

# 고도가 다른 저사양 UAV 영상을 이용한 정사영상 및 DEM 제작

## Orthophoto and DEM Generation Using Low Specification UAV Images from Different Altitudes

이기림<sup>1)</sup> · 이원희<sup>2)</sup>

Lee, Ki Rim · Lee, Won Hee

### Abstract

Even though existing methods for orthophoto production using expensive aircraft are effective in large areas, they are drawbacks when dealing with renew quickly according to geographic features. But, as UAV(Unmanned Aerial Vehicle) technology has advanced rapidly, and also by loading sensors such as GPS and IMU, they are evaluates that these UAV and sensor technology can substitute expensive traditional aerial photogrammetry. Orthophoto production by using UAV has advantages that spatial information of small area can be updated quickly. But in the case of existing researches, images of same altitude are used in orthophoto generation, they are drawbacks about repetition of data and renewal of data. In this study, we targeted about small slope area, and by using low-end UAV, generated orthophoto and DEM(Digital Elevation Model) through different altitudinal images. The RMSE of the check points is  $\sigma_h = 0.023m$  on a horizontal plane and  $\sigma_v = 0.049m$  on a vertical plane. This maximum value and mean RMSE are in accordance with the working rule agreement for the aerial photogrammetry of the National Geographic Information Institute(NGII) on a 1/500 scale digital map. This paper suggests that generate orthophoto of high accuracy using a different altitude images. Reducing the repetition of data through images of different altitude and provide the informations about the spatial information quickly.

Keywords: Multi-Altitude, UAV, Orthophoto, DEM, GCP

### 초 록

기존의 정사영상 제작에서는 고가의 항공기를 이용한 대규모 지역에 대해서만 경제적인 정사영상을 제작할 수 있었으며, 지형지물에 대해 빠르게 변화를 갱신하지 못한다는 단점이 있었다. 하지만 최근 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)가 빠른 속도로 발전되고, GPS와 IMU 등의 다양한 센서 탑재로 고가의 항공사진측량을 대체할 수 있다는 평가를 받고 있다. 무인항공기를 이용하여 소규모 지역에 대한 정사영상 지도를 제작 할 경우 신속하게 공간정보를 갱신할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 기존 연구의 경우 같은 고도의 영상으로만 정사영상을 제작하여 자료의 중복성과 자료 갱신에 대한 단점이 있다. 본 연구에서는 소규모 경사지역을 대상으로 저가용 무인항공기의 고도가 다른 영상을 통해 정사영상 및 DEM(Digital Elevation Model)을 제작하였다. 검사점에 의한 수평 및 수직 성분의 RMSE는  $\sigma_h = 0.023m$ ,  $\sigma_v = 0.049m$  의 정확도를 보여 국토지리정보원 수치지도 1/500 축척의 RMSE와 최댓값 허용범위를 만족하였다. 이를 통해 고도가 다른 영상을 이용하여 높은 정확도의 정사영상을 제작할 수 있었으며, 다양한 고도의 자료를 통해 자료의 중복성을 줄이고, 신속하게 공간정보를 제공할 수 있음을 확인하였다.

핵심어: 다고도, 무인항공기, 정사영상, 수치표고모델, 지상기준점

Received 2016. 10. 01, Revised 2016. 10. 11, Accepted 2016. 10. 20

1) School of Geospatial Information, Kyungpook National University (E-mail: geolee@knu.ac.kr)

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

기존의 정사영상을 제작하기 위해서는 전통적인 항공사진 측량방법이 널리 사용되어왔으며, 항공사진측량방법은 대규모 모지역에서는 경제적이지만 소규모지역에서는 비경제적이고, 지형지물의 지속적인 변화관측과 짧은 주기의 제작에는 어려움이 있다. 이러한 항공사진측량방법을 보완하기 위한 방법으로 무인항공기를 이용한 정사영상 제작이 최근 활발히 연구되고 있다.

현재 공간정보 분야에서 사용되고 있는 무인항공기 종류는 크게 측량용 무인항공기와 일반 저가형 무인항공기로 나뉘는데 측량용 무인항공기의 경우 공기의 양력을 이용하는 고정익이기 때문에 에너지 소모가 적어 넓은 지역을 한 번에 촬영할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 가격이 고가이고, 이착륙이 필요하여 건물이 많은 도심지역에서는 측량이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 반면에 일반 저사양 무인항공기의 경우 측량용 무인항공기에 비해 가격이 저렴하며, 수직 이착륙이 가능한 회전익이기 때문에 건물이 많은 도심지역에서 촬영이 용이하다는 장점이 있다. 하지만 비행시간이 짧아 넓은 지역을 연속 촬영하기는 어려운 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 측량용 무인항공기를 대신하여 일반 저사양 무인항공기를 이용하였다.

