pISSN : 2508-3384 eISSN : 2508-3392
https://doi.org/10.22640/lxsiri.2018.48.1.11
Journal of Cadastre & Land InformatiX Vol.48 No.1 (2018)
한국국토정보공사「지적과 국토정보」제48권 제1호 2018년 6월 p. 111-121

무인항공기 영상을 이용한 입체시기반 수치도화 정확도 평가

Accuracy Assessment on the Stereoscope based Digital Mapping Using Unmanned Aircraft Vehicle Image

윤공현* · 김덕인** · 송영선***
Yun, Kong-Hyun · Kim, Deok-In· Song, Yeong Sun

Abstract

RIn this research, digital elevation models, true-ortho image and 3-dimensional digital complied data was generated and evaluated using unmanned aircraft vehicle stereoscopic images by applying photogrammetric principles. In order to implement stereoscopic vision, digital Photogrammetric Workstation should be used necessarily. For conducting this, in this study GEOMAPPER 1.0 is used. That was developed by the Ministry of Trade, Industry and Energy. To realize stereoscopic vision using two overlapping images of the unmanned aerial vehicle, the interior and exterior orientation parameters should be calculated. Especially lens distortion of non-metric camera must be accurately compensated for stereoscope. In this work. photogrammetric orientation process was conducted using commercial Software, PhotoScan 1.4. Fixed wing KRobotics KD-2 was used for the acquisition of UAV images. True-ortho photo was generated and digital topographic map was partially produced. Finally, we presented error analysis on the generated digital complied map. As the results, it is confirmed that the production of digital terrain map with a scale 1:2,500~1:3,000 is available using stereoscope method.

Keywords: Unmanned Aircraft Vehicle, Stereoscopic vision, Error Analysis, Lens Distortion, Digital Complied Map.

1. 서론

최근 다양한 분야에서 무인항공기(UAV:Unmanned Aircraft Vehicle)를 이용한 3차원 공간정보의 구축 및 활용이 증대되고 있다. 무인항공기의 활용도 측면에서 수치지도의 수정갱신이나 엔지니어링 분야의

* 연세대학교 공학연구원 연구원 Institute of Engineering Research, University (first author: ykh1207@yonsei.ac.kr)
** ㈜지오스페이스 대표이사 Geospace, Inc. (geospace4b@gmail.com)
*** 인하공업전문대학 항공지리정보과 부교수 Dept. of Aerial Geoinformatics, Inha technical College (corresponding author: point196@inhatc.ac.kr)

