

무인 항공사진측량에 의한 농경지 필지 경계설정 정확도

Accuracy of Parcel Boundary Demarcation in Agricultural Area Using UAV-Photogrammetry

성상민¹⁾ · 이재원²⁾

Sung, Sang Min · Lee, Jae One

Abstract

In recent years, UAV Photogrammetry based on an ultra-light UAS(Unmanned Aerial System) installed with a low-cost compact navigation device and a camera has attracted great attention through fast and accurate acquirement of geo-spatial data. In particular, UAV Photogrammetry do gradually replace the traditional aerial photogrammetry because it is able to produce DEMs(Digital Elevation Models) and Orthophotos rapidly owing to large amounts of high resolution image collection by a low-cost camera and image processing software combined with computer vision technique. With these advantages, UAV-Photogrammetry has therefore been applying to a large scale mapping and cadastral surveying that require accurate position information. This paper presents experimental results of an accuracy performance test with images of 4cm GSD from a fixed wing UAS to demarcate parcel boundaries in agricultural area. Consequently, the accuracy of boundary point extracted from UAS orthoimage has shown less than 8cm compared with that of terrestrial cadastral surveying. This means that UAV images satisfy the tolerance limit of distance error in cadastral surveying for the scale of 1: 500. And also, the area deviation is negligible small, about 0.2%(3.3m²), against true area of 1,969m² by cadastral surveying. UAV-Photogrammetry is therefore as a promising technology to demarcate parcel boundaries.

Keywords: Unmanned Aerial System, UAV-Photogrammetry, Computer Vision, Orthoimage, Parcel Boundary Demarcation

초 록

최근 초경량 무인비행장치(UAS: Unmanned Aerial System)에 저가의 소형 항법장치와 카메라 등의 센서를 탑재하여 지상의 공간정보를 신속하고 정확하게 취득하는 무인항공사진측량(UAV Photogrammetry)이 크게 주목받고 있다. 특히, 무인 항공사진측량은 저가의 일반 카메라로 취득된 다량의 고해상 영상을 컴퓨터 비전기술을 접목한 영상처리 소프트웨어로 정사영상과 DEM 등을 신속히 생성할 수 있어 기존의 항공사진측량을 서서히 대체하고 있다. 따라서 무인항공사진측량의 활용분야는 정밀한 위치정보를 요구하는 대축척 지형도제작과 지적측량 등에까지 확장 적용되고 있다. 본 연구에서는 고정의 무인항공기로 지표표본거리(GSD: Ground Sample Distance) 4cm로 촬영된 영상을 이용하여 농경지 필지의 경계설정 정확도 실험 결과를 소개하였다. 연구결과, 지적현황측량 성과와 비교하여 무인항공 정사영상으로부터 추출된 필지경계점의 정확도는 8cm미만으로 축척 1:500 지적측량을 위한 연결 교차의 허용범위를 만족하였다. 그리고 면적오차는 비교 기준면적인 1,969m²에 비하여 약 0.2%(3.3m²) 미만의 무시 가능한 미소 오차가 발생하였다. 따라서 무인항공사진측량은 농경지의 필지경계 설정을 위하여 충분히 적용 가능한 전도유망한 기술임을 입증하였다.

핵심어 : 무인비행장치, 무인항공사진측량, 컴퓨터 비전, 정사영상, 필지경계설정

Received 2015. 12. 31, Revised 2016. 02. 18, Accepted 2016. 02. 29

1) Member, Dept. of Civil Engineering, Dong-A University (E-mail: cantona777@naver.com)

2) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Dong-A University (E-mail: leejo@dau.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

현재 국내외적으로 국가기본도, 대축척 수치지도 및 각종 주제도 제작 등 대부분의 고정밀 공간정보는 대부분 유인항공사진측량(aerial photogrammetry) 방법으로 취득하고 있다. 하지만 이 방법은 대상지역이 일정규모 이상이어야만 경제성과 효율성이 보장되고 정보취득 주기가 길며, 고가의 장비와 전문 인력의 투입 등이 필요하다. 반면, 최근 간단한 장치와 소수의 인력만으로도 특정 지역을 대상으로 세밀한 공간정보를 원하는 시기에 신속 경제적으로 취득이 가능한 무인항공사진측량(UAV photogrammetry)의 활용성이 크게 증가하고 있다. 따라서 UAV 항공사진측량은 현재 산림, 환경, 농업, 방재 및 지도제작 등 다양한 분야로 그 활용이 급속도로 확산되고 있다(Eisenbeiss, 2007; Lim *et al.*, 2015). 하지만 무인항공기를 이용한 공간정보의 구축과 활용을 위해서는 법제도, 기술 및 경제성 등을 고려한 국가적 차원의 Framework 작업이 선행되어야 한다. 특히 무인항공영상을 이용한 고정밀 대축척 지도 제작이나 지적측량에 활용하기 위해서는 무인항공영상의 품질검증 작업이 선행되어야 한다(Lee and Sung, 2015).