공간정보 분야에서 무인항공기를 이용한 정사영상 정확도 평가 연구 중 회전익을 이용한 연구사례로는 Park and Lee(2016)는 저사양 회전익 무인항공기를 이용하여 소규모 경사지역에 대한 정사영상과 DEM을 제작하여 정확도를 평가하였으며, Lee(2015)는 회전익 무인항공촬영시스템(UAS: Unmanned Aerial Vehicle Sensor Systems) 영상기반의 정사영상지도에 대한 정확도 평가를 하였다. 고정익을 이용한 사례로는 Lee *et al.*(2015)은 고정익 UAV인 eBee를 이용하여 촬영방향에 따른 DEM 및 정사영상을 제작하고 정확도 분석을 했으며, Choi *et al.*(2015)은 소프트웨어 DPW를 이용하여 고정익 UAV 자료 처리에 대한 정확도 분석을 수행하였고, Lee and Choi(2015)는 고정익 무인항공기와 회전익 무인항공기를 이용하여 지형측량의 정확도 결과를 비교하였다.

무인항공기 영상을 이용해 제작된 정사영상을 활용한 연구사례로는 Park *et al.*(2016)은 무인항공기 영상 매핑을 통해 수동 방식으로 차선을 추출하여 정확도 평가를 수행하였고, Sung and Lee(2016)는 무인항공사진측량을 통해 농경지 필지의 경계 설정에 대한 정확도를 확인하였고, Lim *et al.*(2015)은 회전익 드론인 Phantom-3 이미지를 통해 나무의 높이와 임관을 계산하였으며, Kim *et al.*(2016)은 UAV 영상을 이용하

여 정사영상을 구축 후 히프 변환을 사용하여 건물 선형을 추출하고, 도로명 주소 기본도 건물 레이어에서 갱신 객체 탐지 연구를 수행하였다.

무인항공기를 사용하여 공간정보 연구의 확대를 위한 연구로는 Yoon *et al.*(2016)은 UAV의 공간정보분야 적용을 위해 표준안 작성에 대해 연구하였으며, Yoon and Lee(2014)는 무인항공기의 공간정보 통합운영에 대한 국내 적용 방안을 제시하였고, Kim *et al.*(2014)은 무인항공기의 국토모니터링분야에 효과적인 적용을 위한 연구를 하였다.

국외의 연구사례로는 Goncalves and Henriques(2015)는 UAV 사진측량을 통해 해안 지역의 지형 모니터링을 연구하였으며, Ruzgiene *et al.*(2015)은 UAV 사진측량을 기초로 표면 모델링에 대해 질적 평가를 하였으며, Uysal *et al.*(2015)은 Sahitler 언덕을 UAV 사진이미지를 통해 DEM의 생성과 정확도를 분석하였다.

기존의 무인항공기에 대한 연구를 보면 측량용 또는 일반용(저가형) 무인항공기를 이용하여 단일고도의 이미지로만 정사영상과 DEM을 제작하고, 정확도 평가 또는 활용에 대한 연구를 하였으며, 대부분의 연구에서 연구대상지를 평지로 선정하였다. 본 연구에서는 경사지역을 대상으로 단일고도의 영상과 다고도의 영상을 각각 이용하여 정사영상과 DEM을 제작하여 정확도 비교-분석을 하였다. 다고도 영상을 이용하여 정사영상을 제작할 경우 단일고도로 제작 할 때에 생길 수 있는 카메라 흔들림, 중복도에 대한 오차 등을 고도가 다른 영상으로 대체하여 보정 할 수 있어 자료 사용에 효율적이며 자료의 중복성을 줄이고, 신속하게 공간정보 구축 및 수정의 가능성을 확인할 수 있었다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 저사양 무인항공기를 사용하여 60m, 90m, 120m의 세 가지 고도로 중복도를 고려하여 촬영을 진행하였다. 먼저 중복도와 카메라 흔들림 오차가 발생한 고도 60m 영상을 이용하여 정사영상을 제작하고, 그 다음 오차가 난 60m 영상위에 90m, 120m의 다고도 영상을 올려 정사영상을 제작하였다. GPS 측량을 통해 GCP(Ground Control Point) 데이터를 취득하여 두 정사영상에 대한 정확도 검증을 진행하였으며, 연구 흐름도는 다음 Fig. 1과 같다.

