

드론 촬영으로 작성한 비탈면 3차원 모델의 품질 분석

Accuracy Evaluation of 3D Slope Model Produced by Drone Taken Images

강 인 규¹⁾ · 김 태 식[†]

Inkyu Kang · Taesik Kim

Received: April 4th, 2020; Revised: April 13th, 2020; Accepted: May 5th, 2020

ABSTRACT : In the era of the fourth industrial revolution, drones are being used in various civil engineering fields. Currently, the construction and maintenance of slopes are generally managed by manpower. This method has a risk of safety accidents, and it is difficult to accurately evaluate the slope because it is difficult to secure the vision. In this paper, the effects of RTK and GCP on the 3D model of the slope were studied by using digital images taken by the drone. GNSS coordinates were measured for nine points to compare the quality of the slope 3D model, three points of which were used as the check points and the remaining points were used as GCPs. When making the 3D model of the slope using high-accuracy geotagging images using RTK, it was found that the error at the check point decreases as the number of GCP increases. Even if GNSS was used, it was found that the error at the check points of the 3D slope model was not significant when the GCPs were applied. However, it was found that even if high-accuracy geotagging images are used using the RTK module, a significant error occur when the 3D slope model is created without applying GCPs. Therefore, it can be stated that GCP must be applied to create the 3D slope model in which information about the height as well as plane information is important.

Keywords : Drone, Photogrammetry, Slope, 3D model

요 지 : 4차 산업혁명 시대에 접어들어 드론이 다양한 분야에서 활용되고 있다. 현재 비탈면의 시공 및 유지관리는 일반적으로 소단 및 점검원 통로를 이용하여 인력으로 관리하고 있다. 이러한 방법은 안전사고의 위험이 있으며, 인력을 통한 시야 확보가 어려워 정확한 파악이 어렵다. 본 논문에서는 지반 공학 관련 구조물 중 비탈면을 대상으로 드론이 촬영한 디지털 사진을 이용하여 RTK 및 GCP가 비탈면 3차원 모델에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 비탈면 3차원 모델의 품질 비교를 위해 9개 지점에 대해 GNSS 좌표를 측정하였고, 이 중 3개 지점은 검사점으로 활용하고 나머지 지점들은 지상기준점으로 활용하였다. RTK를 활용한 높은 정밀도의 지오태깅 사진을 이용하여 비탈면 3차원 모델을 작성할 경우, 지상기준점의 개수가 증가하면 검사점에서의 오차가 감소하는 것을 확인하였다. 또한 일반 GNSS를 사용하더라도 지상기준점을 적용하면 3차원 모델의 검사점에서의 오차는 크지 않은 것을 확인하였다. 그러나 RTK모듈을 사용하여 높은 정밀도의 지오태깅 사진을 이용하더라도 GCP를 적용하지 않고 비탈면 3차원 모델을 작성하면 큰 오차가 발생하는 것을 확인하였다. 특히, 높이 값인 z좌표에 대한 오차가 크게 발생하였다. 따라서, 평면정보와 더불어 높이에 대한 정보도 중요한 비탈면 3차원 모델 작성을 위해서는 반드시 GCP를 적용해야 함을 확인할 수 있었다.

주요어 : 드론, 포토그래메트리, 비탈면, 3D 모델

1. 서 론

4차 산업혁명 시대에 접어들어 무인비행기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 즉 드론이 다양한 분야에서 활용되고 있다. 건설분야에서는 드론을 활용한 측량, 시공 현장의 빠른 현황 파악 및 공정 관리, 토공량 분석, 기존 구조물의 유지관리 등에 활용되고 있다. 이러한 활용은 항공사진에 의한 사진측량법, 즉 포토그래메트리(Photogrammetry) 기법에 기본을 두고 있다. 포토그래메트리 기법은 관심 지역에 대해 다수의

디지털 영상을 획득하고, 촬영된 디지털 영상으로부터 공간 정보를 추출하여 3차원 모델을 작성하는 기법이다. 해당 기법이 많이 사용된 이유를 고찰해보면, 고비용의 유인항공기를 사용해야만 가능했던 항공촬영이 드론의 발달로 비교적 저비용이 되었고, 컴퓨터의 계산능력이 발달하여 디지털 영상 처리에 대한 속도가 비약적으로 빨라진 것을 들 수 있다.

