

회전익 UAS 영상기반 고밀도 측점자료의 위치 정확도 평가

Assessing the Positioning Accuracy of High density Point Clouds produced from Rotary Wing Quadcopter Unmanned Aerial System based Imagery

이용창*
Lee, Yong Chang

要 旨

최근, 무인항공촬영시스템(UAV, UAS, 또는 드론)은 자료취득을 위한 플랫폼 및 측정기기로서 사진측량의 응용분야, 특히 고밀도 측점자료(HDPC : High Density Point Clouds) 구성에 큰 관심이 모아지고 있다. 본 연구는 저가 회전익 UAS 영상에 의한 시험대상지 지표면의 고밀도 측점자료를 구성하고 위치 정확도를 평가한 내용이다. 정확도 평가는 62개의 지상 검사점에 대한 Network RTK GNSS 측량 결과를 기준으로 UAS 기반 HDPC 모형의 좌표와 비교 검토하였다. 연구결과, 작업지역 정사영상 내, 검사점의 평면 및 수직 좌표성분의 평균제곱근오차(RMSE)는 각각 $\sigma_H = \pm 0.102\text{m}$ 및 $\sigma_V = \pm 0.209\text{m}$, 수직 좌표성분의 최대오차는 0.570m로서 ‘영상지도제작 작업규정’에 따른 축척 1:1000(출력 시, 평면위치오차 1m)의 정사영상모자의 제작이 가능하였다. 또한, 격자규격 1m×1m, 수치지도축척 1:1000의 수치표고모형을 제작할 경우, ‘항공레이저측량 작업규정’제한 기준에는 약간 미흡하였지만, 소규모지역을 대상으로 회전익 무인항공촬영시스템에 의한 축척 1:1000~1:2500의 정사영상 및 수치표고모형 제작의 가능성을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 무인항공촬영시스템, 고밀도 측점자료, Network RTK GNSS, 축척 1:1000

Abstract

Lately, Unmanned Aerial Vehicles(UAV), Unmanned Aerial Systems(UAS) or also often known as drones, as a data acquisition platform and as a measurement instrument are becoming attractive for many photogrammetric surveying applications, especially generation of the high density point clouds(HDPC). This paper presents the performance evaluation of a low-cost rotary wing quadcopter UAS for generation of the HDPC in a test bed environment. Its performance was assessed by comparing the coordinates of UAS based HDPC to the results of Network RTK GNSS surveying with 62 ground check points. The results indicate that the position RMSE of the check points are $\sigma_H = \pm 0.102\text{m}$ in Horizontal plane, and $\sigma_V = \pm 0.209\text{m}$ in vertical, and the maximum deviation of Elevation was 0.570m within block area of ortho-photo mosaic. Therefore the required level of accuracy at NGII for production of ortho-images mosaic at a scale of 1:1000 was reached, UAS based imagery was found to make use of it to update scale 1:1000 map. And also, since this results are less than or equal to the required level in working rule agreement for airborne laser scanning surveying of NGII for Digital Elevation Model generation of grids 1m×1m and 1:1000 scale, could be applied with production of topographic map and ortho-image mosaic at a scale of 1:1000~1:2500 over small-scale areas.

Keywords : UAS, HDPC, Network RTK GNSS, A Scale of 1:1000

1. 서론 및 연구목적

무인항공촬영시스템(UAS : Unmanned Aerial Vehicle sensor Systems)은 무인항공기(UAV, 드론 또는 RPA

: Remotely Piloted Aircraft) 플랫폼(Platforms)에 파장대별 광학수치영상센서(CCD 또는 CMOS), 실시간 측위센서(GNSS), 관성측량센서(INS) 등의 센서 퓨전(Fusion)에 의한 융복합 시스템이다. UAS로 부터 대상

Received: 2015.04.27, revised: 2015.06.02, accepted: 2015.06.02

* 정희원 · 인천대학교 도시과학대학 도시환경공학부 정교수(Member, Professor, Division of Urban & Environmental Engineering, College of Urban Sciences, Incheon National University, yclee@inu.ac.kr)

지의 영상을 취득하고 컴퓨터 입체 영상 해석(Computer vision) 및 사진측량 해석(Photogrammetry analysis)을 수행하면 영상 내 피사체의 시·공간정보를 탐측하거나 고밀도 3차원 측정 자료로 모형화 할 수 있다. 최근, UAS를 활용한 다양한 민간 목적의 활용 연구가 수행되고 있고 그 효용성에 대한 관심이 주목되고 있다. UAS의 활용사례로는 토목분야, 산림 및 농업응용, 자동화 측량분야, 긴급재난재해관리, 교통량 측정 및 관리, 3차원 모형제작을 위한 사진측량, 원격탐측기반 감시시스템 등 다양하다. UAS를 활용한 성공적인 공간정보구축과 운용을 위해서는 플랫폼 및 센서들 간의 원활한 퓨전, UAS와 조정자간의 통신연동 외에도 카메라 렌즈의 검정, 비행방식(자동 또는 수동), 촬영계획용 소프트웨어의 능률성이 중요하다. UAS에 의한 항공사진측량은 최근 부각되고 있는 기술로 정확성과 효용성에 대한 다방면의 검토 연구가 진행되고 있다. 특히 촬영계획 시, 중·형 방향 촬영 중복도, 작업지역 외곽의 여유 폭 반영, 지상기준점(GCPs : Ground Control Points)의 측정수와 배치분포, 영상처리용 소프트웨어의 사진측정학적 해석 수준 등이 모델링 결과의 정확도에 어떤 영향을 주는 가 등에 대한 다양한 대상별 검토와 종합 분석이 요망된다.

