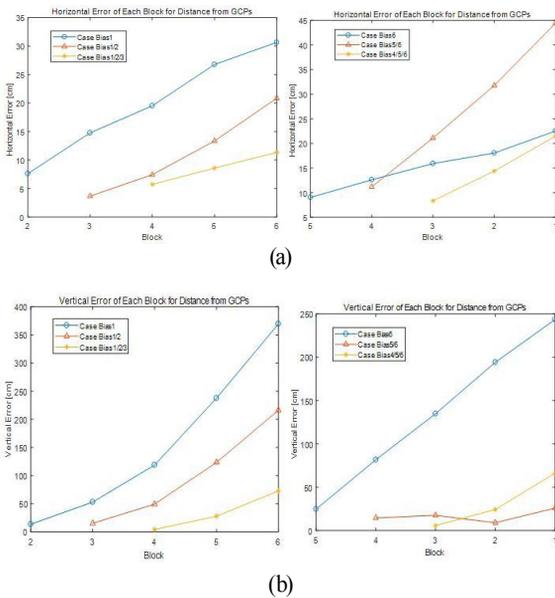


Fig. 6. Accuracy decrease for blocks [on-the-fly calibration] (a) horizontal errors (b) vertical errors

다음으로 사전 작업 캘리브레이션 경우에 대한 결과를 Fig. 7에 그래프로 제시하였다. 수평 오차의 경우 앞선 결과와 마찬가지로 기준점이 활용된 블록에서 멀어짐에 따라 수평 위치 정확도가 낮아지는 것을 관찰할 수 있다. 단, 정확도 저하의 정도는 현장 셀프 캘리브레이션의 경우와는 조금 달랐고, Case Bias 6

의 경우가 특히 현장 셀프 캘리브레이션의 경우보다 정확도 저하의 정도가 상대적으로 컸다. 수직의 경우 오차의 크기가 1m 내외 이하로 보이며, 현장 셀프 캘리브레이션의 경우보다는 높은 정확도를 보여주었다.

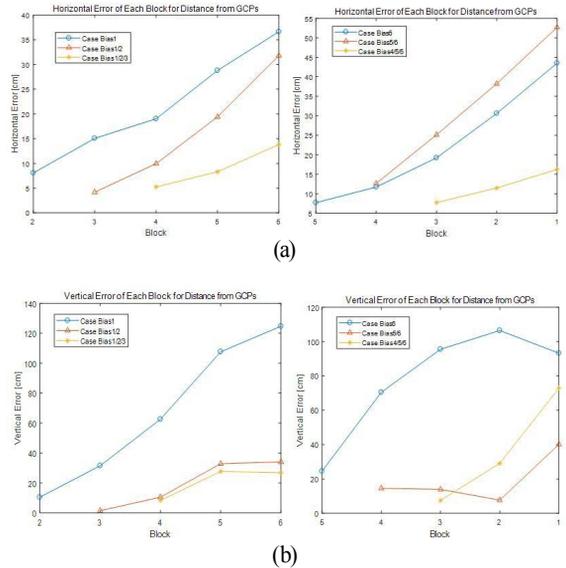


Fig. 7. Accuracy decrease for blocks [prior project calibration] (a) horizontal errors (b) vertical errors

3.5 기준점 밀도에 따른 정확도 평가

다음으로 기준점 밀도에 따른 정확도 평가를 수행하였다. 먼저 현장 셀프 캘리브레이션 기법을 적용한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 선형 대상지를 따라 기준점 밀도가 증가함에 따라 수평 정확도는 1cm정도의 범위에서 편차를 보이나 영상의 해상도를 고려했을 때 오차범위 이내로 볼 수 있으므로, 기준점 밀도에 따른 위치 정확도의 의미 있는 증가가 있다고 보기 힘들었다. 반면, 수직정확도는 밀도의 증가와 함께 수십cm에서 급격히 증가하다 블록별로 1개 이상의 기준점이 설치된 경우(Case 3)부터는 안정화되는 추세를 보여주었다.

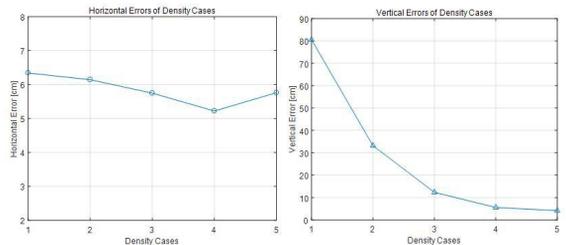


Fig. 8. Errors as GCPs density increases [on-the-fly calibration]

다음으로는 동일한 기준점 밀도 변화에 대해서, 사전 작업 캘리브레이션에 기반한 번들조정 경우의 결과를 Fig. 9에 제시하였다. 수평 정확도의 경우 Case1을 제외하고는 현장 셀프 캘리브레이션과 유사한 결과를 보였으나, 수직 정확도의 경우 Case1,2,3의 경우에서 볼 수 있듯이 동일한 기준점 밀도에서 현장 셀프 캘리브레이션의 경우 보다 높은 수직 정확도를 확보하고 있음을 확인할 수 있었다.

