

UAV 영상을 이용한 무기준점 3D 형상 점군데이터 활용 연구

김민철*, 윤혁진²

¹네이버시스템(주) 스마트컨버전스 기술연구소, ²한국철도기술연구원 ICT융합신기술연구팀

A Study on Utilization 3D Shape Pointcloud without GCPs using UAV images

Min-Chul Kim^{1*}, Hyuk-Jin Yoon²

¹Smart Convergence Research Team, NEIGHBOR SYSTEM Co.,Ltd.

²ICT-Railroad Convergence Team, Korea Railroad Research Institute

요약 최근 UAV(unmanned aerial vehicle)는 기존 측량 장비들을 대체/보완할 수 있는 공간정보 제작 도구로 관련 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 UAV 영상의 활용도에 주안점을 두어, 재난재해와 같이 긴급한 상황이나 지상기준점 확보가 어려운 지역에서의 활용 가능성을 알아보고자 하였다. 이를 위해 UAV 영상으로 3D(dimensional) 형상을 점군(pointcloud)데이터로 제작하였고, 지상기준점을 사용한 모델 데이터와 무기준점 모델 데이터의 절대적/상대적 정확도를 측정하였다. 실험 결과, UAV 영상매칭으로 생성된 3D 형상 점군데이터는 모델 구성을 위한 상대정확도만 확보되어도, 지상기준점 사용 여부에 관계없이 거리측정과 같은 정량적 측정 오차율이 1% 이내인 것으로 검증되었다. 이는 지상기준점 취득이 불가능하거나 작업의 긴급함이 요구될 때, 절대적 위치정보는 부정확하나 신속하게 후처리한 3D 형상 점군데이터만으로도 그 활용이 충분함을 보여준다. 특히 제안된 연구결과는 재난재해 지역과 같이 데이터의 정확도를 확보하기 위한 지상기준점 설계, 측량, 후처리 등의 제반 작업들이 불가능한 상황에서도 길이와 면적과 같은 정량적 측정치와 의미 있는 결과를 취득이 가능하다.

Abstract Recently, many studies have examined UAVs (unmanned aerial vehicles), which can replace and supplement existing surveying sensors, systems, and images. This study focused on the use of UAV images and assessed the possibility of utilization in areas where it is difficult to obtain GCPs (ground control points), such as disasters. Therefore, 3D (dimensional) pointcloud data were generated using UAV images and the absolute/relative accuracy of the generated model data using GCPs and without GCPs was assessed. The results showed the 3D shape pointcloud generated by UAV image matching was proven if the relative accuracy was set, regardless of whether GCPs were used or not; the quantitative measurement error rate was within 1%. Even if the absolute accuracy was low, the 3D shape pointcloud that had been post processed quickly was sufficient to be utilized when it is impossible to acquire GCPs or urgent analysis is required. In particular, the results can obtain quantitative measurements and meaningful data, such as the length and area, even in cases with the ground reference point surveying and post-process.

Keywords : Geospatial data, Image matching, Pointcloud, Relative accuracy, UAV image

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(피해복구를 위한 윈스톱 수변구조물 통합안전관리 기술개발, 17SCIP-B065985-05)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Min-Chul Kim(NEIGHBOR SYSTEM Co.,Ltd.)

Tel: +82-2-3660-6546 email: minchul@neighbor21.co.kr

Received January 8, 2018

Revised (1st January 16, 2018, 2nd January 25, 2018, 3rd February 1, 2018)

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

1. 서론

최근 UAV(unmanned aerial vehicle)는 민간 영역으로 활용이 확대되어 산불 감시, 재난 대응, 농약 살포, 건설·토목 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. UAV의 주요한 장점은 사람의 접근이 어려운 지점 및 구조물을 원거리에서 감시하거나, 신속하게 데이터 취득이 가능하다는 것이다[1].