포토그래메트리 기법은 영상을 이용하여 3차원 모델을 작성한다. 모델 작성을 위해 일반적으로 사용되는 알고리즘은 크기 불변 특징점 추출 알고리즘(Scale Invariant Feature

1) President, Vniel Consultant Co., Ltd.

† Associate Professor, Department of Civil Engineering, Hongik University (Corresponding Author : taesik.kim@hongik.ac.kr)

Transform, SIFT), 이동을 통한 구조 추출(Structure From Motion, SFM), 공액기하학(Epipolar geometry) 등이 있다 (Bryson et al., 2016; Lowe, 1999; Ulman, 1979). 해당 알고리즘의 적용을 위해서는 디지털 영상을 촬영한 위치에 대한 정보 즉 지오태깅(Geo tagging)이 필요하고, 디지털 영상 속 특징점을 실제 지면 정보와 연관 짓는 지상기준점(Ground Control Point, GCP)에 대한 정보가 필요하다. 이러한 정보들의 품질에 따라서 3차원 모델의 품질은 영향을 받는다 (Barba et al., 2019).

본 논문에서는 지반 공학 관련 구조물 중 비탈면을 대상으로 3차원 모델 작성에 대한 연구를 수행하였다. 현재 비탈면의 시공 및 유지관리는 일반적으로 소단 및 점검원 통로를 이용하여 인력으로 관리하고 있다. 현재 이러한 관리 방법은 안전사고의 위험이 있으며, 시야 확보가 어려워 정확한 파악이 어렵다.

비탈면을 대상으로 드론이 촬영한 디지털 이미지를 이용한 기존의 연구는 시공 중 임시 비탈면의 안정성 평가에 3차원 모델을 활용한 내용(Xiao et al., 2018), 암반 절리의 경사 및 경사방향 조사(Vasuki et al., 2014)에 대한 내용 등이 있다. 본 논문에서는 드론으로 촬영한 디지털 영상의 위치정보의 정밀도, 지상기준점의 정밀도가 비탈면 3차원 모델의 품질에 미치는 영향에 대해서 분석하였다.

2. 비탈면 3차원 모델 작성

본 연구를 위해 촬영한 비탈면은 경상북도 OO군에 위치한 비탈면으로, 촬영 면적은 약 124,000m², 비탈면의 저점부와 고점부의 고저차는 약 73m 였다. Fig. 1은 비탈면 정사영상과 지상 측정점의 위치를 나타낸다.

2.1 지상기준점 측정

포토그래메트리 기법을 적용하기 위해서는 앞서 설명한 바

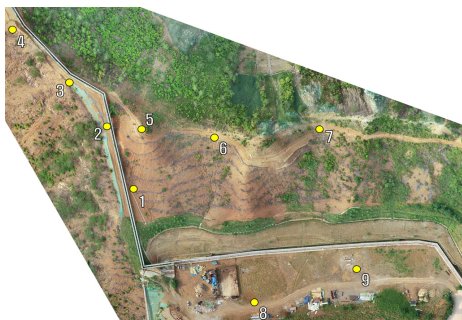


Fig. 1. Orthomosaic image with ground control point and check point

와 같이 지상기준점 측정이 필요하다. 지상기준점은 GNSS 수신기인 Trimble사의 R10을 사용하였으며, 해당 장비는 최대 수평 0.008m, 수직 0.015m의 정밀도를 가지고 있다. 본 연구에서는 별도의 지상 기지국을 설치하지 않고 국토지리정보원에서 제공하는 가상 기준점서버에 접속하여 측위값을 보정하는 방식을 채택했다.