무인항공영상의 지적측량 분야의 국외 연구동향으로는 Manyoky *et al.*(2011)은 회전익 8엽기 Falcon을 이용하여 교외지역과 대학 캠퍼스를 촬영하여 TS/GNSS 지상측량기법과 정확도를 비교한 결과 UAV 영상은 스위스 지적측량의 정확도기준을 충족함을 입증하였다. 또한 UAV영상은 지상측량과 비교하여 부가적인 장점으로 3차원 모델링과 지붕과 도로 및 식생 등의 측량이 가능한 점을 강조하였다. Cunningham *et al.*(2011)은 알래스카 교외 수풀지역의 원주민 거주지를 대상으로 지적도가 없거나 매우 오래된 지역을 대상으로 Gatewing X-100으로 지적측량을 수행한 경험을 소개하였다. 2013년 Rijdsdijk *et al.*(2013)은 지적경계의 확정 시 이해관계인이 종종 현장에 입회하지 않아 일정 재조정때 따른 지적업무 효율성 저하의 문제점을 개선하기 위해 UAS영상을 이용하는 방안을 연구하였다. 본 연구에서는 실제 20개의 가옥이 신축된 필지를 고정익 및 회전익 UAV로 촬영하여 제작한 정사영상 상에서 경계측량을 수행한 결과가 지상측량 성과와 비교하여 3cm 정확도로 가능함을 입증하였다. 이러한 고정밀 성과를 확보하기 위해서는 필히 지상에서 특수 타겟을 이용하여 카메라 검정작업을 선행하여야 한다고 강조하고 있다. 2014년 Volkmann and Barnes(2014)는 세계은행의 지원으로 2013년 알바니아의 약 0.23km² 면적의 농경지역을 대상으로 항공정사영상으로부터 추출한 지적경계를 지상 GPS 측량의 성과와 비교한 결과 그 정확도가 약 6cm 임을 제시하였다.

무인항공기를 이용한 지적 분야의 국내연구로는 KCSC(2014a)는 고해상도 UAV 영상을 기반으로 지적측량 업무프로세스를 개선하고 지적재조사사업에 활용방안을 제시하였다. 이를 위해 고정익 Gatewing으로 소규모 농경지를 촬영하여 RMSE(Root Mean Square Error) 8cm의 경계점 위치정확도를 얻었다. 그리고 KCSC(2014b)는 고해상도 UAV 영상기반의 실감 지적 콘텐츠 구축 및 지적재조사 활용연구를 수행하였다. 본 연구에서는 UAV 영상의 지적재조사사업계획 수립 시 현황파악, 사업지구 주민들에 대한 이해도 제고, 사업전후에 대한 현황 및 지적선의 변화 파악 등에 대한 활용방안을 제안하였다. Kim(2014)은 전남 함평 석창지구(3.2km × 1.5km, 논, 밭, 갯벌 등이 포함)를 대상으로 고정익 및 회전익 UAV를 촬영하여 지적실감콘텐츠를 구축하고 지적측량의 정확도가 평면 5cm, 표고 8cm 이내로 가능함을 실험적으로 입증하였다. Lee *et al.*(2015)은 UAV영상의 소규모 농경지를 대상으로 하여 고정익과 회전익 무인기로 촬영한 영상과 지적현황측량과 비교하여 정확도 분석결과 연결교차의 RMSE가 지적측량의 허용오차에 근접하고 있음을 소개하였다.

기존의 UAV영상을 이용한 지적측량 관련 연구들은 대부분 필지경계점에 표지를 설치하지 않아, 도화작업시이나 정사영상에서 정확한 경계점 위치의 인식이 불명확하여 작업자의 주관에 따라 경계점의 위치좌표가 달라질 가능성이 매우 높다. 따라서 본 연구에서는 촬영 전에 지적측량업무 종사자가 현장에서 지시한 필지경계점에 대공표지를 설치하여 UAV 영상에서 추출된 경계점 좌표의 정확도를 높여 무인항공사진측량에 의한 필지경계 설정 결과의 신뢰성을 높이고자 하였다. 본 연구를 위하여 제1장에서는 선행연구동향을 검토하고, 제2장에서는 촬영 전에 항공타겟의 설치, 지상측량의 수행, UAV 영상취득 및 정사영상제작 등에 대하여 설명하였다. 제3장에서는 연구대상지 중 두 필지를 선정하여 각 필지별로 UAV 정사영상에 의한 필지경계점과 면적의 정확도를 지적현황측량 방법과 상호 비교하였다.