본 연구는 저가 회전익(Rotary wing) UAS 영상기반으로 구성된 시험 대상지의 고밀도 측정자료[정사영상 모자이크(Orthophoto-mosaic) 및 수치표면자료(DSD : Digital Surface Data)]의 위치 정확도를 검토하는 것을 목적으로 한다. 아울러, 대상지역 중, 촬영 주점들로 구성된 ‘작업영역’(Block)은 물론 Block 외부지역에 대해서도 Block으로 부터의 거리 및 ‘정사영상 내 각 픽셀의 중첩 영상 매수’(‘NOIP’ : Number of Overlapping Images computed for each Pixel of the orthophoto-mosaic)에 따라 위치 정확도를 검토하였다. 이를 위해 비교적 항공촬영 여건이 양호한 공원 부지를 대상으로 저가 회전익 UAS를 활용하여 영상을 취득·해석하고 대상 지형에 대한 정사영상 및 DSD와 수치표면모형(DSM : Digital Surface Model)를 구성한 후, 검사점의 평면 및 수직 위치좌표를 정사영상 및 파일로 부터 추출하였다. 고밀도 측정자료의 위치 정확도 평가는 VRS(Virtual Reference Station)방식의 Network RTK(‘N-RTK’) GNSS 측량 성과를 기준으로 검사점의 3차원 좌표성분 편차를 구한 후, 국토지리정보원(NGII : National Geographic Information Institute)의 ‘영상지도 제작에 관한 작업규정’, ‘항공레이저측량 작업규정’을 기준으로 비교·검토하였다. 또한, 작업지역 외부로 거리를 증가시켜가면서 NOIP에 따라 3개 영역을 추가

설정하고 추가 영역 내, 검사점(인공점 및 자연점)을 배치하여 3차원 좌표성분의 위치 정확도를 고찰하였다.

2. 연구동향

무인항공기를 활용한 원격 탐측은 무인비행체, 영상 취득용 카메라, 카메라의 자세제어(Gimbal), 자동비행(Autopilot) 및 촬영점의 위치결정(UAV Photo Geo-tagging) 등과 관련된 하드웨어부문과 소프트웨어적으로는 각 센서들 간의 종합적 퓨전과 취득한 영상의 사진측정학적 해석 기술이 필요하다. 최근 5년 사이에 UAV 플랫폼(Platforms : Fixed wing or Rotary wing)과 관련 센서의 소형화, 배터리 기술의 향상 등으로 UAS의 가격대가 하향 조정되고 있으며 광학카메라 외에 소형 열 추적 센서, Laser 또는 초분광센서(Hyperspectral sensor)센서 등과 같은 다양한 종류의 탐측용 센서를 탑재한 UAS가 출시되고 있다. 따라서, 최근의 국내·외적인 UAV 관련 규제와 논의에도 불구하고 UAS는 소규모 근거리 항공사진측량을 위한 대체 기기로서 지형공간정보의 모델링, 식물생태분석, 고고학, 환경감시, 재난재해 감시 등의 다양한 민간 활용 부문에서 효율적인 응용이 추진되고 있다. 특히, 지형공간정보구축분야에서 UAS의 활용은 정밀 항공사진측량에서 활용하고 있는 입체 영상 매칭(3D image matching)기술을 적용하여 취득된 영상으로 부터 정사영상, 수치표면모형, 수치표고 모형 등과 같은 고밀도 측정자료(HDPC : High Density Point Clouds)를 생성할 수 있으므로 중·소규모의 각종 공간정보구축과 도시 공간모델링 및 시설물의 관리·감시용으로 그 활용성이 주목되고 있다.

그동안 국내에서 수행된 무인항공기를 활용하여 제작된 정사영상, DSM의 정확도와 관련된 연구사례로는 다음과 같다.

Lee et al.(2013)은 계획된 실험 조건에서 고정익 무인항공기에 의한 정사영상을 제작하고 지상측량에 의한 필점점과의 좌표차($X = 0.174m \sim 0.205m$, $Y = 0.294m \sim 0.298m$)와 지적공부상 필지면적과의 편차($0.118m^2$)를 산출하여 UAV에 의한 정사영상의 정확도를 평가한 바 있다. Park and Jung(2014)은 계획된 실험 조건에서 고정익 무인항공기를 이용하여 DSM과 정사영상을 생성, GNSS 측량성과와 비교, 정확도를 평가하고 축척 1:1000 수치지도 갱신에 활용이 가능함을 입증한 바 있다. Kim et al.(2014)은 국토모니터링분야에 무인항공기의 적용가능성을 평가하기 위해 계획된 실험 조건의 영상처리결과에서 GPS/INS자료만을 이용했을 경우 약 10m, 지상기준점을 이용했을 경우, 10cm의 오차를

확인하였고 국토모니터링분야에 고정익 무인항공기의 활용 가능성을 검토한바 있다. Park(2014)은 주기적인 고정익 무인항공사진측량을 통해 X, Y 및 높이방향의 최대오차가 각각 약 7.5cm, 10.8cm, 및 14.1cm인 정사영상을 제작하고 저수지의 수위와 수면 면적에 대한 시계열적 변화 상태를 직관적으로 모니터링 하여 저수지에 대한 방재계획 수립방안을 제시한바 있다. 이외에도 UAS 플랫폼 개발, 다중파장대 분광센서 및 법·제도 정비에 관련한 연구도 수행되었다. Han (2014a)은 중·소 규모지역에 대한 지형정보획득을 목적으로 수평정확도 약 $\pm 6\sim 8m$, 고도정확도 약 $\pm 8m$ 로 비행의 안정성을 갖는 저가의 소형 자율항법 UAV를 개발·정확성을 평가한 바 있다. 또한, Han(2014b)은 멀티밴드 영상획득을 위한 센서와 페이로드를 개발하고 수평 및 수직 좌표성분 편차 0.181m 및 0.203m의 정사영상모자이크(Orthophoto-mosaic)제작, 1:1000~5000 수치지도제작과 소규모지역에 대한 원격탐측의 가능성을 제시한 바 있다. Kim et al.(2014)은 국토모니터링분야에 무인항공기의 활용 가능성을 검토하면서 지도제작과 관련된 법·제도의 개선방안을 제시하였다. 또한, Yun and Lee(2014)도 기존 항공사진측량을 보완하는 목적으로 유인항공기와 무인항공기의 통합 운용을 위한 기술적, 법·제도적 규정 및 관련 동향을 검토한 바 있다. 이상과 같이 국내에서 수행된 연구는 대부분 고정익 무인항공기(Fixed wing UAV)를 활용한 연구로 파악되었다.

