

# UAV를 활용한 비행고도별 지적기준점 및 필지경계점 정확도 분석 Accuracy Analysis of Cadastral Control Point and Parcel Boundary Point by Flight Altitude Using UAV

김정훈<sup>1)</sup> · 김준현<sup>2)</sup>

Kim, Jung Hoon · Kim, Jun Hyun

## Abstract

In this study was classified the cadastral control points and parcel boundary points into 40m, 100m by flight altitude of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) which compared the coordinates extracted from the orthophoto with the parcel boundary point coordinates by GNSS (Global Navigation Satellite System) ground survey. As a results of this study, first, in the spatial resolution analysis that the average error of the orthoimage by flight altitude were 0.024m at 40m, and 0.034m at 100m which were higher 40m than 100m for spatial resolution of orthophotos and position accuracy. Second, in order to analyze the accuracy of image recognition by airmark of flight altitude that was divided into three cases of nothing, green, and red of RMSE (Root Mean Square Error) were  $X=0.039m$ ,  $Y=0.019m$  and  $Z=0.055m$ , the highest accuracy. Third, the result of the comparison between orthophotos and field survey results that showed the total RMSE error of the cadastral control points were  $X=0.029m$ ,  $Y=0.028m$ ,  $H=0.051m$ , and the parcel boundary points were  $X=0.041m$ ,  $Y=0.030m$ . In conclusion, based on the results of this study, it is expected that if the average error of flight altitude is limited to less than 0.05m in the legal regulations related to orthophotos for cadastral surveying, it will be an economical and efficient method for cadastral survey as well as spatial information acquisition.

Keywords : Cadastral Control Points, Parcel Boundary Points, Orthophotos, Flight Altitude

## 초 록

본 연구는 지적기준점과 필지경계점에 대하여 무인항공기를 비행고도별로 40m, 100m로 구분하고 정사영상과 GNSS 지상현황측량을 통한 필지경계점 좌표간의 차이를 비교하여 정확도를 제시하였다. 연구결과, 첫째, 공간해상도 분석에서 비행고도별 정사영상에 대한 평균오차는 40m일 때 0.024m, 100m일 때 0.034m의 정확도로 나타났고, 비행고도 100m보다 40m에서 공간해상도와 위치 정확도가 높은 것으로 분석되었다. 둘째, 비행고도에 따른 지형지물별 영상인식의 정확도 분석을 위해 대공표지 없음, 녹색, 적색의 세가지 경우로 구분하여 비교한 결과 적색의 경우 RMSE가  $X=0.039m$ ,  $Y=0.019m$ ,  $Z=0.055m$ 로 가장 높은 정확도로 나타났다. 셋째, 정사영상과 현장실측을 통한 좌표를 비교한 결과 지적기준점의 경우 전체 RMSE는  $X=0.029m$ ,  $Y=0.028m$ ,  $H=0.051m$ 로 나타났고, 필지경계점의 경우  $X=0.041m$ ,  $Y=0.030m$ 로 나타났다. 결론적으로 본 연구결과를 토대로 볼 때, 지적측량을 위한 정사영상 관련 법률규정에서 비행고도별 평균오차 0.05m 미만으로 제한한다면, 공간정보취득 뿐만 아니라 지적측량에도 경제적이고 효율적인 방법이 될 것으로 기대한다.

핵심어 : 지적기준점, 필지경계점, 정사영상, 비행고도

Received 2018. 07. 24, Revised 2018. 08. 07, Accepted 2018. 08. 17

1) Dept. of Daegu-Kyungpook Regional Headquarter, Korea Land and Geospatial Information Corporation (E-mail: jhkin@lx.or.kr)

2) Corresponding Author, Member, Dept. of Spatial Information Science, Kyungpook National University (E-mail: kamcho78@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

최근 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)를 이용하여 공간정보 데이터를 취득하는 기법이 크게 발전하고 있으며, UAV는 탑재된 카메라, 소프트웨어, 지상기준점, 비행 환경 등에 따라 다양한 공간정보의 현황분석이 가능해짐에 따라 시설물 및 구조물 조사, 국공유지 조사, 문화재 정밀측량, 재난재해, 국토모니터링 조사 등에서 활용도가 더욱 높아지고 있는 추세에 있다.

이렇듯 무인항공기에 의한 공간정보의 취득과 활용은 신속성, 경제성 및 편리성 등에서 기존의 방법에 비해 우수하고 무인항공기의 특성상 사람이 접근하기 어렵거나 장애물이 많은 지역의 각종 재난, 재해 등 안전예방과 신속대응에 필요한 현황정보의 수집과 공간정보의 분석 및 지도제작 등이 가능하다(Kim *et al.*, 2014; Shin *et al.*, 2017). 또한 국토 전반에 걸친 모니터링이나 국공유지 실태조사 등과 같은 지속적으로 관리되어야 하는 업무에서 기존의 문제점인 인력과 시간부족, 영상의 최신성, 정확성 부족으로 인한 조사결과(Lee *et al.*, 2017)가 미흡한 관리체계에서 현재는 무인항공기에 의한 정사영상기반의 DEM (Digital Elevation Model), DSM (Digital Surface Model)은 물론 3차원 공간정보 분석과 정확성을 위한 연구가 진행되어 왔다(Uysal *et al.*, 2015; Yoo *et al.*, 2016; Eker *et al.*, 2018; Lee, 2018).

또한 구조물이나 시설물 등의 정확한 현황을 분석하기 위한 연구(Feng *et al.*, 2014; Yeum and Dyke, 2015)와 GSD (Ground Sample Distance) 1cm급의 고정밀의 고해상도 영상취득과 실시간으로 고해상도 3~5cm급 영상을 기반으로 지속적인 모니터링 및 관리시스템을 통한 공간정보의 통합관리를 위한 연구도 진척되고 있다(Yun and Lee, 2014; Han, 2017).

이렇듯 기존의 공간정보 취득분야에서 토털스테이션, GPS (Global Positioning System) 등 정확한 위치결정에 많은 인력과 시간을 들여 현장에서 직접 측량하여야 하는 어려움과 후처리를 통한 데이터 관리가 점차적으로 무인항공기로 대체되고 있으며, 4차 공간정보 산업의 중추적인 역할을 수행하고 있다. 최근 공간정보 산업에서 무인항공기를 활용한 다양한 정책이나 행정업무가 추진되면서 개인의 사적 소유재산과 관련된 업무는 한번 결정되고 나면 그에 따르는 파급효과는 다른 일반 재화에 비하여 현저히 그 영향력이 크게 작용함으로 국가차원에서의 관리를 철저히 하여야 한다(Kim, 2006).

