

저가형 UAV를 이용한 소규모지역의 토량 측정 Earth-Volume Measurement of Small Area Using Low-cost UAV

성지훈¹⁾ · 한유경²⁾ · 이원희³⁾

Seong, Ji Hoon · Han, You Kyung · Lee, Won Hee

Abstract

In the civil works, the measurement of earth-volume is one of the important elements in the estimation of the reasonable construction cost. Related studies mainly used GPS (Global Positioning System) or total station to obtain information on civil work areas. However, these methods are difficult to implement in inaccessible areas. Therefore, the aim of this paper is to use the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) to measure the earth-volume. The study area is located in a reservoir construction site in Sangju-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea. We compared the earth-volume amounts acquired by UAV-based surveying to ones acquired by total station-based and GPS-based surveying, respectively. In the site, the amount of earth-volume acquired by GPS was 147,286.79m³. The amount of earth-volume acquired by total station was 147,286.79m³, which is the 96.13% accuracy compared to the GPS-based surveying. The earth-volume obtained by UAV was 143,997.05m³ when measured without GCPs (Ground Control Points), 147,251.71m³ with 4 GCPs measurement, and 146,963.81m³ with 7 GCPs measurement. Compared to the GPS-based surveying, 97.77%, 99.98%, and 99.78% accuracies were obtained from the UAV-based surveying without GCP, 4 GCPs, and 7 GCPs, respectively. Therefore, it can be confirmed that the UAV-based surveying can be used for the earth-volume measurement.

Keywords : Earth-volume, UAV, Total Station, GPS, Photogrammetry, Delaunay Triangulation

초 록

토목공사에서 토량 측정은 합리적인 공사비 산정에 중요한 요소 중 하나이다. 이전까지 토목공사 현장의 정보를 얻기 위해서 GPS 또는 토탈스테이션을 이용하는 방법을 사용해 왔지만 이러한 방식은 접근이 어려운 지역에는 측정에 무리가 있다. 이에 본 연구에서는 무인항공기를 이용하여 토량을 측정하고자 한다. 경상북도 상주시에 위치한 농촌용수개발사업 저수지 공사현장을 연구대상지로 선정하였으며, GPS를 이용한 측량을 기준으로 하여 토탈스테이션 그리고 UAV를 이용한 측량의 정확도와 측정시간을 비교하는 연구를 진행하였다. GPS를 이용하여 취득한 토량은 147,286.79m³로 나타났고, 토탈스테이션은 141,594.07m³로 GPS를 이용하여 구한 토량을 기준으로 96.13% 정확도를 보였다. 그리고 UAV는 GCP를 측정하지 않고 진행하였을 때 143,997.05m³, GCP가 4개일 때 147,251.71m³ 그리고 GCP가 7개일 때 146,963.81m³로 나타났고, 각각 GPS로 측량한 토량과 비교하여 97.77%, 99.98%, 99.78%의 정확도를 보였다. 이를 통하여 UAV를 이용한 토량 산정을 실제 현장에서 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

핵심어 : 토량, 무인항공기, 토탈스테이션, 위성측위시스템, 사진측량, 델로니 삼각 분할

Received 2018. 03. 23, Revised 2018. 04. 17, Accepted 2018. 05. 08

1) Dept. of Spatial Information, Kyungpook National University (E-mail: seongjh@knu.ac.kr)

2) Member, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University (E-mail: han602@knu.ac.kr)

3) Corresponding Author, Member, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University (E-mail: wlee33@knu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