국외의 경우, 본 연구의 주제 관련, 매우 다양한 분야에서 UAS의 연구사례가 발표되고 있다. 상업용 UAS의 경우, 특히 렌즈의 왜곡보정기술 및 능률적인 영상매칭기법에 의한 고밀도 측점 군 생성이 중요한데 Kannala et al.(2004)은 Fisheye 렌즈검정 방법을 제시하였고 Hirschmüller(2005)은 영상 전역 및 부분 입체매칭기법을 조합하여 짧은 시간에 정확도 높은 영상매칭이 가능한 Semi-Global Matching(SGM) 기법을 개발하였다. Harwin and Lucieer(2012)은 비행고도 50m에서 취득한 UAV 영상에 SGM 기법과 번들조정을 수행하고 토털스테이션 측량결과와 비교한 결과, 표준오차 25~40mm 수준의 고밀도 측점자료를 생성한바 있다. 또한, Remondino et al.(2014)은 다양한 종류의 고밀도 영상매칭기법의 특징과 장·단점을 비교·분석하였다. Haala and Rothermel(2012)은 생활용 카메라 2종을 탑재한 UAV 및 일반 수치항공사진측량시스템에 의한 측량결과를 비교하여 고밀도 측점 자료 생성을 위한 UAS의 역량을 평가한바 있고 Tellidis and Levin(2014)은 소형 무인항공촬영시스템의 사진측정학적 영상획득과정을 체계적으로 발표하였다. Xu et al.(2014)

은 UAV에 카메라와 지상레이저스캐너를 함께 장착하고 문화 유산물에 대한 3차원 모델링 결과를 발표한 바 있다. 또한 Gehrke et al.(2014)은 회전의 무인항공기 기반의 영상을 취득하고 상업용 영상해석 툴(ERDAS LPS, Socet Set, Agisoft Photoscan)에 의한 DEM의 정확도를 비교·제시하였다. 이외에도 UAS 관련, 국제 전문 학술발표회의(UAV-g : Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics)가 2011년부터 매 2년마다 UAV 플랫폼, 사진측량 및 원격탐측용 제반기기, 센서와 센서 정보간 퓨전, 고밀도 영상매칭 및 3D 표면구성, 장애물감지 및 회피, 자동항측, 측위 및 자세결정, 경사사진에 의한 3차원 정보구축, 사물의 추적·감시·변화량 감지, UAS 운영관련 법 및 제도 등을 주제로 개최(2015년 개최지, 캐나다 York 대학교 8월 30일~9월 2일)되고 있다.

3. UAS 영상획득 및 GCP 측량

상대적으로 저렴한 회전의 무인항공촬영시스템에 의한 고밀도 측점자료를 취득하기 위해 Table 1과 같은 제원을 가진 DJI사의 Phantom 2 vision plus(이하 ‘팬텀 UAS’)을 활용하여 인천대학교 송도캠퍼스 기숙사에 인접한 공원 부지(250m×280m)를 촬영 ‘대상지역’으로 선정하고 2015년 4월 11일, UAS 항공사진측량 및 N-RTK GNSS 측량을 실시하였다. 촬영 대상지역의 지형·지물은 평지와 낮은 언덕으로 구성되어 있고 피복 상태는 대부분 잔디가 식재된 상태에서 1m이하의 정원수, 1m~3m의 조경수가 부분 식재되어 있고 북쪽으로 테니스 코트와 체육시설, 동쪽에는 고층 기숙사가 위치해 있다. 절대표정용 지상기준점(GCPs) 8개 측점과 대상지 전체 영역에 대한 고밀도 측점 자료의 품질

Table 1. Specifications of used UAS

UAV		Camera	
Phantom2 Vision +		FC200	
Weight	1242g	Resolution	4608×3456 (14M)
Max. payload	1350g	1pixel size	0.0013414mm
Hovering Accuracy	Hori. 0.8m Vert. 2.5m	Sensor size	W 6.181mm H 4.636mm
Max speed	15 m/s	F-stop	F/2.8
Gimbal accuracy	$\pm 0.03^\circ$	ISO	100
IMU sensors	Gyroscope Acceleration Compass	FOV	110°/85° (Fisheye lens)

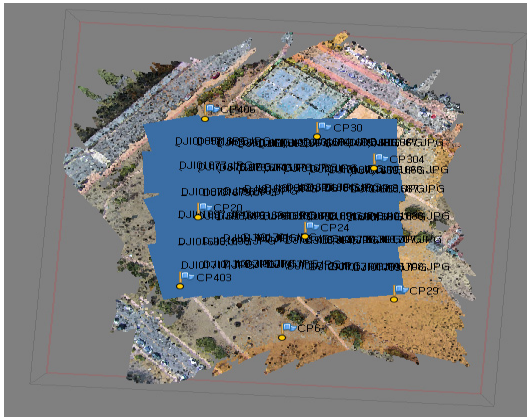


Figure 1. Actual flight paths, and GCPs(Flag symbols) in the test area

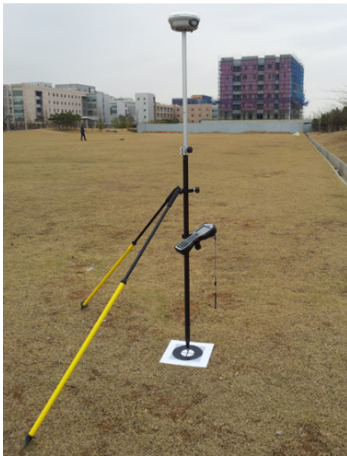


Figure 2. Network-RTK GNSS surveying at GCP(or check point) air-target

Table 2. Coordinates of GCPs(m)

측점명	N	E	H
GCP 6	530509.574	167081.028	10.486
GCP 20	530600.237	167034.342	8.595
GCP 24	530585.550	167093.654	6.783
GCP 29	530537.513	167143.076	6.672
GCP 30	530661.125	167100.632	6.538
GCP304	530637.393	167132.184	6.391
GCP403	530547.938	167024.804	10.749
GCP406	530674.853	167038.111	7.930