## 3. 연구대상지 및 무인항공기 제원

연구대상지는 경상북도 상주시에 위치하고 있는 경북대학

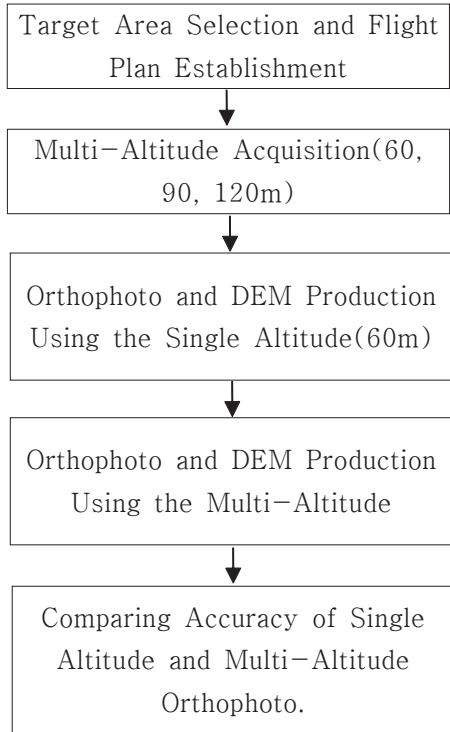


Fig. 1. Flow of study

교 상주캠퍼스로 선정하였다. 경북대학교 상주캠퍼스는 경사지로 이루어져 있으며, 대부분의 건물이 4층으로 이루어져 있다. 피복 상태는 운동장과 풋살장의 경우 인조잔디로 구성되어 있으며, 농구장의 경우 우레탄으로 되어있다. 그 이외의 구역은 천연잔디와 아스팔트로 구성되어 있다. 연구대상지는 다음 Fig. 2와 같다.



Fig. 2. Study area

본 연구에서 사용된 무인항공기는 중국 DJI사에서 제작한 Inspire 1이며, Inspire 1은 저사양 회전익 무인항공기이다. Inspire 1과 카메라 제원은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of Inspire 1 and camera

UAV		Camera	
			
Inspire 1		Fc 350	
Weight	2935g	Resolution	4,000 x 3,000(4:3) 4000 x 2250(16:9)
Flight Altitude	Max: 4500m	Pixel Size	1.561 x 1.561μm(4:3) 1.71 x 1.71(16:9)
Flight Time	Max: 18min	FOV	94°
Hovering Accuracy	Vertical : 0.5m, Horizontal: 2.5m	ISO	100
Speed	Max: 22m/s	Focal Length	3.61mm
Maximum Wind Resistance	10m/s	F-Stop	F/2.8

#### 4. 자료 취득 및 자료 처리

##### 4.1 무인항공기를 이용한 영상 취득

회전익 무인항공기인 Inspire 1을 이용하여 2016년 8월 중순에서 9월 초까지 촬영을 진행하였다. 비행코스 경우 고도에 따라 중복도를 고려하여 약 60m, 90m, 120m 총 세 가지의 단일 영상을 63매, 26매, 13매를 취득하였으며, 고도에 따른 단일 영상은 다음 Fig. 3과 같으며, Fig. 4는 카메라 흔들림으로 인해 발생한 60m의 영상이다.