특히 개인의 소유재산과 관련된 건물이나 논, 밭 등의 필지

로 구획되어 있는 경계점을 최종적으로 정확하게 결정하는 부분은 매우 중요하다. 즉, 국민의 재산권과 관련된 토지나 필지경계 등에 있어서 객관적이고 정확한 업무수행을 위해서는 법률적 기준인 오차허용범위를 충족시키는 무인항공기의 적절한 고도와 해상도는 어느 수준이며, 또한 어떠한 색상이나 형상의 대공표지에서 보다 정확한 육안판독이 가능한지를 우선적으로 분석되어야 한다는 것이다.

그럼에도 불구하고 현재까지 토지분쟁이나 필지경계와 관련하여 지적재조사사업에서의 정사영상 적용가능성(KCSC, 2014), 필지경계 설정 정확도(Sung and Lee, 2016), 부동산종합공부시스템에서 정사영상의 적용(Park and Hong, 2017) 등과 관련된 연구가 수행되었으며 무인항공기의 대공표지 색상이나 고도별 해상도에 따른 수치적인 분석을 제시한 연구는 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 지적기준점과 필지경계점에 대해 비행고도별로 40m, 100m로 구분하여 대공표지를 색상별로 구분하여 설치하고 정사영상 생성 및 필지좌표를 추출한 후 GNSS (Global Navigation Satellite System) 지상현황측량을 통한 필지경계점 좌표간의 차이를 비교하여 해상도에 따른 오차분석 및 정확도를 제시하였다. 또한 이러한 정확도 평가는 향후 무인항공기를 활용한 지적측량에서 지적기준점 측량이나 또는 필지경계점 좌표측량에 있어 적절한 비행고도와 필지경계점의 대공표지 색상이나 형상 등을 선택하는 방법론에서 기초적인 방향과 참고정보를 제공하는 것이 본 연구의 부차적인 목적이다.

## 2. 데이터 취득 및 처리

### 2.1 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 먼저 영상촬영은 2016년 6월 10일에 실시하였고, 지상기준점 측량 및 지상측량은 2016년 6월 20일에 실시하였다.

공간적 범위는 Fig. 1과 같이 '경상북도 예천군 호명면 산합리 507-2번지(경북 신도청)' 일원으로 구획정리 지역으로 건물과 상공장애가 없어 Fig. 2(a)의 지적기준점과 Fig. 2(b)의 블록내의 필지경계점 측량이 매우 유리한 조건을 갖추고 있는 지역이다.

내용적 범위는 무인항공 사진측량을 통하여 정사영상을 제작하고 정사영상에서 추출된 지적기준점 좌표 및 필지경계 좌표와 기존의 측량방법인 GNSS측량에 의하여 산출된 성과간 비교 분석을 통하여 그 오차를 확인하고 무인항공기를 활용한 좌표 정확도를 검증하고자 하였다.

본 연구의 데이터 취득에 사용된 장비는 Phantom 3 Professional 회전익 드론장비이며, 비행사진촬영의 중첩도는 중중복, 횡중복도 80%로 동일하게 설정하고 촬영고도는 40m와 100m로 각각 다르게 설정하여 촬영 해상도의 차이를 확인하고 좌표 추출에 대한 영향을 분석하였다. 촬영대상 지역의 면적은 회전익 비행속도를 고려하여 가로 180m 세로 280m로 하였으며 비행속도는 비행고도 40m에서 비행속도는 3m/s로 설정하였다. 그리고 비행고도 100m에서 비행속도 5m/s로 설정하여 지적기준점과 필지경계점 모두 동일하게 적용하였다.

또한 지상기준점측량은 각 각의 비행고도에 따라 시각적 선명도의 비교를 위해 각 측정별로 대공표지 색상의 종류를 다양하게 설치하였으며 정사영상의 객관적인 정확도의 비교, 분석을 위하여 Network RTK (Real Time Kinematic) 측량을 통해 각 점의 기준점 및 필계 좌표를 취득하였다.

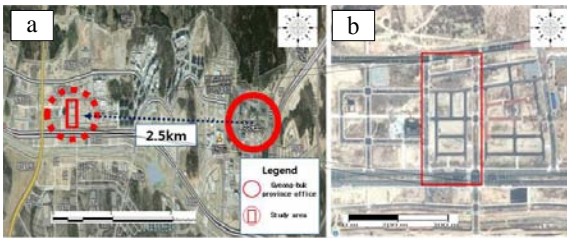


Fig. 1. Around study area (a), study area (b)

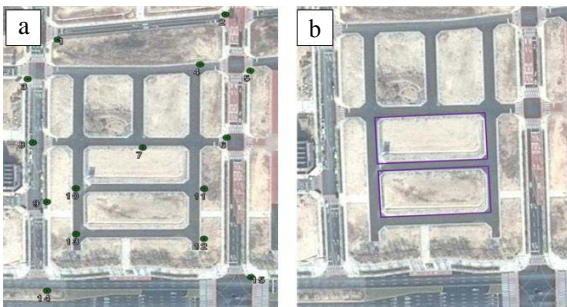


Fig. 2. Cadastral control point distribution map(a) and parcel boundaries observation block(b)

## 2.2 지상기준점 측량 및 Network RTK 데이터취득

본 연구에서 비행영상과의 영상정합을 위한 지상기준점 측량(GCP: Ground Control Point)은 2016년 6월 20일에 실시하였고 Sokkia GRX2를 이용하여 총 11점을 Network RTK 측량으로 관측하였다. 또한 Network RTK에 의한 지

상기준점 측량과 지상측량 모두 동일한 관측방법으로 고정해를 얻고 나서 30초 이상 관측하였으며 데이터 수신간격은 1초, 동시 수신 위성수는 5개 이상, 고도각은 15°를 기준으로 하였다.

PDOP (Position Dilution of Precision)가 3 이상인 경우와 정밀수평도 3cm이상, 수직정밀도 5cm이상인 경우 관측을 중지하고 수신기 초기화 시간이 3회 이상 3분을 초과할 경우 관측을 중지하도록 하였다. 대공표지는 사진촬영 시 이용한 카메라의 해상도와 촬영고도를 고려하여 50cm×50cm 크기로 제작하여 설치하였다. Fig. 3(a)는 GPS 측량장비를 보여주고 있고, Fig. 3(b)는 무인항공기 촬영영상과 지상기준점 영상매칭을 위한 대공표지이며, Fig. 3(c)는 지상기준점 측량을 하고 있는 것을 보여주고 있다.

Fig. 4(a)는 지상기준점 측량에 사용된 GCP 위치도를 보여주고 있고, Fig. 4(b)는 지적기준점 관망도를 보여주고 있으며, Fig. 4(c) 필지경계점 관망도를 보여주고 있다.