을 평가하기 위해 작업지역(‘촬영 주점들로 구성된 100m×90m 영역’ : Block) 및 Block에서 외부로 약 50m 범위까지 총 62개 검사점을 분산 배치하고 VRS 방식으로 N-RTK GNSS 측량 (Trimble R8 GNSS 수

신기, TSC3 Controller, epoch 1초, 측점마다 3분 관측 평균)을 수행하였다. Fig. 1에서 깃발표지(Flag symbols)는 GCPs의 위치, Fig. 2는 GCPs와 검사용 측점에 설치한 대공표지 타겟(직경 20cm, 흑색 원 폭 5.5cm, 두께 3mm 아클릴 판)의 N-RTK GNSS 측량 모습이다. 검사점 중, 자연점은 지면의 높이와 같은 벌목 나무의 중심, 맨홀 뚜껑모서리, 잔디와 수목관리용 스프링클러 뚜껑 중심 등 항공사진에서 식별이 명확한 대상을 선정·활용하였다. Table 2에서 N 및 E는 N-RTK 측량에 의한 지상기준점의 경·위도를 평면직각좌표(중부 도원점)로 변환한 성과이고 H는 타원체고에 KNGeoid13 지오이드고 모형을 적용하여 산출한 정표고이다. 항공촬영계획(Auto pilot, Photo Geo-tagging)은 DJI사가 제공하는 Vision App을 사용하지 않고 DJI사의 공개 API를 활용하여 Pix4D사가 ‘팬텀 UAS’ 전용으로 개발한 Pix4Dmapper capture App(‘Pix4D App’)를 활용하였다. DJI사 ‘팬텀 UAS’기종의 호버링(Hovering)정확도는 GPS와 가속도계의 머징으로 Table 1에서 제시(0.8m)된 바와 같지만, 이동 촬영 중의 정확도는 이보다 낮으며 특히, 고도정보가 영상의 메타정보형식(Exif : Exchangeable image format)에 기록되지 않는 불편함이 있다. 따라서, 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 Pix4D App를 활용하여 작업지역(100m×90m Block)외에 촬영 대상지역(250m×280m) 전체가 촬영되도록 총 6개 촬영코스로 계획하고 평균 비행속도 약 2m/s, 평균 비행고도 약 55m로 12분 동안 비행하면서 총 60개의 영상을 자동 취득하였다. Pix4D App의 특징은 GPS 측위 보정 알고리즘을 활용하여 촬영점의 위도, 경도 및 고도 성분을 실시간 보정한다. 즉, ‘팬텀 UAS’가 촬영을 종료하고 이륙지점(Home point)을 향해 귀환을 시작하면 App과 ‘팬텀 UAS’ 내 영상 간의 시각 동기화를 통해 촬영점의 보정된 3차원 좌표가 영상에 자동 Geo-tagging되면서 스마트폰 메모리에 저장된다. Pix4D사에서 추천하는 중·횡 방향의 ‘최소’ 촬영 중복도는 지표면의 피복 상태에 따라 다르지만, 숲 또는 밀집도가 높은 식생이나 들판의 경우, 85% 및 70%를 권장하고 있다. 영상분석결과, 촬영축척은 약 1:11,000, 영상 1매의 피사면적 약 80m×60m, 지상표본거리(GSD) 1.74cm/pixel, Bloc영역(100m×90m)의 중·횡 방향 촬영 중복도는 각각 평균 78% 및 73%로 분석되었다. Fig. 3은 ‘팬텀 UAS’에 탑재된 FC200 카메라(Fisheye lens, 실제 초점거리 5mm, 35mm필름 등가 초점거리 28mm)로 촬영한 대상지 영상 중, 일부로 좌측 상단에 위치한 테니스 코트 외곽선에서 많은 왜곡이 나타나 있다. 따라서, Fisheye 렌즈로 취득한 영상의 사진측량학

Table 3. Brown's lens distortion coefficients for FC200 fisheye camera

- Focal length fx: 2584.91, fy: 2588.27
- Principal point coordinates, Cx: 2339.35, Cy: 1754.76
- Skew coefficient between the a and the y axis : -0.392882
- Radial distortion coefficients(K),
 K1: -0.0591392, K2: 0.00199274, K3: 0.00121048, K4: -0.00163843
- Tangential distortion coefficients(P), P1: -0.000803586, P2: 0.000111633



Figure 3. Exemplary UAS images

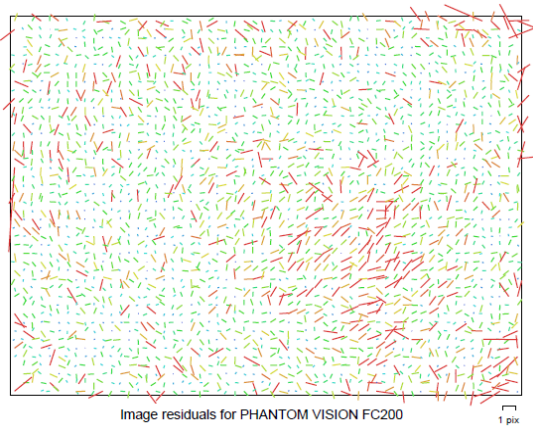


Figure 4. Image residuals vectors for FC200 fisheye lens

적 해석을 위해서는 왜곡보정이 반드시 필요하며 Table 3은 AgiSoft사의 렌즈왜곡 보정 툴(‘AgiSoft Lens’, Chess board)을 사용하여 산출한 Fisheye 렌즈의 Brown 왜곡보정 계수이다. Fig. 4는 왜곡보정 모델링 결과의 잔차 벡터 분포이다.