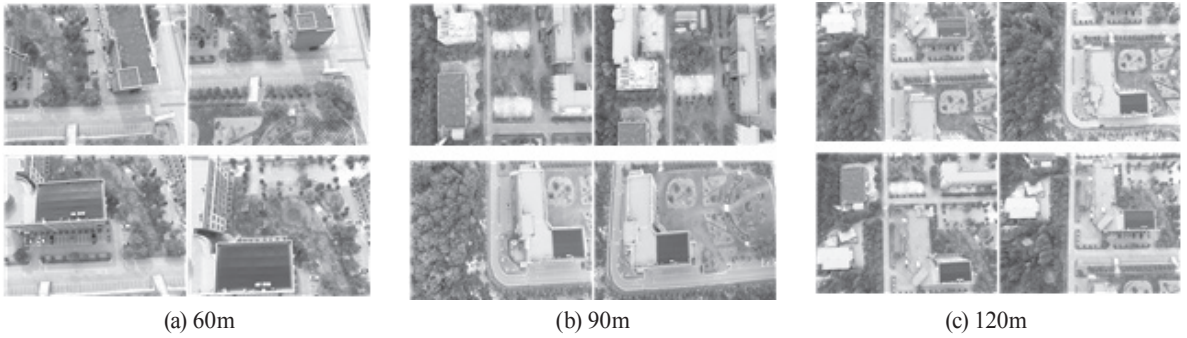


Fig. 3. A single image according to the height

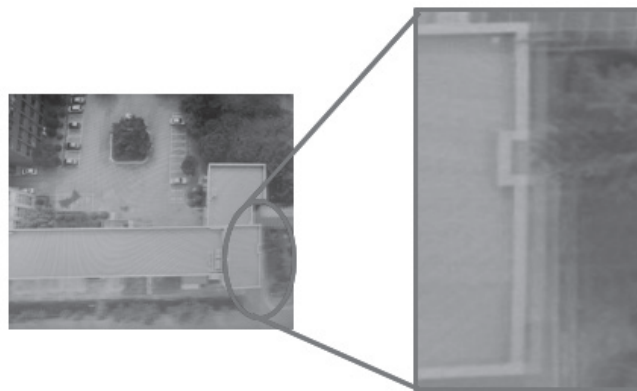


Fig. 4. Error image of altitude 60m

#### 4.2 지상기준점 및 검사점 측량

정사영상에 대한 정확도 검증을 하기 위해 지상기준점(GCP: Ground Control Point)과 검사점(Check Point) 측량을 수행하였다. 지상기준점과 검사점은 영상에서 식별이 용이한 맨홀 뚜껑 중앙 부분과 횡단보도선, 도로 중앙선의 끝부분 등을 사용하였으며, 측량에 사용된 GPS 장비는 Trimble사의 R8s를 사용하였다. 장비는 Fig. 5와 같고, 제원은 다음 Table 2와 같다. 측량 방법은 Network RTK 방식 중 하나인 VRS(Virtual Reference Station) 방식을 사용하였다. VRS 방식은 GPS 수신기 1대와 휴대폰 통신을 이용하여 현재 이동국의 GPS의 개략적인 위치를 가상기준점 서버에 전송하고, 전송된 정보를 3개의 상시관측소 정보를 통합하고 전리층과 대류층의 효과 등에 대한 계통적 오차를 제거한다. 제거된 오차는 위치보정 값을 이동국에 전송하고, 이 값을 이용하여 RTK 측량을 실시한다(Lee, 2013). VRS 측량 시 GPS 신호는 L1C/A, L1C, L2C, L5 신호를 수신하였으며, 그 외에도 GLONASS, SBAS, Galileo, BeiDou 위성의 신호도 같이 이

용하였다. GPS 위성의 수는 10 - 15개, 데이터 간격은 1초 간격으로 10초 이상 관측하여 공공측량 작업규정 제 2015-1530 호의 네트워크 RTK 측량 규정을 준수하였다. 또한, 허용정밀도 규정을 기준으로 수평 0.05m, 수직 0.10m 이내인 값들만 측량하였다.

Table 2. Trimble R8s Receiver

Type	Specifications
No. of channels	440 channels
Satellite signals	GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5 GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 SBAS: L1C/A, L5 (for SBAS satellites that support L5) Galileo: E1, E5A, E5B BeiDou: B1, B2
VRS precision	Horizontal: 8mm + 0.5 ppm RMS Vertical: 15mm + 0.5 ppm RMS





Fig. 5. Trimble R8s

VRS 측량을 통해 얻은 점 총 22점이며, 이 중 지상기준점으로 사용한 점은 총 7개의 점, 검사점은 총 15개의 점을 사용하였다. Fig. 6은 지상기준점과 검사점을 나타내며 빨간색 점이 지상기준점, 노란색 점이 검사점을 나타낸다. 지상기준점과 검사점은 단일고도와 다고도 동일하게 사용하였다. 지상기준점 결과는 다음 Table 3과 같으며, X, Y는 평면직각좌표를 나타내고, H는 KNGeoid 14 지오이드고 값을 나타낸다.

Table 3. GCP

No	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
16	420418.12	123289.75	74.96
19	420554.17	123161.50	81.08
24	420519.22	123307.40	78.49

### 4.3 자료처리

본 연구에서는 단일고도 60m의 영상과 다고도 영상을 각각 접합하여 DEM과 정사영상을 제작하였다. 다고도 영상의 경우 오차가 난 60m 영상 위에 90m, 120m 고도의 영상을 올려 DEM과 정사영상을 제작하였다.

#### 4.3.1 렌즈 왜곡 보정

우선 영상을 접합하기 전에 카메라 왜곡에 대한 검정이 필요하다. 카메라 검정과 영상 접합 및 처리는 Agisoft사의 PhotoScan 소프트웨어를 사용하였으며, 카메라 검정에 사용된 렌즈 왜곡 보정식은 Brown's Distortion Model이 사용되었다. 보정식은 다음 Eq. (1)이다.

$$\begin{aligned}
 x &= X/Z \\
 y &= Y/Z \\
 r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\
 x' &= x(1 + K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6 + K_4r^8) + (P_2(r^2 + 2x^2) + 2P_1xy)(1 + P_3r^2 + P_4r^4) \\
 y' &= y(1 + K_1r^2 + K_2r^4 + K_3r^6 + K_4r^8) + (P_1(r^2 + 2y^2) + 2P_2xy)(1 + P_3r^2 + P_4r^4) \\
 u &= u^*0.5 + c_x + x'f + xB_1 + y'B_2 \\
 v &= v^*0.5 + c_y + y'f
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

