

초경량 고정익무인항공기 사진측량기법의 정사영상 정확도 평가

이인수* · 이재원** · 김수정*** · 홍순헌****

Lee, In Su*, Lee, Jae One**, Kim, Su Jeong***, Hong, Soon Heon****

Orthophoto Accuracy Assessment of Ultra-light Fixed Wing UAV Photogrammetry Techniques

ABSTRACT

The main purpose of this study is to carry out the performance evaluation of Ultra-light Fixed Wing UAV(Unmanned Aerial Vehicle) photogrammetry which is being, currently, applied for various fields such as cultural assets, accident survey, military reconnaissance work, and disaster management at home and abroad. Firstly, RMSE estimation of Aerial Triangulation(AT) are within approximately 0.10 cm in position (X, Y). And through the comparison of parcel 's boundary points coordinates by terrestrial surveying and by UAV photogrammetry, the analysis shows that RMSE are shifted approximately 0.174 ~ 0.205 m in X-direction, 0.294 ~ 0.298 m in Y-direction respectively. Lastly, parcel's area by orthophoto of UAV photogrammetry and by that of cadastre register has been shown the difference by 0.118 m². The results presented in this study is just one case study of orthophoto accuracy assessment of Ultra-light fixed wing UAV photogrammetry, hereafter various researches such as AT, direct-georeferencing, flight planning, practical applications, etc. should be necessary continuously.

Key words : Fixed wing, Ultra-light UAV(Unmanned Aerial Vehicles), Aerial triangulation(AT), On-screen digitizing, Cadastre, Area

초록

본 연구는 최근 국내외에서 문화재 보존, 사고현황조사, 군 경찰업무, 재난관리 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 초경량 고정익무인항공기 사진측량의 성능평가를 다루고자 한다. 항공삼각측량 결과, 위치(X, Y)에서 RMSE 값은 약 10 cm로 나타났으며, UAV 사진측량의 정사영상에 대한 시각판독법(on-screen digitizing) 기법과 지상측량에 의한 필계점 좌표 차의 RMSE 는 X 방향 약 0.174~0.205 m, Y방향 약 0.294~0.298 m의 편위형 오차가 도출되었다. 그리고 실험대상지역의 임의의 1 필지를 대상으로 지적 공부대장면적과 UAV 사진측량의 정사영상으로 취득한 필지 면적을 비교한 결과 차이는 0.118 m²이다. 본 연구는 초경량 고정익무인항공기 사진측량의 정사영상 정확도 평가에 대한 하나의 연구 사례를 제시하였으며, 향후 항공삼각측량(AT), 직접 기하보정(direct-georeferencing), 비행계획, 그리고 실용적 응용분야 개발 등에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

검색어 : 고정익, 초경량무인항공기, 항공삼각측량, 시각판독법, 지적, 면적

* 정회원 · 교신저자 · 대한지적공사 공간정보연구원 공학박사

(Corresponding Author · Korea Cadastral Survey Corp (Spatial Information Research Institute) · les05@lx.or.kr)

** 정회원 · 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수 (leejo@donga.ac.kr)

*** 대한지적공사 공간정보연구원 연구원 (kjs05@lx.or.kr)

**** 정회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수 (hsh1963@pusan.ac.kr)

Received April 20, 2013/ revised June 21, 2013/ accepted August 13, 2013

1. 서론

최근 초경량 고정익무인항공기(Ultra-light Fixed Wing UAV, 이하 UAV)는 국내 및 국외에서 문화재 문서화, 재해재단 피해 현황조사, 군 경찰업무, 교통 흐름 파악, 그리고 경찰 업무 등 다양한 분야에서 사용되고 있는 최신 사진측량 시스템이다.

국내에서 UAV 연구사례를 살펴보면, NDMI (2007)은 저고도 UAV의 촬영 영상 보정 및 개선연구, 저고도 영상정보의 피해정보 적용을 위한 영상처리 기술 개발과 저고도영상정보의 해상도 분석 등을 수행하였으며, Jung et al. (2010)은 무인항공 사진측량을 이용한 3D 공간정보 취득에 대한 연구를 수행하였다. Jeong et al. (2012)은 무인항공원격탐사를 활용한 농작물 생육정보 시스템 구축을 다루었으며, Kim et al. (2010)은 풍수해 모니터링에 초경량 무인항공기의 적용성 분석을 통해 하천재해, 사면재해, 토사재해(농경지 및 침수 및 퇴적), 해안재해 및 바람재해 피해조사 등에서 UAV가 적용 가능함을 기술하였다.