영상의 주변부로 갈수록 모델링 잔차(Residuals)가 증가하며 1픽셀 이상의 잔차를 보인 픽셀도 영상 전역

에 산재해 있는데, 특히 우측 하단부에 밀집된 분포를 보였다. 수치영상의 사진측량 해석은 AgiSoft사의 PhotoScan(버전 : Professional)을 활용하여 Fig. 5와 같은 수치영상해석 작업과정(영상매칭기술 : SGM)으로 대상지 표면에 대한 고밀도 측점자료를 산출하였다. 지상기준점 8개 측점의 영상 내, 대공표지에 대한 Geo-referencing 작업을 약 0.3픽셀의 표준편차로 수행하여 실세계 좌표기반의 고밀도 측점자료를 구성하였다. Fig. 6은 영상해석으로부터 산출한 정상영상에 Block 영역의 UAS 카메라 촬영점 위치(검은 점)와 Block 영역 외부의 위치 정확도를 검토하기 위해 Block 외부로 거리를 증가시키면서 ‘정상영상 내 각 픽셀의 중첩 영상 매수(NOIP)’에 따라 추가로 설정한 3개의 사각형 영역을 나타낸 것이다. 추가 영역별 범위는 Block 외부로 0m~20m(NOIP = 9매 이상), 21m~40m (NOIP = 4~8매) 및 41m 이상(NOIP = 4매 이하)의 영역이다. 각 영역 내 검사점(인공점 및 자연점)의 평면위치는 정상영상 상에서 확대하여 취득하고 높은 고밀도 측점자료 파일에서 보간 산출하였다. 각

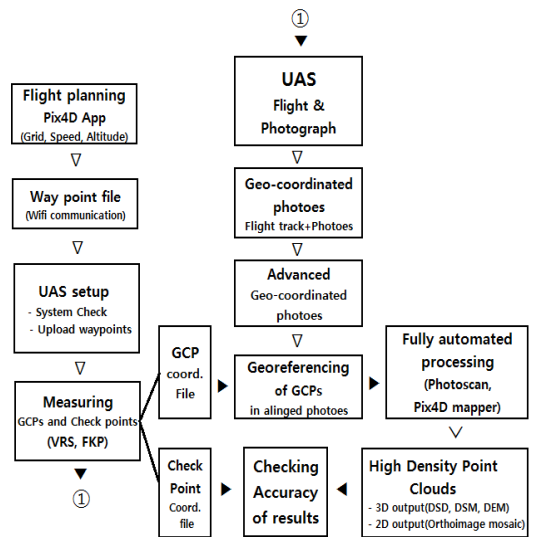


Figure 5. UAS based point cloud generation workflow

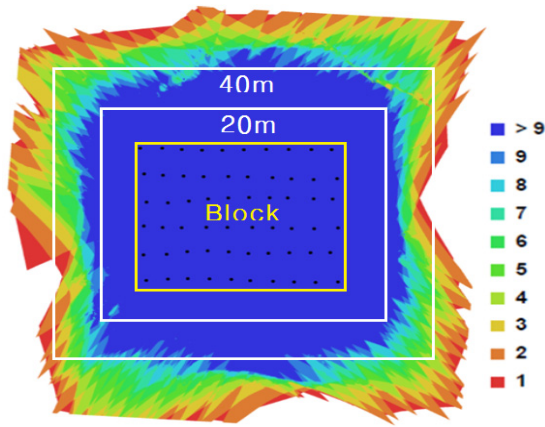


Figure 6. Camera locations, NOIP and three cases of study area that located 20m, 21m~40m, and over 40m away from Block area

검사점의 위치 정확도는 독취 및 보간 산출된 좌표성과와 N-RTK GNSS 측량 성과 간, 좌표성분 편차의 평균 제곱근오차(RMSE)를 검토하여 작업지역(Block) 및 Block 외부 대상지역에 대한 위치정확도의 품질을 고찰하였다.

4. 비교분석

UAS에 의한 수치표면자료(DSD)의 품질평가는 관련 규정이 부재한 관계로 국토지리정보원(NGII)의 ‘영상지도 제작에 관한 작업규정’, ‘항공레이저측량 작업규정’을 참고하였다. 국토지리정보원 ‘영상지도제작 작업규정’에서는 ‘정사영상의 평면위치 오차는 출력 시, 도상 1.0mm 이내’로 규정하고 있고 ‘수치표고자료’의 정

확도 검사는 검사점을 선정하여 ‘항공레이저측량 작업규정’에 따라 점검하도록 하고 있다. ‘항공레이저측량 작업규정’ 제44조 ‘수치표고모델 규격 및 정확도’에는 수직위치 정확도를 격자규격, 수치지도축척 별로 RMSE와 최대오차를 규정하고 있고 활용분야 및 제작 목적에 따라 정확도를 별도로 정할 수 있도록 하고 있다. 본 연구는 대상지역에 대한 고밀도 측정 자료를 회전인 ‘팬텀 UAS’ 영상기반의 수치사진 측량해석(Fig. 5)을 통해 ‘정사영상’, ‘수치표면자료(DSD)’ 및 수치표면모형(DSM)을 구성하였다. 고밀도 측정자료의 정확도는 검사점의 좌표성분 편차(추출성과 - Network RTK 성과)와 통계 분석 자료를 이용하여 앞서 기술한 두 가지 작업규정과 비교하여 수평위치는 ‘영상지도 제작에 관한 작업규정’, 수직위치는 ‘항공레이저측량 작업규정’을 기준으로 비교 검토하였다. Fig. 7은 UAS로부터 촬영한 영상을 해석하여 구성한 작업지역(Block)을 포함한 시험 대상지역의 수치표면자료(46,411,366개 측정점)를 2차원(좌측, 해상도 3.5cm/픽셀, 격자점 밀도 830점/m²) 및 3차원 모형(DSM, 우측)으로 각각 표현한 것이다. Fig. 8 and Fig. 9는 각각 촬영 대상지역 정사영상모자이크(Orthophoto-mosaic)을 배경 맵으로 무인항공기의 촬영점(노란색 작은 원)과 비행궤적(노란실선), 지상기준점(▲) 및 검사점의 위치와 번호(아래 첨자의 숫자)를 중첩하여 나타낸 것이다. 또한, 검사점의 평면위치 오차(영상 취득좌표 - ‘N_RTK GNSS’ 측량 좌표)를 벡터분포(↑), 수직위치 오차(보간된 평균 정표고 - KNGeoid13 모형을 적용한 정표고)는 원(●)의 크기로 각각 표기하였다. 각 검사점의 평면위치는 정사영상에서 영상을 확대하여 ±1픽셀 이내로 좌표를 취득하였다. 또한, 각 검사점의 수직위치는 수치표면자료 파일에서 검사점의 평면위치를 ±1픽셀의 오차범위로 검

