

# Network RTK UAV를 이용한 비탈면의 변위 계측에 관한 연구

## A Study on the Displacement Measurement of the Slope using Network RTK UAV

조정민\* · 이종석\*\* · 양재우\*\*\* · 이병길\*\*\*\*

Cho, Jungmin\*, Lee, Jongseok\*\*, Yang, Jaewoo\*\*\*, and Lee, Byoungkil\*\*\*\*

### Abstract

Recently, research in various fields using unmanned aerial vehicles has been underway and has been applied in various fields due to increased accuracy and precision. In particular, the spread of unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with real-time kinematic (RTK) is smooth, and there is a growing interest in how to increase accuracy and precision while using a cost-saving method and ground control point (GCP). This study attached reflective sheets to the pile head for accuracy evaluation for small-scale slopes with small ends, established the initial position using the backward intersection method, observed the pile head, and used it as a checkpoint. Accuracy analysis of survey results was performed using UAVs equipped with RTK equipment at a low altitude of 25 m (AGL). As a result, when using a GCP, 3D RMSE was able to obtain an accuracy of 5.035 mm in the x-direction, 7.005 mm in the y-direction, and 7.664 mm in the z-direction. In the case of not using a GCP, an accuracy of 32.986 mm in the x-direction, 5.718 mm in the y-direction, and 9.499 mm in the z-direction was obtained.

**Key words** : Slope, Unmanned Aerial Vehicle, Ground Control Point, Measurement, Accuracy

### 요 지

최근 무인비행장치를 이용한 다양한 분야의 연구가 진행되고 있으며 정확도 및 정밀도가 높아짐으로 인해 다양한 분야에서 적용되고 있다. 특히 RTK (Real Time Kinematic)를 장착한 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)의 보급이 원활해지며, 지상기준점을 사용하지 않는 비용절감 방식과 지상기준점을 사용하면서 정확도 및 정밀도를 높일 수 있는 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구는 소단이 있는 3단의 소규모 비탈면에 대하여 정확도 평가를 위해 말뚝 두부에 반사시트를 부착하고 후방교회법을 이용하여 초기위치를 설정하고 말뚝두부를 관측하여 검사점으로 사용하였다. AGL (Above Ground Level) 25 m 고도에서 RTK장비를 장착한 UAV를 이용하여 측량한 결과의 정확도 분석을 실시하였다. 그 결과 GCP를 사용한 경우 3D RMSE는 X방향으로 5.035, Y방향으로 7.005, Z방향으로 7.664 mm의 정확도를 얻을 수 있었으며, GCP를 사용하지 않은 경우에는 X방향으로 32.986, Y방향으로 5.718, Z방향으로 9.499 mm의 정확도를 얻을 수 있었다.

**핵심용어** : 비탈면, 무인비행장치, 지상기준점, 계측, 정확도

\*정회원, 경기대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: chominit@kyonggi.ac.kr)  
Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Kyonggi University

\*\*경기대학교 토목공학과 박사수료(E-mail: jstrend@naver.com)

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Kyonggi University

\*\*\*경기대학교 토목공학과 학부연구생(E-mail: yjw1028@kyonggi.ac.kr)

Research Student, Department of Civil Engineering, Kyonggi University

\*\*\*\*교신저자, 정회원, 경기대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-31-249-9713, Fax: +82-31-249-9713, E-mail: basil@kyonggi.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kyonggi University

