

저사양 무인항공기를 이용한 소규모 경사지역의 정사영상 및 수치표고모델 제작

Orthophoto and DEM Generation in Small Slope Areas Using Low Specification UAV

박진환¹⁾ · 이원희²⁾

Park, Jin Hwan · Lee, Won Hee

Abstract

Even though existing methods for orthophoto production in traditional photogrammetry are effective in large areas, they are inefficient when dealing with change detection of geometric features and image production for short time periods in small areas. In recent years, the UAV (Unmanned Aerial Vehicle), equipped with various sensors, is rapidly developing and has been implemented in various ways throughout the geospatial information field. The data and imagery of specific areas can be quickly acquired by UAVs at low costs and with frequent updates. Furthermore, the redundancy of geospatial information data can be minimized in the UAV-based orthophoto generation. In this paper, the orthophoto and DEM (Digital Elevation Model) are generated using a standard low-end UAV in small sloped areas which have a rather low accuracy compared to flat areas. The RMSE of the check points is $\sigma_H = \pm 0.12$ m on a horizontal plane and $\sigma_V = \pm 0.09$ m on a vertical plane. As a result, the maximum and mean RMSE are in accordance with the working rule agreement for the airborne laser scanning surveying of the NGII (National Geographic Information Institute) on a 1/500 scale digital map. Through this study, we verify the possibilities of the orthophoto generation in small slope areas using general-purpose low specification UAV rather than a high cost surveying UAV.

Keywords: UAV, Orthophoto, Small Slope Areas, DEM, SIFT, Network-RTK

초 록

정사영상 제작에 주로 사용되는 기존의 항공사진측량 방법은 대규모 지역에 대해서는 효과적이거나 소규모 지역에서는 비경제적이며, 지형지물의 지속적인 변화관측과 짧은 주기의 제작에는 어려움이 있다. 최근 다양한 센서들이 탑재된 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)가 급격한 속도로 발전되고 있으며 이러한 무인항공기는 공간정보 분야에서도 다양하게 사용되고 있다. 무인항공기는 소규모지역에 대해서 신속하게 영상 자료 취득이 가능하며 적은 비용으로 영상자료들을 수시로 갱신할 수 있다. 또한, 불필요한 지역을 제외한 특정지역에 대해서만 공간정보 자료 취득이 가능함으로써 공간정보자료의 중복성을 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 평지지역에 비해 상대적으로 정확도가 낮은 소규모 경사지역을 대상으로 일반용 저사양 무인항공기를 이용하여 정사영상과 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)을 생성하였으며, 검사점에 의한 평면 및 수직 좌표 성분의 RMSE는 $\sigma_H = \pm 0.12$ m, $\sigma_V = \pm 0.09$ m의 정확도를 보였다. 그 결과 1/500 축척의 국토지리정보원 수치지도 기준 표준편차와 최대오차의 허용범위를 만족하였다. 이를 통하여 고가의 측량용 무인항공기가 아닌 일반용 저사양 무인항공기를 이용하여 소규모 경사지역의 정사영상 제작 가능성을 확인하였다.

핵심어: 무인항공기, 정사영상, 소규모 경사지역, 수치표고모델, SIFT, Network-RTK

Received 2016. 04. 20, Revised 2016. 05. 12, Accepted 2016. 06. 08

1) School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National (E-mail: wlsghkss123@naver.com)

2) Corresponding Author, Member, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University (E-mail: wlee33@knu.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

공간정보 구축분야에 자주 활용되는 정사영상은 지도제작과 인터넷지도에 주로 사용되며 높이차나 기울어짐 등 지형으로 인해 생긴 기하학적 왜곡을 보정하여 물체를 수직 방향으로 내려 본 것과 같은 모습으로 변환된 영상이다. 과거부터 정사영상 제작에 주로 사용하던 항공사진측량방법은 넓은 지역에서는 효과적이지만, 소규모 지역에서는 비경제적이며, 지형지물의 지속적인 변화관측과 짧은 주기의 제작에는 어려움이 있다.