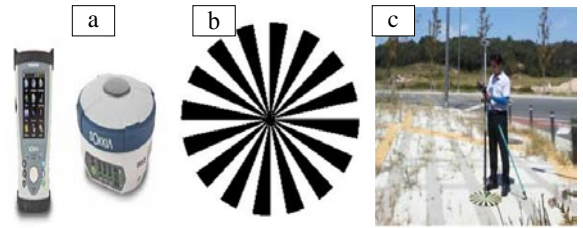


Fig. 3. GPS survey set(a), airmarker(b), GCP surveying(c)

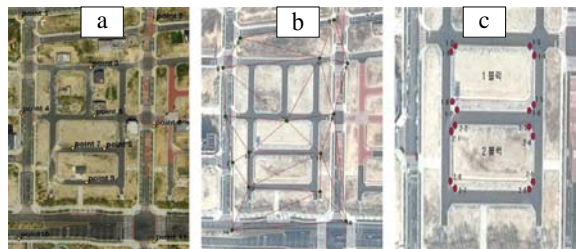


Fig. 4. GCP map(a), cadastral control point network map(b), parcel boundaries point network map(c)

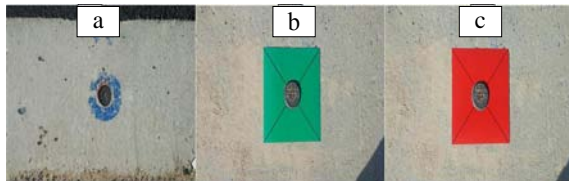
## 2.3 영상촬영 및 처리

연구지역의 영상취득은 팬텀3 프로페셔널 무인항공기를 이용하여 대공표지 11점과 지적기준점 15점, 필지경계 1블럭 8점, 2블럭 8점으로 필지경계점은 총 16점을 촬영하였다. 영상촬영을 위해 사용된 카메라 등 영상정보는 Table 1과 같다.

**Table 1. Related to flight image information**

Division	Contents	
Camera specifications	· Model : FC300X (3.61mm) · Resolution : 4000×3000 · Focal length : 3.61mm · Pixel size : 1.56195×1.56192um	
Flight height	40m	100m
Endlap · Sidelap	80%	80%
Number of pictures	451	131
Flight speed	3m/s	5m/s

지적기준점의 영상촬영을 위해 비행고도에 따른 기준점과 필지경계점의 시각적인 해상도를 높이기 위해 지적기준점과 필지경계에 대공표지 색상을 달리하여 관측하였다. 먼저 지적기준점의 경우 기준점의 직경을 고려하여 중앙부에 원형의 홈을 파고 기존 도근점에 설치가 가능하도록 하였으며 크기를 가로 20cm 세로 20cm로 15점의 기준점에 Fig. 5와 같이 대공표지가 없는 것(a)과 녹색(b), 적색(c)으로 구분하여 설치하였다.



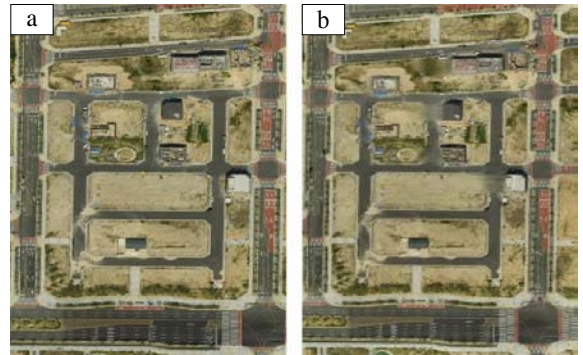
**Fig. 5. Airmark color of cadastral control point**

그리고 지상기준점정합(GCP matching)은 대상지 Network RTK에 의한 지상기준점측량을 통해 영상에서 촬영된 지상기준점과의 중첩 작업을 거쳐 각 사진의 영상을 정합하였다. 영상촬영에서 비행고도 40m와 100m의 GCP 11점에 대한 RMSE (Root Mean Square Error)는 Table 2와 같이 비행고도 40m일 때 약 0.0025m, 비행고도 100m일 때 약 0.0104m로 산출되어 비행고도에 따른 GCP점들의 합계오차는 비행고도가 높을수록 GCP의 오차가 더 많이 발생하는 것으로 확인되었지만 결과적으로 두 경우 모두가 양호한 것으로 나타났다. 또한 영상정합 후처리는 Agisoft의 Photoscan 소프트웨어를 사용하였고, Photoscan은 촬영된 각 사진들의 영상정합 작업시 대상물에 대하여 포인트 클라우드 작업을 수행하고 메쉬 구축(build mesh)과 질감구축(build texture)의 작업과정을 거쳐 40m, 100m의 정사영상을 생성하였다. Table 2는 고도별 지상기준점 측량오차를 보여주고 있고, Fig. 6은 40m 정사영상(a),

100m(b)의 정사영상을 보여주고 있다. Table 3은 40m, 100m 고도에서 촬영된 정사영상의 제원을 보여주고 있다.

**Table 2. GCP errors by altitude**

GCP points	Northing (m)	Easting (m)	Height (m)	Error (m)	
				40m	100m
GCP 1	442,283.677	153,140.927	103.398	0.000756	0.007058
GCP 2	442,280.281	153,307.935	102.634	0.000722	0.004219
GCP 3	442,214.031	153,228.308	102.352	0.001960	0.008507
GCP 4	442,150.943	153,142.125	101.414	0.001459	0.006470
GCP 5	442,146.651	153,232.966	101.481	0.002400	0.003899
GCP 6	442,132.090	153,306.281	101.755	0.000947	0.002971
GCP 7	442,102.851	153,206.202	100.161	0.001251	0.002412
GCP 8	442,102.041	153,245.262	100.495	0.002920	0.004251
GCP 9	442,055.289	153,223.314	99.054	0.005056	0.006594
GCP10	441,976.774	153,139.201	97.874	0.001802	0.023012
GCP11	441,973.194	153,307.171	99.141	0.000884	0.008350
Total				0.002584	0.010443



**Fig. 6. Orthophotos 40m(a) and 100m(b)**

**Table 3. Comparison of orthophotos information by flight altitude**




Division	40m	100m	Division	40m	100m
Number of images	451	131	Camera stations	451	131
Flying altitude	45.743m	101.441m	Tie points	230,73	7587
Ground resolution	0.017,0678 m/pix	0.034,7297 m/pix	Projections	337,162	115,879
Coverage area	0.088,1506 sq/km	0.105275 sq/km	Error	1.696 pix	1.699 pix

### 3. 좌표생성 및 대공표지 식별

#### 3.1 정사영상에 의한 지적기준점 좌표생성

무인항공기를 활용하여 연구대상지에 촬영을 완료하고 후 처리를 통하여 정사영상을 생성하고 Autocad Map에서 해당 지적도 또는 구획정리 작업파일을 입력하고 그 위에 정사영상을 중첩한 후 세계좌표 동부원점으로 생성된 정사영상에서 지적기준점의 좌표를 추출하였다. Table 4는 정사영상에서 지적기준점 좌표를 생성하고 있는 것을 보여주고 있다. 여기서 40m에서 보이는 영상은 식별이 용이하지만 100m에서 보이는 영상은 식별이 용이하지 않으며, 매칭자의 주관에 따라 다소 오차가 발생할 수 있음을 보여주고 있다.