토목공사에서 토량의 측정은 합리적인 공사비 산정과 진행에 있어 중요한 요소 중 하나이다. 그리하여 효율적이며 경제적인 토량 산정에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 일반적으로 토량을 산정하기 위한 방법으로 일반측량을 사용하는 방식과 사진측량을 이용하는 방식으로 구분되고, 사진측량을 이용하는 방식은 사진측량에 의해 제작되어진 지형도를 사용하는 방식과 수치지형모델을 이용하는 방식으로 분류된다. 일반측량에 관한 연구로 Sim and Yun (1998)은 토목공사 현장에서 효율적인 성토다짐관리를 위하여 GPS를 이용한 실시간 관리 시스템에 관한 연구를 진행하였다. Hong (2007)은 토탈스테이션과 RTK-GPS (Real Time Kinematic-Global Positioning System) 측량의 작업효율성을 비교하였으며, Lee (2003)은 RTK-GPS측량의 보간 기법별 토량 산정에 대한 연구를 진행하여 RTK-GPS측량이 토탈스테이션의 값과 비교하였을 때 정밀도 외에 시간과 인력 등 비용면에서 절감할 수 있다는 결과를 얻었다. Kang *et al.* (2006)은 LiDAR측량을 이용하여 DEM (Digital Elevation Model)을 제작하여 GPS로 그 데이터의 정확도를 평가하였다. 그리고 Choi and Kim (2010)은 지하 앵커리지 굴착 공사에 레이저스캐너를 이용하여 단면 및 토량을 결정하였다. 이와 같이 이전까지의 토목공사 현장의 정보를 얻기 위해서는 GPS, 토탈스테이션 또는 레이저스캐너를 이용하는 방법을 사용해 왔다. 하지만 일반측량을 이용한 토량 산정의 경우 단면적의 결정 방법과 단면의 간격 등 지형의 모양에 따라 영향을 받는다. 또한 지형도를 이용하는 경우 자료의 취득에 사용되는 지형도의 기준면의 설정, 축척 등에 영향을 받아 정확도가 일정하지 않고, 수치지형모델의 경우 사용되는 자료의 추출 방법과 보간법에 따라 정확도의 변화를 보이며, 접근이 어려운 지역의 경우 측정에 무리가 있다 (Yeu, 1990).

이러한 단점을 극복하기 위하여 항공사진측량 방법에 관한 연구가 진행되었으나 대상지의 면적이 넓지 않은 소규모 지역에 속할 경우 경제성이 떨어진다는 단점이 존재한다 (Park and Lee, 2016).

이에 항공사진측량에 비하여 상대적으로 경제적이며 소규모 지역의 촬영에 용이한 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 이용한 측량방법에 관한 연구가 진행되었다. Jung *et al.* (2010)은 무인항공기를 이용한 사진측량을 통해 3D 공간정보를 취득 후 활용에 대한 가능성을 제시하였으며, Lee and Jung (2015)은 무인항공기사진을 이용하여 토량을 산출하는 것에 대한 적용성을 수치표고모델과 정사영상을 활용하여 평가하였고, Park and Lee (2016)는 저가형 무인항공기를 이용하여 소규모 경사

지역에 대한 정사영상 및 수치표고모델을 제작하고 정확도를 평가하였으며, 측량용 무인항공기가 아닌 일반 저사양의 무인항공기를 이용하여 소규모 지역의 정사영상 제작이 가능함을 확인하였다. 그리고 Lee (2017)은 소형 무인항공시스템을 이용한 토량 산정의 활용성을 평가하여 GNSS (Global Navigation Satellite System) 측량결과와 소형무인항공기를 이용하여 취득한 토량과의 비교를 진행하였다. 해외 연구 사례로 Arnago and Morales (2015)는 멀티콥터 UAV와 토탈스테이션을 이용하여 토량을 계산하여 정확도를 비교하여 UAV를 이용한 토량계산이 토탈스테이션과 비교하여 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였으며, Cryderman *et al.* (2014)은 UAV를 이용한 지도 제작 및 토량을 계산하는 연구를 진행하였다. Raeva *et al.* (2016)은 GPS 데이터와 UAV를 이용하여 토량을 산출 및 정확도를 비교하였다. 그리고 James *et al.* (2017)은 GCP (Ground Control Point)와 번들조정을 통한 UAV 지형측량의 최적화에 대한 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 경상북도 상주시에 위치한 저수지 공사현장을 연구 대상지를 선정하여 GPS, 토탈스테이션 그리고 UAV를 이용하여 토량 산정을 위한 데이터를 취득하였다. 취득된 데이터를 바탕으로 토량을 산정하고, GPS데이터를 기준으로 하여 토탈스테이션을 이용한 측량법과 UAV를 이용한 측량법을 각각 산정된 토량의 정확도와 소요되는 시간을 비교하는 연구를 진행하였다.