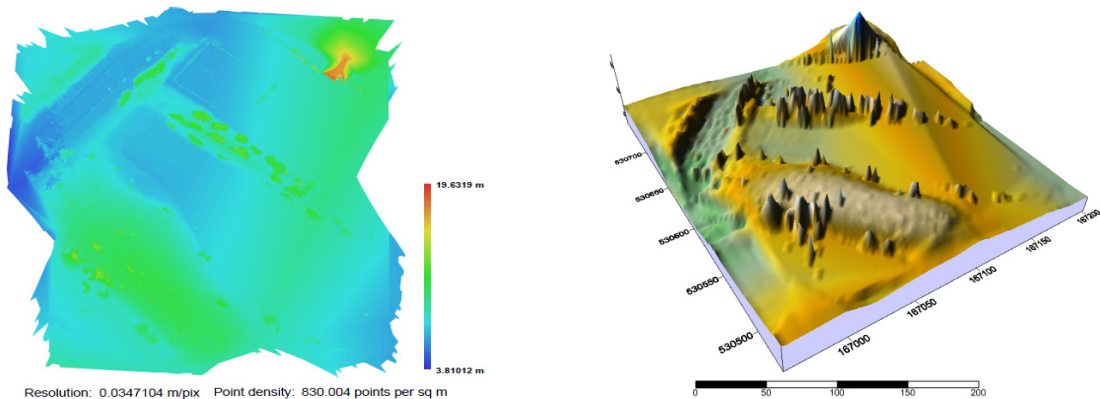


Figure 7. Ortho-mosaic(left) and the corresponding DSM(right) of test area

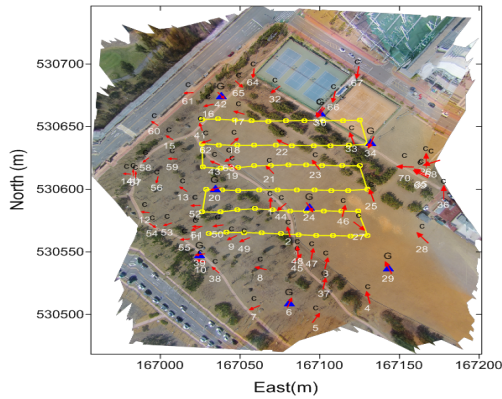


Figure 8. Horizontal position errors(in m) of check points in UAS-generated ortho-mosaic

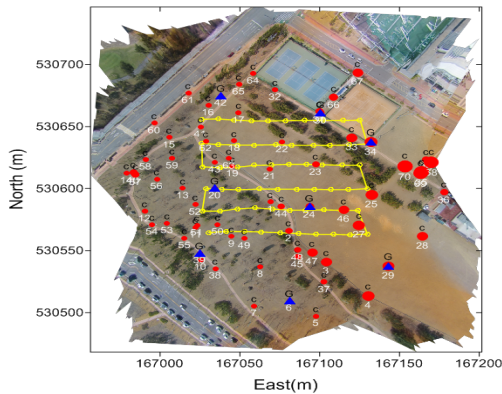


Figure 9. Vertical position errors(in m) of check points in UAS-generated DEM

색하고 최대 4개의 대상점에 대한 평균값을 구해 수직 위치성으로 추출하였다. 62개 검사점 중, 대공표지 인

식이 불가능한 4개 측점(측점번호 26, 36, 40, 57)은 제외하였다. Table 4는 앞서 기술한 작업지역(Block) 및 Block 외부에 추가로 설정한 3개의 대상지역 내, 배치한 검사점의 평면 및 수직 위치 편차에 대한 평균제곱근오차(RMSE)와 각 편차의 최대값, 영역별 NOIP 매수를 나타낸 것이다. 특히, 괄호()안의 수치는 과대오차를 배제한 상태로 재계산한 결과 값이다.

각 영역별로 정사영상 및 수직표면자료의 위치 정확도를 분석하면 다음과 같다. Block 영역 내부에는 검사점 17개, 지상기준점 2개 측점이 분포하며 검사점의 평면 및 수직 좌표성분 편차의 RMSE는 각각 $\sigma_H = \pm 0.102m$, $\sigma_V = \pm 0.664m$, 평면위치와 수직위치의 최대 오차는 0.366m 및 2.055m(27번 검사점)로 나타났다. 따라서, ‘영상지도제작 작업규정’(정사영상의 평면위치 오차는 출력 시, 도상 1.0mm 이내)에 근거, 1:1000 축척(출력 시, 평면위치오차 1m)의 정사영상 제작이 가능하였다. 또한, ‘항공레이저측량 작업규정’의 ‘수치표고모델의 격자 규격에 따른 수직 위치 정확도의 한계’ 기준으로 검토하면 ‘격자규격 2m×2m’의 제한규정(수치지도축척 1/2500, RMSE 0.7m이내, 최대오차 1m이내)에서 ‘최대오차’를 제외하면 대체로 충족되었다. 그러나 Fig. 8 and Fig. 9에서 검사점들에 대한 평면과 수직 위치오차의 벡터분포와 오차원의 크기를 고찰해 보면 공통적으로 Block영역 우측 가장자리 부분에서 큰 편차가 발생되었다. 또한, Block에서 외부영역으로 진행하면서 우측 상부에서 우측 하부에 분포하는 검사점에서 평면 및 수직 위치 모두 1m 이상의 편차가 나타났다. 따라서, 작업지역 우측 가장자리에 위치하며 고도성분의 편차가 크게 나타난 검사점 3점(27, 33, 46)을 제외할 경우, 고도성분의 RMSE와 최대오차는 각각 $\pm 0.209m$ 및 0.570m으로 ‘항공레이저측량 작업규정’에서 ‘격자규격 1m×1m’ 경우의 수직위치 정확도 제한규정(수치지도축