Table 4. Creation of cadastral control point coordinates in orthophotos

Flight height(40m)	Flight height(100m)
	
	

#### 3.2 정사영상에 의한 필지경계점 좌표생성

Autocad 프로그램에서 지적도와 정사영상을 중첩시키고 지적도 위에 각 경계점 모서리마다 붉은색의 원으로 각 점들의 위치위에 생성하고, Table 5와 같이 영상에서도 동일한 방법으로 블록 경계점을 확대한 후 검은색 ⊗ 원 표시로 각 경계점의 모서리 위치에 나타내고 해당 경계점의 좌표를 추출하였다. Fig. 7(a)는 필지경계점의 전체적인 리스트를 보여주고 있고, Fig. 7(b)와 Fig. 7(c)는 정사영상에서 필지경계점 좌표를 매칭시켜 좌표를 생성하는 과정을 보여주고 있다.

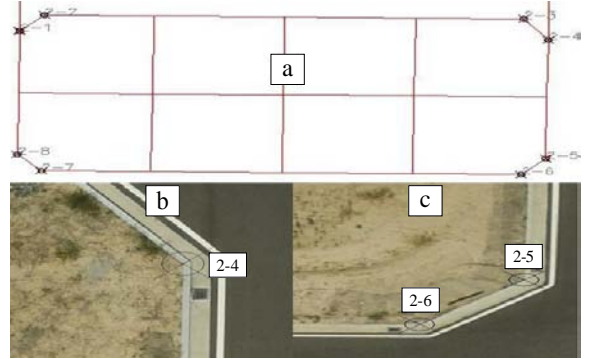


Fig. 7. Creation of parcel boundary points coordinates in orthophotos

#### 3.3 Network RTK 의한 지적기준점 및 필지경계점 좌표 생성

정사영상에서 Autocad 도화과정을 거쳐 지적기준점 15점, 필지경계점 16점에 대해서 좌표추출 완료후 추출된 좌표의 정확도를 확인하기 위하여 Network RTK 현장 관측을 실시하여 좌표를 생성하여 비교하였다.

좌표생성을 위한 수신기의 환경설정은 관측시간 30초 이상으로 설정하고 정확도 H=0.03m, V=0.05m, 안테나 높이 1.80m로 설정 후 관측을 실시하고 파일전송을 통해 파일단위를 체크하고 포맷형식은 NEZ\*CSV로 선택 후 저장 파일명을 입력하였다.

좌표계는 GRS80 (Global Reference System 1980), zone 3로 설정을 하였고 생성된 좌표는 소수 셋째자리까지 산출하여 정리하였다.

### 4. 좌표생성 분석결과

#### 4.1 정사영상에서 비행고도별 지적기준점 좌표비교

비행고도별 정사영상에서 지적기준점의 좌표를 추출하였고 추출된 좌표의 비행고도별 좌표를 비교한 결과 Table 5와 같이 나타났다. 비행고도 40m의 정사영상 좌표를 X, Y, Z값으로 표시하고 비행고도 100m의 정사영상 좌표를 X', Y', Z'표시하여 오차 X-X', Y-Y', Z-Z'를 산출한 결과 기준점 5번에서 최소오차인 X=-0.011m, Y=0.003m, Z=0.014m로 나타났으며, 기준점 11번에서 최고오차인 X=-0.058m, Y=0.064m, Z=-0.100m의 결과를 나타냈다. 각 기준점에서 최소차와 최고차의 전체 RMSE는 X=0.041m, Y=0.030m, Z=0.064m의 결과를 보였다.

또한 Table 6과 같이 Table 5의 오차를 별도로 색상별로 구분하여 지형·지물별 영상인식의 정확도를 적색, 녹색, 대공표

**Table 5. Comparison of orthophotos and cadastral control point coordinates by flight altitude**

NO	Orthographic image coordinates 40m			Orthographic image coordinates 100m			Error (m)			Color
	X	Y	Z	X''	Y''	Z''	X-X''	Y-Y''	Z-Z''	
1	442,246.511	153,163.941	102.710	442,246.522	153,163.951	102.597	-0.011	-0.010	0.113	Green
2	442,270.092	153,288.797	102.401	442,270.153	153,288.803	102.408	-0.061	-0.006	-0.007	Green
3	442,207.766	153,141.798	102.140	442,207.796	153,141.754	102.184	-0.030	0.044	-0.044	Nothing
4	442,221.152	153,269.733	102.255	442,221.142	153,269.744	102.274	0.010	-0.011	-0.019	Red
5	442,214.726	153,306.889	102.127	442,214.715	153,306.886	102.113	0.011	0.003	0.014	Green
6	442,149.512	153,288.812	101.858	442,149.510	153,288.828	101.759	0.002	-0.016	0.099	Red
7	442,140.219	153,226.554	101.446	442,140.163	153,226.562	101.441	0.056	-0.008	0.005	Nothing
8	442,145.809	153,145.437	101.134	442,145.767	153,145.435	101.177	0.042	0.002	-0.043	Green
9	442,087.842	153,155.118	99.705	442,087.896	153,155.144	99.608	-0.054	-0.026	0.097	Nothing
10	442,100.969	153,176.839	99.924	442,100.924	153,176.856	100.024	0.045	-0.017	-0.100	Nothing
11	442,099.645	153,271.605	100.601	442,099.587	153,271.541	100.701	0.058	0.064	-0.100	Green
12	442,050.668	153,270.966	99.624	442,050.684	153,270.964	99.655	-0.016	0.002	-0.031	Red
13	442,056.332	153,176.242	98.801	442,056.391	153,176.249	98.795	-0.059	-0.007	0.006	Red
14	442,000.834	153,153.836	97.977	442,000.842	153,153.766	97.943	-0.008	0.070	0.034	Nothing
15	442,012.638	153,305.718	99.030	442,012.701	153,305.756	98.966	-0.063	-0.038	0.064	Red
<b>RMSE</b>							<b>0.041</b>	<b>0.030</b>	<b>0.064</b>	