2. 실험자료 취득 및 처리

2.1 연구 방법

UAV 영상에 의한 농경지 필지경계 설정 정확도를 입증하기 위하여 먼저 전형적인 농촌지역을 실험대상지로 선정하였다. UAV 촬영 전에 대공표지를 설치하고 VRS-RTK 방법으로 지상기준점 측량 등 준비작업을 수행하였다. 아울러 대상지 내의 농경지 2필지를 선정하여 필지경계점에 대공표지를 설치하고 지적현황측량을 실시하였다. 그 다음 고정익 UAV

로 비행고도 130m에서 GSD 4cm로 촬영하여 정사영상을 제작하였다. 정사영상에서 드러난 필지경계점의 대공표지를 도화하여 지적현황측량 성과에 의한 경계점의 좌표와 면적을 상호 비교하여 정확도를 분석하였다. 본 연구의 전체적인 흐름도는 Fig. 1과 같다.

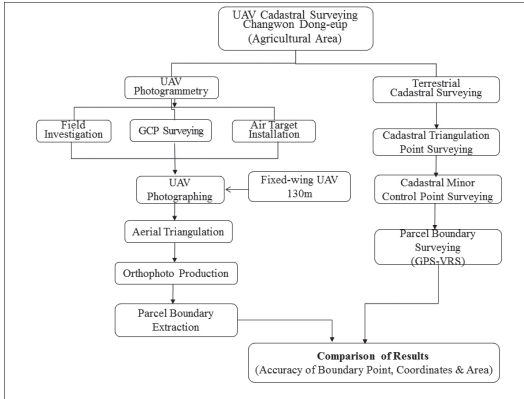


Fig. 1. Study flow chart

2.2 연구대상 지역

본 연구의 대상지는 경남 창원시 동읍 화양리 디지털지적 구축 시범지역으로 약 800m x 800m의 농경지, 주거지 및 일부 산지로 구성된 전형적인 농촌지역이다. 연구대상지는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 주로 농경지와 과수원이 대부분이며 마을을 관통하는 왕복 2차선 지방도로와 마을에 접근하기 위한 소로 및 농로 등으로 구성되어 있다. 또한, 마을 내에는 기와로 된 오래된 고가옥과 일부는 주택개량사업에 의한 현대식 독립가옥이 여러 채 자리하고 있다.



Fig. 2. Study area

2.3 지상기준점 측량

촬영 하루 전 현장을 답사하고 대상지역내 총 8점의 도근 점에 대하여 Fig. 3(좌)과 같이 VRS-GPS 방법으로 지상기준점 측량을 수행하였다. 아울러 Fig. 3(우)와 같이 상수도 맨홀과 횡단보도 보행자 표시선 모서리 등 명확한 지형·지물을 대상으로 6점을 선점하여 측량을 수행하고 이를 지상기준점으로 활용하였다. 이러한 자연 기준점들은 영상에서 식별이 가능하여 대공표지 설치과정을 생략하여 기준점 설치의 비용과 시간을 줄여 무인항공사진측량 작업의 효율성을 높일 수 있다(Sung, 2015).



Fig. 3. GCP surveying and air target

측량된 지상기준점에는 항공삼각측량(AT: Aerial Triangulation) 작업 시 영상에서 명확히 인식이 가능하도록 Fig. 3(중앙)과 같이 30cm x 30cm 크기의 항공 타겟을 설치하고 이를 보호하기 위하여 타겟 하단에 협조 안내문을 부착하였다. Fig. 4은 대상지내에 분포된 지상기준점의 분포도이다.

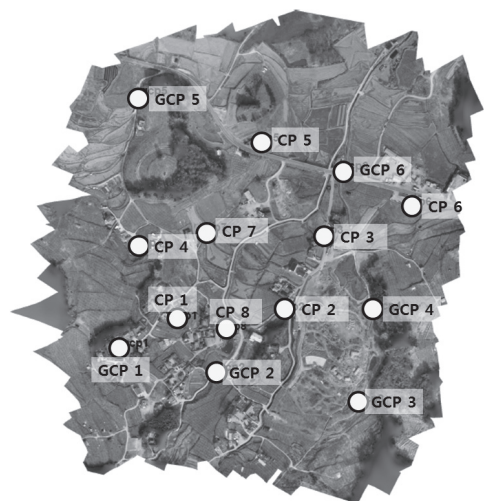


Fig. 4. Distribution of GCPs

2.4 지적현황측량

UAV 영상에 의한 농경지 필지경계 설정의 정확도를 분석하기 위하여 Fig. 5와 같이 연구대상지 내의 60답과 72답 두 필지를 선정하여 GPS-VRS 측량방법으로 지적현황측량을 실시하였다. 지적현황측량은 2011년 국토해양부에서 수행한 지적재조사기반 조성연구를 위한 항공사진을 이용한 지적측량 적용방안(MLTM, 2011)에서 수행된 필지경계점의 좌표를 연구대상지 내의 도근점을 기준으로 TS(Total Station)으로 복원하여 대공표지를 설치하고 그 위치를 측량하였다.