## 1. 서론

최근 5년간 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 이용하여 토목, 건축, 방재, 산림, 안전, 측량, 공간정보 분야 등 산업전반의 다양한 분야에서 UAV를 이용한 모니터링을 실시하고 있다. Kim and Lee (2016)는 강우 또는 집중호우등으로 인하여 산사태 및 비탈면이 붕괴되거나 유실되는 사례가 증가한다고 하였다. Lee et al. (2018)은 UAV를 이용하여 비탈면의 거동 분석 시행을 위해 비탈면내 기준점 역할을 할 수 있는 타겟 형태의 변위 측정점을 비탈면 내에 제작 설치하는 방안과 이를 UAV와 연계하여 활용성을 높이는 방안을 제시하였다. G.H. Lee et al. (2020)은 약 20,000개소에 이르는 절토 및 성토 비탈면에 대한 점검은 인력으로 이루어지고 있으나, 점검시 제약조건으로 인해 구체적인 조사에 어려움이 있다고 하였으며, UAV를 이용할 경우 설계, 시공, 유지관리 분야에서 관리감독 및 점검의 정확도를 크게 향상시킬 수 있다고 하였다. Choi et al. (2016)은 위성에서 제작된 DEM (Digital Elevation Model)을 이용하여 토석류 위험도에 대한 연구를 진행하였으며, S.J. Lee et al. (2020)은 위성영상 기반의 DTM (Digital Terrain Model)을 이용한 방법보다 드론 영상으로 제작된 DTM을 이용하여 수치해석 하는 것이 토석류의 영향범위 예측에 더 적절하다고 하였다. S.W. Lee et al. (2020)은 UAV를 이용하여 건축물높이를 산출하여 건축물대장의 높이와 비교하였고, Kim et al. (2020)은 육안조사가 불가능한 경우 UAV를 이용하여 안전진단을 하였으며, Song et al. (2020)은 드론을 통한 항공사진측량 후 실제 반입 토공량과 드론을 활용해 산정된 토공량을 비교 분석하였으며 전체 토공량의 반입오차는 1.44% 발생하였다고 하였다. Rau et al. (2015)은 수목, 유리, 벽면, 지붕, 도로, 그 외 등을 경사사진을 이용하여 생성된 고밀도의 포인트 클라우드를 통해 분류하였다.

UAV 측량의 정확도 향상과 관련된 연구로 GNSS (Global Navigation Satellite System)를 탑재한 UAV로 항공사진촬영 후 지상기준점(Ground Control Point, GCP)을 사용하지 않고 모델링을 진행할 경우 2~8 m급의 오차를 보였으나 GCP를 사용하여 모델링할 경우 10 cm급의 오차를 확인하였다(Vallet et al., 2011; Küng et al., 2011). 근래 UAV에 GNSS 뿐만 아니라, RTK (Real Time Kinematic)장비를 장착하여 향상된 고정밀의 측량이 가능한 UAV가 이용되고 있다(Han and Hong, 2020). Stott et al. (2020)은 촬영고도 70 m에서 3,300개의 검사점(Check Point, CP)을 대상으로 GCP를 5개 사용하였을 때와 GCP를 사용하지 않았을 때 유의미한 차이가 발생하지 않는다고 하였다. 한편, 비탈면의 계측 및 유지관리 문제에 있어서, 현행 5 cm를 초과하는 정확도는 부합하지 않으며, 이보다 더욱 정확하고 정밀한 계측이 필요하다. Nocerino et al. (2013)은 고가의 카메라가 장착된 UAV를 이용하여 저고도 항공사진촬영을 실시하였

다. 그 결과 5 mm 이내의 정확도를 가진 DEM을 생성할 수 있다고 하였다.

『일반측량 작업규정』에 따르면 비탈면의 절취 공사 시 표고에 대한 허용 표고 오차는 3 cm 이내여야 하며, 나아가 더욱 정확한 기준인 비탈면의 변위 계측 정확도는 5 mm 이내여야 한다고 규정하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 실용화가 용이한 카메라 일체형 UAV를 이용하여 토목공사용으로 사용할 수 있는 정확도 3 cm 이내의 성과를 확보하고, 지반계측 설계기준으로 사용되는 비탈면의 변위 기준인 5 mm 이내의 정확도를 얻을 수 있는지에 대한 연구를 진행하고자 한다.