**Table 6. Color error by flight altitude**

Point name	Color	X (m)	Y (m)	Z (m)
4	Red	0.01	-0.011	-0.019
6		0.002	-0.016	0.099
12		-0.016	0.002	-0.031
13		-0.059	-0.007	0.006
15		-0.063	-0.038	0.064
<b>RMSE</b>		<b>0.039522</b>	<b>0.01936</b>	<b>0.055236</b>
1	Green	-0.011	-0.01	0.113
2		-0.061	-0.006	-0.007
5		0.011	0.003	0.014
8		0.042	0.002	-0.043
11		0.058	0.064	-0.1
<b>RMSE</b>		<b>0.04264</b>	<b>0.029138</b>	<b>0.070517</b>
3	Nothing	-0.03	0.044	-0.044
7		0.056	-0.008	0.005
9		-0.054	-0.026	0.097
10		0.045	-0.017	-0.1
14		-0.008	0.07	0.034
<b>RMSE</b>		<b>0.042523</b>	<b>0.039661</b>	<b>0.067121</b>

지 없음의 세가지 경우로 RMSE를 비교한 결과 미세한 차이로 나타났으나 적색의 경우 X=0.039m, Y=0.019m, Z=0.055m로

가장 높은 정확도를 보였으며, 다음으로 녹색, 대공표지 없음 순으로 오차가 발생하였다.

특히, 적색과 대공표지 없음의 차이는 X의 경우 약 2cm, Y의 경우 약 1cm의 차이를 보였다. 이는 기준점의 배경 바닥의 색상에 따라 시각적 명암비가 다르게 나오며 본 연구 대상지의 바닥처럼 콘크리트나 아스팔트의 경우 적색의 대공표지가 시각적 해상도 및 좌표 산출의 정확도가 높은 것으로 분석되었다.

**4.2 정사영상에서 비행고도별 필지경계점 좌표비교**

비행고도별 필지경계점의 좌표생성에 미치는 오차를 비교하였다. 2개의 블록에 한하여 1블럭 8점, 2블럭 8점을 선정하여 총 16점에 대하여 X, Y, 수평값만 비교하였다. 1블럭의 경우 최소차는 필지경계 1-5로 X=0.000m, Y=0.013m, 최고차는 필지경계점 1-3으로 X=0.067m, Y=-0.066m로 나타났다.

1블럭 전체 RMSE는 X=0.048m, Y=0.030m의 결과를 보였다. 2블럭의 경우 최소차는 필지경계 2-6이 X=-0.007m, Y=-0.001m, 최고차는 필지경계 2-3으로 X=0.108m, Y=0.038m로 나타났으며 2블럭 전체 RMSE는 X=0.064m, Y=0.026m의 결과로 나타났다. 비행고도에 따른 정사영상간 필지경계점 좌표 오차는 1, 2블럭 큰 편차가 없었으며 기준점과 비슷한 오차를 보였다. Table 7은 1블럭의 비행고도별 정사영상 좌표와의 비교를 보여주고 있고, Table 8은 2블럭의 비행고도별 정사영상

Table 7. Comparison of parcel boundary point coordinates by flight altitude (1 block)

Division	Orthographic image coordinates 40m		Orthographic image coordinates 100m		Error (m)	
	X	Y	X''	Y''	X-X''	Y-Y''
1-1	442,136.752	153,186.837	442,136.649	153,186.846	0.103	-0.009
1-2	442,140.249	153,190.386	442,140.251	153,190.391	-0.002	-0.005
1-3	442,139.332	153,258.980	442,139.399	153,259.046	0.067	-0.066
1-4	442,135.798	153,262.559	442,135.823	153,262.547	-0.025	0.012
1-5	442,108.245	153,262.152	442,108.245	153,262.139	0.000	0.013
1-6	442,104.745	153,258.602	442,104.751	153,258.587	-0.006	0.015
1-7	442,105.513	153,189.969	442,105.566	153,190.008	-0.053	-0.039
1-8	442,109.084	153,186.480	442,109.106	153,186.509	-0.022	-0.029
RMSE					<b>0.048</b>	<b>0.030</b>

Table 8. Comparison of parcel boundary point coordinates by flight altitude (2 block)

Division	Orthographic image coordinates 40m		Orthographic image coordinates 100m		Error (m)	
	X	Y	X''	Y''	X-X''	Y-Y''
2-1	442,092.078	153,186.248	442,091.998	153,186.268	0.080	-0.020
2-2	442,095.583	153,189.788	442,095.502	153,189.810	0.081	-0.022
2-3	442,094.774	153,258.397	442,094.666	153,258.359	0.108	0.038
2-4	442,090.033	153,261.895	442,089.948	153,261.855	0.085	0.040
2-5	442,063.622	153,261.510	442,063.636	153,261.514	-0.014	-0.004
2-6	442,060.062	153,257.987	442,060.069	153,257.988	-0.007	-0.001
2-7	442,060.941	153,189.355	442,060.980	153,189.393	-0.039	-0.038
2-8	442,064.538	153,185.891	442,064.539	153,185.874	-0.001	0.017
RMSE					<b>0.064</b>	<b>0.026</b>

좌표와의 비교를 보여주고 있다.

#### 4.3 정사영상과 Network RTK 지적기준점 좌표 비교

비행고도별 40m, 100m에서 생성된 정사영상의 지적기준점 15점에 대하여 Network RTK 측량을 실시하여 각 기준점의 좌표를 비교한 결과 Network RTK 관측 좌표를 X, Y, Z 값으로 표시하고 정사영상 40m를 X'', Y'', Z'' 표시하여 오차 X-X'', Y-Y'', Z-Z''를 산출하였다. Table 9에서 나타난 것과 같이 기준점 10번은 수평위치오차에서는 X=-0.009m, Y=-0.020m으로 가장 낮은 오차를 보였지만 높이 값이 Z=-0.055m로 높이에서 가장 높은 오차를 보였다. 기준점 3번의 경우 X=0.006m, Y=-0.025m, Z=-0.004m의 결과로 수평위치와 높이 값 오차가 전체 기준점 중 가장 낮은 오차로 나타났다. 기준점 14번의 최대오차가 발생한 기준점으로 X=-0.024m, Y=0.036m, Z=0.020m로 수평위치 오차에 비해 높이 오차는 평균이하의 오차로 나타났다. 전체적으로 RMSE는 X=0.023m, Y=0.024m, Z=0.039m의 결과를 보였다.