공간정보 취득분야에서 이용되는 무인항공기는 크게 측량용 고가 무인항공기와 일반용 저가 무인항공기로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 2-3천만원대의 측량용 무인항공기가 아닌 5백만원대의 일반용 저사양 무인항공기를 이용하여 정사영상 제작가능성을 확인하였다.

측량용 고정익 무인항공기는 공기의 양력을 이용하여 비행하기 때문에 에너지 효율이 높고 장기체공이 가능하여 넓은 지역을 한 번의 비행으로 항공촬영 할 수 있다. 반면 150m 이상의 고도를 확보해야 하며 소규모 지역 측량에는 적합하지 않다. 또한, 고정익 무인항공기는 정지비행이 불가능하며 이착륙 공간을 확보해야 하는 단점이 있다.

본 논문에서 사용한 일반용 회전익 무인항공기는 짧은 체공시간으로 인하여 넓은 지역을 한 번에 촬영 할 수는 없지만 낮은 고도에서 소규모지역 측량을 실시 할 경우 효과적이며 수직 이착륙과 정지비행이 가능하여 고정익 무인항공기와는 달리 별도의 활주로를 필요로 하지 않는 장점이 있다.

무인항공기를 활용한 국내외의 연구 사례로는 (Remondino *et al.*, 2011)은 무인항공기 사진측량을 이용한 3D 모델링 및 지도 제작의 정확도를 분석하였으며, (Harwin and Lucieer, 2012)는 무인항공기 영상기반의 포인트 클라우드의 정확도를 평가하여 해안침식 모니터링 가능성을 제시하였다. (Zongjian *et al.*, 2008)은 지도 제작을 위한 무인항공기의 저고도 사진측량 정확도 분석을 통하여 규칙적인 모니터링과 도시계획의 적용 가능성 제시하였으며, (Chiang *et al.*, 2012)은 지상기준점을 사용하지 않고 DG(Direct Georeferenced)모드에서 무인항공기의 비행위치의 정확도를 평가하여 재난·구조 분야의 긴급대응을 위한 공간정보 취득 가능성을 제시하였다.

(Lee *et al.*, 2011)는 무인항공기를 이용하여 3차원 공간정보 구축기법을 연구하였고, (Kim *et al.*, 2012)은 무인항공기를 활용하여 공간정보 분야의 여러 가지 활용 가능성과 항공측량시스템의 대체가능성을 제시하였다. 또한 (Kim *et al.*, 2014)은 무인항공기의 법규 및 작업규정의 필요성과 국토모니

터링 분야의 활용 가능성을 평가하였다.

무인항공기를 활용한 정사영상의 정확도 평가의 연구 사례는 (Lee *et al.*, 2015)는 소형 회전익 무인항공기를 이용하여 취득한 영상기반의 고밀도 측정자료의 정확도를 평가하였으며, (Cho *et al.*, 2014)은 무인항공기를 이용하여 3차원 공간정보를 취득하여 GPS로 취득된 3차원 좌표를 비교·분석 하여 공간정보 구축의 가능성을 제시하였다.

이외의 다양한 연구 분야에는 (Lee *et al.*, 2015)은 무인비행시스템(UAS) 기반의 Kappa계수를 이용한 영상분류기법별 정확도를 평가하여 수채탐지에 효율적인 분류법을 제시하였다. (Park and Park, 2015)은 저가 무인항공기의 항공영상을 이용하여 저수지 피해 모니터링 연구를 수행하였다. (Kim *et al.*, 2014)은 무인항공기를 이용하여 식생의 변화와 경관분석의 활용성을 제시하였다.