본 논문에서는 Fig. 1에 나타난 9곳에서 GNSS 좌표를 측정하였다. 좌표를 측정한 9곳 중 3곳에 대해서는 정밀도 확인을 위한 검사점(Check Point, CP)으로 활용하고, 나머지 6곳은 지상기준점으로 활용하였다.

2.2 드론

본 연구는 DJI사의 Phantom4 RTK 모델을 사용하였다. 기존의 Phantom4 모델에 실시간 이동 측위(Real Time Kinematic, RTK) 모듈을 탑재한 기종으로 촬영한 사진에 고정밀 지오태깅이 가능하다. 일반 드론은 위성항법시스템(Global Navigation Satellite System, GNSS)를 장착하고 있으며, 이 정보를 촬영한 사진에 지오태깅한다. 그러나 RTK 드론의 경우, 정밀 측위를 위해 지상 기지국에서 받은 신호와 GNSS 신호를 비교하여 위치 정밀도를 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 지상기준점측정과 동일하게 별도의 지상 기지국을 설치하지 않고, 국토지리정보원에서 제공하는 가상 기준점(Virtual Reference Station, VRS)서버에 접속하여 측위값을 보정하는 방식을 채택했다.

드론이 촬영한 사진에는 지오태깅 정보와 더불어 촬영 당시 카메라의 각도를 드론의 관성측정장치(Inertial Measurement Units, IMU)로부터 받아 기록한다. 3차원 모델을 작성할 때 이 정보도 함께 이용할 수 있다.

사용한 드론의 카메라는 2.54cm(1 in.) CMOS를 탑재하고 있으며, CMOS의 가로는 5,472 픽셀, 세로는 3,648 픽셀로, 가로대 세로 비율이 3:2이다. CMOS의 픽셀 한 개의 폭은 0.002412281mm 이며, 해상도 20 메가픽셀에 해당된다. 초점거리 8.8mm 렌즈를 탑재하고 있다. Fig. 2는 연구에 사용된 드론과 GNSS 수신기를 나타낸다.



Fig. 2. RTK Drone and GNSS rover

2.3 드론 촬영

해당 비탈면에 대해서 비탈면 최저점으로부터 130m 상공에서 직하방으로 193장의 사진을 촬영하였으며, 횡방향과 종방향 중복도는 80%였다. 드론에 탑재된 카메라의 사양과 촬영 고도를 고려하여 지상표본거리(Ground Sample Distance, GSD)를 계산하였다. 지상표본거리는 디지털 영상 속 하나의 픽셀이 나타내는 실제 거리를 의미하며, 본 논문에서의 평균 지상표본거리는 약 0.025m 인 것으로 나타났다.

드론 비행은 RTK 모듈을 활성화한 상태로 비행 시 디지털 사진에 지오태깅된 정보는 수평정확성(Horizontal Accuracy)의 범위는 0.013~0.015m, 수직정확성(Vertical Accuracy)은 0.023~0.039m 인 것으로 나타났다. 수평정확성은 GNSS의 x, y 좌표의 정확성을, 수직정확성은 촬영고도의 정확성을 의미한다. 해당 오차는 기준국에서 위성 관측치를 이용하여 보정치를 생성하고 이를 드론에 전송하여 상대 측위 기법을 통해 산정되었다. 해당 오차는 위성의 반송파 해석을 통해 위치를 아는 기준점에서 측정한 반송파 오차 보정치를 이용하여 자동으로 기기에서 계산된다(No et al., 2012). Fig. 3 은 드론이 비탈면을 촬영한 위치를 나타낸다.

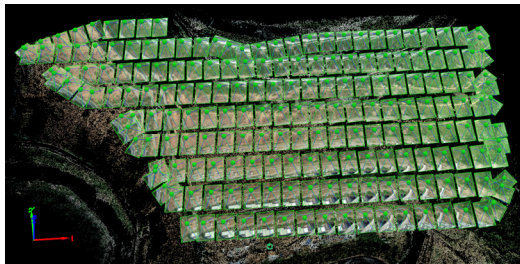


Fig. 3. Drone photo shooting location

2.4 3차원 모델 작성

3차원 비탈면 모델은 포토그래메트리 소프트웨어인 Pix4D mapper version 4.5.6를 사용하였다. 드론으로 촬영한 디지털 영상의 지오태깅 정밀도, 지상기준점의 정밀도가 3차원 모델의 품질에 미치는 영향에 대해서 분석하기 위해 다음의 세 가지 방법으로 3차원 모델을 작성하였다.