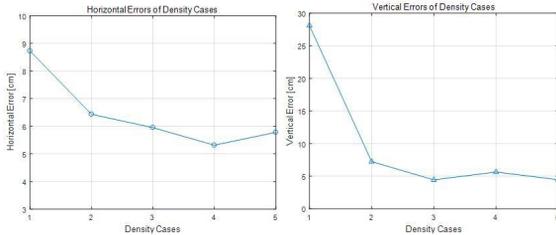


Fig. 9. Errors as GCPs density increases [prior project calibration]

4. 결론

본 연구에서는 도로, 관로, 철도 등 선형 대상지에 대해 드론 측량을 수행할 경우 기준점의 배치 및 밀도, 캘리브레이션 방법, 중복 스트리프의 수 등의 변화에 따라 획득 가능한 공간 정확도를 평가하기 위한 실험을 진행하였다. 이를 위해 선형 대상지를 따라 배치된 기준점을 여러 조합으로 나누고, 캘리브레이션 방법 또한 현장 셀프 캘리브레이션과 사전 작업 캘리브레이션의 두 가지 방법으로 실험을 진행하였다.

첫 번째로 드론에 장착된 저가 카메라의 내부표정요소의 예측을 위한 카메라 캘리브레이션 방식에 따른 측량 정확도 영향을 살펴본 결과, 기준점을 대상지에 골고루 분포시켜 번들 조정을 수행한 경우에는 현장 셀프 캘리브레이션 기법과 사전 작업 캘리브레이션을 사용한 경우의 정확도는 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 그러나 무기준점이거나 기준점의 밀도가 적어질 경우에는 사전 작업 캘리브레이션의 값을 사용하는 것이 정확도 확보에 큰 도움이 될 수 있음을 알 수 있었다.

두 번째로 기준점 위치에서 거리가 멀어질수록 위치 정확도는 크게 저하가 되었다. 특히 1개의 블록 단위의 편위에서도 의미 있는 수준으로 위치 정확도 저하가 발생하는 경우가 존재하므로, 편위가 발생하지 않도록 블록의 양단에 기준점을 설치하는 것이 안정적인 위치 정확도를 확보할 수 있는 방안으로 볼 수 있었다.

세 번째로 기준점 밀도에 따른 수평 위치 정확도의 경우, 블록 당 1개 이상의 기준점을 사용한 경우부터는 의미 있는 정확

도의 증가가 있다고 보기 힘들었으나, 수직방향으로는 블록별로 최소 1개 이상의 기준점을 설치하는 것이 안정적인 수직 정확도를 확보하는데 도움이 될 수 있음을 알 수 있었다.

네 번째로 중복 스트리프 수를 선형 대상지를 따라 종방향으로 한 번 왕복하는 경우(2스트리프)와 두 번 왕복(4스트리프)하는 경우 간의 유의미한 정확도 차이가 발생하지 않았다. 따라서 빠른 작업과 경제성을 위해서는 드론을 한번 왕복하여 2개의 스트리프만을 이용 가능함을 알 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Benassi, F., Dall'Asta, E., Diotri, F., Forlani, G., di Cella, U.M., Roncella, R., and Santise, M. (2017), Testing accuracy and repeatability of UAV blocks oriented with GNSS-supported aerial triangulation, *Remote Sensing*, Vol. 9, No. 2, pp. 172-194.
- Colomina, I. and Molina, P. (2014), Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, Vol. 92, pp. 79-97.
- GIM International (2018), UAV technology in action to survey high-speed rail corridor, *GIM International*, <https://www.gim-international.com/content/article/uav-technology-in-action-to-survey-high-speed-rail-corridor> (last date accessed: 13 Nov 2018).
- Martinez-Carricondo, P., Aguera-Vega, F., Carvajal-Ramirez, F., Mesas-Carrascosa, F., Garcia-Ferrer, A., and Perez-Porras, F. (2018), Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 72, pp. 1-10.
- Kim, D.I., Song, Y.S., Kim, G., and Kim, C.W. (2014), A study on the application of UAV for Korean land monitoring, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 32, No. 1, pp. 29-38. (in Korean with English abstract)
- Oh, J.H., Eo, Y.D., and Lee, C.N. (2006), A photogrammetric

- network and object field design for efficient self-calibration of non-metric digital cameras, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 24, No. 3, pp. 281-288. (in Korean with English abstract)
- Park, C.H., Choi, K., and Lee, I. (2016), Lane extraction through UAV mapping and its accuracy assessment, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 34, No. 1, pp. 11-19. (in Korean with English abstract)
- Santise, M., Fornari, M., Forlani, G., and Roncella, R. (2014), Evaluation of DEM generation accuracy from UAS imagery, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XL-5, pp. 529–536.
- SenseFly. (2017), Drones vs traditional instruments: corridor mapping in Turkey, *SenseFly*, https://www.sensefly.com/app/uploads/2017/11/drone_vs_traditional_instruments_corridor_mapping_turkey.pdf (last date accessed: 13 Nov 2018).
- Smith, I. (2015), Mapping 1,000 km of highway with a drone, *DroneDeploy*, <https://blog.dronedeploy.com/mapping-1-000-km-of-highway-with-a-drone-a1062d7fc531> (last date accessed: 13 Nov 2018).
- Zhou, Y., Rupnik, E., Faure, P-H., and Pierrot-Deseilligny, M. (2018), GNSS-assisted accurate corridor mapping with small UAV, *Conférence Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 25-28 June 2018, Marne-la-Vallée, France.