공사현장 도면, 준공도면 등과 같이 수치지형도를 제작하기 위해서는 기존의 수치사진측량시스템(DPW)의 지형도 제작 공정과 같이 스테레오 영상 기반의 표정 데이터를 이용하여 입체시에 대한 필요성도 증대되고 있다(Goncalves and Henriques, 2015; Colomina and Monila, 2014; Tahar et al, 2011). 무인항공기의 활용은 연구 목적 이외에도 물품 운송 및 군사적 목적과 더불어 공공측량 및 민간분야에서도 다양하게 활용하고 있으며 특히 재난 및 재해의 방지 등과 같은 환경 모니터링의 목적으로도 널리 사용되고 있다. 이와 관련된 국내의 연구사례로서 김홍민 외(2017)는 낙동강의 녹조 탐지를 위하여 무인항공기의 영상과 채취한 시료를 이용하여 저비용의 하천 환경 관리에 충분히 활용될 수 있음을 보여주었다. 최태영 외(2017)는 광학영상 뿐만 아니라 열적외선 센서를 탑재한 무인항공기를 이용하여 토지피복도, 식생현황도 등의 보조자료를 활용하여 지표면의 온도를 추정하는 연구를 발표하였다. 이 외에도 수몰지역에 대한 신속한 공간정보 구축의 성과가 발표되었고(이근왕·박준규, 2016), 무인항공기 영상을 이용하여 자율주행 지원을 위한 도로정보의 추출을 위한 연구 성과도 발표되었다(이근왕, 2017). 또한 수치지형도 제작·갱신의 연구분야의 성과로서, 김민규·정갑용(2017)은 무인항공기 사진측량에 의하여 수치지형도의 갱신의 적용 가능성을 제시하였다. 갱신의 방법으로 생성된 정사영상을 이용한 벡터라이징기법을 이용하여 3차원 도면을 효과적으로 생성할 수 있음을 제시하였다. 임수봉 외(2015)는 무인항공사진측량 기법을 이용하여 수치지도의 갱신의 가능성 탐색을 시도한 결과 축척 1:1,000의 제작 가능성을 확인하였다. 단, 제한된 환경에서 진행된 연구 결과이며, 지형이 심한 산지 등에 대해 적용하기 위해서는 보다 다양하고 심도 깊은 연구가 진행되어야 한다고 보고하였다. 김경덕 외(2017)는 무인항공기 영상을 이용하여 소규모 지역에 대하여 변화탐지 및 수치지형도의 수정/갱신의 방안 연구를 수행하였으며, 결론적으로 실감정상영상을 생성하고 2-D 디지타이징기법을 이용하여 제작 가능성을 보여주었다. 김덕인 외(2014)는 무인항공기를 이용하여 재해시 저비용으로 신속하게 축척 1:1,000의 영상지도 제작이 가능함을 보여주었다. 해외의 연구동향 및 사례로서 카메라 검교정 및 영상표정 측면의 연구의 성과들이 보고되었다. Qin et al. (2013)은 항공삼각측량에서 오랫동안 사용되어 전통적인 표정방법은 UAV에 의해 촬영된 영상의 적합하지 않은 것으로 보고하였다. 실제로 전통적인 AAT(Automatic Aerial Triangulation) 기법은 이론적으로 문제가 없지만 내부표정, 카메라 왜곡보정 등의 기본 가정이 무인항공기에 촬영된 영상과 다소 상이하기 때문이다. 2000년대 초반 이후로 SFM(Structure from Motion)이라 불리우는 컴퓨터 비젼의 기법들이 영상정합의 정확도를 높이기 위해 점차 사용되었다(Snavely et al., 2008; Agarwal et al., 2009; Gini et al., 2013). 영상정합의 분야에 있어서, 전통적으로 사용되는 상관계수법, 최소제곱법 외에 SIFT(shift invariant feature transform) 종류의 영상 기술자(image descriptor), SURF(speeded-up robust features), ASIFT(affine-SIFT), BRIEF (binary robust independent elementary features) 및 LADHash(linear discriminant analysis hash)와 같은 변형된 형태의 기법이거나 새롭게 설계한 방법이다(Lowe, 2004; Morel and Yu, 2009; Calonder et al.,2010; Strecha et al., 2012). 또한 지적, 문화유산 측량 등과 같은 응용분야의 성과가 발표되었다. 지적측량에 적용한 연구결과로서 Van Hinsberg et al.(2013)은 토지경계측량 시 전통적인 지상측량 방법과 UAV성과를 비교해 본 결과 거의 유사한 3 cm의 높은 정확도의 성과를 도출한 것으로 보고되었다. 또한 고고학 탐사 및 고대건물측량을 위하여 UAV로부터 취득한 영상과 지상레이져 스캐너와 조합한 연구결과가 발표되었다(Eisenbeiss, 2009; Fiorillo et al., 2012).

무인항공기는 정밀한 항측용 카메라가 아닌 비항측용 일반 카메라가 탑재되기 때문에 기존의 항측용 카메라와 같은 성과를 도출하기 위해서는 촬영에 적합한 카메라 성능과 기능의 여부가 중요하다. 본 연구에서는 공간정보 구축 가능성 탐지를 위하여 제한된 실험환경이지만 항공기의 진동을 최소화하여 영상의 블러링을 방지하기 위해 고정익 무인항공기를 사용하였으며 입체시가 잘 구현될 수 있도록 카메라의 렌즈 왜곡보정을 수행하였다. 또한 GPS측량으로 취득한 지상기준점을 이용하여 항공삼각측량 과정을 통하여 수치표면모형, 실감정사영상을 생성하고 스테레오 입체시기반의 수치도화를 일부 수행하므로써 축척 1:1,000의 영상지도제작과 수치지형도의 가능성을 파악하기 위하여 정확도를 분석하였다.

2. 무인항공기 촬영

2.1. 연구대상지역 및 장비 주요제원

연구대상지역은 충남 부여군 금강유역 백마강 테마파크 일원으로서 촬영면적은 약 2.36km2이다. 대상지역은 호수, 농경지역, 건물 등의 다양한 형상을 포함하는 지역으로서 드론영상처리의 정확도를 잘 평가할 수 있는 곳으로 선정하였다. 영상 촬영은 2016년 10월에 수행되었으며 같은 시기에 GPS-VRS를 이용한 기준점 측량도 같이 이뤄졌다. 본 연구에서는 SONY사의 ILCE-6000 카메라를 이용하여 영상을 취득하였다. 촬영고도는 약 200m이며 촬영은 80%이상의 종중복을 유지하고 촬영하였고 지상표본거리(GSD: Ground Sample Distance)는 5cm가 유지되도록 설계·비행하였다. Figure 1은 촬영대상지역을 보여주고 있다.