다음은 국외 연구로서 Cunningham et al. (2011)와 Peterman and Mesarić (2012)는 지도제작과 토지측량분야의 활용 방안 등을 제시하였으며, 문화재 모델링 및 문화재 영상자료 취득 분야(Lambers et al., 2007; Gruen et al., 2012; Pueschel, et al., 2008; Lee et al., 2011) 연구가 다수 수행되었다. 그리고 산사태 모니터링 등 재해분야(Randa., 2009; Khairul Nizam Tahar et al., 2010), 환경분야(Nagai et al., 2008), 그리고 농업분야(IPW, 2009; Kishore and Zaman, 2012), 대축척 지도제작(Khairul Nizam Tahar et al, 2011) 등 다양한 실용적 응용분야에서 UAV 활용방안을 연구하였다.

본 연구에서 연구의 내용적 범위는 초경량무인기항공기 사진측량, 사진측량성과와 지상측량과의 정밀도 비교, 그리고 연구방법은 문헌조사와 실험연구로 설정하였다. 본 연구 목적은 지적 필지경계 점에 대공표지를 설치하고 UAV 사진촬영으로 항공삼각측량 정확도, 지상측량성과와의 성과 비교 등을 통해 지적업무에의 적용성을 검토하였다.

2. UAV 실험측량

2.1 UAV 분류

본 연구에서 UAV 분류는 가격이나 적재하중(payload)을 고려하였으며, 특히 센서 유무(GPS, GPS/INS), 기하보정(Georeferencing) 방식(후처리/직접), 실시간기능 등을 고려하여 UAV를 분류하는 방식을 소개하였다(Eisenbeiss, 2010)(Table 1).

Table 1. Classification of UAV

Sensors	Georeferencing	Real-time capability	Application requirement
No GPS/INS	post	0	Low accuracy [m]
GPS and consumer-grade INS	post/direct	+	Moderate accuracy [dm-m]
DGPS/Navigation-and tactical grade INS	post/direct	++	High accuracy[m]

(* 0: lowest value; +: Middle value; ++: Best)



Fig. 1. Test Site

2.2 UAV 사진측량

실험대상지는 고정익 UAV의 특정 상 비행 시 주위에 장애물이 없어 충분한 안정성이 확보될 수 있는 곳, 지적업무와 연계가능한 곳, 사진측량성과를 검증하기 위해 Network-RTK GPS와 Totalstation 지상측량장비에 의한 지적측량성과가 구비되어 있는 곳 등을 고려한 결과, 대부분이 농경지로 구성된 지적재조사 선행사업지역이 선정되었다(Fig. 1).

2.3 자료 취득

2.3.1 지상측량

정사영상에서 사진판독법으로 측정한 경계점의 위치정확도를 검증하고 관측오차를 최소화하기 위해 현장경계복원 후 필지경계에 대공표지(가로×세로, 20cm×20cm)를 설치하였다(Fig. 2(b)). 그리고 이 성과를 점검하기 위해 Network-RTK와 토탈스테이션(T/S)으로 지상측량을 수행하였다. Network-RTK 지상측량은 Leica ATX1230+GNSS 에 의해 진행되었으며 정지모드(static mode)에서 평면위치정확도 0.005m+0.5ppm, 수직위치정확도 0.010m+0.5ppm이다. 그리고 T/S는 Sokkia사의 SET230으로 각도측정 최소 표시 1" · 정확도 2", 반사경에 의한 최대측정거리 6km · 거리정



(a)



(b)

Fig. 2. UAV Systems (a) and RTK GPS System (b)

확도 $\pm(2+2\text{ppm}\times D)\text{mm}$, 그리고 무타깃방식의 최대측정거리 150 m 이상 · 거리측정정확도는 $\pm(3+2\text{ppm}\times D)\text{mm}$ 이다.