2. 연구 방법 및 자료취득

2.1 연구대상지

본 연구에서는 경상북도 상주시 화서면 상용리 311-1 농촌용수개발사업 저수지 공사현장을 GPS, 토탈스테이션, UAV의 토량 측정을 위한 연구대상지로 선정하였다. 이 지역은 흙과 자갈로 구성되어 있으며, 댐의 공사가 진행 중에 있어 설계도상의 토량과 비교는 불가능 했지만 공사의 진행이 완성단계에 도달하여 토량을 측정하기에는 적절하였다. Fig. 1은 연구대상지를 나타낸다.



Fig. 1. Study area

2.2 연구방법

본 연구는 기존의 토량 측정 방법인 GPS, 토탈스테이션, 그리고 UAV를 이용하여 연구 대상지역의 좌표데이터와 영상 데이터를 취득 한 후 토량을 측정하였다. 측정 시 토량산정은 대상 지역의 공사가 완료되지 않아 육안으로 확인 가능한 지역을 기준으로 토량을 산정하였다. GPS와 토탈스테이션의 경우 각각 장비를 이용하여 좌표를 취득하였고, 취득한 좌표데이터를 이용하여 ArcGIS (Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System) 프로그램을 사용하여 토량을 산출하였다. UAV는 지상기준점(GCP: Ground Control Point)의 개수에 차별을 두어 GCP를 측정하지 않은 경우, 4개를 측정한 경우, 7개를 측정한 경우로 구분하였으며, Photoscan 프로그램을 이용하여 토량을 측정하였다. Fig. 2는 연구흐름도이다.

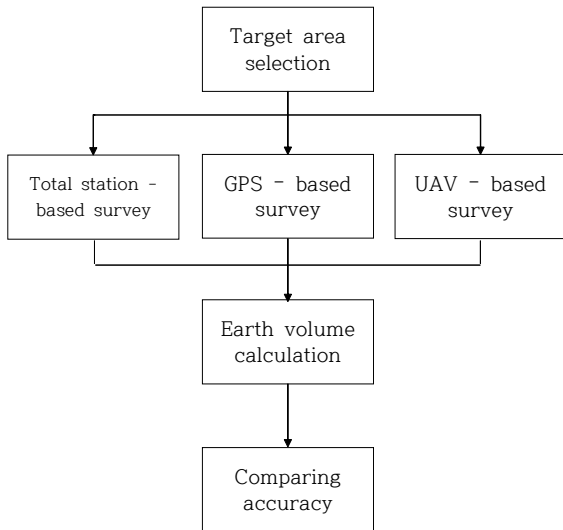


Fig. 2. Study flow chart

2.3 자료 취득

본 연구는 ESRI (Environmental Systems Research Institute)사의 ArcGIS와 Agisoft에서 제공하는 Photoscan Pro를 사용하여 토량을 산정하고자 하였으며, 본 연구에서는 현재 토목 공사 현장에서 주로 사용되고 있는 GPS를 이용한 토량 측량값을 기준으로 하여 토탈스테이션과 UAV를 이용하여 토량을 계산 후 비교하였다.

2.3.1 GPS를 이용한 좌표 측량

측량에 사용된 장비는 Trimble사의 R8s를 사용하였고, VRS (Virtual Reference Station) 측량 시 수직오차는 약 15mm, 수평오차는 약 8mm이며 정지 측량을 실시 할 경우 수평오차 약 3mm, 수직오차 약 3.5mm의 오차를 가진다. 사용된 장비에 대한 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of trimble r8s

Type	Specifications
Channels	440
Satellite signals	GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
VRS precision	Horizontal: 8mm + 0.5 ppm RMS
	Vertical: 15mm + 0.5 ppm RMS
Static precision	Horizontal: 3mm + 0.1 ppm RMS
	Vertical: 3.5mm + 0.4 ppm RMS

GPS 측량으로는 Network RTK 중 하나인 VRS 방식을 선택하여 진행하였으며, 측량을 실시 할 때 위성신호는 L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5의 신호를 수신하여 측량을 진행하였다. GPS위성의 수는 10-15개의 수를 유지하였으며, 데이터는 1초를 간격으로 하여 10초 이상 관측하여 공공측량 작업규정 제 2017-1323호의 네트워크 RTK 측량 규정을 준수하였다. GPS데이터는 대상지역의 토량을 알 수 없어 기준 데이터로 사용하기 위하여 많은 데이터를 취득하였으며, 지형의 형상을 따라 가상지직국을 이용하여 캘리브레이션을 수행한 260점을 취득하였고, 측정에 약 4시간이 소요되었다. 취득된 좌표의 X, Y 좌표는 경위도 좌표에서 평면직각 좌표로 변환된 좌표이며, 정표고의 경우 국토지리정보원에서 제공하는 국가지오이드모델인 KNGeoid14 (Korean National Geoid Model 14) 지오이드고 모형을 적용하여 산출하였다. Fig. 3은 GPS측량 시의 모습이다.