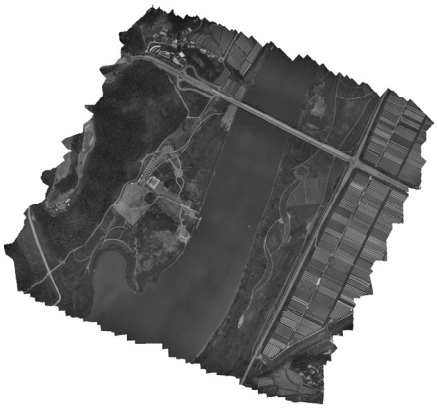


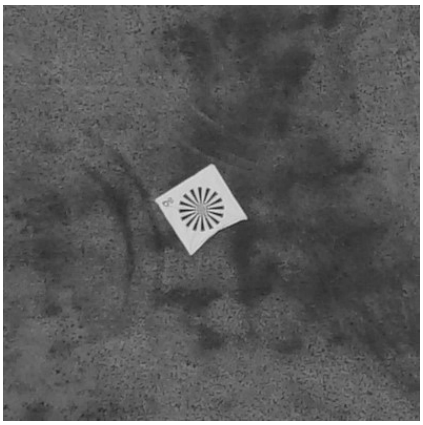
Figure 1. Coverage of this study area

2.2. 시멘스타(Seimens star)설치

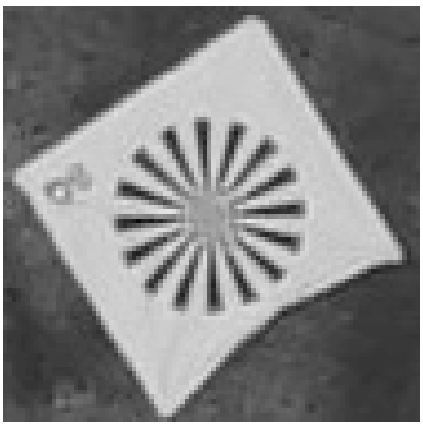
지상표본거리는 비행계획 단계에서 계획한 설계 GSD이다. 즉 추구하고자 하는 지상표본거리를 얻고자 비행고도 등을 계획한 것이다. 실제 사진촬영을 통하여 획득한 영상에서의 시각적 해상도(l)는 설계 GSD와 차이가 날 수 있다. 따라서 드론으로 촬영한 영상에서의 시각적 해상도(l), 즉 실제 GSD를 측정함으로써 계획단계에서의 설계 GSD와 검정할 필요가 있다. 영상의 시각적 해상도, 즉 실제 GSD를 측정하기 위해서는 일반적으로 시멘스타 도형을 이용한다. 시멘스타 도형은 외부 직경이 2m인 원에 원의 중심을 기준으로 하여 32개의 흑백선을 부채꼴로 배열한 도형이다. 시각적 해상도(실제 GSD)는 다음 아래와 같은 식으로 정의된다(항공사진측량 작업규정 제19조).

$$l = \frac{\pi \times \text{직경비}\left(= \frac{\text{내부 직경}(d)}{\text{외부 직경}(D)}\right)}{\text{흑백 선 수}} \times \text{실제 외부 직경}$$

위식의 원리에 따라 중심부의 흐릿해지는(Blurring) 원의 내부 직경(d)에 비례하며, 시멘스타의 흑백선 개수(n)에 반비례한다. Figure 2는 120m의 고도에서 드론으로 찍은 시멘스타의 실제 모습이다.



(a) siemens star



(b) aerial view of siemens star

Figure 2. Feature of siemens star

2.3. 카메라 검보정

고가의 측량용 카메라를 사용하지 않고 일반 디지털 카메라를 사용하여 사진측량학 과정을 처리하기 위해서는 필수적으로 카메라 렌즈의 왜곡을 보정해주어야 한다. 본 과정에서는 총 617장을 이용하여 조정된 초점거리와 방사방향의 왜곡 요소와 접선방향의 왜곡요소 계산하였으며(Table 1), AgiSoft사의 Camera Calibration기능을 사용하였다(Agisoft PhotoScan User Manual, Professional Edition, Version 1.4).