2.3.2 사진측량

실험에 사용된 UAV는 벨기에 Gatewing X-100 제품으로 이 시스템은 발사대(launcher), 여분의 기체(extra body), 지상제어국(ground control station), 모뎀(modem), 카메라(calibrated digital camera), 배터리 충전기(battery charger), 배터리 등의 주요

Table 2. Specification of Camera


Item	Specifications	Comments
No. of pixels recorded	3648×2736	-
Image sensor	1/1.7-inch CCD (total pixels: approx. 10.40 million pixels)	(No. of Effective pixels: 10.00 million pixels)
Size	108.6×59.8×25.5 (mm)	(width×height×depth)
Weight	Approx. 188g	(battery, without memory)
Appearance		

Table 3. Inner Orientation Parameters of Camera

Item	Factor	Calibration value
Focal length(mm)	f	28.369849
Principal point offset (mm)	Xp	-1.883880e-001
	Yp	1.739800e-001
Distortion factor	K1	0
	K2	0
	P1	-4.035060e-004
	P2	-4.726720e-004
Image size(pixels)	X	3,648
	Y	2,736

Table 4. X-100 Data Products

Item	Specifications
Acquisition	<ul style="list-style-type: none"> · 5cm GSD @150m · 3cm GSD @100m · overlap-variable, 75% default forward & side · 600 - Average number of pictures per km² 600 (at 150 m) · 1.5km² - Average coverage per flight (45 min at 150 m)
Orthophoto	<ul style="list-style-type: none"> · Pixel resolution (GSD) @ 150m · Planimetric accuracy equal to 1pixel(5cm) · Projection - semi-true or true · Colour - true RGB; no haze
Point cloud	<ul style="list-style-type: none"> · Point spacing up to 1 pixel (5cm) · Planimetric accuracy (XY plane): 5cm (150m) · Height accuracy(Z axis): 10cm (150m)

H/W(Fig. 2(a)), 그리고 Stretchout™ 등의 S/W로 구성되어 있다. 사진촬영은 사전비행 계획에 따라 고도 약 250m, 종횡중복도 약 75%, 그리고 비행시간은 이륙에서 착륙까지 약 20분이 소요되었으며, 촬영사진 수는 약 288장이며, 이 중 6장사진이 영상처리 및

분석에 사용되었다. 참고로 실험당시 강풍이 있어 UAV비행이 매우 불확실한 상황이었다. 그리고 사용된 카메라는 Richo GR D3로 항공사진측량에서 주로 사용되는 측정용 카메라가 아닌 비측정용 카메라로 자세한 사양은 Table 2, 그리고 자세한 카메라 내부표정요소를 Table 3에 기술하였다.

그리고 Table 4는 Gatewing X-100 제품의 주요 성능사양을 자료취득, 정사영상, 그리고 측정준 등으로 나누어 정리하고 있다.

3. 데이터 처리 및 평가

3.1 항공삼각측량

“항공삼각측량”은 사진 상에서 측정된 영상좌표와 지상기준점(GCP: Ground Control Point)을 이용하여 영상좌표의 지상좌표와 각 영상의 외부표정요소를 결정하는 작업이다. 현재 대부분 GPS/INS로 결정한 항공영상의 외부표정요소를 이용하여 최소의 기준점만으로 광속조정법(bundle adjustment) 으로 항공삼각측량을 수행하고 있다. 본 연구에서는 영상처리 소프트웨어인 Socetset(ver.5.6)을 이용하여 UAV로 촬영된 6장의 사진에 대한 항공삼각측량을 실시하였다.