이전의 연구동향들에서는 대부분 평탄지를 연구지역으로 선정하여 정사영상을 제작하였다. 또한, 고가의 측량용 고정익 무인항공기를 이용하여 제작한 정사영상의 정확도를 비교·분석하여 활용가능성을 제시하였다. 하지만 본 연구에서는 소규모 경사지역을 연구지역으로 선정하였으며 저사양 회전익 무인항공기를 이용하여 저고도에서 소규모 경사지역을 대상으로 정사영상 및 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)을 제작하였다. 정확도 평가는 국토지리정보원의 '항공사진측량 작업규정'을 참고하여 비교·분석하였다. 이를 통해 저사양 무인항공기를 이용하여 저고도에서 취득된 데이터를 활용하여 평탄지뿐만 아니라 소규모 경사지역에서도 신속하고 효율적인 공간정보구축의 가능성을 제시하였다.

2. 무인항공기 제원 및 데이터 취득

2.1 무인항공기 제원 및 항공사진촬영

연구지역은 경상북도 상주시 가장동에 위치하고 있는 경북대학교 상주캠퍼스를 연구지역으로 선정하였다. 대상지역은 경사지로 이루어져 있으며 최대경사도는 약 11° 정도이며 최대 고저 차는 약 51m 정도 이다.

산재되어 있는 나무들의 높이는 대부분 1m~4m이며 3~5층으로 이루어진 건물들이 다수 분포해있다. 피복의 상태는 농구장과 테니스장을 제외하면 대부분 잔디와 아스팔트로 구성되어 있다.

대상지역의 항공사진을 취득하기 위하여 이착륙을 위한 활주로가 불필요하며 다수의 건물들이 밀집하여 제한된 공간에서도 수직 이착륙과 정지비행이 가능한 소형 회전익 무인항공



Fig. 1. Flight course of study area

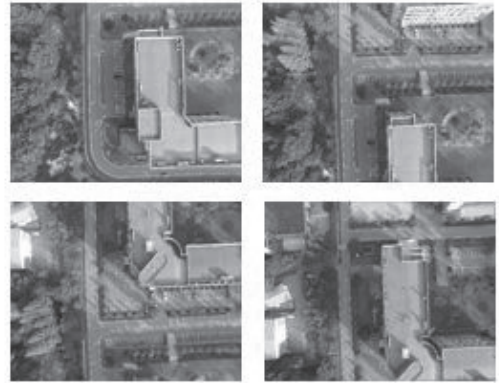


Fig. 2. Single i mages

기(DJI사의 Inspire 1)를 선정하여 항공사진을 취득하였다. 단 점으로는 측량용 고정익 무인항공기보다는 상대적으로 낮은 정확도와 짧은 체공시간을 가지고 있다. Table 1과 Table 2 는 항공사진촬영에 이용된 무인항공기 및 카메라의 제원이다.

2015년 9월 중순경 항공사진촬영을 실시하였으며, 정사영상 중복도와 무인항공기 최대비행시간을 고려하여 총 5개의 비행코스를 수립하였다. 항공사진촬영에 사용된 무인항공기는 최대 고도 4,500m까지 비행이 가능하지만 국토교통부의 ‘항공법 제23조, 시행규칙 제68조’에서 정한 조종자 준수사항

에서는 비행고도를 150m이내로 제한하고 있다. 따라서 본 연구에서는 150m 이하로 항공사진촬영을 실시하였으며, 평균 고도 약 60m에서 약 2m/s의 속력으로 15분간 비행하여 항공 사진촬영을 실시하였다.

항공사진취득은 아직 우리나라에서는 자동비행 기능이 지원되지 않기 때문에 수동비행방식으로 취득하였다. 따라서 지상에서 DJI GO 어플리케이션을 이용하여 직접 원격제어장치를 통하여 수동촬영 방식으로 Fig. 2와 같은 총 68매의 단일영상을 취득하였다.