기존 UAV 관련 연구들은 지도와 3D 객체 형상을 정확히 제작하는데 중점을 둔 연구가 많았다. 주로 많이 이루어진 연구는 UAV 영상 중복도와 지상기준점에 따라 UAV 영상으로 제작한 정사영상과 DSM(digital surface model)의 정확도를 측정하는 분야이며, 이 연구들은 UAV 영상이 주요한 공간정보로써 활용이 충분함을 보여주었다[2]. 하지만 이제는 UAV가 가진 고유의 특징과 장점을 살린 활용분야가 중요하다. 이와 관련하여 “신속공간정보” 개념이 제시되었다[3]. 신속공간정보는 GPS/INS 초기치만을 사용한 결과물을 의미하며, 정확도는 다소 떨어지나 처리시간은 획기적으로 개선할 수 있다. 일반적으로 UAV는 촬영 당시의 위치 자세 정보를 취득할 수 있는 GPS(global positioning system)와 IMU(inertial measurement unit) 장비를 탑재하고 있다. 하지만 이 장비들에서 추출되는 자료만으로는 정사영상이나 3D 데이터를 정밀하게 만들기 어렵다[4]. 매우 정밀한 작업을 수행하려면 지상기준점 이용이 필요하다. 일반적으로 지상기준점을 이용하여 작업하는 경우, 수평오차는 GSD(ground sample distance)의 1~2배, 수직오차는 영상 GSD의 1~3배 정도의 결과를 얻을 수 있다[5].

UAV 영상처리 정확도는 절대와 상대 두 가지로 구분한다. 절대정확도는 특정 지점과 객체 위치 값이 실제 세계에 정의된 좌표체계와 정확히 대응되는 정도를 의미하며, 높은 절대정확도는 특정 지점의 위치가 실제 좌표위치와 일치함을 의미한다. 상대정확도는 후처리 데이터(정사영상, DSM, 3D 형상 데이터 등)내에서 한 지점과 다른 지점의 관계 값을 측정하는 개념으로, 위치좌표와는 오차가 있더라도 상호 거리와 같은 상대적 측정값은 실제세계에서의 값과 유사하다[6]. 즉, UAV 영상 작업이 전문 향측을 통한 성과를 제작이거나 다른 공간정보 자료와의 중첩을 이용한 분석 목적이라면, 지상기준점을 이용하여 지오레퍼런싱 데이터를 제작하여

절대정확도를 높여야 한다. 수행하는 작업이 단순히 두 지점의 거리를 측정하거나, 영역의 너비·면적 정보를 산정하려는 목적이라면 상대정확도만 확보되어도 충분하다.

본 연구에서는 최소한의 공정과 시간으로 제작하는 UAV 영상 무기기준점 후처리 결과를 이용하여, 지상기준점으로 정밀하게 위치정보가 확보된 결과물이 아니라더라도 거리 등을 정확히 정량적으로 측정이 가능함을 실험으로 검증한다.

2. 본론

2.1 UAV 기체와 실험 데이터 취득

2.1.1 UAV 기체

실험 데이터를 취득하기 위한 UAV는 수직 이·착륙과 자유로운 방향 전환이 가능하고, 호버링(hovering)을 통한 안정적인 영상 촬영이 가능한 회전익 쿼드 X형(quadcopter X type) 기체를 사용하였다(Fig. 1). 기체에는 디지털카메라(Sony DSLR ILCE -7M2, 24.3 megapixel, 6000×4000 pixels, 85mm focal length)와 위치자세 정보취득을 위한 GPS와 IMU 통합장비인 Applanix사의 APX-15 UAV가 탑재되어 있다.



Fig. 1. Gryphon Dynamics X8

Table 1. UAV specification

Item	Spec.
Model	Gryphon Dynamics X8
Max. payload	about 5000 g
Max. speed	12 m/s
Weight	10.8 kg (except Battery)

2.1.2 실험 데이터 취득

실험을 위해 콘크리트 모의구조물을 길이 15m, 폭 3m, 두께 0.3m 크기로 제작하였으며, 영상은 고도 약 30m, 75% 중복도의 수직 영상을 조종사에 의한 수동 조종에 의해 취득하였다. 영상의 수는 긴급한 상황에서의 신속한 비행을 전제하여, 하나의 비행 스트립(strip) 범위에 구조물 전체가 포함되도록 최소한의 영상을 취득하였다. 모의구조물과 취득된 UAV 영상은 Fig. 2와 같으며, 영상 제원은 Table 2와 같다.