- ① RTK 적용 및 지상기준점 적용
- ② RTK 미적용 및 지상기준점 적용
- ③ RTK 적용 및 지상기준점 미적용

각각의 경우에 대해서 3차원 모델의 품질은 사진으로 작성한 3차원 모델상에 있는 검사점의 x, y, z 좌표와 GNSS 수신기로 측정한 검사점의 x, y, z 좌표의 차이를 비교하여

평가하였다. 아울러 각 좌표값의 차이의 제곱의 합의 제곱근(Root Mean Square, RMS) 오차를 이용하여 분석하였다. “① RTK 적용 및 지상기준점 적용”의 경우에 대해서는 지상기준점의 개수가 3차원 모델의 정밀도에 미치는 영향에 대해서도 분석하였다.

3. 결과 분석

3.1 RTK 적용 및 지상기준점 적용

RTK를 이용하여 높은 정밀도로 지오태깅한 사진을 이용하여 3차원 모델을 작성하였다. 측정점 중, 비탈면 하단인 9번, 비탈면 중단인 1번, 비탈면 상단인 5번을 검사점으로 지정하고, 나머지 측정한 좌표점들을 지상기준점으로 활용하였다. 포토그래메트리 기법을 이용하여 3차원 모델을 작성할 때 필요로 하는 최소 개수인 3개부터 최대 6개까지 지상기준점을 적용하며 검사점에서의 오차를 분석하였다. 분석에 사용한 GNSS 측정점은 Table 1에 정리하였다.

Fig. 4는 적용한 GCP의 개수에 따라 CP에서 발생한 x, y, z 좌표별 오차 및 RMS 오차의 평균을 나타낸다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 GCP를 6개 적용하였을 때 RMS 오차가 가장 작고, GCP를 최소로 적용하였을 때 오차가 가장 크게

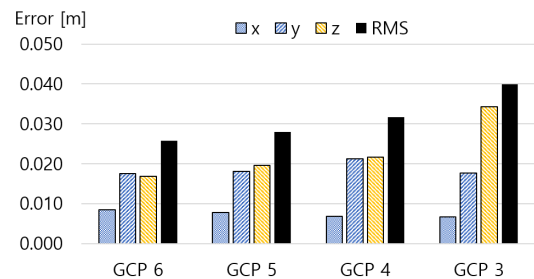


Fig. 4. Variation in errors with number of GCPs

Table 1. GNSS numbers for the analysis

No. of GCP	No. of case	Used GCPs
6	1	2, 3, 4, 6, 7, 8
5	4	3, 4, 6, 7, 8
		2, 4, 6, 7, 8
		2, 3, 6, 7, 8
		2, 3, 4, 7, 8
4	4	2, 6, 7, 8
		2, 3, 7, 8
		4, 6, 7, 8
		2, 3, 4, 8
3	4	6, 7, 8
		2, 7, 8
		2, 3, 8
		2, 3, 4

발생하는 것으로 나타났다. 그러나 오차의 범위는 0.025~0.040m로, 해당 3차원 모델 작성을 위해 촬영한 디지털 사진 평균 지상 표본거리의 1~1.6배 수준인 것으로 나타났다.

3.2 RTK 미적용 및 지상기준점 적용

RTK의 정밀도가 아닌, 수평방향 5m, 수직방향 10m의 일반 GNSS 지오태깅 정밀도 범위를 이용하여 3차원 모델을 작성하였다. 사용한 GCP는 6개이며, GNSS 측정점 1, 5, 9번을 검사점으로 사용하였다. Fig. 5는 x, y, z 좌표별 오차 및 RMS 오차의 평균을 나타낸다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 RTK를 이용하여 높은 정밀도의 지오태깅 사진을 이용했을 때 검사점에서의 오차가 작게 나타나는 것으로 나타났다.