## 2. 실험 방법

연구대상지역은 경기대학교 교내의 비탈면을 대상으로 하였으며, 면적은 약 7,100 m<sup>2</sup>이다. 촬영은 2020년 12월 27일 오전 11시에 촬영하였다. 해당지역은 수목이 비교적 적으며, 소단이 설치된 3개의 비탈면이다. 각 비탈면의 높이는 약 3.5 m이며, 비탈면의 기울기는 약 1:0.8이다. 연구대상지역은 군관련 공항이 있는 관제권에 포함된 공역이므로 비행승인 및 항공사진촬영 허가를 받았다. 본 연구에서는 DJI사의 Phantom4 RTK를 이용하여 촬영고도는 AGL (Above ground level) 25 m, 비행속도 2 m/s 촬영각도 60° 횡, 중중복도 80%로 촬영하였다. 사용된 UAV 및 카메라의 제원은 Table 1과 같다.

항공사진 촬영 후 표정 및 도화를 실시하기 위해 최소 3점 이상의 지상기준점이 필요하다. 그러므로 GNSS 장비를 이용하여 지상기준점 측량을 실시하였고 이때 사용된 장비의 제원은 Table 2와 같다.

**Table 1.** Specifications of UAV and Camera

Phantom4 RTK	
Weight	1,391 g
Flight Time	approx. 30 minutes
GNSS System	GPS + BeiDou + Galileo + GLONASS
Multi-Frequency Used	L1, L2, B1, B2, E1, E5a
RTK GNSS Precision	Horizontal ± 10 mm + 1 ppm RMS Vertical ± 15 mm + 1 ppm RMS
Gimbal Control Range	3-axis, -90~30°
Camera Sensor	1" CMOS; Effective pixels: 20 M
Lens	FOV 84° ; 8.8 mm / 24 mm
Max Image Size	5,472 × 3,648 (3:2)
Photo	JPEG, RGB

**Table 2.** Specification of GNSS Receiver

DK GR10	
GPS	L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
GLONASS	L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
SBAS	WASS, EGNOS, GAGAN, MSAS
GALILEO	E1, E5A, E5B
BEIDOU	B1, B2, optional B3
Real Time Kinematic surveying (Network RTK)	Horizontal ± 8 mm + 1 ppm RMS
	Vertical ± 15 mm + 1 ppm RMS

**Table 3.** GNSS Survey Results

Name	NX (m)	EY (m)	Elev (m)
GCP1	522,556.900	203,118.590	112.950
GCP2	522,548.410	203,210.170	100.470
GCP3	522,508.330	203,204.910	105.420

GNSS측량 결과는 Table 3과 같으며, 수평 0.83 cm, 수직 1.73 cm 및 PDOP (Positional Dilution of Precision) 1.87로 계측되어 『일반측량 작업규정』의 네트워크 RTK 측량 규정 중 허용 정밀도 규정인 수평 5 cm 수직 10 cm 및 PDOP 3 이하를 만족하였다. Kim et al. (2018)의 연구결과에 따라 지상기준점을 대상영역과 검사점의 외각영역에 3점을 배치하였다.

UAV의 비행경로는 DJI사의 전용 컨트롤러를 이용하여 자동으로 설정하였다. Fig. 1은 지상기준점(적색)과 검사점(파란색)을 나타내며 Fig. 2는 UAV의 비행경로를 나타낸다.



**Fig. 1.** Distribution of GCPs and CPs



**Fig. 2.** UAV Flight Path

**Table 4.** Check Point Specifications

Wood Pile	
Length	35 cm
Dimeter	3.5 cm
Material	Wood
Weight	250 g
Compressive strength	400 kgf/cm <sup>2</sup>



**Fig. 3.** Installed Pile For Check Point

검사점으로 사용되는 대공표지는 『지반계측 설계기준』에 명시되어 있는 이동측량 말뚝을 이용하였으며, 제원은 Table 4와 같다.

말뚝 두부에 Fig. 3과 같이 SOKKIA사의 반사시트를 부착하였고 말뚝은 지반으로부터 25 cm 이상의 근입깊이를 갖도록 설치하였다.