Table 9과 같이 정사영상 100m경우 기준점 3번이 X=-0.036m, Y=0.020m, Z=-0.048m로 최소 오차로 나타났으며 기준점 11번이 X=0.035m, Y=0.052m, Z=-0.069m로 수평위치의 오차가 가장 높게 나타났고 기준점 12번의 경우 Z=-0.082m로 높이에서 가장 높은 오차를 보였다. 또한 전체 평균 오차는 X=0.035m, Y=0.033m, Z=0.063m의 결과로 나타났다.

비행고도별 기준점 대공표지의 색상별 오차를 보면 기준점 4, 6, 12, 14, 15는 대공표지 없이 관측한 결과로 비행고도 40m의 경우 전체 RMSE X=0.027m, Y=0.027m, Z=0.036, 대공표지 녹색의 경우 기준점 1, 2, 5, 8, 11로 X=0.023m, Y=0.026m, Z=0.040m, 대공표지 적색의 경우 기준점 3, 7, 9, 10, 13으로 X=0.017m, Y=0.017m, Z=0.042m의 결과로 수평위치에서 적색의 대공표지가 가장 높은 정확도로 분석 되었으며 반대로 대공표지 없이 관측한 기준점들의 정확도가 가장 낮게 나타났다.

그리고 비행고도 100m의 결과를 살펴보면, 대공표지가 없는 경우 평균오차 X=0.037m, Y=0.035m, Z=0.069, 대공표지 녹색의 경우 X=0.034m, Y=0.036m, Z=0.065m, 대공표지 적색의

**Table 9. Comparison of orthophotos and Network RTK cadastral control point coordinates (40m)**

NO	Network RTK coordinates			Orthographic image coordinates 40m			Error (m)		
	X	Y	Z	X''	Y''	Z''	X-X''	Y-Y''	Z-Z''
1	442,246.484	153,163.922	102.667	442,246.511	153,163.941	102.710	-0.027	-0.019	-0.043
2	442,270.116	153,288.769	102.347	442,270.092	153,288.797	102.401	0.024	-0.028	-0.054
3	442,207.76	153,141.774	102.136	442,207.766	153,141.798	102.140	-0.006	-0.025	-0.004
4	442,221.183	153,269.706	102.204	442,221.152	153,269.733	102.255	0.031	-0.027	-0.051
5	442,214.751	153,306.857	102.165	442,214.726	153,306.889	102.127	0.025	-0.032	0.038
6	442,149.54	153,288.788	101.827	442,149.512	153,288.812	101.858	0.028	-0.024	-0.031
7	442,140.196	153,226.537	101.396	442,140.219	153,226.554	101.446	-0.023	-0.017	-0.050
8	442,145.791	153,145.403	101.104	442,145.809	153,145.437	101.134	-0.018	-0.034	-0.030
9	442,087.862	153,155.115	99.650	442,087.842	153,155.118	99.705	0.021	-0.002	-0.055
10	442,100.960	153,176.819	99.941	442,100.969	153,176.839	99.924	-0.009	-0.020	0.017
11	442,099.622	153,271.593	100.632	442,099.645	153,271.605	100.601	-0.023	-0.012	0.031
12	442,050.640	153,270.998	99.573	442,050.668	153,270.966	99.624	-0.028	0.032	-0.051
13	442,056.354	153,176.226	98.746	442,056.332	153,176.242	98.801	0.022	-0.015	-0.055
14	442,000.810	153,153.8	97.997	442,000.834	153,153.836	97.977	-0.024	-0.036	0.020
15	442,012.664	153,305.726	99.037	442,012.638	153,305.718	99.030	0.027	0.008	0.007
<b>RMSE</b>							<b>0.023</b>	<b>0.024</b>	<b>0.039</b>

**Table 10. Comparison of orthophotos and Network RTK cadastral control point coordinates (100m)**

NO	Network RTK coordinates			Orthographic image coordinates 100m			Error (m)		
	X	Y	Z	X''	Y''	Z''	X-X''	Y-Y''	Z-Z''
1	442,246.484	153,163.922	102.667	442,246.522	153,163.951	102.597	-0.038	-0.029	0.070
2	442,270.116	153,288.769	102.347	442,270.153	153,288.803	102.408	-0.037	-0.034	-0.061
3	442,207.76	153,141.774	102.136	442,207.796	153,141.754	102.184	-0.036	0.020	-0.048
4	442,221.183	153,269.706	102.204	442,221.142	153,269.744	102.274	0.041	-0.038	-0.070
5	442,214.751	153,306.857	102.165	442,214.715	153,306.886	102.113	0.036	-0.029	0.052
6	442,149.54	153,288.788	101.827	442,149.510	153,288.828	101.759	0.030	-0.040	0.068
7	442,140.196	153,226.537	101.396	442,140.163	153,226.562	101.441	0.033	-0.025	-0.045
8	442,145.791	153,145.403	101.104	442,145.767	153,145.435	101.177	0.024	-0.032	-0.073
9	442,087.862	153,155.115	99.650	442,087.896	153,155.144	99.608	-0.034	-0.029	0.042
10	442,100.960	153,176.819	99.941	442,100.924	153,176.856	100.024	0.036	-0.037	-0.083
11	442,099.622	153,271.593	100.632	442,099.587	153,271.541	100.701	0.035	0.052	-0.069
12	442,050.640	153,270.998	99.573	442,050.684	153,270.964	99.655	-0.044	0.034	-0.082
13	442,056.354	153,176.226	98.746	442,056.391	153,176.249	98.795	-0.037	-0.023	-0.049
14	442,000.810	153,153.800	97.997	442,000.842	153,153.766	97.943	-0.032	0.034	0.054
15	442,012.664	153,305.726	99.037	442,012.701	153,305.756	98.966	-0.037	-0.030	0.071
<b>RMSE</b>							<b>0.035</b>	<b>0.033</b>	<b>0.063</b>

경우 X=0.035m, Y=0.027m, Z=0.055m의 결과로 수평위치와 높이의 오차에서 대공표지 적색이 가장 낮은 오차를 보였으며 대공표지 없이 관측한 기준점의 오차가 가장 높게 나타났다.

또한 지적기준점의 비행고도간 결과값의 비교를 위해 Network RTK 측량결과를 기준으로 두 비행고도의 RMSE 를 비교한 결과 지적기준점 총 15점에 대해 40m X=0.0232,

Y=0.0241, Z=0.0396으로 나타났고, 100m X=0.0356, Y=0.0333, Z=0.0638로 나타나 40m와 100m에 대한 비행고도 별 X,Y의 차이는 약 1cm 이내의 근소한 차이를 보였고, Z값은 약 2cm 이상으로 차이를 보였다.