Socetset(ver.5.6)에서 항공삼각측량 자료처리는 다중센서 삼각측량(Multi-Sensor Triangulation) 모듈을 이용하여 수행한다. 먼저 프로젝트 파일을 생성하는 과정에서 좌표정의를 실시하고 카메라 내부표정요소와 GPS/INS 데이터를 입력한 후 SET UP - APM - IPM - Blunder Detection-SOLVE의 과정을 통해 최종적으로 항공삼각측량 성과를 얻었다. 여기서 Fig. 3은 Socetset(ver.5.6)에 의한 항공삼각측량 처리 흐름도를 보여주고 있다. 본 항공삼각측량 수행과정에서는 Blunder Detection 과정을 통하여

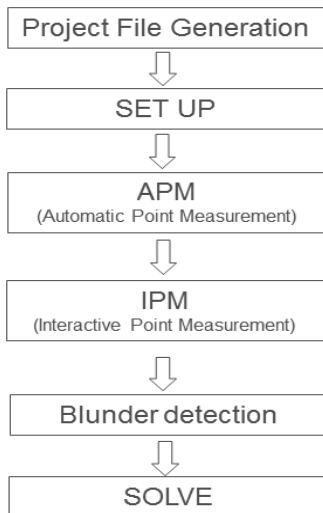
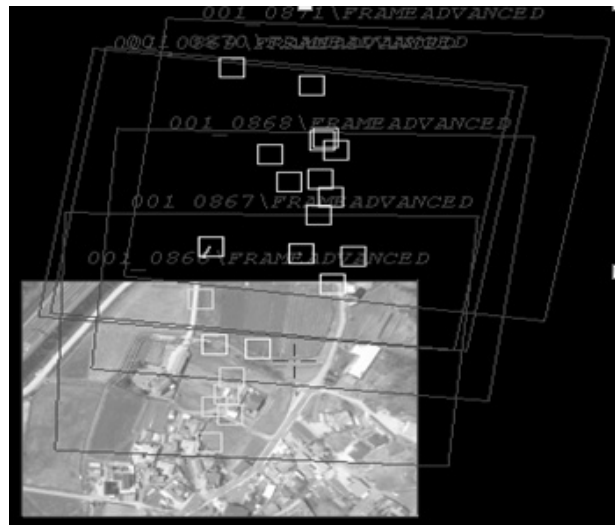


Fig. 3. Workflow of Digital Aerial Triangulation

과대오차를 소거한 후 최종과정에서 잔차값을 줄이기 위하여 잔차값이 큰 점들에 대하여 관련된 영상을 각각 열어 해당 점들이 제대로 올바른 위치에 있는지 확인하고 수정하는 작업을 수행한다. 그리고 SOLVE 모듈에서 공선조건식 변수 입력 후 이러한 작업을 반복수행하여 오차값이 1/2~1영상소 오차 이내로 들어오도록 조정 한 후 작업을 종료하였다. 여기서 Fig. 4(a) and Fig. 4(b)는 각각 항공삼각측량에서 영상조정 절차 및 오차조정 과정을 보여주고 있다.

먼저 항공삼각측량은 지상기준점 6개와 접합점(tie points) 13개를 이용하여 결과를 도출하였으며 RMSE X=0.068m, RMSE Y=0.118m, RMSE Z=0.080m, Omega=-0.068° Phi=-0.087°,



(a)



(b)

Fig. 4. Block Adjustment(a) and Error Adjustment(b) (Source : Lee et al., 2012)

Table 5. Boundary Points' Coordinates, Aerial Triangulation Without GCP (units : m)

No.	RTK_X	RTK_Y	UAV_X	UAV_Y	ΔX	ΔY
GPS12	200376.01	508439.11	200380.78	508435.62	4.77	-3.49
GPS24	200376.54	508409.48	200372.22	508410.29	-4.32	0.81
GPS25	200448.25	508406.45	200447.71	508405.65	-0.54	-0.80
GPS26	200449.69	508393.42	200449.09	508393.46	-0.60	0.04
GPS27	200439.52	508376.19	200439.61	508377.28	0.09	1.09
GPS28	200377.01	508376.86	200381.41	508378.21	4.40	1.35
Mean					0.64	-0.17
RMSE					2.964	1.533

Table 6. Boundary Points' Coordinates, Aerial Triangulation With GCP (units : m)