Fig. 3. GPS data acquisition in study area

2.3.2 토탈스테이션을 이용한 좌표점 측량

토탈스테이션은 SOKKIA사의 CX series compact X-ellence station CX-105를 사용하였으며, 정확도는 5"이내이고, 측정 시간은 0.5초 이내이다. 그리고 측정 방식은 Coaxial phase shift measuring system을 이용하며, Table 2는 그 제원을 나타낸다.

Table 2. Specifications of total station

Description	CX series compact X-ellence station CX-105
Telescope	Length : 171mm
	Aperture : 45mm
	Field of view : 1° 30'
	Focussing screw : 1speed
Accuracy	5"(0.0015gon/0.025mil)
Measuring time	0.5 sec or less
Measuring method	Coaxial phase shift measuring system

토탈스테이션을 이용하여 토량을 도출하기 위하여 대상 지역의 외곽을 따라 각 지점의 좌표를 측량하였다. 프리즘을 이용한 타겟 측정을 실시하였으며, 고저의 차가 심하지 않은 지역은 약 5m마다 한 점씩 좌표를 측정하였고, 고저의 차가 심한 지역은 약 2m마다 한 점씩 측량하여 총 111점을 취득하였다. 좌표계는 토탈스테이션 내의 임의좌표계를 사용하였고, 측정에는 약 3시간이 소요되었다. 본 연구에서는 총 두지점에 토탈스테

이션을 설치하여(Fig. 4의 빨간색 점 참고) 대상 지역 외곽의 좌표를 취득하였다. 그 후 토탈스테이션을 이용하여 취득한 좌표를 후처리를 통해 위치를 조정하기 위하여 제방의 위쪽 두 기준점을 정하였다(Fig. 4 파란색 점 참고). 이 기준점의 좌표를 취득할 때는 설치된 두 토탈스테이션의 위치에서 시준 가능해야 하며, 이를 기준으로 측정된 모든 점들을 하나의 동일 좌표 변환에 사용되었다.

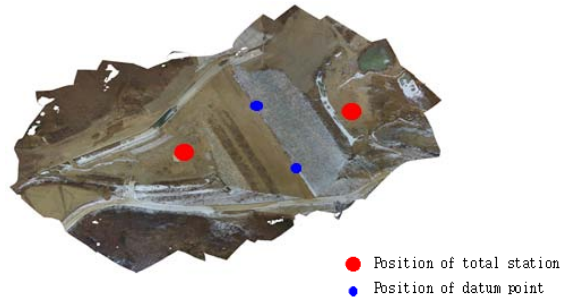


Fig. 4. Position of total station and datum point

2.3.3 UAV를 이용한 영상 취득 및 지상기준점 측량

연구대상지역의 영상 데이터를 취득하기 위하여 DJI사의 회전익 무인항공기인 Inspire 1을 사용하였다. Inspire 1의 비행 시간은 최대 18분이며 최대 비행고도는 4500m이다. 사용된 카메라의 화각은 94°로 광각렌즈를 사용하였고, 초점거리는 3.61mm이다. Table 3은 데이터 취득에 사용된 무인항공기와 카메라의 제원을 나타낸 것이다.

Table 3. Specifications of UAV and camera

UAV	Inspire 1	Camera	Fc 350
Flight altitude	≤4500m	FOV(Field of View)	94°
Flight time	≤18min	Focal length	3.61mm
Hovering accuracy	Vertical : 0.5m	F-stop	F/2.8
	Horizontal : 2.5m	ISO	100
Speed	≤22m/s	Resolution	4,000×3,000
Weight	2935g	Pixel size	1.561×1.561μm

GCP는 영상의 좌표와 지도의 좌표 사이의 변환 식을 구하기 위해 사용되는 기준점이며, 3차원 정밀 좌표를 구성하는데 그 역할이 있다. GCP는 영상을 통한 식별이 용이한 도로 중앙선의 모서리, 횡단보도의 모서리, 맨홀 뚜껑의 중앙 부분을 이용 가능하며, 본 연구에서의 연구대상지는 식별이 용이

한 장소가 존재하지 않아 대공표지판을 이용하여 GCP 측량을 실시하였다.