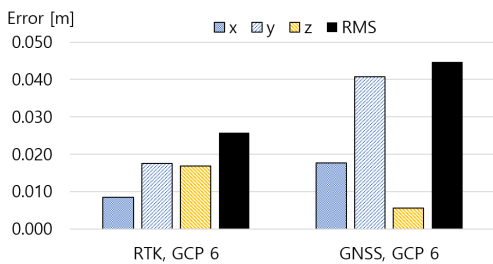


Fig. 5. RTK effects on errors with the same number of GCPs

일반 GNSS 지오태깅의 정밀도를 이용하여 3차원 모델을 작성했을 경우, 검사점에서의 오차가 0.045m인 것으로 나타났다. 이는 RTK를 이용하여 높은 정밀도로 지오태깅한 사진과 3개의 GCP를 사용한 3차원 모델과 유사한 오차이다. RTK를 이용한 고정밀 지오태깅이 오차를 감소시키지만, 획기적으로 그 수준을 낮추는 것은 아닌 것으로 나타났다.

드론이 촬영한 사진에서 지오태깅 정보와 촬영 당시 드론의 IMU로부터 획득한 카메라의 촬영 각도를 모두 삭제하고, 3차원 모델을 작성하였다. 즉 사진 촬영 위치 및 각도 정보없이 3차원 모델을 작성하였다. 사용한 GCP는 6개이며, GNSS 측정점 1, 5, 9번을 검사점으로 사용하였다. Fig. 6은 지오태깅 및 IMU 정보를 삭제하고 작성한 3차원 모델

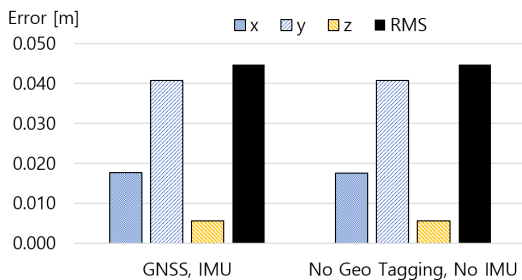


Fig. 6. RTK effects on errors

과 지오태깅 및 IMU정보를 적용한 경우의 비교를 나타낸다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 두 경우가 매우 유사한 것으로 나타났다. 즉, GCP를 적용할 경우 사진에 지오태깅 및 IMU 정보가 없더라도 3차원 모델을 작성하는데 무리가 없는 것으로 나타났다.

3.3 RTK 적용 및 지상기준점 미적용

RTK를 이용하여 높은 정밀도로 지오태깅한 사진을 이용하여 3차원 모델을 작성하였다. 측정점 중, 비탈면 하단인 9번, 비탈면 중단인 1번, 비탈면 상단인 5번을 검사점으로 지정하고, GCP는 적용하지 않았다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이, GCP를 적용하지 않은 경우, 검사점에서 오차가 0.485m 발생하는 것으로 나타났다. 이는 GCP를 적용한 경우의 10배 이상으로, 3차원 모델 작성 시 GCP 적용 여부가 오차에 심각한 영향일 미침을 알 수 있다. 특히, GCP 적용 여부에 따라 고도값인 z 좌표에 대한 오차가 급증함을 확인할 수 있다.