No.	RTK_X	RTK_Y	UAV_X	UAV_Y	ΔX	ΔY
GPS12	200376.01	508439.11	200376.06	508438.91	0.05	-0.20
GPS24	200376.54	508409.48	200376.53	508409.51	-0.01	0.03
GPS25	200448.25	508406.45	200448.26	508406.65	0.01	0.20
GPS26	200449.69	508393.42	200449.78	508393.43	0.09	0.01
GPS27	200439.52	508376.20	200439.56	508376.02	0.04	-0.17
GPS28	200377.01	508376.86	200376.75	508376.97	-0.26	0.11
Mean					-0.01	0.00
RMSE					0.114	0.144

Kappa=0.029", Total RMSE = 0.158 m로 나타났다. 이 성과는 국토지리정보원의 「항공사진측량작업규정(제54조2항)」 중 도화 축척 1:1000의 경우 최대값 $\pm 0.40m$ 를 기준으로 비교하였을 때 항공사진측량작업규정에서 요구하는 기준에 부합하였다.

다음은 대공표지가 설치된 필지경계점의 위치를 구하기 위해 무기준점(GPS/INS에 의한 외부표정요소만 사용한 경우) 과 기준 점을 이용한 항공삼각측량을 각각 수행한 뒤 시각판독법(on-screen digitizing) 으로 좌표측정을 수행하였다. “시각판독법”은 새로운 레이어(layer) 나 주제(themes)를 얻기 위하여 스캔된 영상이나 도면으로부터 객체정보를 육안으로 판단하여 따라가며 도형정보를 얻는 방식이다. 이 방법은 전통적 디지털화 방식과 유사하나 디지털라이저와 커서를 사용하지 않고 사용자가 좌표정보를 가진 영상 또는 스캔도면을 배경으로 하여 스크린 상에서 마우스를 이용하여 육안으로 지도 레이어나 지도의 도형정보 레이어를 작성하는 데 사용된다.

여기서 필계점의 위치좌표는 2가지 방식 - 즉 첫 번째, GPS/INS에 의한 초기 외부표정요소(EO: Exterior Orientation) 값으로 항공삼각측량 수행 후 측정된 대공표지 위치좌표(Table 5), 두 번째, GCP를 이용한 항공삼각측량 수행 후 시각판독법에 의한 대공표지 위치좌표를 측정하였다(Table 6). 이상의 실험결과를

정리해보면, 지상측량성과와 무기준점 항공삼각측량 수행 후 얻은 평면위치좌표차의 RMSE X=2.964m Y=1.533m, 그리고 지상측량성과와 GCP를 이용한 항공삼각측량 후 얻은 평면위치좌표차의 RMSE $\Delta X=0.114m$ $\Delta Y=0.144m$ 이다.

3.2 정사사진의 위치정밀도 평가

본 항에서는 현장복원 된 필지경계점 말뚝에 설치된 대공표지 좌표를 UAV 정사영상(정사사진 GSD 20cm, 항공사진의 자동영상정합으로 생성한 DEM 해상력 50cm×50cm)과 지상측량(Network-RTK 및 T/S 측량) 으로 측정하여 위치정밀도를 비교하였다. 개별 측정기법에 따른 좌표 비교결과, UAV 사진측량의 정사영상(이하, UAV 사진측량) 에 대한 좌표측정값과 T/S 측량의 평면위치차이의 RMSE $\Delta X=0.205m$, RMSE $\Delta Y=0.294m$, UAV 사진측량과 Network-RTK 측량에 의한 평면위치차이의 RMSE $\Delta X=0.174m$, RMSE $\Delta Y=0.298m$, 그리고 UAV 사진측량과 지적확정성과와의 평면위치차이의 RMSE $\Delta X=0.202m$, RMSE $\Delta Y=0.295m$ 로 X, Y 방향으로 일정한 편위(X 방향 편위 범위 0.174m~0.205m, Y 방향 편위 범위 0.294m~0.298m)를 나타냈다.