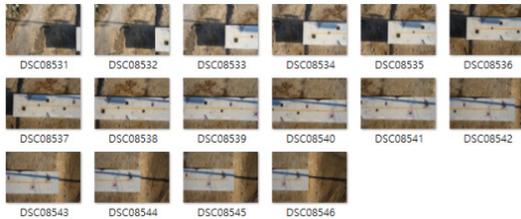


Fig. 2. Captured UAV images for test

Table 2. UAV image dataset

Item	Details
Image num.	16 images
Image size	6000 × 4000 pixels
Flying height	about 30 meter

지오레퍼런싱 작업을 위한 지상기준점 6점과 데이터의 절대정확도 및 상대정확도를 측정하기 위한 검사점 8점을 선정하여, VRS(Virtual reference station) 측량을 실시하였다(Fig. 3).

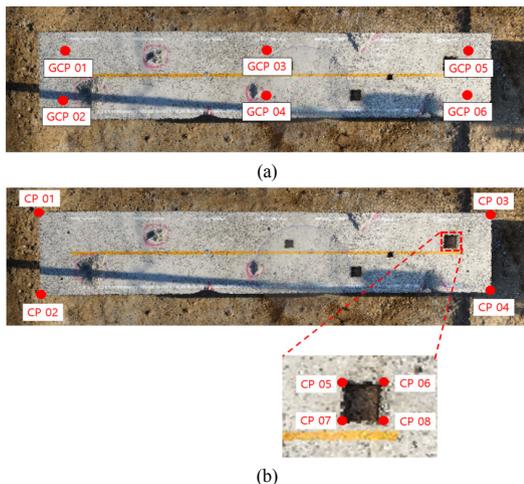


Fig. 3. Position of the GCPs and CP
(a)Position of GCPs (b)Position of CPs

Table 3. Coordinates of GCPs (unit : m)

ID	X	Y	Z
GCP 01	248076.090	534336.374	62.775
GCP 02	248077.246	534335.144	62.775
GCP 03	248080.097	534341.538	62.792
GCP 04	248081.522	534340.657	62.808
GCP 05	248084.421	534346.769	62.777
GCP 06	248085.604	534345.784	62.765

Table 4. Coordinates of CPs (unit : m)

ID	X	Y	Z
CP 01	248074.969	534336.188	62.856
CP 02	248077.281	534334.250	62.769
CP 03	248084.422	534347.813	62.785
CP 04	248086.625	534345.813	62.752
CP 05	248084.063	534346.000	62.760
CP 06	248084.344	534346.375	62.769
CP 07	248084.391	534345.688	62.755
CP 08	248084.719	534346.063	62.744

2.2 연구방법

2.2.1 UAV 영상 후처리

UAV 영상 후처리 데이터의 상대정확도와 거리 계산에 위하여 본 실험에서는 3D 점군데이터 포맷을 사용한다. 3D 점군데이터는 영상 후처리에서 최초로 취득되는 데이터이다. 점군 데이터는 복잡한 형상을 가진 객체를 3D로 세밀하게 표현하기에 적합한 구조이며, 영상처리 과정에서 가장 먼저 생성되므로 신속한 자료 분석 목적에 매우 효과적인 자료 포맷이다. 형상을 구성하는 모든 점 데이터들은 위치좌표(xyz) 값을 가지고 있어, 거리와 면적 계산에도 용이하다. 영상매칭 작업은 Agisoft사의 상용 프로그램인 Photoscan(pro 1.2 ver.)을 사용하였으며, 입력 데이터는 UAV 영상과 카메라 위치/자세 정보인 외부표정요소이다. 사용한 영상의 외부표정요소는 Table 5와 같다. 영상처리 과정은 먼저 Align photo 기능으로 영상들의 매칭점(matching points)을 추출하여 개략적 형상을 재현한다. 다음 Build dense point cloud 기능으로 3D 형상을 표현하는 보다 조밀한 점군데이터가 추출된다. 3D 형상을 재현하는 Photoscan 작업절차는 Fig. 4와 같다[7].

절대위치를 확보하는 후처리 데이터는 지상기준점을 사용하는 GCP 입력 단계가 추가된다.