Table 1. Specifications of UAV


UAV : Inspire 1	
	
Weight	2935g
Speed	≤22m/s
Flight Altitude	≤4500m
Flight Time	≤18min
Hovering Accuracy	Vertical : 0.5m
	Horizontal : 2.5m

Table 2. Specifications of camera

Camera : Fc 350	
	
Resolution	4,000 x 3,000
Focal Lenth	3.61mm
F-Stop	F/2.8
FOV	94°
ISO	100
Piexl Size	1.561 x 1.561μm

2.2 지상기준점성과 측량

생성된 정사영상의 정확도를 평가하기 위하여 지상기준점(GCP: Ground Control Point) 측량을 실시하였다. GPS(Trimble R8) 장비를 사용하여 Network RTK(Real Time Kinematic)측위의 한 가지 방법인 가상기준점(VRS: Virtual Reference Station)방식을 이용하였다. 이 방식은 이동국의 GPS의 대략적인 위치를 VRS서버에 전송하면 이동국 주변에 위치한 3개의 GPS상시관측소의 정보를 이용하여 체계적 오차를 제거하고 모델링하여, 네트워크 내부 임의의 위치에서 관측된 것과 같은 가상기준점을 생성한다. 또한, 위치보정값을 도출하여 다시 이동국으로 전송하면 가상기준점과 이동국과의 RTK를 통하여 정밀한 이동국의 위치를 결정하는 방식이다.

지상기준점의 선정은 특별히 대공표지점을 설치하지 않았으며 맨홀뚜껑 정중앙점이나 횡단보도와 도로의 차선 모서리점 등과 같이 항공사진에서 식별이 용이한 점들을 선정하여 대상지역에 골고루 분포된 지상기준점 성과를 취득하였다. Table 3은 취득된 지상기준점 성과들 중에서 GCP로 사용된 총 8개의 측점들이다. X, Y 좌표는 경위도 좌표에서 평면직각 좌표로 변환된 좌표이며, 정표고(H)는 취득된 타원체고를 국토지리정보원에서 제공하는 국가지오이드모델인 KNGeoid 14 지오이드고 모형을 적용하여 산출하였다.



Fig. 3. GCP surveying with Network-RTK

Table 3. Coordinates of GCP

Point	X(m)	Y(m)	H(m)
1	420656.21	123245.35	82.94
4	420569.99	123395.20	74.95
8	420452.15	123552.74	65.09
12	420301.56	123449.51	64.66
14	420411.54	123421.89	69.14
16	420418.12	123289.75	74.96
19	420554.17	123161.50	81.08
24	420519.22	123307.40	78.49

3. 정사영상 및 DEM 제작

3.1 카메라 검정

영상접합에 앞서 카메라 검보정을 수행하였으며 카메라 검보정은 Agisoft사의 Photoscan Pro버전을 이용하였다. 항공사진촬영에 사용된 카메라의 시야각(Field Of View)은 94°이며 광각렌즈에 해당된다. 광각렌즈를 이용할 경우 넓은 범위를 촬영 할 수 있는 장점이 있지만 상대적으로 영상의 주변부에서는 왜곡이 증가할 수 있는 단점이 있다. 렌즈의 왜곡은 방사왜곡(Radial Distortion)과 접선왜곡(Tangential Distortion)으로 나눌 수 있다. 방사왜곡은 영상의 왜곡 크기가 중심부에서는 전혀 발생하지 않으며 영상의 주변부로 갈수록 많이 발생한다.

접선왜곡의 경우는 카메라의 제조과정에서 발생하며 렌즈와 영상의 수평이 완벽하게 이루어지지 않아 생기는 왜곡이며 타원형의 형태로 방사왜곡과는 분포형태의 차이가 있다. 특히 본 논문에서 사용된 저가의 카메라를 사용할 경우 카메라의 제조과정이 고가의 카메라보다 상대적으로 정밀하게 이루어지지 않기 때문에 이러한 왜곡들이 크게 산출될 수 있다.