이것은 영상정합기법에 의한 정사영상 제작에 사용된 수치지표고 모델(DEM: Digital Elevation Model)의 부정확성, 그리고 시범대

Table 7. Coordinates Differences by UAV Photogrammetry, Terrestrial Surveying, and Cadastre Results (units : m)

Measurement methods	UAV photogrammetry - Network-RTK		UAV photogrammetry - T/S		UAV photogrammetry - Cadastre results	
	Dx	Dy	Dx	Dy	Dx	Dy
GPS0012	-0.116	0.075	-0.120	-0.116	-0.119	-0.115
GPS0024	-0.024	-0.067	0.021	0.011	0.019	0.010
GPS0025	0.010	-0.115	0.022	0.140	0.024	0.142
GPS0026	0.040	-0.020	0.043	0.026	0.044	0.030
GPS0027	0.087	0.199	0.115	-0.154	0.114	-0.157
GPS0028	-0.081	-0.158	-0.106	0.170	-0.102	0.166
GPS0029	0.054	0.079	0.058	0.040	0.056	0.036
Mean	-0.004	-0.001	0.005	0.017	0.005	0.016
Std	0.074	0.125	0.086	0.120	0.085	0.120
RMSE	0.174	0.298	0.205	0.294	0.202	0.295

Table 8. Comparison of Area Calculated by Measurement Methods (units : m²)

Measurement methods	Network-RTK surveying (A)	UAV photogrammetry (B)	T/S surveying (C)	Cadastral surveying (D)
Area	933.118	931.9289	933.112	933.0811
Area differences w. r. t those of cadastral parcel	0.118	-1.0711	0.112	0.0811

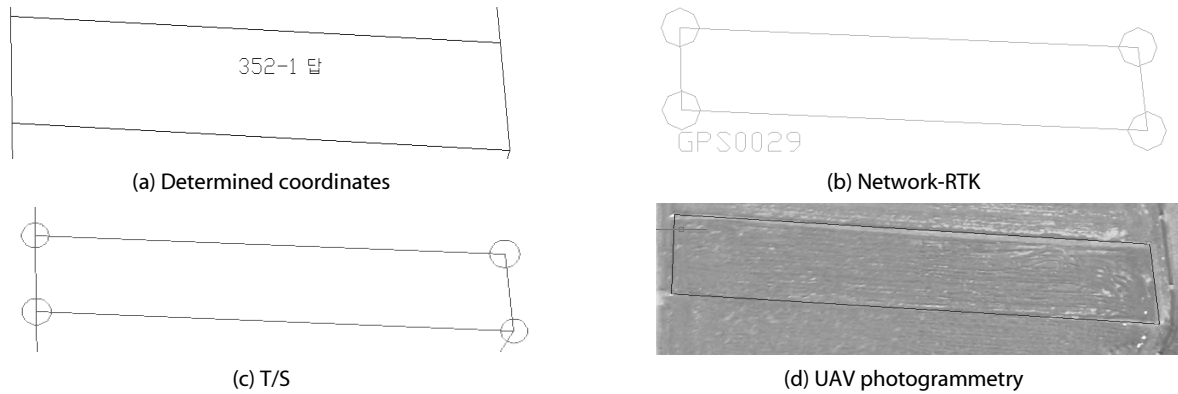


Fig. 5. Map Comparison Derived From Measurement Methods

상지역 내 기준점의 불균등 배치 등 여러 요인이 복합적으로 작용한 것으로 사료된다. 그러나 Table 7에서 UAV 사진측량의 정사사진, 지상측량(Network-RTK 및 T/S측량), 지적확정성과와의 차이의 표준편차(Standard deviation)을 살펴보면 X 방향 0.074-0.085m, Y 방향 0.120m-0.125m를 보였다. 그리고 7개 측점에 대한 UAV 사진측량과 지상측량(Network-RTK 및 T/S측량), 지적확정성과와의 차이의 평균 연결교차는 각각 0.123cm, 0.121cm, 그리고 0.120cm이다. 이 값들은 지적측량시행규칙 제27조 지적측량성과의 결정에서 경계점좌표등록부 시행지역의 경계점에 대한 지적측량성과와 검사 성과의 연결교차(= $\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$) 허용범위인 10cm를

벗어났지만, 이 값은 정사영상의 출력 해상력 개선, 고해상 수치표고도넬 적용을 통해 지적현황측량에 적용가능성도 점검해 볼 필요가 있다. 그러나 이 성과들은 지적 필계점에 대공표지를 설치하고 얻은 성과로 자연경계가 대부분인 지적의 경우 UAV의 적용을 위해서 더욱 많은 연구가 필요할 것이다.