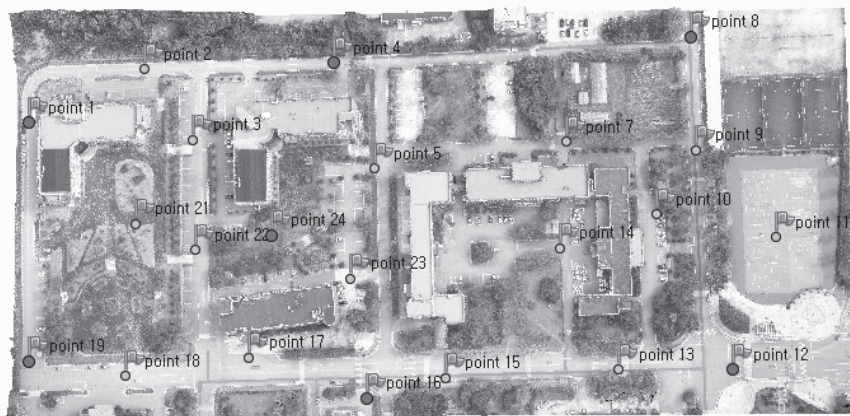


Fig. 6. GCP and check point

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.

을 가진 벡터 형식의 영상 잔차이다. 일반 저가형 카메라의 경우 FOV가 넓은 광각렌즈이기 때문에 고가의 측량용 카메라와는 달리 끝부분으로 갈수록 잔차가 심한 것을 볼 수 있다. Table 4와 5는 단일고도와 다고도에 대한 내부표정요소를 나타낸 것이며 초점거리, 주점좌표, 비대칭 계수, 방사형·접선형 왜곡량 계수를 나타낸 것이다.

Fig. 7과 8은 단일고도와 다고도 영상에 대한 크기와 방향

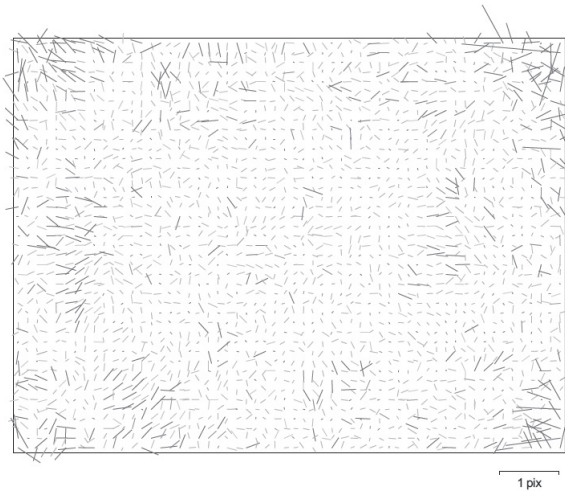


Fig. 7. Image residuals for single altitude

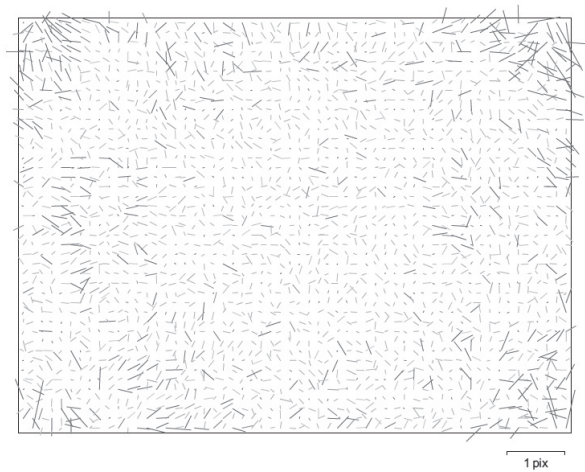


Fig. 8. Image residuals for multi-altitude

Table 4. Interior orientation parameters for single altitude

Focal Length(Pixel)		Principal Point(Pixel)		Skew Coefficient	Radial Distortion(mm)	
$f_x$	$f_y$	$C_x$	$C_y$		$p_1$	$p_2$
2340.55	2339.87	1966.86	1522.88	-0.313065	0.000374	0.000357
Tangential Distortion(mm)						
$k_1$		$k_2$		$k_3$		$k_4$
-0.141113		0.140884		-0.056808		0.018211

Table 5. Interior orientation parameters for multi-altitude

Focal Length(Pixel)		Principal Point(Pixel)		Skew Coefficient	Radial Distortion(mm)	
$f_x$	$f_y$	$C_x$	$C_y$		$p_1$	$p_2$
2338.44	2337.83	1964.02	1522.72	-0.682502	0.000584	0.000608
Tangential Distortion(mm)						
$k_1$		$k_2$		$k_3$		$k_4$
-0.141695		0.143118		-0.060084		0.019658