Agisoft사의 Photoscan은 Brown's Distortion Model을 이용하여 렌즈 왜곡보정을 수행하며 Eq. (1)은 수행된 렌즈왜곡 보정 과정을 수식으로 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned}
 x &= X/Z \\
 y &= Y/Z \\
 r &= \sqrt{(x^2 + y^2)} \\
 x' &= x(1 + K_{1r^2} + K_{2r^4} + K_{3r^6} + K_{4r^8}) \\
 &\quad + (P_2(r^2 + 2x^2) + 2P_{1xy})(1 + P_{3r^2} + P_{4r^4}) \\
 y' &= y(1 + K_{1r^2} + K_{2r^4} + K_{3r^6} + K_{4r^8}) \\
 &\quad + (P_1(r^2 + 2y^2) + 2P_{2xy})(1 + P_{3r^2} + P_{4r^4}) \\
 u &= w*0.5 + c_x + x'f + x'B_1 + y'B_2 \\
 v &= h*0.5 + c_y + y'f
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Where X, Y, Z : Point coordinates in the local camera coordinate system,

u, v : Projected point coordinates in the image coordinate system(in pixels),
 f : focal length,
 c_x, c_y : Principal point offset,
 K_1, K_2, K_3, K_4 : Radial distortion coefficients,
 P_1, P_2, P_3, P_4 : Tangential distortion coefficients,
 B_1, B_2 : Affinity and non-orthogonality (skew)coefficients,
 w, h : Image width and height in pixels.

Table 4는 산출된 내부표정요소(초점거리, 주점좌표, 비대칭 계수, 왜곡량 계수)이며 초점거리(Focal Length)는 하나의 값 f 가 아닌, f_x, f_y 라고 구분하여 산출한 이유는 이미지 센서의 셀 간격이 가로 방향과 세로 방향이 서로 다를 수 있음을 나타내기 때문이다.

Fig. 4는 크기와 방향을 가진 벡터의 형식으로 영상의 잔차를 나타내고 있다. 대부분 1 픽셀 내외로 나타내고 있지만 영상의 중앙에서 가장자리 부분으로 갈수록 왜곡이 점차 증가하며 끝 부분에서는 2픽셀 이상으로 크게 나타나고 있다.

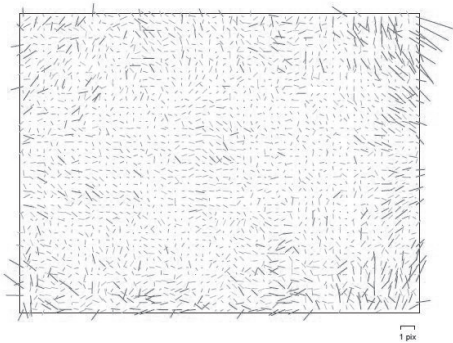


Fig. 4. Image residuals for FC350

Table 4. Interior orientation parameters

Focal Length(Pixel)	f_x : 2383.82
	f_y : 2385.80
Principal Point(Pixel)	C_x : 1965.08
	C_y : 1518.00
Skew Coefficient	0.594531
Radial Distortion(mm)	p_1 : 0.000557514
	p_2 : -0.00028896
Tangential Distortion(mm)	
k_1	-0.143069
k_2	0.142076
k_3	-0.050542
k_4	0.015142

3.2 영상접합

영상접합 또한, Feature based방식의 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 기법을 이용하여 자동으로 영상의 접합이 가능한 PhotoScan Pro버전 S/W를 이용하였다. SIFT 기법은 취득된 단일영상의 좌표를 기반으로 영상위치를 정렬시키고 다중 옥타브(Octave)로 구성된 피라미드를 생성하여 DoG(Difference of Gaussian) 영상 내에서 조명불변(Illumination-Invariant)인 특성을 가지기 위해서 인접한 총 26개의 픽셀 화소의 최대치와 최소치를 이용하여 특징점(Keypoint)의 후보점들을 결정한다. 테일러급수(Taylor series)를 이용하여 후보점들의 정확한 위치를 찾게 되며 특징점들의 위치를 보정한다. 불안정한 특징점들은 이 과정을 통해서 제거가 되며 남아있는 안정적인 각각의 특징점들에 대해서 주방향 할당을 통하여 회전불변(Rotation-Invariant)의 특성을 가지게 된다. 이를 통해 그레디언트(Gradient)의 크기와 방향이 결정된다. 마지막으로 크기와 방향이 결정된 각 영역의 그레디언트를 합산하여 4×4×8크기인 128차원의 벡터로 표현된 오리엔테이션 히스토그램을 구성하며 정규화(Normalize)를 통하여 영상의 유사도가 측정된다(Lowe et al., 2004).