3.3 면적 비교

본 항에서는 UAV 사진측량에 의한 정사영상을 이용해 시각판독법으로 취득한 좌표면적, Network-RTK 및 T/S 지상측량으로 산정한 좌표면적, 그리고 지적의 공부대장면적과 확정성과 면적을

서로 비교하였다. 대장면적(933.00m²)을 기준으로 측정기법별 면적차이를 구한 결과, 최소 0.0811m²(지적확정성파), 최대 -1.0711m²(UAV 사진측량)의 차이가 발생하였으며, 이것은 식 $A = 0.026^2 M \sqrt{F}$ (A: 허용면적, M: 축척분모, F: 대장면적, 도해지적) 에 의해 산출된 허용면적인 24.778m²이내에 해당하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5는 각 측정기법별로 측정한 필지경계점의 좌표를 Autocad civil 3D 2008을 이용해서 도시한 것으로 (a)확정좌표, (b)Network-RTK, (c)T/S, 그리고 (d)고해상 UAV 정사영상을 이용한 좌표측정 기법에 의한 필지경계점 좌표추출 성과를 각각 도시한 것이다.

위에서 도출된 위치정밀도와 면적 비교 등 성과분석을 통해 지도제작 등 정밀작업을 요구하는 부분에 UAV 사용을 위해서 카메라 캘리브레이션, 지상기준점 배치, 수치표고모델 정확도 개선 및 항공삼각측량 정확도 개선 등 다양한 요건을 고려한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 최근 다양한 분야에서 적용이 시도되고 있는 초경량고정익무인항공기 사진측량의 정사영상의 정확도를 평가하고자 하였다. 그리고 항공삼각측량 및 위치정밀도 평가, 그리고 지적 필계점 좌표를 이용한 면적 비교를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) UAV 사진측량에서 6개 GCP와 13개 접합점을 이용하여 항공삼각측량을 수행한 결과, RMSE X=0.068m, RMSE Y=0.118m, RMSE Z=0.080m, Omega=0.068", Phi=0.087", Kappa=0.029", Total RMSE = 0.158m로 나타났다.
- (2) UAV 사진측량의 정사영상과 지상측량(Network-RTK) 으로 필지경계점에 설치된 대공표지의 평면위치차이의 RMSE $\Delta X=0.174m$, RMSE $\Delta Y=0.298m$ 로 나타난 반면 Std. $\Delta X=0.074m$, Std. $\Delta Y = 0.125m$ 이다. 이런 큰 RMSE 값의 발생원인은 정사영상 제작에 사용된 DEM 정확도, 카메라 검정값의 불확실성, 지상기준점 배치와 시각관독법의 좌표관측 시 개인적 오차 등에 기인한 것으로 판단된다.
- (3) 개별 측정기법에 따른 필지면적 분석결과, 현지복원경계점에 대해 UAV사진측량의 정사영상을 이용하여 시각관독기법으로 취득한 좌표면적과 지적 공부대장면적을 서로 비교하였다. 대장면적을 기준으로 UAV 사진측량 성과와 비교결과 차이가 1.0711m²로 실험대상지 1필지 허용면적 24.778m² 이내에 해당하는 것으로 나타났다.

향후 초경량무인항공기의 장점인 저고도 비행에 의한 고해상 영상 취득과 고정밀 정사영상 생성 등을 통해 매핑(mapping) 정확

도 평가 부문, GPS/INS 등 센서결합부문, 영상처리부문 및 재해제난 등 위험지역 및 비접근지역에서의 응용방안 마련 등 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 자료 제공에 협조해 주신 (주)동원측량권설탄트 임수봉 대표이사님께 진심으로 감사를 드립니다.