Table 1. Lens distortion parameters of ILCE-6000 digital camera

Remarks	Parameters	Calibrated Value
Focal length	f	4338.39
Principal Point	Cx	-43.7832
	Cy	-74.9429
Radial Distortion	K1	-0.0082214
	K2	0.0035452
	K3	0.00338085
Tangential Distortion	P1	-0.0018488
	P2	-0.00098419
Skewness	B1	0.79195
	B2	2.19431

2.4. 지상기준점 취득 및 무인항공기 촬영

연구지역에 대한 항공삼각측량을 수행하기 위하여 검사점으로 사용될 기준점을 제외하고 총 15점의 지상기준점을 사용하였으며, 지상기준점은 대상지역 전체에 고루 분포하는 것이 가장 이상적이지만, 다소 불균등한 상황이다(Figure 3). 좌표계는 TM(Transverse Mercator)투영, 중부원점을 사용하였고, 지오이드모델(Geoid Model)은 KNGeoid14를 사용하였다(국토정보플랫폼, 2014). 정확도 평가를 위한 검사점은 항공삼각측량을 수행하기 위한 지상기준점 외의 10점을 사용하여 실감정사영상의 위치정확도를 검수하였다.

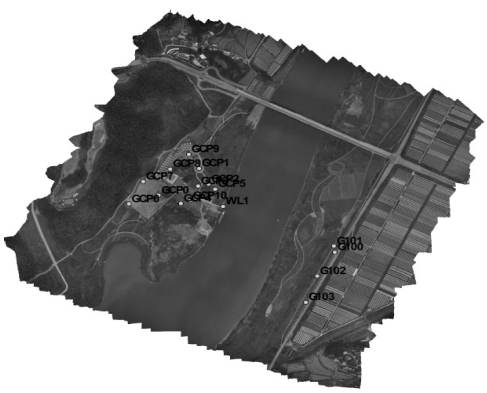


Figure 3. Distribution of GCPs in the study area

무인항공기를 이용한 촬영은 바람이 적은 날을 택하여 촬영을 하였으며 촬영된 영상은 총 617장이다. 무인항공기의 영상은 무인항공기 촬영고도 약 210m이며 지상해상도 약 5cm급으로 취득되었다.

3. 수치표면모형과 실감정사영상 생성

본 과정에서는 무인항공기 촬영 후 취득된 영상에 대하여 항공삼각측량을 수행하고 수치표면모형 및 실감정사영상을 제작하여 정확도를 비교하였다. 일반적으로 항공삼각측량의 핵심처리과정인 영상정합단계에서 전통적으로 상관계수법(Cross Correlation Method), 최소제곱법(Least Square Method) 등을 주로 사용하여 공액점을 찾는다. 촬영 대상지역이 도시지역과 같은 건물 밀집지역이 아닌 경우 즉, 특징점들을 찾기 어려운 형상인 경우 수치표면모형 생성시 실패할 가능성이 높다. 최근 개발된 컴퓨터 비젼(Computer Vision) 분야의 한 기법인 Structure from Motion (SfM)이 드론 영상을 처리할 수 있는 S/W에 구현 되어있다. 이 기법은 아주 다양한 위치에서 중복도가 높게 촬영된 영상을 이용하여 대상물의 3차원 위치정보를 추정하는 것으로서 SIFT(Shift Invariant Feature Transform)라는 기법을 사용하여 수많은 공액점을 추출한다. 항공삼각측량은 Agisoft사의 PhotoScan을 수행하였고 그 결과 영상정합에 사용될 수 있는 많은 공액점들이 자동으로 추출되었다. 아래 Figure 4와 Figure 5는 항공삼각측량을 수행한 결과를 이용하여 자동으로 수치표면모형을 생성하고 이를 이용하여 실감정사영상을 제작한 것이다. 실감정사영상의 해상도는 약 5cm급이고, 수치표고모형은 약 9cm급으로 생성되었다. 실감정사영상은 GPS/INS 초기값과 15점의 지상기준점을 이용한 항공삼각측량의 결과를 이용하여 제작하였고, Table 2는 검사점을 이용한 오차분석 결과를 나타내고 있다. 지상기준점을 사용하여 센서모델링을 수행한 실감정사영상의 정확도는 검사점과 평균편차가 X방향으로 약 5cm, Y방향으로 약 4cm로 나타났으며, 가장 큰 편차는 X방향으로 약 7cm, Y방향으로 6cm로 나타났으나, 대부분의 기준점에서 X, Y방향에 따른 큰 편향은 존재하지 않았다. 또한 RMSE (Root Mean Square)는 ±0.066m로 나타났다. 실감정사영상을 지도제작의 목적으로 사용할 경우 국토지리정보원의 관련 규정을 충족시켜야한다. 실감정사영상 제작의 경우 “영상지도 작업규정” 제 35조의 영상지도의 평면오차는 출력 시 도상 1.0mm이내의 규정에 의하여 1/1,000 축척의 영상지도 제작이 가능한 것으로 판단되었다.