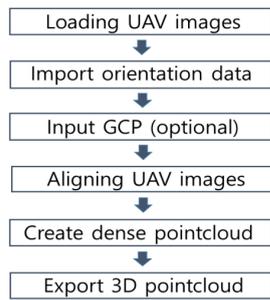


Fig. 4. Workflow of the processing to 3D reconstruction

2.2.2 상대정확도 평가방법

후처리 데이터는 지상기준점으로 지오레퍼런싱을 수행한 결과와 위치·자세 정보인 외부표정요소만으로 처리한 결과 두 가지의 3D 점군데이터를 제작한다. 두 결과데이터는 GPS 측량 결과값과의 비교를 통해 상대적인 모델구성 정확도와 거리측정 정확도를 평가한다(Fig. 5).

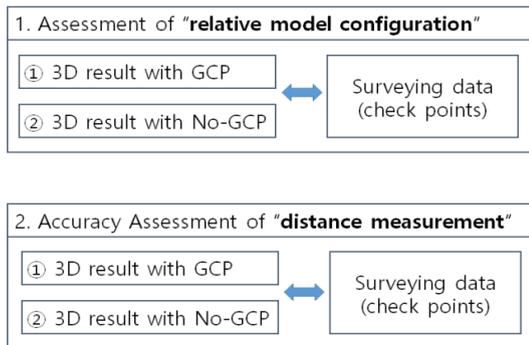


Fig. 5. Methodology of relative accuracy assessment

Table 5. Exterior orientation parameter (unit : m)

Image number	X(east)	Y(north)	Z	Omega	Phi	Kappa
1	248086.673	534349.143	85.755	1.745	-4.271	-128.571
2	248085.897	534348.144	85.635	1.562	-4.379	-128.593
3	248084.874	534347.081	85.879	0.052	-2.699	-128.559
4	248083.826	534346.165	86.123	0.124	-1.924	-128.412
5	248082.874	534345.350	86.231	0.997	-3.012	-128.402
6	248081.978	534344.450	86.299	1.330	-2.122	-128.157
7	248081.190	534343.328	86.368	0.913	-2.869	-128.028
8	248080.513	534342.223	86.484	0.564	-2.959	-128.169
9	248079.714	534341.073	86.536	0.346	-2.687	-128.044
10	248078.794	534339.819	86.518	-0.790	-2.892	-128.258
11	248077.845	534338.686	86.562	0.316	-1.911	-128.189
12	248076.917	534337.573	86.562	-0.709	-2.509	-127.930
13	248075.818	534336.357	86.624	-0.144	-2.471	-127.771
14	248074.765	534335.286	86.714	0.739	-3.106	-127.521
15	248073.501	534333.972	86.669	5.155	-6.707	-127.551
16	248071.388	534331.645	86.650	6.841	-8.609	-127.441

상대적 모델 정확도 평가는 취득된 검사점들의 거리 계산 GPS 측량 결과값을 사용한다. 그리고 3D 점군데이터들의 검사점 오차를 계산하여 변화된 검사점 지점들 간의 거리를 GPS 측량 결과값과 비교한다. 검사점 좌표 거리는 식(1)의 유클리드 거리(Euclidean distance) 공식으로 계산한다.

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

where, x, y and z denotes the coordinate value of each point

모델 구성 정확도 평가 후에는 Build dense point cloud 기능으로 추출되는 3D 점군데이터의 거리를 측정하여 GPS 측량 결과값 비교를 수행한다. Fig. 6은 구조물의 측정 구간, 설계 값, 측량으로 취득된 검사점 좌표 값을 보여준다.

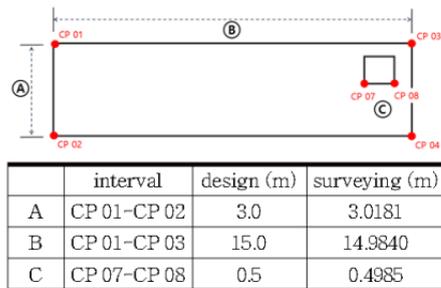


Fig. 6. Distance between CPs

2.3 실험 결과

2.3.1 점군데이터 모델 구성 정확도 실험

먼저 지상기준점을 사용한 실험데이터 I은 Fig. 7과 같으며, 점 데이터 수는 10,970,566 개이다.