GCP의 수에 따른 정확도 비교를 위하여 GCP를 측정하지 않고 UAV를 이용하여 토량을 계산한 것과 GCP를 4점 측량한 경우, 7점 측량한 경우로 구분하였다. GCP 측량에 사용된 장비는 Trimble사의 R8s를 사용하였으며, 측량 방식은 GPS를 이용한 좌표측량의 방식과 같이 VRS방식을 선택하여 측량을 진행하였다. 또한 공공측량 작업규정 제 2017-1323호의 네트워크 RTK 측량 규정을 준수하기 위하여 GPS위성의 수는 10-15개의 수를 유지하였으며, 데이터는 1초를 간격으로 하여 10초 이상 관측하였다. 평균 수평정확도 0.009m, 수직정확도는 0.017m로 허용 정밀도 규정인 수평 0.05m, 수직 0.10m를 준수하였으며, PDOP (Position Dilution of Precision)는 6이하의 값으로 관측하여 RTK측량 규정을 준수하였다. 측량을 통하여 지상기준점이 없는 영상과 4개, 7개의 지상기준점을 이용하여 제작한 영상으로 총 3개의 영상을 제작하였다. Table 4는 취득된 7개의 지상기준점의 좌표 나타낸다.

UAV 영상을 취득하기 전에 연구 대상지에 대하여 비행가능 시간과 중복도 그리고 주변 지형지물의 환경을 고려하여 중복도 70%, 횡중복도 30%로 하여 총 23매의 영상을 취득하였다. 그리고 GCP 개수에 따라 각각의 경우를 나누어 따로 UAV 영상 데이터를 취득하여 총 3번의 비행을 실시하여 GCP를 사용하지 않은 경우 UAV 비행에 약 15분이 소요되었다. 그리고 GCP를 4개 사용한 경우 대공표지판 설치와 이에 대한 GCP 측정에 약 15분 그리고 UAV 비행에 약 15분이 소요되었으며, GCP를 7개 사용하였을 때 대공표지판 설치와 GCP측정에 약 25분이 소요되었고, UAV 비행에 약 15분이 소요되었다.

Table 4. Coordinates of GCP by GPS

No	X(m)	Y(m)	H(m)
1	428660.708	103641.236	246.921
2	428700.695	103657.956	247.142
3	428614.796	103693.343	248.832
4	428643.152	103706.488	256.082
5	428609.582	103753.034	266.010
6	428740.057	103687.402	266.006
7	428719.993	103745.416	249.985

3. 연구 결과

본 연구에서는 GPS와 토탈스테이션으로 취득한 좌표점과

UAV를 이용하여 취득한 영상을 사용하여 각각의 토량을 계산하였다.

3.1 GPS 데이터를 이용한 토량 산정

GPS로부터 취득한 데이터를 GPS용 소프트웨어를 사용하여 좌표 데이터를 추출하고, 이 데이터를 shape화한 후, ArcGIS를 이용하여 시각화 하였다. 그 다음 shape화 한 좌표 데이터를 ArcGIS에서 지원하는 툴인 Creat TIN을 이용하여 불규칙삼각망 (TIN: Triangulated Irregular Network)을 제작하였다. 이것은 포인트 클라우드를 토량을 계산할 수 있는 연속적인 공간 데이터로 변환하기 위해서 사용되었으며, 마지막으로 Surface volume 툴을 이용하여 TIN의 표면 부피를 계산하였다. 이를 통하여 GPS 데이터를 이용한 토량은 147,286.79m³으로 나타났으며, Fig. 5는 GPS데이터 취득 지점을 나타낸 것과 함께 취득된 데이터를 TIN으로 추출한 것이다.