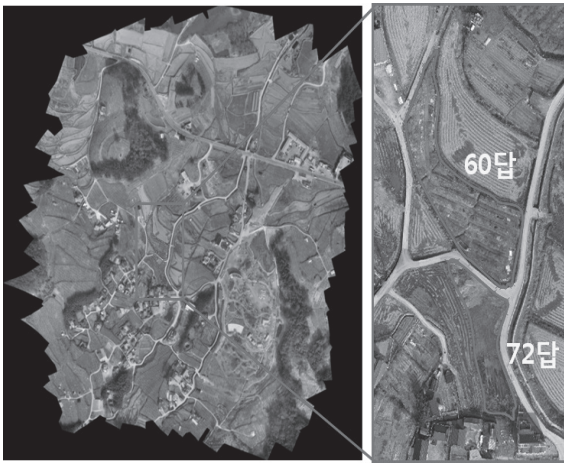


Fig. 5. Location of parcel boundary surveying

필지 60답은 총 22점, 필지 72답은 총 17점의 지적경계점을 항공영상에서 인식이 가능하도록 Fig. 6과 같이 대공표지를 제작하여 경계점마다 항공타겟을 설치하였다. 항공타겟은 영상의 지상표본거리(GSD: Ground Sample Distance)를 고려하여 영상에서 인식 가능한 크기로 제작하여야 하며, 색상은 주변의 지형지물을 고려하여 영상에서 명확히 드러나도록 하고 시각적으로도 쉽게 판독이 가능하여야 한다. 또한 계절과 날씨 등의 환경적인 요인에 크게 영향을 받지 않는 충분한 내구성과 함께 휴대와 설치가 간편하여야 한다. 본 연구에서는 제작이 용이하고 반복 사용이 가능하도록 두께 5mm의 포맥스(압축발포 PVC)로 제작하였다. 대공표지의 크기는 Fig. 6과 같이 20cm × 20cm의 백색 기판(Base Plate)에 중심은 10cm × 10cm의 흑색 셀로판테이프를 접착하고 표지판 하단부에는 탈부착 가능한 말뚝을 설치하였다(Sung, 2015).



Fig. 6. Aerial target(left) placed at road slope(middle) and footpath of rice field(right)

2.5 영상취득 및 처리

UAV영상 촬영은 사전답사를 거쳐 2015년 2월 5일 오전 11:00 ~12:30에 실시하였다. 본 연구의 촬영에 사용된 UAV는 고정익으로 SenseFly사의 eBee로 Canon IXUS 127 카메라를 탑재하여 영상을 취득하였다. Fig. 7은 촬영에 사용된 UAV와 카메라를 보여주고 있다. 카메라의 초점거리는 4.3mm, 영상해상력은 16MP(4,608 x 3,456 pixel)이며, 한 픽셀 크기는 1.3 μ m 이다.



Fig. 7. UAV payload and camera for imaging

비행고도 130m에서 Fig. 8과 같이 12 스트리프로 촬영하여 총 175매의 영상을 취득하였다. 촬영된 영상의 GSD는 4cm이며, 평균 중복도는 종중복 75%, 횡중복은 65%이다.

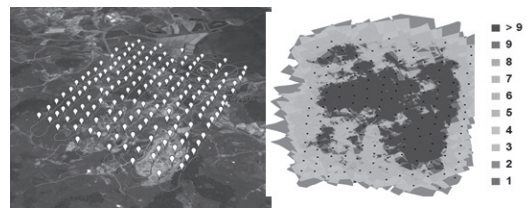


Fig. 8. Image footprint and overlap

촬영 영상의 처리는 Agisoft사의 Photoscan을 사용하여 AT 작업과 dense image매칭 과정을 거쳐 Fig. 9와 같이 점밀도 158pts./m², 해상도 8cm인 수치표고모델(DEM)과 해상도 4cm인 정사영상을 제작하였다(Agisoft, 2014).

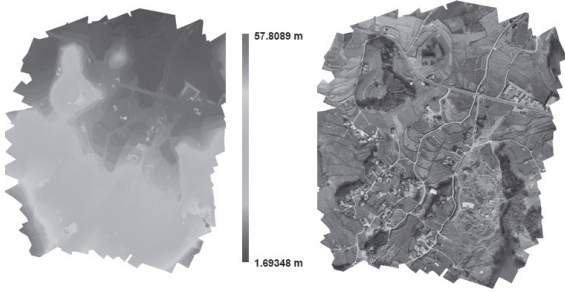


Fig. 9. DEM and ortho-mosaic image

3. 결과 분석

3.1 분석 방법

무인항공영상에 의한 농경지 필지경계점 추출의 정확도를 평가하기 위하여 Fig. 5에 도시한 바와 같이 2필지(60답, 72답)를 선정하여 항공타겟을 설치한 경계점들에 대한 지적현황측량 성과와 UAV 정사영상에서 벡터라이징에 의하여 추출한 경계점 좌표를 상호 비교하였다. 아울러 지적현황측량 성과와 정사영상에서 추출한 성과를 지적공부상에 등록된 대장면적과도 비교하였다.