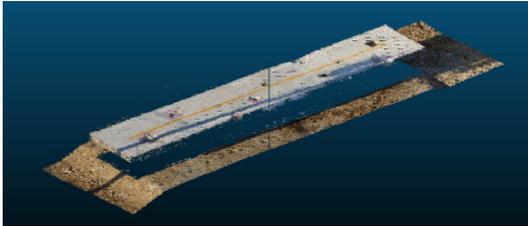


Fig. 7. 3D dense pointcloud of dataset I

지상기준점 없이 카메라 위치자세 정보만을 사용한 데이터(실험데이터 II)은 Fig. 8과 같으며, 점 데이터 수는 10,422,296 개이다.

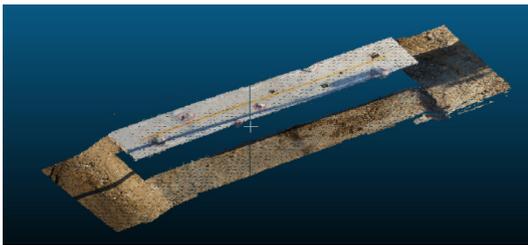


Fig. 8. 3D dense pointcloud of dataset II

실험데이터 I 모델 구성 후, 지상기준점과 모델에서의 정확도 평가 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. The accuracy assessment of dataset I (unit : cm)

ID	ΔX	ΔY	ΔZ
GCP 01	-0.07320	-0.32233	1.79044
GCP 02	0.67671	-0.14392	-0.93095
GCP 03	0.04752	0.52696	-1.80683
GCP 04	-1.27471	0.15468	0.15265
GCP 05	1.17636	-0.21342	0.07529
GCP 06	-0.55376	-0.00262	0.71982
RMSE	0.79382	0.280411	1.1463

검사점 평가는 3D 점군데이터가 만들어지기 전 영상에서 수동으로 측정을 수행하며, 입력된 검사점은 3D 점군데이터가 생성되는 과정에서 Photoscan 내부적으로 그 오차를 계산한다. 즉, 사용자가 영상에서 입력한 검사점들

이 점군데이터 상에서 얼마나 위치 오차가 발생했는지를 자동으로 계산하며, 실험데이터 I 모델 검사점 평가결과는 Table 7과 같다.

Table 7. The accuracy assessment results of dataset I (unit : cm)

ID	ΔX	ΔY	ΔZ
CP01	-2.89274	-5.25475	-12.0093
CP02	0.255811	0.62744	1.55835
CP03	-0.78517	-1.57942	-3.24842
CP04	7.98077	10.1590	7.72918
CP05	-3.64794	2.32883	0.61284
CP06	1.91822	3.02428	-1.44758
CP07	1.10006	0.24081	1.88149
CP08	1.79137	0.83828	3.81687
RMSE	3.43056	4.31619	5.44890

지상기준점을 사용하지 않고, 카메라 위치/자세 정보인 외부표정요소만을 이용하여 구성된 실험데이터 II 모델의 검사점 평가결과는 Table 8과 같다.

Table 8. The accuracy assessment result of dataset II (unit : cm)

ID	ΔX	ΔY	ΔZ
CP01	-75.4459	7.68981	-79.4034
CP02	-72.5557	16.3726	-67.8728
CP03	-77.3808	16.4770	-37.0012
CP04	-68.7056	28.2989	-27.4775
CP05	-80.3602	20.1412	-36.1642
CP06	-74.9479	20.7646	-34.6352
CP07	-75.4761	18.0643	-34.2255
CP08	-75.0129	18.7273	-30.2782
RMSE	75.0526	19.0833	46.9459

검사점 평가 결과, 실험데이터 I의 RMSE는 수평(xy) 약 3~4cm, 수직(z) 약 5cm를 보였으며, 실험데이터 II는 수평(x) 약 75cm, 수평(y) 약 19cm 그리고 수직(z)방향 약 46cm를 보여주었다. 실험 데이터 I은 GCP로 절대위치를 보정한 결과로, 각 CP들이 실제 위치와 근사하나 모델 구성과정에서 발생하는 값들과 ± 오차들이 작은 값으로 불규칙하게 분포되었다. 하지만 실험데이터 II는 특정 xyz 방향으로 전체적으로 이격되어, 비교적 규칙적인 오차 분포를 보이나 그 값은 다소 크게 나타났다. 이 결과는 실험데이터 II가 절대위치 확보 측면에서 다소 부정확한 데이터임을 보여준다. 본 연구에서 실험데이터 II는 지상기준점 없이 외부표정요소 초기치만을 이용하여 신속히 처리한 신속공간정

보로 정의된다. Fig. 9는 두 데이터를 중첩한 것으로 위치정보 차이를 보여준다.