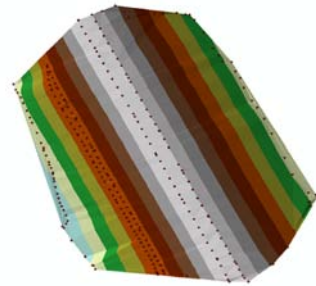


Fig. 5. TIN surface from GPS data

3.2 토탈스테이션 데이터를 이용한 토량 산정

토탈스테이션은 측량에 사용되는 전자 및 광학기기이다. 토탈스테이션을 이용하여 토량을 산정하기 위한 방법으로는 여러 가지가 존재한다. 그중 단면을 이용하여 계산하는 양 단면 평균법, 중앙 단면법, 각주 공식이 있으며, 직사각형으로 분할 또는 삼각형으로 분할하는 점고법이 있고, 등고선을 사용하여 산출하는 각주 공식, 양 단면 평균법, 원뿔 공식이 존재한다. 하지만 이러한 방식은 직접 계산하여야하기 때문에 이 과정에서 오차가 발생 할 수 있으므로, 사용자의 개입을 최소화 하면서 취득한 데이터로 토량을 바로 계산할 수 있는 ArcGIS 프로그램을 이용하였다.

우선 CAD 프로그램을 통해 먼저 취득하였던 기준점을 이용하여 제방의 좌표를 동일하게 변환한다. ArcGIS를 이용하여 TIN을 제작하여 연속적인 공간데이터로 변환시켜 포인트 클라우드를 토량을 계산할 수 있도록 변경한다. 이를 통하여 계산된 토량은 141,594.07m³으로 나타났으며, Fig. 6은 토탈스

테이션의 데이터를 추출한 것과 함께 데이터를 TIN으로 추출한 것이다.

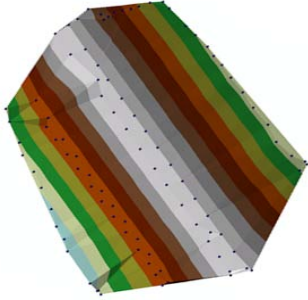


Fig. 6. TIN surface from total station data

3.3 UAV 데이터를 이용한 토량 계산

UAV를 이용하여 토량을 산정 할 때는 Agisoft사에서 제공하는 Photoscan pro 소프트웨어를 사용하였다. 우선적으로 측량한 지상기준점을 사용하여 UAV영상의 이미지를 조정하고 Dense cloud와 DEM 그리고 정사영상을 생성한다. 그 후 계산하고자 하는 지역을 선택된 범위 내에서 텔로네 삼각 분할을 적용하여 토량을 계산한다. 제작된 정사영상은 항공사진측량 작업규정의 1/500 축척지도를 만족하였다. Eq. (1)은 한 픽셀에서 나타내는 부피를 구하는 식이다.

$$V = L_i * W_i * H_i \tag{1}$$

where L_i = the length of the cell,

W_i = the width of the cell,

H_i = the height of the cell.

길이와 너비는 영상의 지상 표본 거리 지상표본거리(GSD:

Ground Sample Distance)와 같으며 높이는 셀 중앙의 지형고도와 같으며, 이를 Eqs. (2) and (3)으로 표현하였다.

$$L_i = W_i = GSD \tag{2}$$

GSD = Ground Sample Distance.

$$H_i = Z_{Ti} = Z_{Bi} \tag{3}$$

Z_{Ti} = the terrain altitude of each cell at the center of the cell,

Z_{Bi} = the base altitude of each cell at the center of the cell.

따라서 부피를 구하는 방법은 다음 Eq. (4)와 같다.

$$V_i = GSD * GSD * Z_{Bi} \tag{4}$$

이를 통하여 구하여진 토량은 GCP를 사용하지 않았을 때 143,997.05m³, GCP가 4개일 때 147,251.71m³ 그리고 GCP가 7개일 때 146,963.81m³로 나타났다. Fig. 7은 각각 GCP가 0개, 4개, 7개에 대한 정사영상이다.

4. 결과 비교분석

대상 지역의 토량의 값을 알고 있지 않아 현장에서 주로 사용되며, 현장에서 자료처리 및 결선작업 등이 이루어 질 수 있는 (Hong, 2007) GPS로 측정된 결과를 기본으로 하여 토탈스테이션과 UAV를 이용하여 취득한 토량을 비교 분석 하였다. GPS를 이용하여 취득한 토량은 147,286.79m³으로 나타났으며, 데이터 취득에 소요된 시간은 약 4시간이다. 토탈스테이션으로 취득한 토량은 141,594.07m³으로 GPS를 이용하여 구