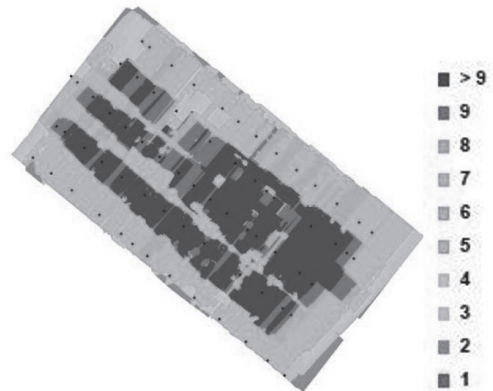


Fig. 5. Image overlap

단일영상들의 중복도는 Fig. 5와 같으며 대부분 6매이상의 높은 중복도를 나타내고 있다. 특히 3~5층의 건물들이 분포되어 있는 구역과 영상의 외곽부분에 대해서는 3~6매의 중복도로 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

Fig. 6은 중복되는 영상들의 특징점이며 총 68매의 단일영상에 대해서 13655개 특징점을 자동으로 추출하여 높은 밀도를 갖는 포인트 클라우드를 생성하였다. 이때 영상의 품질을 설정할 수 있으며 품질에 따라 S/W의 처리속도가 다소 차이가 있다.



Fig. 6. Key point

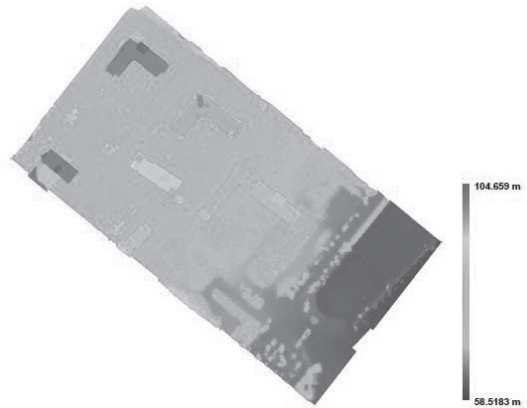


Fig. 7. DEM

Network-RTK의 VRS방식으로 취득된 총 8개의 지상기준점을 이용하여 광속조정법(Bundle Block Adjustment)방식으로 절대표정을 실시한 후 3차원 모델을 생성하였다.

마지막으로 생성된 DEM을 기반으로 하여 질감생성과 최적화 작업을 통하여 3.45cm의 공간해상도(GSD: Ground Sample Distance)를 갖는 정사영상을 제작하였다. 대상지역의 정사영상 크기(470m × 260m)는 약 0.12Km²이다. Fig. 7은 DEM이며 Fig. 8은 정사영상이다.

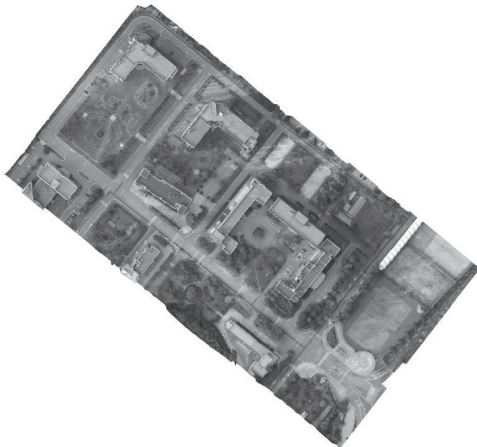


Fig. 8. Orthophoto

4. 정확도 비교 분석

Fig. 9는 대상지역에 분포되어있는 지상기준점과 검사점들

의 위치를 나타내고 있으며 붉은색 원의 깃발은 총 8개의 지상기준점을 나타내고 있다. 노란색 원의 깃발은 정사영상의 정확도 분석에 활용된 총 15개의 검사점들의 위치를 나타내고 있다.