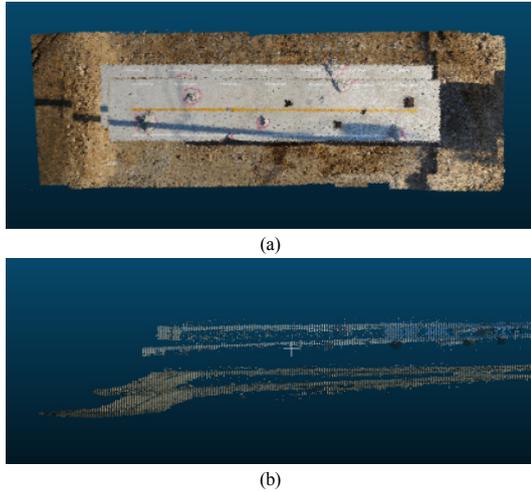


Fig. 9. Overlap of the two dataset
(a)Horizontal difference (b)Vertical difference

다음은 두 데이터의 상대정확도 평가 실험을 수행하였다. 이를 위해 검사점들의 거리 계산을 수행하였으며, Table 9 and 10은 실험데이터들의 검사점 간 거리 측정치와 실제 측량한 거리 측정치를 비교한 결과이다.

Table 9. Comparison of the surveying and dataset I (unit : m)

width	surveying	with GCP	Δ value	error rate (%)
A	3.0181	3.0584	-0.0403	1.34
B	14.9840	14.9360	0.0480	0.32
C	0.4985	0.4929	0.0056	1.12
Avg.				0.93

Table 10. Comparison of the surveying and dataset II (unit : m)

width	surveying	no-GCP	Δ value	error rate (%)
A	3.0181	3.0394	-0.0213	0.71
B	14.9840	14.9420	0.0420	0.28
C	0.4985	0.4903	0.0082	1.64
Avg.				0.88

점군데이터 모델구성 상대정확도 평가결과, 지상기준점 사용 여부에 관계없이 두 데이터들의 모델 구성 오차율은 0.93, 0.88%로 매우 정확한 상대정확도를 보여주었다.

2.3.2 점군데이터 거리측정 정확도 평가

상대정확도가 확보된 실험데이터들을 대상으로 3D 점군데이터들을 추출한 후, 3차원 위치 측정 및 거리/면적 계산이 가능한 자체개발 프로그램으로 점군데이터 기반의 측정실험을 수행하였다. 프로그램은 3D 점군데이터에서 두 개의 점 데이터를 마우스로 선택하면 유클리드 거리공식을 적용하여 거리를 계산한다. 이와 동일하게 개발 프로그램은 3D 점군데이터에서 선택되는 지점들로 다각형을 구성하여 선택 지점들로 폐합된 영역을 설정하여 면적을 계산한다. 실험은 Fig. 10과 같이 실험데이터 I 과 실험데이터 II의 A, B, C 구간 거리를 해당 영역을 확대하여 수동으로 각 CP들을 선택하여 거리 값을 확인 후, 실제 측량 결과와 비교하였다(Fig. 10). 이 과정에서는 육안에 의존한 CP 지점 측정이 수행되므로 정교한 작업이 요구되었다.