따라서 위의 결과를 토대로 볼 때 40m와 100m의 비행고도 별 오차는 1cm 이내의 오차로 매우 미비하였으나 동일한 고도



에서 대공표지가 적색의 경우와 대공표지가 없음의 경우에서 오차가 더 많이 발생한다는 것을 확인할 수 있었다. 비행고도별 오차는 40m와 100m 모두 지적측량 검사성과 인정범위인 지적도근점 경계점좌표등록부 시행지역 0.15m 이내의 양호한 성과로 확인되었다. Table 9는 40m 정사영상과 Network RTK 지적기준점 좌표 비교를 보여주고 있고, Table 10은 100m 정사영상과 Network RTK 지적기준점 좌표 비교를 보여주고 있다.

#### 4.4 정사영상과 Network RTK 필지경계점 좌표 비교

비행고도별 정사영상에서 생성된 필지경계점 1블럭, 2블럭의 좌표와 필지경계 16점에 대하여 Network RTK 측량을 실시를 비교한 결과 비행고도 40m의 경우 1블럭 필지경계 1-8에서  $X=-0.010m$ ,  $Y=-0.005m$ 로 최소 오차 값을 보였으며 필지경계 1-2는  $X=-0.050m$ ,  $Y=-0.056m$ 로 최대 오차 값으로 나타났다.

1블럭 전체 평균오차  $X=0.036m$ ,  $Y=0.031m$ 로 1블럭 필지경계 8점 모두 큰 편차 없이 양호한 결과를 보였다. 2블럭의 경우 필지경계 2-7이  $X=-0.013m$ ,  $Y=-0.002m$ 로 최소 오차 값으로, 필지경계 2-3이  $X=-0.067m$ ,  $Y=-0.017m$ 로 X 값의 오차가 나머지 점들에 비하여 높게 나타났다. 전체 평균오차 값

$X=0.042m$ ,  $Y=0.018m$ 로 비행고도 40m에서 1, 2블럭 전체 평균오차는 큰 편차가 없는 것으로 나타났다.

비행고도 100m에서는 1블럭의 필지경계 1-8이  $X=-0.032m$ ,  $Y=-0.034m$ , 필지경계 1-2는  $X=-0.052m$ ,  $Y=-0.061m$ 로 각각 최소, 최대차로 나타났으며 1블럭 전체 평균오차  $X=0.043m$ ,  $Y=0.039m$ , 2블럭의 경우 필지경계 2-3이  $X=0.041m$ ,  $Y=0.021m$ , 필지경계 2-4가  $X=0.054m$ ,  $Y=0.049m$ 로 각각 최소, 최대차로 나타났다.

또한 필지경계점의 비행고도간 결과값의 비교를 위해 Network RTK 측량결과를 기준으로 두 비행고도의 RMSE를 비교한 결과 1블럭과 2블럭의 총 16점에 대해 40m  $X=0.038$ ,  $Y=0.025$ 로 나타났고, 100m  $X=0.044$ ,  $Y=0.037$ 로 나타나 40m와 100m에 대한 비행고도별 X,Y의 차이는 약 1cm 내외로 근소한 차이를 보였다.

전체 평균오차  $X=0.045m$ ,  $Y=0.034m$ 로 비행고도 100m에서도 비행고도 40m와 비슷한 오차를 보였으며 경계점좌표등록부 시행지역 0.10m 이내의 성과로 검사성과 인정범위내의 결과로 나타났다. Table 11, 12는 40m 정사영상과 Network RTK 측량에 의한 좌표비교를 실시한 것을 보여주고 있고 Table 13,

Table 11. Comparison of parcel boundary point coordinates by flight altitude 40m (1 block)

Division	Network RTK coordinates		Orthographic image coordinates 40m		Error (m)	
	X	Y	X''	Y''	X-X''	Y-Y''
1-1	442,136.701	153,186.811	442,136.752	153,186.837	-0.051	-0.026
1-2	442,140.199	153,190.330	442,140.249	153,190.386	-0.050	-0.056
1-3	442,139.368	153,259.008	442,139.332	153,258.980	-0.036	0.028
1-4	442,135.769	153,262.512	442,135.798	153,262.559	-0.029	-0.047
1-5	442,108.205	153,262.178	442,108.245	153,262.152	-0.040	0.026
1-6	442,104.711	153,258.613	442,104.745	153,258.602	-0.034	0.011
1-7	442,105.527	153,189.972	442,105.513	153,189.969	0.014	0.003
1-8	442,109.074	153,186.475	442,109.084	153,186.480	-0.010	-0.005
RMSE					<b>0.036</b>	<b>0.031</b>

Table 12. Comparison of parcel boundary point coordinates by flight altitude 40m (2 block)

Division	Network RTK coordinates		Orthographic image coordinates 40m		Error (m)	
	X	Y	X''	Y''	X-X''	Y-Y''
2-1	442,136.701	153,186.811	442,136.649	153,186.846	0.052	-0.035
2-2	442,140.199	153,190.330	442,140.251	153,190.391	-0.052	-0.061
2-3	442,139.368	153,259.008	442,139.399	153,259.046	-0.031	-0.038
2-4	442,135.769	153,262.512	442,135.823	153,262.547	-0.054	-0.035
2-5	442,108.205	153,262.178	442,108.245	153,262.139	-0.040	0.039
2-6	442,104.711	153,258.613	442,104.751	153,258.587	-0.040	0.026
2-7	442,105.527	153,189.972	442,105.566	153,190.008	-0.039	-0.036
2-8	442,109.074	153,186.475	442,109.106	153,186.509	-0.032	-0.034
RMSE					<b>0.043</b>	<b>0.039</b>

**Table 13. Comparison of parcel boundary point coordinates by flight altitude 100m (1 block)**

Division	Network RTK coordinates		Orthographic image coordinates 100m		Error (m)	
	X	Y	X''	Y''	X-X''	Y-Y''
<b>1 Block</b>						
1-1	442,092.028	153,186.230	442,091.998	153,186.268	0.030	-0.038
1-2	442,095.545	153,189.773	442,095.502	153,189.810	0.043	-0.037
1-3	442,094.707	153,258.380	442,094.666	153,258.359	0.041	0.021
1-4	442,090.002	153,261.904	442,089.948	153,261.855	0.054	0.049
1-5	442,063.576	153,261.535	442,063.636	153,261.514	-0.060	0.021
1-6	442,060.030	153,258.018	442,060.069	153,257.988	-0.039	0.030
1-7	442,060.928	153,189.353	442,060.980	153,189.393	-0.052	-0.040
1-8	442,064.505	153,185.907	442,064.539	153,185.874	-0.034	0.033
<b>RMSE</b>					<b>0.045</b>	<b>0.034</b>