Table 4. Horizontal and Vertical coordinates RMSE of check points within three cases of study areas which formed according to NOIP and distance from Block, especially the values within the parentheses are recomputed excluding outlier (unit : m)

Test area Dist. from Block	RMSE		Maximum value		NOIP (number)
	Horizontal position (σ_H)	Vertical position (σ_V)	Horizontal position error	Vertical position error	
Block area	0.102	0.664 (0.209)	0.366	2.055 (0.570)	9+
0~20m from Block	0.126	0.737 (0.219)	0.468	2.287 (0.790)	9
21~40m from Block	0.830	1.259	2.346	3.159	4~8
Over 41m from Block	0.871	0.923	2.327	2.102	~4

척 1/1000, RMSE 0.5m 이내, 최대오차 0.75m 이내)에도 충족이 가능하였다. 따라서, 활용분야 및 제작목적에 따라 특히, 소규모지역을 대상으로 회전익 무인항공촬영시스템에 의한 정사영상의 제작이나 1:1000~1:2500 수치표고모델 제작의 가능성을 확인 및 입증할 수 있었다. 아울러, 이들 오차원인을 추론한다면 지상기준점의 부족과 부적, 수치표면자료로부터 수치표면모형 생성 시, 비고를 가진 주변 지물의 영향(Block 좌측의 경우, 우측과는 달리 높은 수목이나 인공장애물이 없는 반면, 영상 상부에는 체육시설, 우측 모서리에는 기숙사가 각각 위치 함)에 따른 보간 오차, Fisheye 렌즈의 왜곡보정 잔여오차, N-RTK GNSS 측량 오차 및 저가 센서 간 머징오차 등이 종합적으로 반영된 결과로 분석되나 이 부분에 대한 추가 연구와 보완 방안이 요망된다.

앞서 Fig. 6에서 Block 외부에 설정한 3가지 대상영역의 경우, 촬영 영상의 NOIP는 Block 영역에서 외부로 진행할수록 전체적으로 급감하는 경향을 나타내었다. 첫 번째 외부영역(Block 경계로부터 20m 이내)은 작업지역(Block 영역)과 매우 근사한 NOIP 영상 매수를 가지고 있다. 배치된 측점은 검사점 19점, 지상기준점 4점으로 검사점의 평면 및 수직 방향 좌표성분의 RMSE는 $\sigma_H = \pm 0.126m$, $\sigma_V = \pm 0.737m$, 평면 및 수직 위치의 최대오차는 0.468m 및 2.287m (37번 검사점)로 나타났다. 따라서, 축척 1:1000 정사영상의 제작은 가능한 것으로 분석되었고, 수치표고모델의 경우는 '최대오차' 항목을 예외로 할 경우, '격자규격 5m×5m'의 수직위치 정확도 제한규정(수치지도축척 1/5000, RMSE 1.0m 이내, 최대오차 1.5m 이내)에 충족되었다. 그러나 영역의 가장자리에 위치하면서 과대오차를 보인 검사점(25, 34, 47, 66)을 제외한 경우에는 표고점의 RMSE와 최대오차가 각각 $\pm 0.219m$ 및 0.790m를 보여 수치표고모델 '격자규격 1m×1m'의 제한규정에는 약간 미흡하였지만, '격자규격 2m×2m'의 제한규정은 충족이 가능하였다.

두 번째 외부영역(Block 외부로 20m~40m 이내)은 NOIP가 4~5매로 급감하였고 배치된 측점은 검사점 17점, 지상기준점 1점이며 검사점 중 1개 측점(CP26)은 대공표지의 인식이 불가능하여 제외하였다. 검사점의 평면 및 수직 방향 좌표성분의 RMSE는 각각 $\sigma_H = \pm 0.830m$, $\sigma_V = \pm 1.259m$, 평면 및 수직 위치의 최대오차는 2.346m 및 3.159m(70번 검사점)을 보였다. 따라서, 이 영역의 경우도 1:1000 축척의 정사영상의 제작은 가능한 것으로 분석되었다. 그러나 수직위치의 정확도는 수치표고모델 '격자규격 5m×5m'의 제한규정의

RMSE 및 최대오차를 초과하는 것으로 확인되었다.

또한, Block에서 40m 외부 대상영역에 배치된 측점은 검사점 9점, 지상기준점 1점으로 검사점 중 3개 측점(CP 36, 40, 57)의 인식이 불가하여 제외하였다. 검사점의 평면 및 수직 방향 좌표성분의 RMSE는 각각 $\sigma_H = \pm 0.871m$, $\sigma_V = \pm 0.923m$, 평면 및 수직 위치의 최대오차는 각각 2.327m 및 2.102m(4번 검사점)으로 나타났다. 이 영역의 경우, NOIP가 4매 이하였고 검사점의 수가 다른 영역에 비해 작은 편이지만, 1:1000 축척의 정사영상의 제작은 가능한 것으로 분석되었다. 그러나 수직위치의 정확도는 두 번째 외부영역과 동일하게 수치표고모델 '격자규격 5m×5m'의 제한규정에도 충족하지 못했다.

따라서 1:1000 정사영상의 제작은 작업지역(Block 영역)을 포함한 4가지 영역에서 모두 '영상지도 제작에 관한 작업 규정'을 만족하였다. 그러나 '항공레이저측량 작업규정'을 기준으로 수직위치의 정확도를 고찰해보면, 과대오차를 제외할 경우, 수치표고모델 '격자규격 1m×1m', 수치지도 축척 1:1000의 제작이 가능한 경우는 Block 영역이 유일하였다. 또한 수치표고모델의 '격자규격 2m×2m~5m×5m' 범위의 제한 규정에 만족되는 범위는 '첫 번째 외부 영역'까지 한정되었다. 두 번째와 세 번째 영역은 '표고점의 표준편차와 최대오차의 제한'을 초과하는 것으로 확인되었다.