3.2 필지 경계점 정확도

3.2.1 필지 60(답)의 경우

필지 60답의 경우에는 총 22점의 필지 경계점에 대공표지를 설치하였으며, Fig. 10과 같이 정사영상에서 모두 확인 가능하여 AutoCad 상에서 육안으로 벡터라이징 기법을 사용해 도화작업을 수행하여 타겟의 중심점 좌표를 측정하였다. Fig.

10에서 붉은색(red color) 원은 지적현황측량의 결과이며 청색(blue color) 원은 UAV 정사영상으로부터 추출한 성과이다.

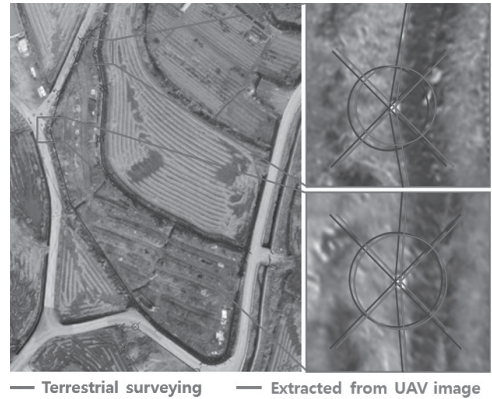


Fig. 10. Detection and extraction of boundary points (parcel 60) from UAV image

60답의 모든 필계점 22점에 대한 두 성과의 좌표와 오차의 크기를 비교한 결과는 Table 1과 같다. 지적현황측량의 결과와 비교하여 UAV 정사영상에서 추출한 좌표오차의 표준편차(RMSE)는 $DX=0.035m$, $DY=0.067m$ 로 매우 우수한 결과를 보여주고 있다. 이를 평면거리 오차인 연결교차로 계산하면 RMSE는 0.076m에 해당한다. 모든 필지경계점들 중에서 필계점 2번에서 DX 가 0.159m로 가장 큰 오차가 발생하였다. 총 22점의 필지경계점 오차를 연결교차로 도시하면 Fig. 11과 같다. 하지만 최대오차 0.159m가 발생한 필지경계점 2번을 제외하면 UAV 정사영상에서 추출한 좌표의 연결교차의 RMSE는 0.076m에서 0.068m로 줄어든다.

Table 1. Comparison of boundary points coordinates (parcel 60)

(unit : m)

Point no.	Terrestrial Surveying (A)		Extracted from UAV Image (B)		(A)-(B)		Distance error
	X	Y	X	Y	DX	DY	
1	300469.681	169141.145	300469.648	169141.120	0.033	0.025	0.041
2	300460.745	169139.612	300460.743	169139.771	0.002	-0.159	0.159
3	300449.616	169141.669	300449.648	169141.800	-0.032	-0.131	0.135
4	300434.649	169140.584	300434.676	169140.669	-0.027	-0.085	0.089
5	300427.663	169141.106	300427.652	169141.185	0.011	-0.079	0.080
6	300423.405	169143.327	300423.348	169143.369	0.057	-0.042	0.071
7	300417.519	169149.651	300417.594	169149.695	-0.075	-0.044	0.087

Point no.	Terrestrial Surveying (A)		Extracted from UAV Image (B)		(A)-(B)		Distance error
	X	Y	X	Y	DX	DY	
8	300412.466	169158.069	300412.454	169158.179	0.012	-0.110	0.111
9	300408.238	169167.673	300408.246	169167.744	-0.008	-0.071	0.071
10	300405.350	169172.695	300405.336	169172.729	0.014	-0.034	0.037
11	300402.218	169185.254	300402.232	169185.205	-0.014	0.049	0.051
12	300370.647	169178.934	300370.632	169178.930	0.015	0.004	0.016
13	300369.503	169177.276	300369.520	169177.340	-0.017	-0.064	0.066
14	300369.006	169174.429	300369.019	169174.478	-0.013	-0.049	0.051
15	300369.442	169172.374	300369.488	169172.441	-0.046	-0.067	0.081
16	300379.111	169158.614	300379.133	169158.673	-0.022	-0.059	0.063
17	300385.864	169151.849	300385.896	169151.799	-0.032	0.050	0.059
18	300415.503	169131.503	300415.547	169131.488	-0.044	0.015	0.046
19	300437.364	169125.156	300437.415	169125.154	-0.051	0.002	0.051
20	300448.027	169128.310	300448.076	169128.324	-0.049	-0.014	0.051
21	300459.436	169133.506	300459.415	169133.536	0.021	-0.030	0.037
22	300463.508	169135.073	300463.555	169135.083	-0.047	-0.010	0.048
RMSE					0.035	0.067	0.076