References

- Cunningham, K., Walker, G., Stahlke, E. and Wilson, R. (2012). "Cadastral audit and assessments using unmanned aerial systems." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, Zurich, Switzerland*, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011.
- Eisenbeiss, H. (2010). *UAV-borne laser scanning*, Available at: http://dgk.auf.uni-rostock.de/uploads/media/11_Eisenbeiss_DFGRundgespraech.pdf (Accessed: April 11, 2013).
- Grün, A., Zhang, Z. and Eisenbeiss, H. (2012). "UAV photogrammetry in remote areas -3D modeling of drapham dzong bhutan." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Melbourne, Australia, Vol. XXXIX-B1, XXII ISPRS Congress.
- IPW. (2009). *Institute of plant sciences at ETH Zurich (IPW) corporate website*, Available at: <http://www.ipw.ethz.ch/> (Accessed May 25, 2009).
- Jeong, S. T., Ko, J. H., Kim, J. K., Yeom, J. M. and Kim, H. Y. (2012). "Crop information delivery system using an unmanned aerial vehicle." *2012 Conference of The Korean Association of Geographic Information Studies*, The Korean Association of Geographic Information Studies, Jeju, Republic of Korea, pp. 296-297 (in Korean).
- Jung, S. H., Lim, H. M. and Lee, J. K. (2010). "Acquisition of 3D spatial information using UAV phtogrammetric method." *Korean Journal of Geomatics*, Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 28, No. 1, pp. 161-168 (in Korean).
- Khairul Nizam Tahar., Anuar Ahmad., Wan Abdul Aziz Wan Mohd Akib. and Wani Sofia Udin. (2011). "Unmanned aerial vehicle technology for large scale mapping." *ISG & ISPRS 2011*, Malaysia, Sept. 27-29, 2011.
- Khzirul Nizam Tahar, Anuar Ahmad. and Wan Abdul Aziz Wan Mohd Akib. (2012). "The potential of multi-rotor UAV technology in landslide mapping." *J. Mod. Phys. Appl.1 (2012)*, No. 1, pp. 23-37.
- Kim, M. G., Jung, G. Y., Kim, J. B. and Yun, H. C. (2010). "Applicability analysis of UAV for storm and flood mapping." *Korean Journal of Geomatics*, Korean Society of Surveying,

- Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 28, No. 6, pp. 655-662 (in Korean).
- Kishore, C. S. and Zaman, Q. U. (2012). Rice crop monitoring with unmanned helicopter remote sensing images, remote sensing of biomass - Principles and applications, Available at: <http://www.intechopen.com/books/remote-sensing-of-biomassprinciples-and-applications/rice-crop-monitoring-with-unmanned-helicopter-remote-sensing-images>.
- Lambers, K., Eisenbeiss, H., Sauerbier, M., Kupferschmidt, D., Gaisecker, T., Sotoodeh, S. and Hanusch, T. (2007). "Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the late intermediate period site of pinchango alto, palpa, peru." *Journal of Archaeological Science Amsterdam*, Vol. 34, No. 10, pp. 1702-1712.
- Lee, I. S., Kim, S. J. and Seo, G. S. (2012). *Development and application of imaged-based cadastral mapping(2012)*, Report 2012-04, Spatial Research Institute, Korea Cadastral Survey Corp (in Korean).
- Lee, I. S., Kim, S. J., An, J. C. and Jang, C. H. (2011). *Development and application of imaged-based cadastral mapping (2011)*, Report 2011-05, Spatial Research Institute, Korea Cadastral Survey Corp (in Korean).
- Nagai, M., Chen, T., Ahmed, A. and Shibasaki, R. (2008). "UAV borne mapping by multi sensor integration." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing 2008, Vol. XXXVII. Part B1.
- NDMI. (2007). *Development of damage estimation module using geospatial imagery information*, Report No. NIDP-PR-2006-01-22 (Research report), National Disaster Management Institute (NDMI), National Emergency Management Agency (in Korean).
- Peterman, V. and Mesarič, M. (2012). "Land surveying from unmanned aerial vehicle." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Melbourne, Australia, Vol. XXXIX-B1, XXII ISPRS Congress.
- Pueschel, H., Sauerbier, M. and Eisenbeiss, H. (2008). "A 3D model of Castle Landenberg (CH) from combined photogrammetric processing of terrestrial and UAV-based images." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS Congress, Beijing, China, Vol. XXXVII Part B8, pp. 93-98.
- Randa. (2009). *Randa rockslide corporate websited* (Accessed May 18, 2009).