토탈스테이션은 SOKKIA사의 SET330RK3을 사용하였고, 거리측정의 정밀도는 ±3 mm+3 ppm, 각측정의 정밀도는 ±1"이다. GNSS를 이용하여 측량된 3점에 프리즘을 설치하고 후방회절법을 이용하여 토탈스테이션의 좌표를 얻었으며 X, Y오차는 최소제곱법으로 계산되어 각각 3.9 mm, 3.0 mm로 확인되었다. Z오차는 평균치를 가중하여 설정되기 때문에, 별도의 정밀도를 확인할 수는 없었다. 프리즘의 정확도는 ±(2+2 ppm × D) mm이며 오프셋 값 (offset)은 -30 ppm이고, 반사시트의 정확도는 ±(4+3 ppm × D) mm이다. 관측당시 기온은 -10 °C이었고 기압은 1,030 hPa이었으며 모든 검사점과 토탈스테이션의 거리는 70 m 이내였다. 토탈스테이션을 이용하여 말뚝 두부에 설치된 시트 중앙 값을 관측한 측량결과는 다음 Table 5와 같다.

**Table 5.** CP Results (Total Station)

Check Point	X (m)	Y (m)	Z (m)
CP1	522,552.041	203,159.617	111.665
CP2	522,547.277	203,156.868	112.821
CP3	522,535.807	203,154.004	113.417
CP4	522,532.237	203,156.801	111.226
CP5	522,521.733	203,152.171	112.780
CP6	522,558.259	203,168.700	108.193
CP7	522,549.237	203,164.215	110.220
CP8	522,535.693	203,164.520	108.253
CP9	522,530.711	203,162.002	109.520
CP10	522,542.695	203,175.591	104.085
CP11	522,522.697	203,170.751	105.657
CP12	522,517.981	203,182.436	103.925

Network RTK 사용 시 UAV에서 수신된 초기 좌표는 WGS84상의 경위도와 타원체고의 정보를 통하여 얻어지므로, 이를 그대로 사용할 경우 정확도 분석에서 검사점에 대한 높이 편차가 23 m가량 나타나게 된다. 본 연구에서는 국토지리정보원의 KNGeoid14를 이용하여 이를 보정하였다. 항공사진측량을 위해서는 표정작업이 이루어져야 하며

**Table 6.** GCP Aerial Triangulation Results

GCP Name	Accuracy XY/Z (m)	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Projection Error (pixel)
KY033 (3D)	0.009/ 0.018	0.004	-0.002	0.004	0.319
KY125 (3D)	0.008/ 0.017	-0.005	0.002	0.001	0.077
KY131 (3D)	0.008/ 0.017	0.000	-0.001	-0.001	0.170

**Table 7.** Residuals of CPs with and without GCPs

with GCP					without GCP				
CP Name	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Projection Error (pixel)	CP Name	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Projection Error (pixel)
CP1	0.003	-0.006	-0.001	0.551	CP1	0.031	0.003	0.002	0.546
CP2	0.006	-0.003	-0.001	0.356	CP2	0.035	0.006	0.004	0.366
CP3	0.006	-0.005	-0.002	0.429	CP3	0.036	0.005	0.004	0.372
CP4	0.006	-0.004	-0.008	0.138	CP4	0.036	0.007	-0.003	0.182
CP5	0.003	-0.003	0.000	0.158	CP5	0.034	0.008	0.005	0.161
CP6	0.005	-0.006	-0.008	0.303	CP6	0.031	0.001	-0.007	0.311
CP7	0.008	-0.009	0.011	0.126	CP7	0.036	-0.001	0.014	0.139
CP8	0.003	-0.011	0.011	0.495	CP8	0.031	-0.001	0.016	0.497
CP9	0.007	-0.005	0.002	0.764	CP9	0.038	0.003	0.013	0.382
CP10	0.003	-0.012	0.012	0.640	CP10	0.027	-0.002	0.013	0.638
CP11	0.003	-0.011	0.004	0.874	CP11	0.030	0.002	0.006	0.824
CP12	0.005	0.000	0.013	0.544	CP12	0.029	0.014	0.012	0.553

촬영 당시 카메라의 축척계수, 3차원 좌표, 3축의 변화량이 필요하다. Phantom4 RTK를 이용하여 항공사진촬영 시, 각 사진마다 기록된 7개의 인자를 이용하여 표정작업을 진행할 수 있다. 비탈면의 3D 위치정확도 평가를 위해 Pix4Dmapper를 사용하였으며, 프로그램에서 번들 블록 조정법(Bundle Block Adjustment)을 실시하였다. 매칭 옵션은 프로그램내에서 기하학적으로 정의된 매칭 기능을 사용하였다. 계산된 평균 GSD는 0.59 cm다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 RTK