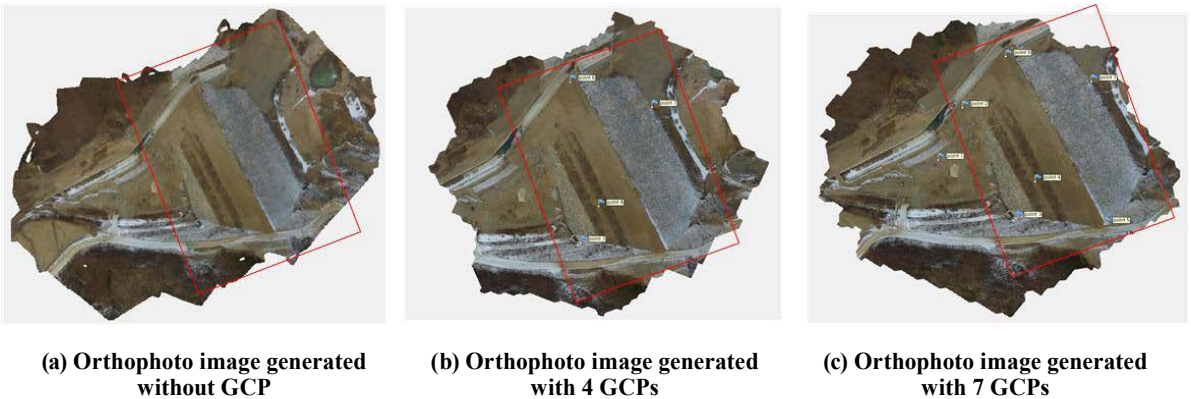


Fig. 7. Orthophoto of the earth-volume measurement area

한 토량과 비교하였을 때 96.13%의 정확도를 보였으며, 소요 시간은 약 3시간이다. 그리고 UAV를 이용하여 구한 토량은 GCP가 없을 때 143,997.05m³, GCP가 4개일 때 147,251.71m³ 그리고 GCP가 7개일 때 146,963.81m³로 나타났으며, 각각 GPS로 측량한 토량에 비하였을 때 97.77%, 99.98% 그리고 99.78%의 정확도를 보였으며, 소요시간은 약 15분, 30분, 40분으로 나타났다. Table 5에서 전체를 비교하였다.

토탈스테이션과 UAV로 측정한 토량이 GPS로 측정한 토량보다 모두 과소 추정되었는데 이는 토탈스테이션의 경우 GPS보다 측정 좌표의 수가 적어 TIN을 구성할 때 일부 지역의 손실로 인하여 과소하게 산정된 것으로 분석되었다. 또한 UAV를 사용하여 측량할 때 GCP 개수의 차이를 통하여 GCP를 사용하지 않고 측정하였을 때 보다 GCP를 사용하였을 때 그 결과가 더 좋음을 확인할 수 있었으며, 4개와 7개를 사용하여 측정한 것은 정확도에 크게 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

이를 통하여 GPS와 토탈스테이션 그리고 UAV를 이용한 토량의 비교와 시간을 비교하였으며, 실제 현장에서 주로 사용되는 GPS와 토탈스테이션과 비교하였을 때 UAV의 토량 산정 정확도가 사용 가능할 만큼 정확하며, 시간적으로 경제적인임을 확인할 수 있었다.

Table 5. Comparison of accuracy and measurement time(Reference : GPS survey)

Surveying type	Volume	Accuracy	Measurement time	
GPS	147,286.79m ³	100%	4 hours	
Total station	141,594.07m ³	96.13%	3 hours	
UAV	without GCP	143,997.05m ³	97.77%	15 minutes
	4 GCPs	147,251.71m ³	99.98%	30 minutes
	7 GCPs	146,963.81m ³	99.78%	40 minutes

5. 결론

본 연구에서는 실제 토목 공사 현장에서 측량에 사용되고 있는 GPS를 이용하여 취득한 토량과 토탈스테이션 그리고 UAV를 이용하여 취득한 토량을 각각 비교하여 UAV를 이용한 토량 측량의 정확도와 실용성을 알아보려고 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