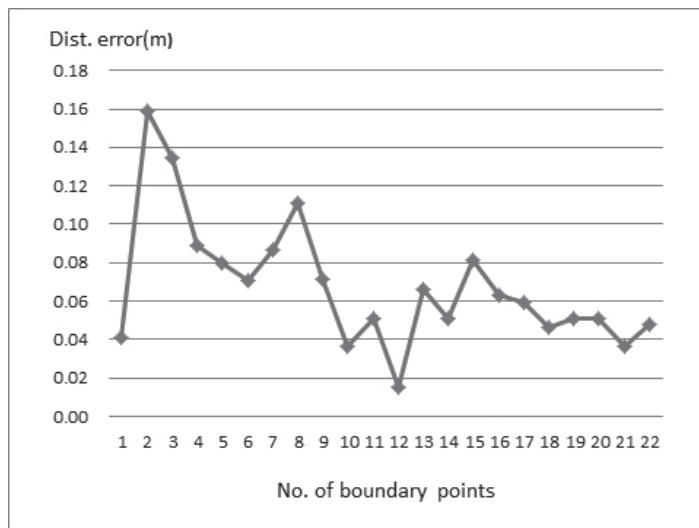


Fig. 11. Distance error of extracted boundary points(parcel 60) from UAV image

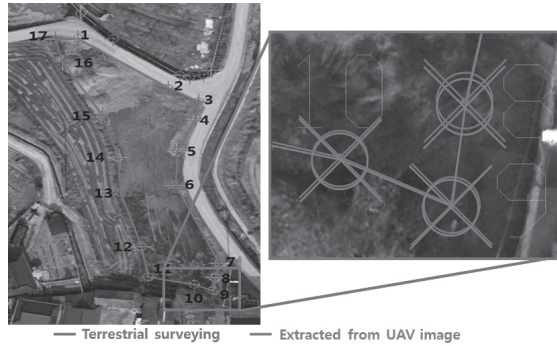


Fig. 12. Detection and extraction of boundary points(parcel 72) from UAV image

3.2.2 필지 72(답)의 경우

필지 72답의 경우에는 총 17점의 필지경계점에 대공표지를 설치하였다. 필지 60답의 경우와 마찬가지로 정사영상에서 모두 확인 가능하여 벡터라이징 기법으로 도화작업을 수행하여 타겟의 중심점 좌표를 측정하였다. Fig. 12에서 붉은색(red

color) 원은 지적현황측량의 결과이며 청색(blue color) 원은 UAV 정사영상으로부터 추출한 성과이다.

필계점 17점에 대한 두 성과의 좌표와 오차의 크기를 비교한 결과는 Table 2와 같다. 지적현황측량의 결과와 비교하여 UAV 정사영상에서 추출한 좌표오차의 RMSE는

Table 2. Comparison of boundary points coordinates (parcel 72)

(unit : m)

Point no.	Terrestrial Surveying (A)		Extracted from UAV Image (B)		(A)-(B)		Distance error
	X	Y	X	Y	DX	DY	
1	300379.256	169151.281	300379.260	169151.282	0.004	0.001	0.004
2	300365.890	169169.934	300365.907	169169.921	0.017	-0.013	0.021
3	300362.292	169176.347	300362.373	169176.324	0.081	-0.023	0.084
4	300357.847	169175.635	300357.927	169175.664	0.080	0.029	0.085
5	300349.222	169171.879	300349.286	169171.887	0.064	0.008	0.064
6	300340.222	169171.553	300340.325	169171.543	0.103	-0.010	0.103
7	300319.547	169180.546	300319.618	169180.533	0.071	-0.013	0.072
8	300315.771	169179.664	300315.916	169179.680	0.145	0.016	0.146
9	300312.278	169179.183	300312.368	169179.233	0.090	0.050	0.103
10	300313.902	169175.408	300313.993	169175.384	0.091	-0.024	0.094
11	300315.899	169165.830	300315.971	169165.846	0.072	0.016	0.074
12	300323.902	169164.434	300323.986	169164.421	0.084	-0.013	0.085
13	300338.367	169160.212	300338.431	169160.203	0.064	-0.009	0.065
14	300347.735	169159.492	300347.820	169159.465	0.085	-0.027	0.089
15	300358.749	169156.347	300358.768	169156.363	0.019	0.016	0.025
16	300372.683	169148.060	300372.716	169148.009	0.033	-0.051	0.061
17	300378.866	169146.652	300378.882	169146.634	0.016	-0.018	0.024
RMSE					0.075	0.024	0.079