Network RTK를 이용할 경우 국토지리정보원에서 제공하는 VRS (Vertical Reference Station)제공 사이트에 접속하여야 한다. 본 연구에서 기지국은 국토지리정보원에 위치한 SUWN-RTCM31을 사용하였다. Phantom4 RTK를 이용하여 총 172장의 사진을 취득하였으며, 촬영 당시 사진에 대한 위치좌표 및 수평, 수직 정확도가 기록된다. 취득된 사진의 평균 수평정밀도는 1.33 cm였으며, 수직정밀도 2.45 cm였다. 연구대상영역과 기지국과의 거리는 약 3.5 km이었으며 Network RTK를 사용하여 정확도 분석을 실시하였다(Tables 6~8).

**Table 8.** RMSEs with and without GCPs

RMSE (mm) with GCPs			RMSE (mm) without GCPs		
X	Y	Z	X	Y	Z
5.035	7.005	7.664	32.986	5.718	9.499

Table 6은 지상기준점을 사용한 항공사진측량의 차이값을 나타내었으며, Table 7은 12개소의 검사점과 항공사진측량의 차이값을 나타내었다. 지상기준점을 사용한 경우 최대 13 mm의 오차가 발생하였으며, 지상기준점을 사용하지 않은 경우 최대 38 mm의 오차가 발생하였다. Table 8은 검사점의 평균 RMSE를 X, Y, Z성분으로 각각 나타내었으며, 지상기준점을 사용한 경우 3D 평균 RMSE는 6.57 mm로 나타났으며, 지상기준점을 사용하지 않은 경우 3D 평균 RMSE는 16.07 mm로 나타났다.

이는 지상기준점을 사용하여도 정확도가 개선되지 않는다는 Stott et al. (2020)의 연구 결과와 상이한 결과를 보인다. 선행연구에서는 해안가 2 km × 0.5 km를 대상으로 Phantom4 RTK를 이용하여 촬영고도 70 m, 중복도 80%, 촬영각도 75°의 조건으로 3,390장의 사진을 이용하여 정확도 분석을 실시하였다. 3,300개의 검사점을 사용하여 정규분포를 통한 분석이 가능할 정도의 많은 수의 검사점을 사용하였으나, 연구 면적에 비해서 지상기준점의 수가 부족하였다. 그 결과 사용된 지상기준점간의 이격거리가 500 m를 초과하였다. 『무인비행장치 작업규정』에는 1 km<sup>2</sup>당 9개 이상의 지상기준점을 사용해야 함을 명시하고 있으며, Yun and Yoon (2018)은 지상기준점과 검사점의 이격거리가 500 m를 초과시 오차가 크게 발생한다고 하였다. 그러므로 UAV를 이용한 측량에서 지상기준점을 사용해야 할 경우 이격거리를 준수하여야 함을 알 수 있다.