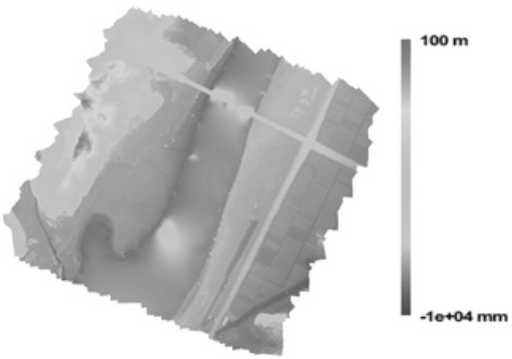


Figure 4. Generated digital surface models

Table 2. Error analysis of generated true-ortho image

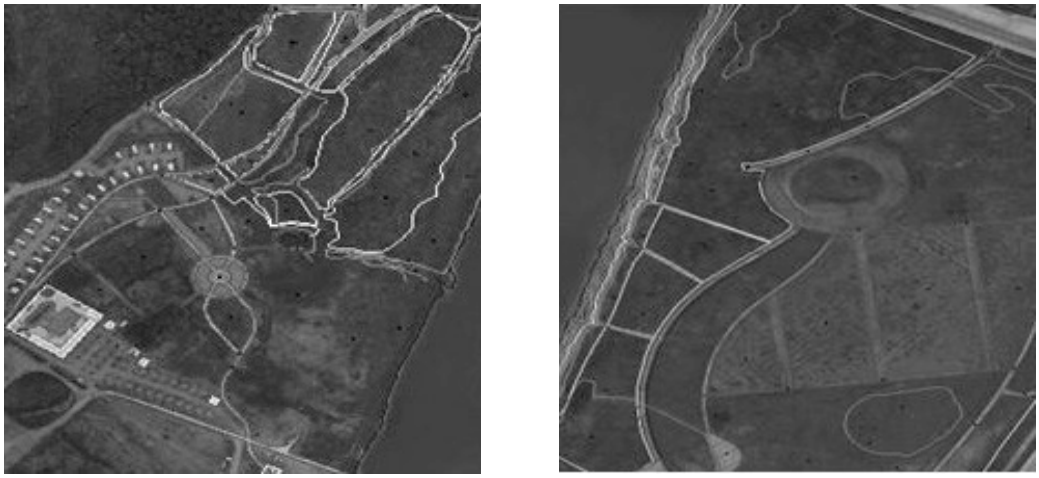
No. of GCPs	Ground Check Points(m)		Residual(m)	
	X	Y	X	Y
G100	193150.98	311096.05	0.04	0.06
G101	193147.11	311126.91	0.04	0.05
G102	193076.89	310977.51	0.03	0.06
G103	193028.74	310846.84	0.05	0.04
GCP0	192406.75	311379.76	0.03	0.02
GCP1	192578.08	311512.69	0.04	0.03
GCP10	192540.11	311352.76	0.05	0.05
GCP2	192618.01	311435.08	0.06	0.03
GCP3	192573.88	311425.07	0.07	0.06
GCP4	192501.29	311338.56	0.04	0.02
GCP5	192645.97	311409.82	0.05	0.03
GCP6	192281.70	311336.54	0.03	0.01
GCP7	192341.82	311447.44	0.04	0.04
GCP8	192456.11	311509.46	0.05	0.05
GCP9	192534.61	311582.71	0.06	0.05
Mean Residual			0.05	0.04
RMSE			±0.066	

Figure 5. Generated true-ortho image

4. 수치도화 및 정확도 평가

본 과정에서는 드론영상을 이용하여 실감정사영상 뿐만 아니라 수치지형도 제작의 가능성을 파악하기 위하여 연구대상지역의 주요 지형·지물을 대상으로 수치도화를 수행하였다.