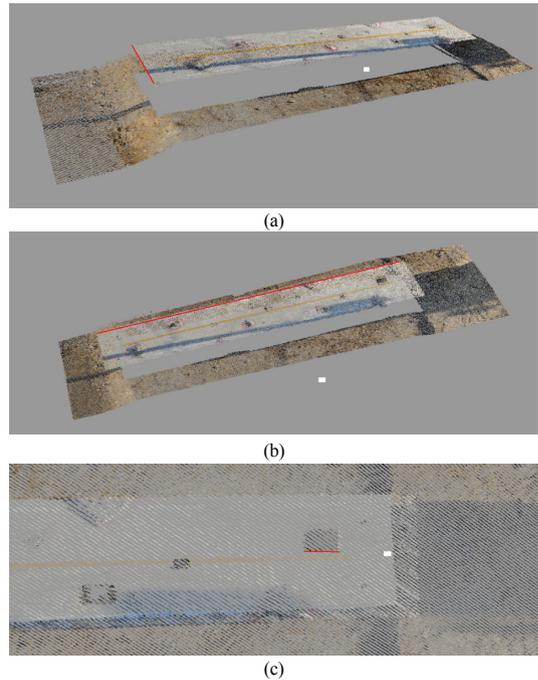


Fig. 10. Developed program for Distance measurement
(a)Distance A (b)Distance B (c)Distance C

Table 11 and 12는 3D 점군데이터 기반에서 실험데이터들의 거리 측정치와 실제 측량한 거리를 비교한 결과이다.

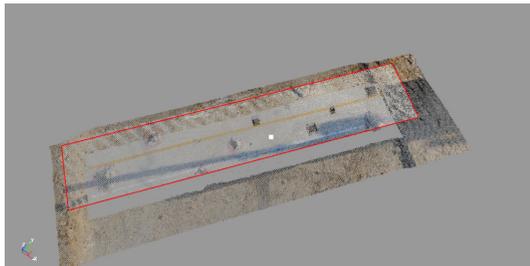
Table 11. Distance measurement result on 3D pointcloud of dataset I (unit : m)

	surveying	with GCP	Δ value	error rate (%)
A	3.0181	2.9500	0.0681	2.25
B	14.9840	14.9240	0.0600	0.40
C	0.4985	0.5080	0.0095	1.90
Avg.				1.52

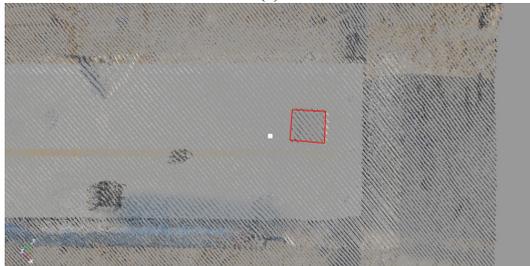
Table 12. Distance measurement result on 3D pointcloud of dataset II (unit : m)

	surveying	no-GCP	Δ value	error rate (%)
A	3.0181	2.9340	0.0841	2.78
B	14.9840	14.9640	0.0200	0.13
C	0.4985	0.5030	0.0045	0.90
Avg.				1.27

다음은 3D 점군데이터 기반에서 실험데이터들의 면적 측정치를 비교한 결과이다. 면적은 Fig. 11과 같이 두 영역을 대상으로 측정하였다.



(a)



(b)

Fig. 11. Developed program for Area measurement (a)Area A (b)Area B

Table 13. Area measurement result on 3D pointcloud of dataset (unit : m²)

	surveying	with GCP	Δ value	error rate (%)
A	44.691	44.207	0.484	1.08
B	0.227	0.216	0.011	4.85
Avg.				2.97

Table 14. Area measurement result on 3D pointcloud of dataset II (unit : m²)

	surveying	no-GCP	Δ value	error rate (%)
A	44.691	45.929	1.238	2.77
B	0.227	0.243	0.016	7.05
Avg.				4.91

점군데이터 기반 측정 실험결과, 지상기준점 사용 여부에 관계없이 실험데이터들의 거리 측정 평균 오차율은 1.52, 1.27%를 보여주었다. 또한 면적측정 실험은 오차율 2.97, 4.91%를 보여주었다. 거리측정 실험에서 지상기준점을 사용하지 않은 실험 데이터 II가 오히려 높은 정확도를 보여주는 경우도 있는데, 이는 점군데이터에서 사용자가 육안으로 측정 지점을 선택하여 거리를 측정하는 과정에서 발생하는 선점 오차에 기인한 것으로 보인다. 오차가 밀리미터(mm) 단위로 측정된 C구간의 경우, 이러한 선점오차가 큰 영향을 미친다. 면적 측정실험은 수동측정에서 발생한 작은 오차가 면적 계산과정에서 축적되면서, 상대적으로 높은 오차를 보이는 것으로 생각된다. 가로세로 50cm의 협소한 영역인 B영역은 영상매칭 작업과정에서 일부 과대 오차 점 데이터가 발생된 것으로 확인되었다.