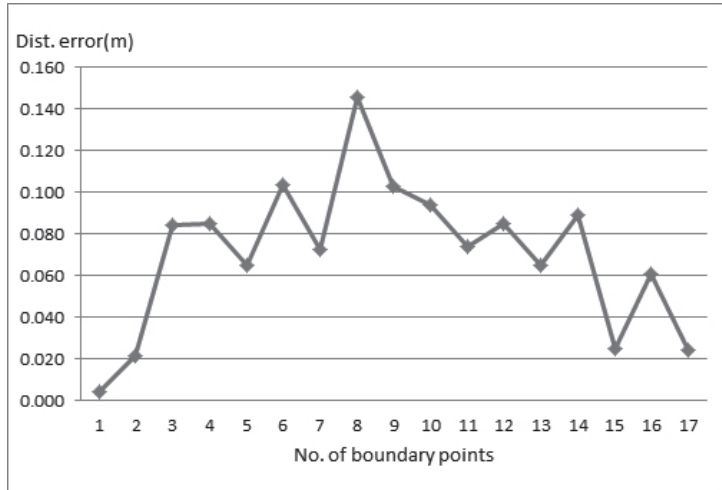


Fig. 13. Distance error of extracted boundary points(parcel 72) from UAV image

DX=0.075m, DY=0.024m로 매우 우수한 결과를 보여주고 있다. 이를 평면거리 오차인 연결교차로 계산하면 RMSE는 0.079m에 해당한다. 필지경계점 8번에서 DX가 0.145m로 모든 필지경계점 중에서 가장 큰 오차가 발생하였다. 총 17점의 필지경계점 오차를 연결교차로 도시하면 Fig. 13과 같다. 하지만 최대오차 0.146m가 발생한 필지경계점 8번을 제외하면 UAV 정사영상에서 추출한 좌표의 연결교차의 RMSE는 0.079m에서 0.070m로 줄어든다.

이상과 같이 두 필지를 대상으로 UAV영상으로부터 추출한 필지경계점의 정확도는 모두 8cm미만으로 현 지적측량시행규칙 제27조에 따른 연결교차의 허용오차 10분의 3M밀리미터(M : 축척 분모수)를 적용하면 축척 1/500에 해당하는 15cm 연결교차를 모두 만족하고 있다. 아울러 보다 엄격한 허용오차 기준이 적용되고 있는 지적재조사에 관한 특별법시행규칙에 따른 경계점 오차 ±7cm에도 근접하고 있어 UAV 정사영상의 활용성이 크게 기대된다.

3.3 필지면적의 정확도

필지면적 추출의 정확도는 경계점 정확도 평가에 이용된 두 필지를 대상으로 하였다. 지적현황측량의 성과를 기준으로 지적공부상의 등록면적과 UAV 정사영상으로부터 벡터라이징에 의하여 추출한 성과를 상호 비교하였다. 세 가지 방법에 의한 면적의 결과와 오차는 Table 3과 같다.

먼저 지적현황측량 성과에 비하여 지적공부상의 등록면적은 두 필지 모두 크게 나타나고 있다. 60답의 경우에는 지적현황측량의 성과인 1969㎡에 비하여 약 3.6%(71㎡) 오차가 발생하였으나, 72답의 경우에는 지적현황측량의 성과인 약 917㎡에 비하여 무려 24%(224㎡) 오차가 발생하고 있다. 하지만 UAV 정사영상으로부터 추출한 면적은 60답의 경우 지상현황측량에 의한 1969㎡에 비하여 약 0.2%(3.3㎡) 오차가 발생하였고, 72답의 경우 917㎡와 비교하여 0.4㎡의 극히 미미한 오차만 발생하고 있다.

Table 3. Comparison of parcel area

(unit : ㎡)

Parcel no.	Registered Area (A)	Terrestrial Surveying (B)	Extracted from UAV Image (C)	Area Differences	
				B-A	B-C
60 Paddy	2040.00	1968.91	1972.15	-71.09	-3.25
72 Paddy	1140.00	917.60	917.21	-222.4	0.39

4. 결론

본 연구는 최근 실용화 되고 있는 무인항공사진측량에 의한 농경지 필지의 경계설정 정확도 평가를 위한 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 비행고도 130m에서 GSD 4cm로 촬영한 UAV 영상에서 필지경계점에 설치한 크기 10cm의 정사각형 대공표지를 명확하게 인식할 수 있었다. 따라서 향후 비행고도와 GSD에 따른 대공표지 크기와 형상의 설계에 기초자료로 활용할 수 있다.

둘째, 연구대상지내의 두 필지를 대상으로 UAV영상으로부터 추출한 필지경계점의 연결교차의 RMSE는 $\pm 8\text{cm}$ 미만으로 현 지적측량시행규칙 제27조에 따른 허용오차를 적용하면 축척 1/500에 해당하는 15cm 연결교차를 만족함을 알 수 있었다. 또한 지적재조사에 관한 특별법 시행규칙에 따른 경계점 오차 $\pm 7\text{cm}$ 에 근접하고 있어 무인항공사진측량은 농경지를 대상으로 지적측량에 충분히 적용 가능한 기술로 사료된다.