4.3.2 영상접합

영상 접합에 사용된 기법은 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 기법이다. SIFT 기법은 특징점 추출, 주방향 할당, 특징점 서술 및 정합쌍 추출 총 세 단계로 이루어진다. 특징점 추출은 가우시안 영상 간의 차영상(DoG: Difference of Gaussian)을 생성하고, 각 차영상에서 발생하는 극점이 특징점으로 추출된다. DoG가 생성되면 생성된 스케일에서 인접한 26개의 화소와 비교하여 극대치와 극소치를 후보점으로 추출한다. 그 다음 테일러2차 급수를 이용하여 후보점들의 정확한 위치를 정하고, 대비가 낮은 특집정은 제거 후 최종 특징점을 추출한다. 그 다음 각 특징점에 대해서 그래디언트(Gradient)의 방향과 크기를 결정해주고, 결정된 그래디언트를 히스토그램으로 구하고 히스토그램 저장소 값들을 일렬로 연결한  $4 \times 4 \times 8 = 128$ 차원의 벡터로 표현하여 정규화를 통해 영상의 값을 측정한다(Lowe *et al.*, 2004; Han *et al.*, 2013).

Fig. 9와 10은 단일고도와 다고도 영상을 SIFT 기법으

로 추출된 특징점들이며, 각각 특징점의 개수는 19,701개와 21,728개이다. 다고도 영상의 경우 단일고도 영상보다 특징점의 개수가 2,027개 더 추출되었으며, 특징점이 많이 추출될 경우 고밀도 점 자료를 기존보다 더 구축할 수 있어 흔들림과 중복도에 대한 오차가 보정된다.

4.3.3 DEM 및 정사영상 제작

우선 DEM 자료는 SfM(Structure from Motion) 기법을 통해 제작되어지며, SfM 기법은 SIFT 기법으로 추출된 특징점을 이용하는데 카메라의 자세와 축척이 달라도 3차원 상대적 좌표 값을 갖는 높은 밀도의 클라우드를 형성한다. 하지만 상대좌표이므로 VRS 방식으로 취득한 지상기준점을 입력하여 절대좌표로 변환해야 실제의 지상좌표로 사용할 수 있다. 지상기준점과 검사점을 입력한 다음 높은 밀도의 클라우드를 형성하고, 컴퓨터 성능에 따라 사용자가 품질을 선택할 수 있다. 높은 밀도로 형성된 클라우드를 통해 지형을 구축하고,