### 3.2 정사영상 평가 및 DSM, DTM 평가

Pix4D프로그램을 이용하여 촬영된 이미지로 정사영상을 생성하였으며, 동일지역에 대해 국토정보지리원에서 제공

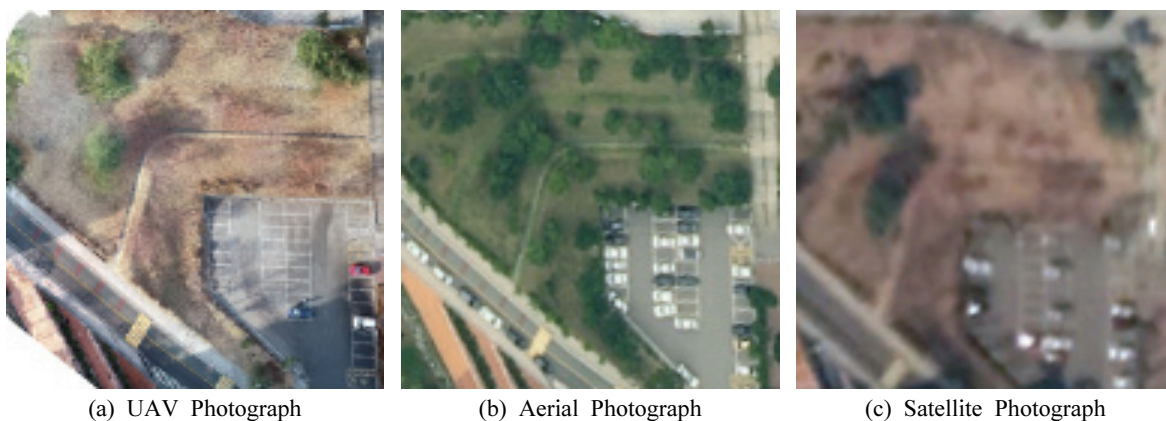
하는 항공사진으로 제작된 정사영상과 비교하였다(Fig. 4). 또한 생성된 정사영상을 1:1,000 수치지도를 이용하여 비교하였으며, 생성된 DEM, DTM을 나타내었다(Fig. 5).

연구대상지역을 UAV, 항공사진, 위성사진으로 나타내었다. 항공사진은 국토지리정보원에서 제공하는 항공사진이며, 위성사진은 구글어스 프로에서 취득한 위성사진이다. 해상도에 따라 시인성이 매우 상이하며 UAV를 이용하여 제작된 정사영상의 해상도가 가장 좋은 것을 확인할 수 있다.

지상기준점을 사용한 경우 Fig. 5(a)와 같이 축척을 1:20까지 확대한 경우에도 수치지도와 일치함을 확인할 수 있었으며, Fig. 5(b)는 GCP를 사용하지 않은 경우 수치지도와 배수구 모서리 부분이 일치하지 않음을 확인할 수 있었다.

### 3.3 고찰

본 연구대상지는 Fig. 4(a)와 같이 수목이 적은 겨울에 촬영한 결과이다. 하지만 실제 공사 현장에 적용하기 위해서는 수목이 조밀한 경우 ① 중복도를 높이는 방법 ② 수목보다 높은 위치에 인공표식을 설치하는 방법으로 수목이 많은 지형에서 발생하는 음영을 해결할 수 있다. 수목이 조밀한 경우 이와 같은 방법으로 수목과 지면을 분리하여 만들어 낼 수 있으며 적용을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 다만, UAV가 항공기에 비해 저고도의 비행이 가능하므로 Fig. 4(b)와 같이 항공사진촬영을 통해 비탈면 내에 존재하는 인공표식을 이용한 후방교회를 실시할 수 있을 경우에 한하여 유의미한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.