수치도화를 수행하기 위해서 산자부에서 개발된 3차원 공간정보 제작시스템인 GEOMAPPER 1.0을 사용하였다. 드론을 이용한 수치도화 작업절차는 프로젝트 파일을 생성하고 드론 영상, 카메라 파일을 입력한다. 영상과 영상을 이용하여 모델을 생성하여 입체시를 수행한 후 수치도화작업을 수행한다. 이러한 과정을 통하여 3차원 수치지도를 제작하였다.



(a) Left area (b) right area

Figure 6. Partially complied digital map using GEOMAPPER 1.0 and overlay with true-ortho image

Table 3. Accuracy of digital map compilation using stereoscopy

No. of GCPs	Ground Check Points(m)			Residual(m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	193150.98	311096.05	10.52	0.14	0.16	0.20
2	193147.11	311126.91	8.42	0.14	0.15	0.18
3	193076.89	310977.51	11.10	0.13	0.16	0.17
4	193028.74	310846.84	7.68	0.15	0.14	0.25
5	192406.75	311379.76	6.66	0.13	0.12	0.12
6	192578.08	311512.69	3.15	0.14	0.13	0.30
7	192540.11	311352.76	8.54	0.15	0.15	0.14
8	192618.01	311435.08	9.94	0.16	0.13	0.19
9	192573.88	311425.07	10.33	0.17	0.16	0.22
10	192501.29	311338.56	11.13	0.14	0.12	0.33
Mean Residual				0.15	0.14	0.21
RMSE				±0.216		±0.231

Figure 6은 수치도화기를 이용하여 부분적으로 제작된 수치지형도를 실감정사영상과 중첩한 결과이다. 수치도화의 정확도를 살펴보기 위하여 총 10개의 검사점에 대하여 수치도화와 측량성과를 비교분석하였고 결과는 다음 Table 3과 같다. 평균편차가 X방향으로 약 15cm, Y방향으로 약 14cm, 높이는 약 21cm로 나타났으며, 가장 큰 편차는 X방향으로 약 17cm, Y방향으로 16cm, 높이는 33cm로 나타났다. 또한 평면위치의 RMSE는 ±21.5cm로 나타났으며, 높이의 RMSE는 ±23.1cm로 나타났다. 국토지리정보원 항공사진측

량 작업규정(2013)의 1/1,000 축척, 수치도화의 묘사 허용오차를 적용해 볼 경우, 그 기준을 충족하지 못하는 것으로 판단되었으며, 1/5,000 축척의 수치도화의 묘사 허용오차는 충족시키는 것으로 나타났다. 실감정사영상 제작의 경우 높은 정확도로 1/1,000 정사영상이 제작이 가능하였지만, 수치도화의 경우 상당히 큰 오차를 포함한 것으로 나타났다. 이에 대한 여러 가지 요인이 존재하지만 도화시 가장 큰 오차요인은 항측용 카메라의 엄밀한 렌즈의 왜곡보정과 달리 상대적으로 저가인 비측량용 카메라의 렌즈왜곡의 불충분한 보정으로 추정하고 있다.

5. 결론 및 논의

저고도의비행이 가능하여 높은 공간해상도를 제공할 뿐만 아니라 저비용 구조로서 신속하게 촬영할 수 있는 무인항공기를 이용하여 충남 부여군 금강유역 백마강 테마파크 일원을 연구대상으로 선정하여 수치지형도 제작 및 갱신 분야에 활용 할 수 있는 수치표면모형과 실감정사영상을 생성하였으며 최종적으로 입체시에 의한 수치도화 성과를 도출하였다.

본 연구의 실험에서 실감정사영상 제작을 한 결과 공간해상도 5cm급의 고화질 영상 생성과 더불어 평면위치오차는 약 ±6cm의 평균제곱근오차를 보여줌으로써 국토지리정보원의 “영상지도 작업규정” 제 35조의 영상지도의 평면오차는 출력 시 도상 1.0mm이내의 규정에 의하여 1/1,000 축척의 영상지도 제작이 충분히 가능한 것으로 나타났다. 수치도화의 경우 평균제곱근오차가 평면의 경우 ±0.216m, 수직의 경우 ±0.231m로 나타났다. 이 결과는 1/1,000 ~ 1/1,200 축척의 경우 국토지리정보원의 도화축척에 따른 도화오차 규정(표준편차 0.2m이내)을 충족시키지는 못하는 것으로 나타났으나 1/2,500 ~1/3,000 축척의 도화오차 규정(표준편차 0.36m이내)의 규정은 충족시키는 것으로 나타났다. 실감정사영상의 위치정확도에 비하여 도화시 상대적으로 낮은 위치정확도를 보여주는 여러 가지 요인이 존재하지만 가장 큰 원인은 저가의 비측량용 카메라 렌즈의 왜곡이라고 추정하고 있다.