Fig. 9. Key point for single altitude

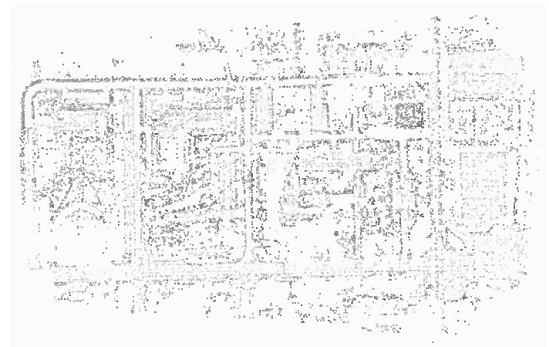


Fig. 10. Key point for multi-altitude

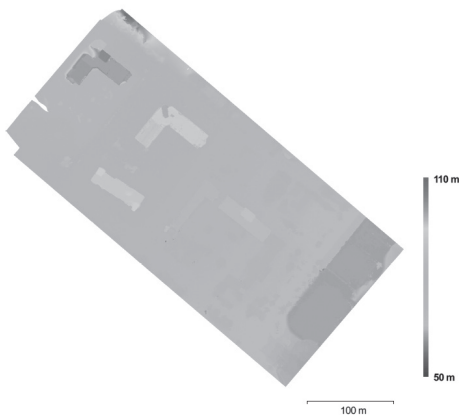


Fig. 11. DEM for single altitude

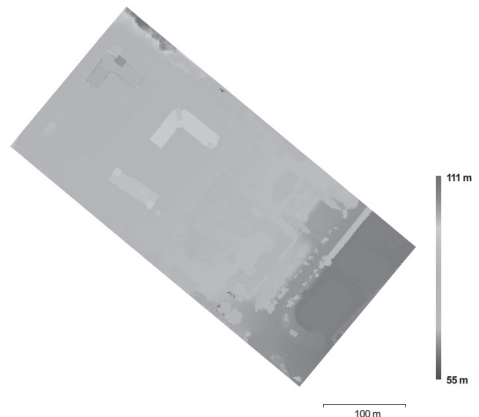


Fig. 12. DEM for multi-altitude



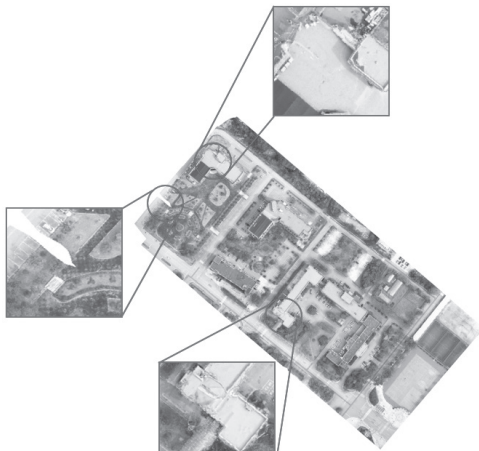


Fig. 13. Orthophoto for single altitude

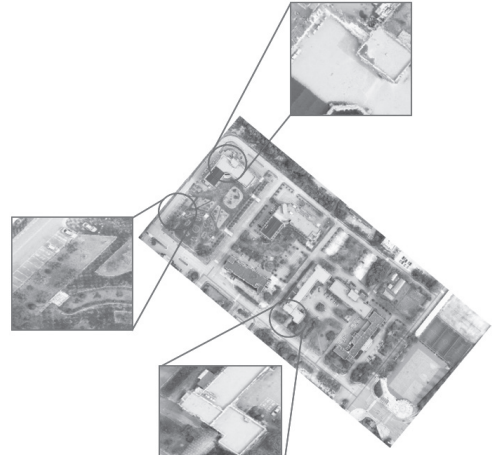


Fig. 14. Orthophoto for multi-altitude

구축된 자료를 통해 메쉬와 질감을 구축하여 DEM을 제작하고, 제작된 DEM과 영상자료를 이용하여 정사영상을 제작하였다. Fig. 11과 12는 단일고도와 다고도 영상으로 만든 DEM이며, Fig. 13과 14는 각각의 정사영상이다. Fig. 13의 경우 단일고도로 만든 정사영상으로 중복도와 카메라 흔들림 오차로 인해 정사영상이 올바르게 제작되지 못한 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 중복도 오차와 카메라 흔들림 오차로 인해 충분한 특징점이 생성되지 않아 고밀도의 점 구축이 적었기 때문이다. Fig. 14는 다고도 영상을 이용하여 정사영상을 제작하였으며, 단일고도 정사영상에서 발생한 영상 뒤틀림과 중복도 오차를 단일고도 보다 더 많은 특징점을 추출한 다고도 영상으로 보정하여 올바른 정사영상이 제작되었음을 볼 수 있다. 상주캠퍼스 경사지에 대한 지상표본거리(GSD: Ground Sampling Distance)의 경우 단일고도는 약 1.9 - 4.5cm이며, 다고도는 약 1.9 - 6.9cm 이다.

### 5. 단일고도와 다고도 정확도 비교·분석

제작된 정사영상에 대한 정확도는 총 15개의 검사점들을 이용하여 분석하였다. 단일고도에 대한 수평 및 수직 방향에 대한 최대오차는 0.048m, 0.048m이며, RMSE는  $\sigma_h = 0.030m$ ,  $\sigma_v = 0.048m$  이고, 다고도에 대한 수평 및 수직 방향에 대한 최대오차는 0.043m, 0.051m이며, RMSE는  $\sigma_h = 0.023m$ ,  $\sigma_v = 0.049m$  이다. 다음 Table 6, 7은 단일고도와 다고도 정사영상에 대한 검사점들의 수평 및 수직 방향에 대한 최대오차와 RMSE를 나타낸다.

무인항공기를 이용한 측량에서 오차의 원인으로는 카메라의 흔들림과 중복도의 오차, 지상기준점 측량 시 대공표지점 미사용으로 인한 오차 등이 있다. 본 연구에서는 단일고도의 경우 정확도는 높게 나왔지만 카메라의 흔들림과 중복도의 오차로 인해 DEM과 정사영상의 제작이 옹게 나오지 못하였

Table 6. Check point errors for single altitude

Label	XY error (m)	Z error (m)
point 2	0.1110100	0.0044880
point 3	0.0337719	-0.0003300
point 5	0.0199762	-0.0363300
point 7	0.0716550	-0.0068100
point 9	0.0329972	0.0285650
point 10	0.0349485	0.0388770
point 11	0.0304925	0.0795380
point 13	0.0263525	0.0063770
point 14	0.0284464	0.0200970
point 15	0.0251796	-0.0228700
point 17	0.0327199	-0.0448400
point 18	0.0923115	0.1436000
point 21	0.0297240	0.0007360
point 22	0.0014988	-0.0304500
point 23	0.0097184	0.0183610
STDEV	0.0298309	0.0480070
Maximum Value	0.0482681	0.0482390



**Table 7. Check point errors for multi-altitude**

Label	XY error (m)	Z error (m)
point 2	0.0738447	0.0520607
point 3	0.0238903	0.0351031
point 5	0.0129061	-0.0532204
point 7	0.0736669	-0.1044500
point 9	0.0216561	-0.0324183
point 10	0.0268565	-0.0773988
point 11	0.0478391	0.0322668
point 13	0.0545949	0.0008397
point 14	0.0421563	-0.1032270
point 15	0.0123530	-0.0234282
point 17	0.0426158	-0.0034159
point 18	0.0648771	0.0299189
point 21	0.0389924	0.0083140
point 22	0.0121370	-0.0093751
point 23	0.0031329	-0.0170179
STDEV	0.0230385	0.0490107
Maximum Value	0.0429799	0.0505478