**Fig. 4.** Comparison Orthophotos of UAV with Aerial Photograph and Satellite Photograph

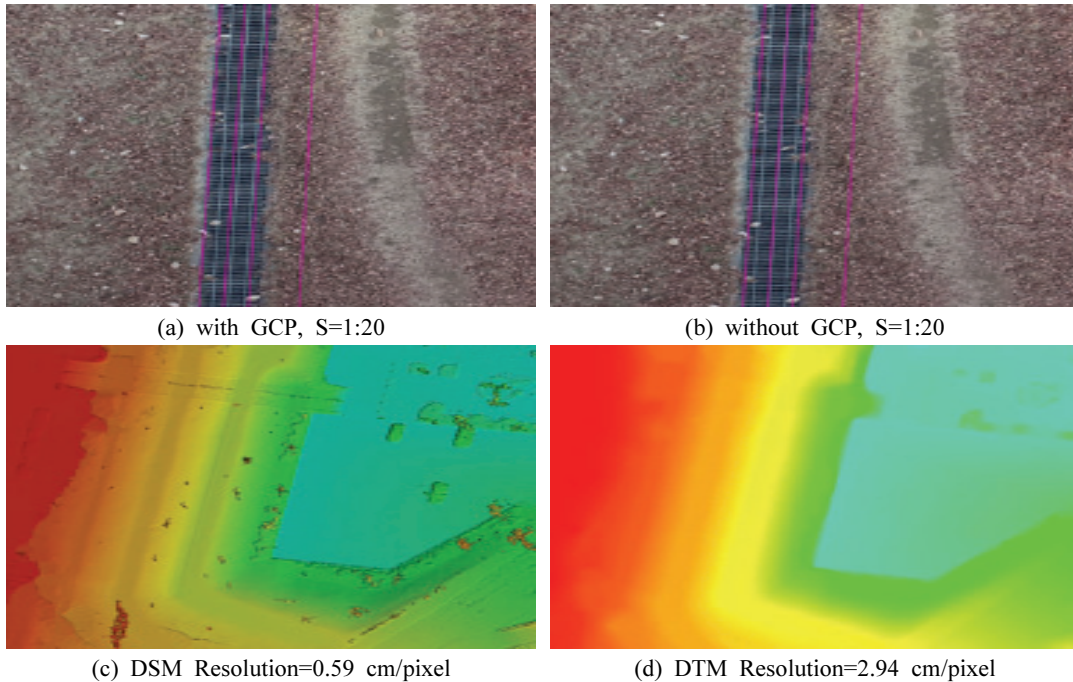


Fig. 5. Comparison Digital Map between Generated Orthophoto and DSM, DTM

#### 4. 결론

본 연구에서는 비탈면에 말뚝을 설치 한 뒤 토탈스테이션을 이용하여 말뚝 두부를 계측 하고 이를 검사점으로 사용하였으며, UAV의 저고도 항공사진측량을 통해 얻어지는 경사 사진의 관측값을 비교함으로써, 3D 위치 정확도 평가를 실시하였다. 또한 UAV를 통해 제작된 정사영상과 기존 항공기 및 위성의 자료를 기반으로 제작된 정사영상간의 품질 비교를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째 지상기준점을 사용하지 않고 RTK의 초기 위치를 이용하여 모델링을 실시한 경우 3D RMSE는 X방향으로 32.986, Y방향으로 5.718, Z방향으로 9.499 mm의 정확도를 보였으며, 지상기준점을 사용한 경우 X방향으로 5.035, Y방향으로 7.005, Z방향으로 7.664 mm로 평가되어 지상기준점을 사용한 경우 정확도가 증가하였다.

둘째 RTK-UAV를 이용한 항공사진촬영 후 지상기준점 없이 정사영상을 생성하고 『일반측량 작업규정』에서 정한 비탈면의 절취 공사 시 표고에 대한 허용 표고 오차는 3 cm 이내의 조건을 거의 만족하므로, 향후 카메라 일체형 UAV를 이용하여 도입비용이 적고 신속한 방식인 RTK를 이용하여 UAV 촬영을 수행하고, 토목공사에 필요한 DSM, DTM을 제작하여 토석류 해석에 사용하거나 UAV를 이용하여 현장 육안조사를 대체할 수 있을 것이다.

셋째 UAV를 토목공사용으로 사용하기 위한 정확도인 3 cm 이내의 정확도는 근접하였으나, 지반계측 설계기준으로 사용되는 5 mm 이내의 정확도는 만족하지 못하였다. 향후 센서와 드론기체의 기술발전으로 정확도가 높아질

경우 지반계측에도 적용 가능 할 것이다.

넷째 UAV측량에서 지상기준점을 사용할 경우 지상기준점 배치는 연구대상지역의 외각에 배치하여야 하며, 지상기준점 사이의 거리는 Yun and Yoon (2018)의 선행연구에서 언급된 바와 같이 500 m 이내로 배치해야 한다.

본 연구에서는 토탈스테이션을 이용한 측량에서 프리즘을 사용해야 한다는 일반측량 작업규정과 달리 실험의 여건상 반사시트를 사용하여 검사점의 자체 정확도가 떨어지는 문제가 잠재해 있다. 또한 저가의 카메라를 이용하여 발생 가능한 오차에 대한 평가가 이루어지지 않았다. 향후에는 카메라 자체 왜곡을 보정하기 위해 내부표정을 개선하고, 프리즘을 사용하는 실험방식의 고도화를 위한 연구가 필요할 것이다.