Table 5는 검사점들을 이용하여 생성된 정사영상의 정확도를 분석하였으며 각각의 검사점들의 X, Y, Z 방향에 대한 표준편차 및 최대오차를 나타내고 있다.

X, Y, Z 각각의 방향들에 대한 표준편차는 0.1m, 0.07m, 0.09m이며 최대오차는 0.22m, 0.13m, 0.24m이다. 또한, 평면 및 수직 좌표성분의 표준편차는 $\sigma_H = \pm 0.12$ m, $\sigma_V = \pm 0.09$ m의 정확도를 산출하였다. 먼저 오차를 유발하는 요인들을 살펴보면 대공표지점을 설치하지 않아 단일영상에서 정밀하

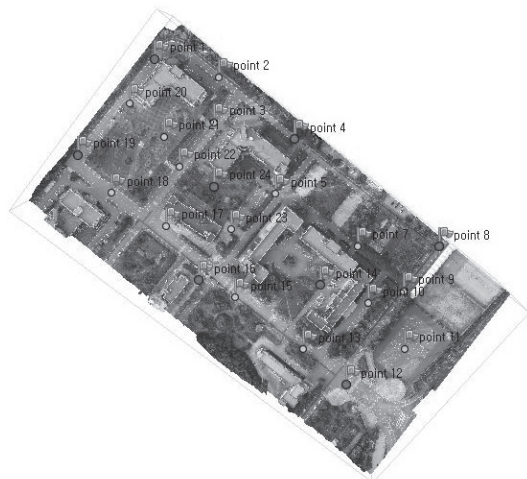


Fig. 9. GCP and check point of locations

Table 5. Check point errors(m)

Point	X error	Y error	Z error
2	-0.22	0.04	0.06
3	-0.09	0.07	-0.09
5	0.04	-0.06	-0.24
7	0.02	0.07	0.06
9	0.13	0.06	0.01
10	0.03	0.13	0.05
11	0.10	0.08	0.03
13	-0.03	-0.06	-0.04
15	0.02	-0.03	-0.01
17	0.04	0.04	0.10
18	0.01	0.01	0.11
20	-0.04	-0.11	0.09
21	-0.20	0.01	0.08
22	-0.10	-0.03	0.01
23	-0.02	0.01	0.08
STDEV	0.10	0.07	0.09
maximum value	0.22	0.13	0.24

지 않은 지상기준점의 위치선정 문제가 있다. 또한, 대상지역에 불규칙한 큰 고도 차이와 소규모 지역임에도 불구하고 상대적으로 건물들이 다수 분포되어 있으며 자동비행방식이 아닌 수동비행방식으로 영상을 취득함으로써 일정하지 않은 영상들의 중복도와 비행속력으로 인하여 오차가 유발될 것으로 판단된다.

그럼에도 불구하고 본 논문에서 높은 정확도가 산출된 이유는 대상지역의 크기(470m x 260m)가 선행연구들에 비하여 상대적으로 작으며 낮은 고도에서 취득된 영상과 영상의 높은 중복도로 인하여 다수의 특징점 추출이 가능해짐으로써 높은 정확도가 산출된 것으로 판단된다.