**Table 14. Comparison of parcel boundary point coordinates by flight altitude 100m (2 block)**

Division	Network RTK coordinates		Orthographic image coordinates 100m		Error (m)	
	X	Y	X''	Y''	X-X''	Y-Y''
<b>2 Block</b>						
2-1	442,092.028	153,186.230	442,092.078	153,186.248	-0.050	-0.018
2-2	442,095.545	153,189.773	442,095.583	153,189.788	-0.038	-0.015
2-3	442,094.707	153,258.380	442,094.774	153,258.397	-0.067	-0.017
2-4	442,090.002	153,261.904	442,090.033	153,261.895	-0.031	0.009
2-5	442,063.576	153,261.535	442,063.622	153,261.510	-0.046	0.025
2-6	442,060.030	153,258.018	442,060.062	153,257.987	-0.032	0.031
2-7	442,060.928	153,189.353	442,060.941	153,189.355	-0.013	-0.002
2-8	442,064.505	153,185.907	442,064.538	153,185.891	-0.033	0.016
<b>RMSE</b>					<b>0.042</b>	<b>0.018</b>

14는 100m 정사영상과 Network RTK 측량에 의한 좌표비교를 실시한 것을 보여주고 있다.

### 5. 결론

본 연구는 지적기준점과 필지경계점에 대하여 무인항공기를 비행고도별로 40m, 100m로 구분하여 대공표지를 색상별로 설치하고 정사영상 생성 및 필지좌표를 추출한 후 GNSS 지상현황측량을 통한 필지경계점 좌표간의 차이를 비교하여 오차분석 및 정확도를 제시하였다.

첫째, 비행고도에 따른 공간해상력을 살펴보면 비행고도별 정사영상 간 40m, 100m의 평균오차가 0.024m, 0.034m이내의 정확도로 비행고도 100m보다 40m에서 해상도와 점의 위치정확도가 높은 것으로 분석되었다.

둘째, 비행고도에 따른 지형·지물별 영상인식의 정확도

분석을 위해 대공표지 없음과 녹색, 적색의 세가지 경우로 RMSE를 비교한 결과 미세한 차이로 나타났으나 적색의 경우 X=0.039m, Y=0.019m, Z=0.055m로 가장 높은 정확도를 보였으며, 다음으로 녹색, 표지없음 순으로 오차가 발생하였다. 동일한 고도에서 적색과 대공표지가 없음의 X, Y좌표 오차를 비교해 보면 최대 약 2cm 이상 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

셋째, 정사영상과 현장실측을 통하여 산출된 좌표 비교에서 지적기준점의 경우 전체 평균 오차 X=0.029m, Y=0.028m, Z=0.051m 성과로 나타났으며, 필지경계점의 경우 X=0.041m, Y=0.030m의 성과로 산출되었다. 이러한 성과는 지적측량 시행규칙 제 27조 검사성과 허용범위 경계점좌표등록부지역의 경우 도근점 0.15m이내, 필지경계 0.10m 이내의 결과로 허용범위내의 높은 정확도로 분석되었다.

따라서 40m와 100m의 비행고도에 따른 오차결과를 토대로 볼 때 비행고도를 다르게 설정할 때 발생하는 오차는 약

1cm 내외로 극히 미비하였으나 동일한 고도에서 대공표지의 색상에 따라 발생하는 오차가 더 많이 발생될 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 40m와 100m의 2가지 비행고도에 준하여 지적기준점과 필지경계점에 대한 정확도를 제시하였지만 비행고도를 달리하여 다양한 고도별 정확도를 제시하지 못하였다는 측면과 또한 밀집된 시가지가 아닌 개활지에서만 비교한 부분은 본 연구의 한계로 판단되며 향후 다양한 고도와 측량환경 등을 고려한 심도있는 후속연구가 이뤄져야 할 것으로 판단된다.

또한 무인항공영상에 의한 지적기준점 및 필지경계점 측량 성과를 분석한 결과 비행고도별 전체 평균오차 0.05m미만의 성과로 향후 무인항공사진측량 관련 규정 및 제도가 구체적으로 마련된다면 공간정보취득 뿐만 아니라 지적측량 수행에도 경제적이고 효율적인 방법으로 신속한 작업 수행이 가능할 것으로 기대된다.

## References

- Eker, R., Aydın, A., and Hubl, J. (2018), Unmanned aerial vehicle (UAV)-based monitoring of a landslide: Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 190, No. pp. 1-28. 1-14.
- Feng, H., Jiang, Z., Xie, F., Yang, P., Shi, J., and Chen, L. (2014), Automatic fastener classification and defect detection in vision-based railway inspection systems, *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, Vol. 63, No. 4, pp. 877-888.
- Han, S. (2017), High-resolution and high-definition image acquisition using UAV and high-precision aerial triangulation, *Journal of the Korea Society for Geospatial Information Science*, Vol. 25, No. 3, pp. 101-109. (in Korean with English abstract)
- KCSC. (2014), *The Study for Realistic Cadastral Contents Development and Cadastral Resurvey Application of High Quality Image-based Content*, No. 2013-27, Korea Cadastral Survey Corporation, Seoul, pp. 27-73.
- Kim, D., Song, Y., Kim, Gi., and Kim, C. (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)
- Kim, Y. (2006), *A Study on the Improvement of Public Land Management*, Master's thesis, Kon-kuk University, Seoul, Korea, 123p.
- Lee, B. (2018), A study of three dimensional DSM development using self-developed drone, *Journal of the Korean Earth Science Society*, Vol. 39, No. 1, pp. 46-52. (in Korean with English abstract)
- Lee, S., Kim, J., and Um, J. (2017), Accuracy and economic evaluation for utilization of national/public land actual condition survey using UAV images, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry*, Vol. 35, No. 3, pp. 175-185. (in Korean with English abstract)
- Park, K. and Hong, I. (2017), A study on the land administration support using the popular rotary-wing unmanned aerial vehicle, *Journal of the Association of Korean Geographers*, Vol. 6, No. 1, pp. 93-100. (in Korean with English abstract)
- Shin, H., Um, J., and Kim, J. (2017), A study on damage scale tacking technique for debris flow occurrence section using drones image, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 35, No. 6, pp. 517-526. (in Korean with English abstract)
- Sung, S. and Lee, J. (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.
- Yeum, C.M. and Dyke, S.J., (2015), Vision-based automated crack detection for bridge inspection, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 30, No. 10, pp. 759-770.
- Yoo, Y., Choi, J., Choi, S., and Jung, S. (2016), Quality evaluation of orthoimage and DSM based on fixed-wing UAV corresponding to overlap and GCPs, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 24, No. 3, pp. 3-9. (in Korean with English abstract)
- Yun, B. and Lee, J. (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*, Vol. 22, No. 2, pp. 3-9. (in Korean with English abstract)