셋째, UAV영상에 의한 필지면적 추출의 정확도를 평가하기 위하여 지적현황측량의 성과를 기준으로 정사영상으로부터 벡터라이징하여 계산한 면적과 비교한 결과, 비교 기준면적 1969m^2 과 917m^2 에 비하여 각각 0.2%(3.3m^2) 및 0.04%(0.4m^2)의 무시할 수 있을 정도의 미소 오차만 발생함을 알 수 있었다.

결론적으로 무인항공사진측량은 농경지 필지경계 설정에 큰 문제없이 적용이 가능하므로 이를 수용할 수 있는 관련 분야의 법제도 개선이 시급한 것으로 판단된다. 하지만 본 연구에서는 명확한 필지경계점의 인식을 위하여 미리 인위적인 대공표지를 설치하여야 하는 가정 조건하에서 도출된 결과이므로 향후 영상에서 자연 지물만으로도 경계점을 인식하고 판단할 수 있는 도화사의 양성과 객관적인 기준의 정립이 필요하다. 또한 UAV영상의 품질은 비행체의 종류, 비행고도에 따른 GSD 및 중복도 등에 큰 영향을 받으므로 다양한 비행체와 촬영고도 및 GSD를 달리하여 후속연구를 통한 자료의 축적이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 일반연구자/지역대학우수과학자 지원사업(과제번호 2014-0328)으로 수행되었습니다.

References

- Agisoft, (2014), *Photoscan User Manual: Professional Edition*, Ver 1.1.
- Cunningham, K., Walker, G., Strahlke, E., and Wilson, R. (2011), Cadastral audit and assessments using unmanned aerial vehicle, *IAPRS*, Vol. XXXVIII-1/C22, pp. 213-216.
- Eisenbeiss, H. (2007), *UAV- Photogrammetry*, Ph.D. dissertation, ETH Zurich, Switzerland, 203p.
- KCSC(2014a), *A Study on the Improvement Plan for Business Process of Cadastral Surveying*, No. 2013-21, Korea Cadastral Survey Corporation, Seoul, pp. 70-80. (in Korean with English abstract)
- KCSC(2014b), *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. (in Korean)
- Kim, S. (2014), *A Study on Construction and Application of Spatial Information Utilizing Unmanned Aerial Vehicle System*, Ph.D. dissertation, Mokpo National University, Mokpo, Korea, 161p. (in Korean with English abstract)
- Lee, J. and Sung, S. (2015), Acquisition and application of high resolution geoinformation using ultra-light UAV-photogrammetry, *Proceedings of 2015 Korean Society of Civil Engineers Busan-Ulsan-Gyeongnam Branch*, pp. 71-72. (in Korean with English abstract)
- Lee, J., Sung, S., Lee, D., and Heo, J. (2015), Accuracy of parcel boundary demarcation with UAV image, *Proceedings of 2015 KSGPC Annual Conference*, pp. 187-189. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y. (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 System*, Vol. 23, No. 2, pp. 39-48. (in Korean with English abstract)
- Lim, S., Seo, C., and Yun, H. (2015), Digital map updates with UAV photogrammetric methods, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 33, No. 5, pp. 397-405. (in Korean with English abstract)

- Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D., and Eisenbeiss, H. (2011), Unmanned aerial vehicle in cadastral application, *IAPRS*, Vol. XXXVIII-1/C22, pp. 57-62.
- MLTM(2011), *Application of Cadastral Surveying Using Aerial Photos: In Foundation Construction Study for Cadastre Renovation Project*, No. 11-1611000-001525-01, Ministry of Land, Transport and Marine Affairs, Gwacheon, pp. 93-94. (in Korean)
- Rijsdijk, M., van Hinsbergh, W.H.M., Witteween, W., ten Burren, G.H.M., Schakelaar, G.A., Poppinga, G., van Persie, M., and Radiges, R. (2013), UASs in the process of juridical verification of cadastral border, *IAPRS*, Vol. XL-1/W2, pp. 325-331.
- Sung, S. (2015), *Quality Verification and Utilization of Ultra-Light UAV Imagery in Parcel Boundary Delineation*, Master's thesis, Dong-A University, Busan, Korea, 66p. (in Korean with English abstract)
- Volkman, W. and Barnes G. (2014), Virtual surveying: mapping and modeling cadastral boundaries using Unmanned Aerial Systems (UAS), *Proceedings of FIG Congress 2014*, FIG, 16-21 June, Kuala Lumpur, Malaysia, TS09A 7300, pp. 1-13.