Table 6. Tolerance band of errors

Scale	Standard Deviation(m)	Maximum value(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

생성된 정사영상의 정확도는 국토지리정보원의 ‘항공사진 측량 작업규정’을 참고하여 비교·분석 하였다. Table 6은 ‘항공사진측량 작업규정 제2013-2236(2013.12.31)’의 각각에 측정들에 대한 표준편차와 최대오차들이다. 1:500측척에 대한 오차의 허용범위는 표준편차 0.14m, 최대값 0.28m 이내로 제한하고 있다.

따라서 저사양 무인항공기를 이용하여 소규모 경사지역에서 생성된 정사영상이 1/500측척의 허용기준을 충분히 만족하였으며 소규모 경사지역에 대한 정사영상의 제작과 신속하고 효율적인 공간정보구축의 가능성을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서 저사양 회전익 무인항공기를 이용하여 저고도에서 소규모 경사지역에 대한 정사영상을 생성하여 Network-RTK 측위방식에 의해 취득된 검사점과 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

저사양 회전익 무인항공기를 이용한 소규모 경사지역에 대하여 가장 대축적인 1/500 측척 지도 제작이 가능함으로써 공간정보의 신속한 갱신과 자료취득의 중복성을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 고가의 측량용 무인항공기를 사용하지 않더라도 저고도에서 저사양 무인항공기를 통하여 비교적 경제적으로 10cm 내외의 정확도를 가진 공간정보 자료의 취득이 가능하였으며 소규모 지역에서 저사양 무인항공기가 기존의 사용되던 항공삼각측량의 대체가능성을 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 대공표지를 설치하지 않아 영상에서 정밀하지 않은 지상기준점 위치선정에 대하여 생기는 오차와 자동비행방식이 아닌 수동비행으로 인하여 일정하지 않은 정사영상의 중복도와 무인항공기의 비행속력으로 발생하는 오차들에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2015학년도 경북대학교 신입교수정착연구비에 의하여 연구되었음.

References

Chiang, K.W., Tsai, M.L., and Chu, C.H. (2012), The

- development of and UAV borne direct georeferenced photogrammetric platform for ground control point free applications, *Sensors*, Vol. 12, No. 7, pp. 9161-9180.
- Cho, Y.S., Lim, H.M., Choi, S.G., and Jung, S.H. (2014), DEM generation of tidal flat by the area based matching method using digital aerial stereo images, *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, Vol. 10, No. 2, pp. 273-287. (in Korean with English abstract)
- Harwin, S. and Lucieer, A. (2012), Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle(UAV) imagery, *Remote Sensing*, Vol. 4, No. 6, pp. 1573-1599.
- Kim, S.M. (2014), Study of the UAV for application plans and landscape analysis, *Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture*, Vol. 32, No. 3, pp. 213-220. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.I., Sun, S.Y., Kim, G.H., 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*, Vol. 32, No. 1, pp. 29-38. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.G., Sung, Y.D., and Kim, G.O. (2012), A study on methods of utilizing Unmanned Aerial Vehicle(UAV) in the area of spatial information, *The Korean Society of Cadastre*, Vol. 28, No. 1, pp. 169-178. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.K. (2011), Acquisition of spatial information using UAV, *Journal of the Institute of Construction Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 43-48. (in Korean with English abstract)
- 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 with English abstract)
- Lee, G.S., Kim, S.G., and Choi, Y.W. (2015), A comparative study of image classification method to detect water body based on UAS, *Journal of the Korean Association Geographic Information Studies*, Vol. 18, No. 3, pp. 113-127. (in Korean with English abstract)
- Lowe, D. (2004), Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol 60, No.2, pp. 91-110.
- Park, J.K. and Park, J.H. (2015), Reservoir failure monitoring and identified by the UAV aerial images, *Journal of safety and crisis management*, Vol. 11, No. 4, pp. 155-167. (in Korean with English abstract)
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., and Sarazzi, D. (2011), UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling-current status and future perspectives, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38-1, No. C22, pp. 25-31.
- Zongjian, L. (2008), UAV for mapping-low altitude photogrammetric survey, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, No. B1, pp. 1183-1186.