일반적으로 수치영상자료 취득 및 항공레이저측량과 관련한 작업규정에서는 측량작업계획 수립 시, '측량 대상지역은 작업지역 외곽으로 최소 100m 이상을 연장하여 측량하도록 계획하여야 한다.'고 명시하고 있다.

본 연구에 국한하여 검토하면 소규모지역에 대한 회전익 소형 무인항공촬영시스템 기반 영상해석을 통해 대상지역(Block) 외부의 일부 영역까지도 정사영상의 구성은 가능하였다. 그러나 대상지 항공사진 촬영 환경의 차이, 작업의 안전을 및 수치표면자료 구성과 관련한 제반 작업규정을 충족하기 위해서는 촬영계획 수립 시, 작업지역(Block 영역)의 외부 대상지역이 충분히 포함될 수 있는 계획 수립이 중요함을 알 수 있었다. 향후, 응용·연구에서는 무인항공촬영시스템의 HW 및 SW 부문의 향상 외에 지상기준점의 형상, 개수 및 배치, 정사영상 내 각 픽셀의 중첩 영상매수(NOIP)가 충분히 확보될 수 있는 중·횡 방향 중복도가 반영된 촬영계획의 수립에 유의해야 할 것이다.

5. 결론

회전익 무인항공촬영시스템(Rotary wing UAS) 영상

기반의 고밀도 측점 자료(정사영상 및 수치표면모형)를 구성한 후, 대상지에 분산 배치한 62개 검사점의 평면 및 수직위치를 취득·추출하고 Network RTK GNSS 측량성과 및 영상관련 제한 규정을 기준으로 비교·검토하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 회전의 무인항공촬영시스템 영상기반의 수치사진측량해석결과, 작업영역(Block영역, 100m × 90m)의 경우, 축척 1:1000 정사영상의 제작은 물론, 격자규격 1m×1m~2m×2m(1:1000~1:2500)의 수치표고모델 제작의 가능성을 입증할 수 있었다.

둘째, 무인항공촬영시스템을 이용하여 대축척 수치표고모형을 제작할 경우, 지상기준점의 식별, 정사영상 내 각 픽셀의 중첩 영상 매수(NOIP)가 충분히 확보될 수 있도록 촬영계획 수립 시, 촬영 중복도 및 작업영역을 포함한 대상지역의 충분한 확보가 중요함을 알 수 있었다.

셋째, 본 연구에서 선정·적용한 품질 평가의 기준은 일반 항공사진측량에 상당되므로 무인항공촬영시스템 으로부터 구성된 정사영상 및 고밀도 수치표면자료의 품질평가를 위한 관련 작업규정이 적극 검토되어야 할 것이다.

향후, 본 연구를 통해 도출된 평면 및 수직 위치 오차의 원인을 보완할 수 있는 무인항공촬영시스템 용 하드웨어 및 소프트웨어 부문의 향상은 물론, 영상에서 지상기준점(GCP)의 인식을 향상 방안 및 효율적인 작업 영역의 범위 선정 등 다양한 보강 연구가 요망된다.

References

1. Agisoft, 2015, Agisoft Photoscan professional version, <http://www.agisoft.com>
2. DJI, 2015, Phantom 2 Series, www.dji.com
3. Gehrke, R., Greiwe, A., Spreckels, V., and Schlienkamp, A., 2013, Aspects of DEM generation from UAS imagery, ISPRS, Vol. XL-1/W2, pp. 163-167.
4. Haala, N. and Rothermel, M., 2012, Dense multiple stereo matching of highly overlapping imagery, ISPRS, Volume XXXIX-B1, XXII ISPRS Congress, pp. 387-392.
5. Han, S. H., 2014a, Development and estimation of low price small autopilot UAS for geo-spatial information acquisition, Journal of the Korean Society, Vol. 34, No. 4, pp. 1343-1351.
6. Han, S. H., 2014b, The development of a multi-sensor payload for a micro UAV and generation of ortho-images, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 34, No. 5, pp. 1645-1653.
7. Harwin, S., and Lucieer, A., 2012, Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle imagery, Remote Sensing, Vol 4, No. 6, pp. 1573-1599.
8. Hirschmüller, H., 2005, Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information, in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, Vol. 2, pp. 807-814.
9. Kannala, U., and Brandt S., 2004, A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses, Cambridge, pp. 10-13.
10. 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.
11. Lee, I. S., Lee, J. O., Kim, S. J., and Hong, S. H., 2013, Orthophoto accuracy assessment of ultra-light fixed wing UAV photogrammetry techniques, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No. 6, pp. 2593-2600.
12. The National Geographic Information Institute of South Korea(NGII), 2013, Working rule agreement for airborne photogrammetry.
13. The National Geographic Information Institute of South Korea(NGII), 2012, Working rule agreement for airborne laser scanning surveying.
14. The National Geographic Information Institute of South Korea(NGII), 2012, Working rule agreement for orthoimage mosaic generation.
15. The National Geographic Information Institute of South Korea(NGII), 2010, Working rule agreement for digital-map generation.
16. Park, H. G., 2014, Reservoir Disaster Monitoring using Unmanned Aerial Photogrammetry, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 22, No. 4, pp. 143-149.
17. Park, Y. J., and Jung, K. Y., 2014, Availability Evaluation for Generation of Geospatial Information using Fixed Wing UAV, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 22, No. 4, pp. 159-164.
18. Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna,

- F. and Nex, F., 2014, State of the art in high density image matching, *The Photogrammetric Record*, Vol. 29, Issue 146, pp. 144-166.
19. Tellidis, I., and Levin, E., 2014, Photogrammetric image acquisition with small unmanned aerial systems, ASPRS 2014 annual conference, Louisville, Kentucky.
20. UAV-g, 2015, Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, <http://www.uav-g.org>
21. Xu, Z., Wu, L., Shen, Y., Li, F., Wang, Q., and Wang, R., 2014, Tridimensional reconstruction applied to cultural heritage with the use of camera-equipped UAV and terrestrial laser scanner, *Remote Sensing*, pp. 10413-10434.
22. 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 System*, Vol. 22, No. 2, pp. 3-9.