음을 Fig. 11과 13을 통해서 확인할 수 있다. 이러한 문제를 다 고도 영상을 통해서 높은 정확도의 결과와 카메라 흔들림, 중복도 문제를 해결할 수 있음을 확인할 수 있었다. 제작된 정사 영상에 대한 정확도는 국토지리정보원에서 규정한 ‘항공사진 측량 작업규정 제2015-1530호 제 5장 56조’를 기준으로 평가 하였으며, 다음 Table 8과 같다. 다고도 정사영상은 1/500 축척 RMSE와 최댓값 이내임을 확인할 수 있었다.

**Table 8. Scale according to the standard deviation and the maximum error**

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

## 6. 결론

본 연구에서는 저사양 무인항공기 Inspire 1을 이용하여 단

일영상에 대한 카메라 흔들림, 중복도 오차를 다고도 영상을 이용하여 높은 정확도를 유지하면서 흔들림과 중복도에 대한 보정을 수행하였으며, 수행 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 저사양 무인항공기를 이용하여 경사지역에 대한 다고도 영상을 통해 수평 및 수직 방향에 대한 최대오차는 0.043m, 0.051m이며, RMSE는  $\sigma_h = 0.023m$ ,  $\sigma_v = 0.049m$ 으로 국토지리정보원 항공사진측량규정 1/500 축척 지도의 허용기준을 만족하여 대축척 지도인 1/500 지도 제작의 가능함을 확인할 수 있었다. 둘째, 단일고도 영상에 대한 흔들림과 중복도에 대한 오차 발생 시 다고도 영상을 통해 특징점이 2,027개가 더 추출되어 고밀도 점 자료가 구축되어 보정할 수 있음을 확인하였다. 마지막으로 같은 지역일 경우 다른 고도에 대한 데이터를 공유할 수 있어 지형지물 대한 빠른 공간정보 갱신의 가능함과 데이터 중복을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

향후 연구과제로는 소규모 지역이 아닌 대규모 지역에 대한 다고도 정사영상 제작 및 정확도 평가와 화소 수가 다른 영상을 통해 매끄러운 정사영상 제작이 가능한지에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

## 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 with English abstract)

Goncalves, J.A. and Henriques, R. (2015), UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 104, pp. 101-111.

Han, Y.K., Kim, Y.I., Han, D.Y., and Choi, J.W. (2013), Mosaic image generation of AISA eagle hyperspectral sensor using SIFT method, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 31, No. 2, pp. 165-172. (in Korean with English abstract)

Kim, J.Y., Lee, J.B., and Yeom, J.H. (2016), Detection of updating feature in building layer of korea address information system using UAV image, *Journal of the Korean Society of Cadastre*, Vol. 32, No. 1, pp. 121-131. (in Korean with English abstract)

- Kim, D.I., Song, Y.S., 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 and Cartography*, Vol. 32, No. 1, pp. 29-38. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.B. (2013), Accuracy evaluation of the height determined by network-RTK VRS positioning, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 21, No. 4, pp. 55-63. (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, S.J. and Choi, Y.S. (2016), 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 with English abstract)
- 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 Cadastre Information Association*, Vol. 17, No.3, pp. 141-149. (in Korean with English abstract)
- Lim, Y.S., La, P.H., Park, J.S., Lee, M.H., Pyeon, M.W., and Kim, J.I. (2015), Calculation of tree height and canopy crown from drone images using segmentation, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 33, No. 6, pp. 605-613. (in Korean with English abstract)
- Lowe, D.G. (2004), Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110.
- Park, C.H., Choi, K.A., and Lee, I.P. (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)
- Park, J.H. and Lee, W.H. (2016), Orthophoto and DEM generation in small slope areas using low specification UAV, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 34, No. 3, pp. 283-290. (in Korean with English abstract)
- Ruzgiene, B., Berteska, T., Cecyte, S., Jakubauskiene, E., and Aksamitauskas, V.C. (2015), The surface modelling based on UAV photogrammetry and qualitative estimation, *Measurement*, Vol. 73, pp. 619-627.
- Sung, S.M. and Lee, J.O. (2016), Accuracy of parcel boundary demarcation in agricultural area using UAV-photogrammetry, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 34, No. 1, pp. 53-62. (in Korean with English abstract)
- 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.
- Yun, B.Y. and Lee, J.O. (2014), A study on application of the UAV in Korea for integrated operation with spatial information, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 22, No. 2, pp. 3-9. (in Korean with English abstract)
- Yun, B.Y., Lee, J.O., and Lee, D.S. (2016), A study on the enactment of UAV standard estimating for applying in spatial information area, *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, Vol. 18, No. 1, pp. 123-132. (in Korean with English abstract)