#### References

- Choi, J.R., Kim, D.M., and Jee, Y.K. (2016). A study on assessment of debris-flow hazard considering human vulnerability index of the urban road. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 4, pp. 95-101. (in Korean with English abstract)
- Han, S.H., and Hong, C.K. (2020). Accuracy assessment of aerial triangulation of network RTK UAV. *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography* 2020, Vol. 38, No. 6, pp. 663-670. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.J., and Lee, Y.S. (2016). Analysis range for the

- natural slopes with thickness of the weathered soil layer in seepage and stability analysis. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 6, pp. 347-361. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.S., Seong, D.J.S., Shin, D.Y., and Nho, H.J. (2020). Assessment and Analysis of Disaster Risk for Steep Slope using Drone and Terrestrial LiDAR. *Journal of Korean Society for Geospatial Information*, Vol. 28, No. 4, pp. 13-24. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.D., Park, B.W., and Lee, H.S. (2018). Accuracy analysis according to GCP layout type and flying height in orthoimage generation using low-cost UAV. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 26, No. 3, pp. 31-39. (in Korean with English abstract)
- Küng, O., Strecha, C., Beyeler, A., Zufferey, J.C., Floreano, D., Fua, P., et al. (2011). The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery. In *Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)*, Zurich, Switzerland, 14-16 September 2011.
- Lee, G.H., Lee, S.L., Kim, N.Y., An, C.H., and Park, J.B. (2020). Examples of slope inspection using drones. *The Korean GeoEnvironmental Society Special Article*, Vol. 21, No. 3, pp. 5-13. (in Korean)
- Lee, S.J., Lim, H.T., Lim, M.J., Lee, E.B., Lee, K.I., and Kim, Y.S. (2020). Numerical analysis of debris flow using drone images and NFLOW. *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol. 19, No.3, pp. 1-8. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.J., Park, S.K., Kim, S.K., Lee, J.H., Do, N.Y., and Kim, B.C. (2018). Basic research on the behavior analysis of the cut slope using drones. *Korean Civil Engineering Journal Conference*, pp. 61-62. (in Korean)
- Lee, S.W., Kim, M.S., Seo, D.M., Baek, S.C., and Hong, W.H. (2020). A study on the building height estimation and accuracy using unmanned aerial vehicles. *Journal of The Architectural Institute Of Korea Planning & Design*, Vol. 36, No. 2, pp. 79-86. (in Korean with English abstract)
- Nocerino, E., Menna, F., Remondino, F., and Saleri, R. (2013). Accuracy and block deformation analysis in automatic UAV and terrestrial photogrammetry-Lesson learnt. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 2, No. 5, W1.
- Rau, J., Jhan, J., and Hsu, Y. (2015). Analysis of oblique aerial images for land cover and point cloud classification in an urban environment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 3, pp. 1304-1319.
- Song, S.M., Joo, H.J., and Choi, B.S. (2020). A case study on the utilization of drone technology in construction site. *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol. 19, No. 1, pp. 21-31. (in Korean with English abstract)
- Stott, E.W., Richard, D.H., and Trevor, B. (2020). Ground Control Point Distribution for Accurate Kilometre-Scale Topographic Mapping Using an RTK-GNSS Unmanned Aerial Vehicle and SfM Photogrammetry, 4, 55.
- Vallet, J., Panissod, F., Strecha, C., and Tracol, M. (2011). Photogrammetric performance of an ultra light weight swinglet UAV. In *Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)*, Zurich, Switzerland, 14-16 September 2011.
- Yun, B.Y., and Yoon, W.S. (2018). A study on the improvement of orthophoto accuracy according to the flight photographing technique and GCP Location Distance in Orthophoto Generation Using UAV. *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, Vol. 21, No. 6, pp. 345-354. (in Korean with English abstract)

---

Received	January 18, 2021
Revised	January 19, 2021
Accepted	March 9, 2021