본 연구 결과를 종합적으로 고려해볼 경우 실감정사영상의 제작의 경우 정확도 측면에서 무인항공기 영상을 이용하여도 충분히 가능한 것으로 나타났으나, 축척 1:1,000 수치지형도의 제작을 위한 입체도화는 부정확한 것으로 판단된다. 현재 이러한 이유로 지형도 갱신의 경우 실감정사영상에 기반한 벡터라이징 방법이 선호되고 있으나 이 기법은 정확한 수치표고모형과 폐색영역이 완벽하게 보정된 실감정사영상이 제작 가능해야 하는 전제가 존재한다. 기존의 연구성과 검토결과에서도 일부 점형 객체의 묘사가 불완전하여 완벽한 1:1,000 수치지형도의 제작의 결과 보고는 아직까지 없다. 입체시 기반의 수치도화기법의 경우 수치표면모형과 실감정사영상이 필요하지 않으므로 지형도 제작의 시간단축뿐만 아니라 오차전파의 영향을 받지 않는다는 장점을 고려한다면 향후 보다 엄밀한 렌즈의 왜곡 보정 및 개선된 입체시 기법을 통하여 정확도가 향상될 수 있도록 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단한다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (과제번호 : 2017R1D1A1B03032754).

참고문헌
References

김경덕, 이동국, 유영걸, 이현직. 2017. 무인항공사진 측량 절차를 적용한 항공사진영상의 처리 및 소규모 변화지역의 수치지도 수정/갱신 방안. 한국지형공간정보학회지. 25(4):15-24.

Kim KD, Lee DG, Yu YG, Lee HJ. 2017. Processing of Aerial Photographic Image Using Unmanned Aerial Photogrammetry Process and Revision/Update Method of Digital Map of Small Change Area. Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science. 25(4):15-24.

김덕인, 송영선, 김기홍, 김창우. 2014. 무인항공기의 국토모니터링분야 적용을 위한 연구. 한국측량학회지, 32(1):29-38.

Kim DI, Song YS, Kim G, Kim CW. 2014. A Study on the Application of UAV for Korean Land Monitoring. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography. 32(1):29-38.

김민규, 정갑용. 2016. 드론 사진측량에 의한 수치지형도 갱신의 적용성 분석. Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology. 6(8):603-610.

Kim MG, Jung KY. 2016. Applicability analysis of Drone Photogrammetry for Updating Digital Maps. Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology. 6(8):603-610.

김홍민, 장선웅, 윤홍주. 2017. 무인항공영상을 활용한 낙동강 녹조 탐지. 한국전자통신학회 논문지. 12(3):457-464.

Kim HM, Jang SW, Yoon HJ. 2017. Utilization of Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Image for Detection of Algal Bloom in Nakdong River. The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences. 12(3):457- 464.

이근왕. 2017. 자율주행 지원을 위한 고해상도 무인항공 영상처리 기반의 도로정보 추출. 한국산학기술학회논문지. 18(8):355-360.

Lee KW. 2017. Extraction of Road Information Based on High Resolution UAV Image Processing for Autonomous Driving Support. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 18(8):355-360.

이근왕, 박준규. 2016. 무인항공시스템에 의한 수몰지역 공간정보 구축 및 분석. 디지털융복합연구. 14(2):225-230

Lee KW, Park JK. 2016. Construction and Analysis of Geospatial Information about Submerged District Using Unmanned Aerial System. Journal of Digital Convergence. 14(2):225-230.

임수봉, 서춘욱, 윤희천. 2015. 무인항공사진측량 방법에 의한 수치지도 갱신. 한국측량학회지, 33(5):397-405.

Lim SB, Seo CW, Yun HC. 2015. Digital Map Updates with UAV Photogrammetric Methods. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography. 33(5):397-405.

최태영, 문호경, 차재규. 2017. 무인항공 영상을 활용한 도심녹지 표면온도 특성 분석* -익산 소라산 자연마당을 대상으로-. 한국지리정보학회지. 20(3):90-103.

Choi TY, Moon HG, Cha JG. 2017. Analysis of Surface Temperature on Urban Green Space Using Unmanned Aerial Vehicle Images* -A Case of Sorasan Mt. Nature Garden, Iksan, South Korea-. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 20(3):90-103.