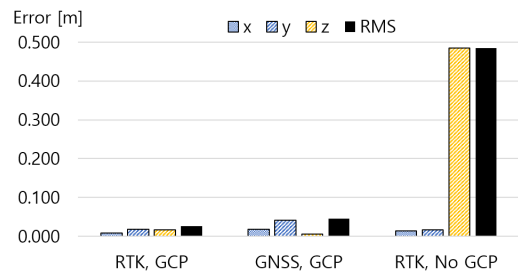


Fig. 7. Error comparisons GCP applied models with no GCP model

평지의 경우 z 좌표에 대한 오차는 심각하지 않을 수 있다. 그러나 지반 공학 관련 구조물 중 z 값이 중요한 의미를 갖는 비탈면의 경우, 3차원 모델에서 발생하는 수십 cm 수준의 높이에 대한 오차는 3차원 모델 활용도 측면에서 바람직하지 않다. 즉, 높은 정밀도로 지오태깅된 사진을 이용한다 하더라도 GCP를 활용해서 비탈면 3차원 모델을 작성해야 하는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 논문에서는 지반 공학 관련 구조물 중 비탈면을 대상으로 드론 촬영 디지털 사진을 이용하여 포토그래메트리 기법을 적용하여 3차원 모델을 작성하였다. 비탈면 3차원 모델의 품질 비교를 위해 9개 지점에 대해서 GNSS 좌표를 측정하였고, 이 중 3개 지점은 검사점으로 나머지 지점들은

지상기준점으로 활용하였다. 사진에 기록되는 위치 정보 정밀도 및 IMU, 지상기준점의 적용 유무 및 개수가 비탈면 3차원 모델에 미치는 영향을 분석하였다. 본 논문에서 수행한 분석에 대해 다음과 같은 요약할 수 있다.

- (1) RTK를 활용한 높은 정밀도의 지오태깅 사진을 이용하여 비탈면 3차원 모델을 작성할 경우, 지상기준점의 개수가 증가하면 검사점에서의 오차는 감소하였다. 그러나 오차 감소 수준은 크지 않았다.
- (2) 일반 GNSS 정밀도의 지오태깅 사진을 이용하여 비탈면 3차원 모델을 작성할 경우, 동일조건에 높은 정밀도의 지오태깅 사진을 이용한 경우보다 큰 오차가 발생하였다. 그러나 두 오차의 차이는 크지 않았다.
- (3) RTK모듈을 활용하여 높은 정밀도의 지오태깅을 하더라도 지상기준점을 적용하지 않으면, 비탈면 3차원 모델에서 발생하는 오차는 지상기준점을 사용하는 경우의 약 10배로 증가하였다. 특히 이 오차는 고도인 z 좌표값에서 발생하는 것으로 나타났다.

드론으로 촬영한 디지털 사진을 이용하여 비탈면 3차원 모델을 작성할 경우, GCP를 적용해야 5cm 이하의 오차로 3차원 모델의 작성이 가능하였다. RTK를 이용한 높은 정밀도의 지오태깅은 GCP가 비탈면 3차원 모델에 미치는 영향에 비해 작은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 이공학개인지초연구(NRF-2017 R1D1A1B03032085)의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Barba, S., Barbarella, M., Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L. and Limongiello, M. (2019), Accuracy assessment of 3D photogrammetric models from an unmanned aerial vehicle, Drone, Vol. 3, No. 79, pp. 1~19.
2. Bryson, M., Duce, S., Harris, D., Webster, J. M., Thompson, A., Vila-Concejo, A. and Williams, S. B. (2016), Geomorphic changes of a coral shingle cay measured using Kite Aerial Photography, Geomorphology, Vol. 270, pp. 1~8.
3. Lowe, David G. (1999), Object recognition from local scale-invariant features, Proceedings of the International Conference on Computer Vision, Vol. 2, pp. 1150~1157.
4. No, S-J, Han, J-h. and Kwon, J. H. (2012), Accuracy analysis of network-RTK (VRS) for real time kinematic positioning, Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, Vol. 30, No. 4, pp. 389~396 (In Korean).
5. Ulman, S. (1979), The interpretation of structure from motion, Proceedings of the Royal Society of London, Vol. 203, No. 1153, pp. 405~426.
6. Vasuki, Y., Holden, E-J, Kovesi, P. and Micklethwaite, S. (2014), Semi-automatic mapping of geological structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach, Computers and Geosciences, Vol. 69, No. 1, pp. 22~32.
7. Xiao, Y., Kamat, V. R. and Lee, S. (2018), Monitoring excavation slope stability using drones, ASCE, Construction Research Congress 2018, pp. 169~179.