3. 결론

본 연구에서는 UAV 영상과 위치자세 초기값만을 이용하여 제작한 3D 점군데이터가 모델 구성의 상대정확도가 확보된다면, 절대위치에 오차가 있더라도 거리나 면적 측정이 가능한지 실험을 통해 검증하였다. 실험을 위해 지상기준점을 사용한 후처리 결과와 사용하지 않은 후처리 결과를 각각 제작하여 모델구성 정확도 및 거리/면적 측정 정확도를 평가하였다. 실험 결과, 모델구성 정확도 오차율은 각 0.93, 0.88%로 높은 상대정확도를 보여주었다. 그리고 상대정확도가 확보된 실험 데이터들의 3D 점군데이터를 추출하여 거리측정을 수행한 결과는 오차율 각 1.52, 1.27%, 면적측정 결과는 각 2.97, 4.91%로 타나났다. 이는 지상기준점 없이도 3D 점군데이터로 신속하게 거리나 면적을 측정하는 개략적인 정량적 분석에서는 활용이 충분함을 보여준다. 특히 댐, 교량과 같은 사회기반 시설물의 크기가 수 십미터에서 수 백 미터 크기인 것을 감안하면, 실험에서

도출된 오차율은 신속한 현황정보 및 데이터 생성이 우선되는 재난재해 지역과 같은 넓은 영역의 신속한 분석을 위해서는 효과적으로 활용될 수 있다. 재난재해 지역의 지상기준점 취득의 어려움, GPS 측량과 후처리 등에 소요되는 시간과 비용 절감을 고려하면 무기기준점 점군데이터의 활용은 실용성도 높다고 할 수 있다. 하지만 UAV영상들의 위치·자세 정보가 오차 없이 정확하거나, 자동으로 외부표정요소를 보정하는 방법들이 개발되어 정확한 데이터를 만드는 것이 가장 이상적이다. 절대정확도가 확보된 데이터는 그 활용 범위가 무궁무진하며, 이를 위해서는 UAV 탑재 센서장비와 영상후처리 기술 등과 관련된 많은 제반 연구들이 필요하다.

References

- [1] L. Peter, Y. Albert, H. Yin-Nan, H. Jen-Yu and L. Jihn-Sung, "A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle(UAV) developments and applications in civil engineering", *Smart Structures and Systems*, vol. 13, no. 6, pp. 1065-1094, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.12989/sss.2014.13.6.1065>
- [2] Y. H. Yoo, J. W. Choi, S. K. Choi and S. H. Jung, "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, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7319/kogsis.2016.24.3.003>
- [3] D. I. Kim, Y. S. Song, G. H. Kim and C. W. Kim, "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, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2014.32.1.29>
- [4] N. Pfeifer, P. Glira and C. Briese, "Direct georeferencing with on board navigation components of light weight UAV platforms", Proc. of the XXII ISPRS Congress. Technical Commission VII, ISPRS, Melbourne, Australia, pp. 487-492, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B7-487-2012>
- [5] Barry, P. and Coakley, R., 2013, "Field accuracy test of rpa photogrammetry", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Proc. of UAV-g2013, Rostock, Germany, vol. XL-1/W2, pp. 27-31, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-27-2013>
- [6] DroneDeploy Accuracy in drone mapping : what you need to know[cited 2017 Dec. 10], Available From: <https://blog.droneDeploy.com/accuracy-in-drone-mapping-what-you-need-to-know>
- [7] Agisoft Photoscan professional version[cited 2017 Dec. 11], Available From: <http://www.agisoft.com>

김민철(Min-Chul Kim)

[정회원]



- 2007년 8월 : 인하대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2010년 8월 : 인하대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2011년 1월 ~ 2014년 12월 : 국토연구원 연구원
- 2015년 1월 ~ 현재 : 네이버시스템 주식회사 책임연구원

<관심분야>
항공사진측량, UAV

윤혁진(Hyuk-Jin Yoon)

[정회원]



- 2002년 2월 : KAIST 항공우주공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : KAIST 항공우주공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : UST 철도시스템공학과 부교수
- 2006년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>
건전성 모니터링, 광섬유 센서, UAV