GPS를 이용하여 취득한 토량은 147,286.79m³으로 나타났

고, 토탈스테이션은 141,594.07m³으로 GPS를 이용하여 구한 토량을 기준으로 96.13% 정확도를 보였다. 그리고 UAV는 GCP를 측정하지 않고 진행하였을 때 143,997.05m³, GCP가 4개일 때 147,251.71m³ 그리고 GCP가 7개일 때 146,963.81m³로 나타났고, 각각 GPS로 측량한 토량과 비교하여 97.77%, 99.98%, 99.78%의 정확도를 보였다. 이를 통해 현장에서 사용되고 있는 GPS를 기준으로 하여 토탈스테이션으로부터 취득한 토량보다 UAV를 이용하여 취득한 토량의 정확도가 더 높음을 확인 할 수 있었다. 또한 GPS측량에 약 4시간, 토탈스테이션측량에 약 3시간 그리고 UAV측량에 GCP가 없는 경우 15분, 4개인 경우 30분, 7개인 경우 40분으로 시간적으로 더 경제적인임을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 UAV를 이용하여 토량을 산정하는 것이 시간적으로 경제적이며 정확도가 높음을 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 소규모 지역에서 토량 측량을 실시할 때 최소 GCP 개수에 대한 연구와 함께, 본 연구의 대상지와 같이 소규모 지역이 아닌 대규모 지역에서의 GPS와 토탈스테이션 그리고 UAV를 이용한 토량의 측량과 시간에 대한 결과 비교 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017R1D1A1B03030611)

References

- Arango, C. and Morales, C.A. (2015), Comparison between multicopter UAV and total station for estimating stockpile volumes, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 40, No. 1, pp. 131-135.
- Choi, S.K. and Kim, D.Y. (2010), Earthwork volume calculation of anchorage underground capacity using laser scanner, *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 18, No. 3, pp. 21-27. (in Korean with English abstract)
- Cryderman, C., Mah, S.B., and Shufletoski, A. (2014), Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations, *Geomatica*, Vol.

- 68, No. 4, pp. 309-317.
- Hong, S.E. (2007), Comparing efficiency of numerical cadastral surveying using total station and RTK-GPS, *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science*, Vol. 15, No. 3, pp. 87-96. (in Korean with English abstract)
- James, M.R., Robson, S., d'Oleire-Oltmanns, S., and Niethammer, U. (2017), Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: ground control quality, quantity and bundle adjustment, *Geomorphology*, Vol. 280, pp. 51-66.
- Jung, S.H., Lim, H.M., and Lee, J.K. (2010), Acquisition of 3D spatial information using UAV photogrammetric method, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 1, pp. 161-168. (in Korean with English abstract)
- Kang, J.M., Yoon, H.C., Lee, C.B., and Park, J.K. (2006), Accuracy assessment of LiDAR DEM using GPS, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 24, No. 5, pp. 443-451. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., Chio, Y.S., and Lee, I.P. (2004), A study on improving method of graphical cadastral surveying by RTK-GPS and aerial orthophotograph, *Journal of the Korean Society of Cadastre*, Vol. 20, No. 2, pp. 133-145. (in Korean with English abstract)
- Lee, I.S. (2003), DTM generation and earth volume calculation with RTK GPS, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 23, No. 6D, 909-915. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.C. (2017), Validation on the utilization of small-scale unmanned aerial systems(sUAS) for topographic volume calculations, *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, Vol. 47, No. 1, pp. 111-126. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.K. and Jung, K.Y. (2015), Applicability evaluation of earth volume calculation using unmanned aerial images, *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 5, No. 5, pp. 497-504. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.K., Kim, B.O., and Kim, N.Y. (2007), Investigation of shoreline change by photogrammetric method, *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science*, Vol. 15, No. 2, pp. 15-23. (in Korean with English abstract)
- Raeva, P.L., Filipova, S.L., and Filipov, D.G. (2016), Volume computation of a stockpile—a study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit quarry, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 41, pp. 999-1004.
- Park, J.H. and Lee, W.H. (2016), Orthophoto and DEM generation in small slope areas using low specification UAV, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 34, No. 3, pp. 283-290. (in Korean with English abstract)
- Sim, J.M. and Yun, H.S. (1998), Development of earth fill management system using real-time kinematic GPS, *Journal of the Korean Society of Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 16, No. 2, pp. 271-279. (in Korean with English abstract)
- Yeu, B.M., Yoon, Y.T., and Lee, H.J. (1990), A study on the earthwork calculation using photogrammetry, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 8, No. 1, pp. 41-50. (in Korean with English abstract)