국토정보플랫폼. 2014. 수직기준변환;[2018년 6월 18일 검색]. http://map.ngii.go.kr

National Land Information Platform. 2014. Vertical Reference Transformation [Internet]. [http://map.ngii.go.kr]. Last accessed 18 June 2018.

Agarwal, S., Snavely, N., Simon, I., Seitz, S.M., and Szeliski, R., 2009. Building Rome in a day. In: 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision, Sept. 29 2009-Oct. 2, pp.7 – 79.

Calonder, M., Lepetit, V., Strecha, C., and Fua, P., 2010. BRIEF: binary robust independent elementary features, in: K. Daniilidis, P. Maragos, N. Paragios (Eds.), Computer Vision—ECCV 2010, Lecture Notes in Computer Science, vol. 6314, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 778-792.

Colomina, I. and Monila, P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92: 79-97.

Eisenbeiss, H., 2009. UAV Photogrammetry. Ph.D. Thesis. Institut für Geodesie und Photogrammetrie, ETH-Zürich. Zürich, Switzerland.

Fiorillo, F., Jiménez, B., Remondino, F., and Barba, S., 2012. 3D surveying and modeling of the archaeological area of Paestum, Italy Virtual Archaeol. Rev., 4: 55 – 60.

Gini, R., Pagliari, D., Passoni, D., Pinto, L., Sona, G., and Dosso, P., 2013. UAV photogrammetry: block triangulation comparisons ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci. pp. 157 – 162.

Goncalves, J.A., and R. Henriques, 2015. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coast areas, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 104:101-111

Lowe, D., 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision, 60: 91 – 110.

Morel, J. and Yu, G., 2009. ASIFT: A new framework for fully affine invariant image comparison SIAM Journal on Imaging Sciences, 2, pp. 438 – 469.

Qin, R., Grün, A., and Huang, X., 2013. UAV project – building a reality-based 3D model, Coordinates, 9: 18 – 26.

Snavely, N., Seitz, S.M., and Szeliski, R., 2008. Modeling the world from internet photo collections Int. J. Comput. Vision, 80: 189 – 210.

Strecha, C., Bronstein, A., Bronstein, M., and Fua, P., 2012, LDAHash: Improved matching with smaller descriptors IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 34: 66 – 78.

Tahar, K.N., Ahmad, A., and Akib, W.A.A.W.M., 2011. UAV-based stereo vision for photogrammetric survey in aerial terrain mapping, Proc. of International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics, Penang, Malaysia, Dec. 4-7, pp. 443-447.

Van Blyenburgh, P., 2013. 2013 – 2014 RPAS Yearbook: Remotely Piloted Aircraft Systems: The Global Perspective 2013/2014. Technical Report. UVS International. Paris, France.

2018년 5월 04일 원고접수(Received)
2018년 6월 01일 1차심사(1st Reviewed)
2018년 6월 15일 2차심사(2st Reviewed)
2018년 6월 27일 게재확정(Accepted)

초 록

본 연구에서는 무인항공기(UAV:Unmanned Aircraft Vehicle)의 입체영상을 이용하여 사진측량학 원리를 적용하므로서 수치표고모형, 실감정사영상 및 3차원 수치 데이터를 제작 및 평가를 수행하였다. 스테레오 입체시를 수행하기 위해서는 수치도화기(DPW:Digital Photogrammetric Workstation)를 필수적으로 이용해야 하는데 본 연구에서는 최근 산자부에서 개발된 3차원 공간정보 제작시스템인 GEOMAPPER 1.0을 사용하였다. 무인항공기의 중복된 두 영상을 이용하여 입체시 생성하기 위해서는 카메라의 내부표정요소와 외부표정요소가 계산되어야 하며, 정확한 입체시를 위해서 비항측용 일반 카메라의 렌즈왜곡에 대한 정확한 보정이 필수적이다. 렌즈의 왜곡보정 및 지상기준점을 이용한 표정요소의 결정은 상업용 소프트웨어인 PhotoScan 1.4를 사용하였다. 무인항공기는 케이로보틱스의 고정익 장비(KD-2)를 사용하였고 항공삼각측량과정을 통하여 최종적으로 실감정사영상을 생성하고 수치지형도를 일부 제작하여 수치도화의 오차분석을 수행하였다. 그 결과 입체도화 방식으로 축척 1:1/2,500 ~1/3,000 수치지형도의 제작 가능성을 확인 할 수 있었다.

주요어 : 무인항공기, 입체시, 오차분석, 렌즈왜곡, 수치도화