

드론 사진측량을 이용한 산림훼손지역의 훼손 현황 분석

Application of Drone Photogrammetry for Current State Analysis of Damage in Forest Damage Areas

이영승* · 이동국** · 유영걸*** · 이현직****

Lee, Young Seung · Lee, Dong Gook · Yu, Young Geol · Lee, Hyun Jik

要 旨

드론은 다양한 분야에서 활용이 증가하고 있으며, 산림관리에 높은 잠재력을 가지고 있으므로 본 연구에서는 산림 훼손지역에 대하여 드론을 적용하고자 하였다. 산림훼손지역은 인위적으로 발생된 훼손지역과 자연적으로 발생된 훼손지역으로 나뉘며, 사면 슬라이딩이나 사면붕괴, 산사태, 토사유출 등의 재해 발생 가능성이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 산림훼손지역에 대하여 훼손 현황 분석을 수행하기 위해 드론 사진측량을 활용하고자 하였다. 드론 사진측량의 기하처리 결과, 평면위치오차의 RMSE는 $\pm 0.034\text{m}$ 로 나타났으며, 표고오차의 RMSE는 $\pm 0.017\text{m}$ 로 나타났다. 드론사진측량으로 생성된 정사영상의 평면위치오차의 RMSE는 $\pm 0.083\text{m}$, 수치표고모델의 수직위치오차의 RMSE는 $\pm 0.085\text{m}$ 로 나타났다. 또한, 산림훼손 전 데이터인 항공 레이저측량성과와 드론 사진측량성과의 비교 분석을 통해 산림훼손지역의 훼손 현황 분석 수행이 가능하였으며, 산림훼손지역의 복원 계획을 위한 기초자료 생성에 드론사진측량의 활용이 가능하였다.

핵심용어 : 드론, 사진측량, 정사영상, 수치표고모델, 산림훼손, 복원

Abstract

Applications of drone in various fields have been increasing in recent years. Drone has great potential for forest management. Therefore this paper is using drone for forest damage areas. Forest damage areas is divided into caused by anthropogenic and occurs naturally, the possibility of disasters, such as slope sliding, slope failures and landslides, sediment runoff exists. Therefore, this research was to utilize the drone photogrammetry to perform the damage analysis of forest damage areas. Geometrical treatment processing results in Drone Photogrammetry, the plane position error RMSE was $\pm 0.034\text{m}$, the elevation error RMSE was $\pm 0.017\text{m}$. The plane position error of orthophoto RMSE was $\pm 0.083\text{m}$, the elevation error of digital elevation model RMSE was $\pm 0.085\text{m}$. In addition, It was possible to current state analysis of damage in forest damage areas of airborne LiDAR data of before forest damage and drone photogrammetry data of after forest damage. and application of drone photogrammetry for production base data for restoration and design in forest damage areas.

Keywords : Drone, Photogrammetry, Orthophoto, Digital Elevation Model, Forest Damage, Restoration

1. 서 론

산림훼손지역은 인위적 훼손지역과 자연적 훼손지역으로 분류되며, 사면 슬라이딩이나 사면붕괴, 산사태, 토사유출 등의 재해 발생 가능성이 존재한다. 따라서 산림훼손지역에 대한 다양한 분석 및 관독에 대한 연구

가 진행되고 있다.

Song et al.(2008)은 항공라이다의 자료취득을 통한 산림모델을 구현하고 3차원 입관의 체적, 표준지 내 최대수고를 추정해 자료취득 밀도에 따른 추정결과의 차이를 비교분석하여 자료취득 밀도가 높을수록 산림생장특성의 추정결과가 기대치에 근접하는 것으로 나타

Received: 2016.06.29, revised: 2016.08.04, accepted: 2016.08.29

* 주식회사 지한 실장(G.han Inc, nt3788@hanmail.net)

** 정희원 · 상지대학교 대학원 토목공학과 석사과정(Member, Master Student, Dept. of Civil Eng., Sangji University, leedg1210@naver.com)

*** 정희원 · 상지대학교 건설시스템공학과 겸임교수(Member, Dept. of Civil Eng., Sangji University, cain25@nate.com)

**** 교신저자 · 정희원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수(Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Eng., Sangji University, hjiklee@sangji.ac.kr)

났다고 하였다.

Kim et al.(2010)은 항공 LiDAR 데이터를 이용하여 수목의 표고분포, 면적 및 용량산출, 수목밀도분포도를 3차원적으로 분석하여 산림지역에 대한 과학적인 정보를 생성하였으며, Park et al.(2013)은 산림훼손지역을 판독하고 산림훼손지역의 발생 및 분포 특성의 분석을 목적으로 고해상도 영상자료를 이용하였다.

또한, 최근 드론을 활용하고자 하는 요구가 증대되면서 측량 및 GIS(geospatial information system) 분야에서 다양한 연구가 진행되고 있다.

F et al.(2001)매핑 및 3D 모델링 분야에서 무인항공기 플랫폼은 가장 가치 있는 분야라고 하였으며 단거리 및 근거리 영역에서 무인항공기시스템은 유인항공사진 측량에 대한 저가의 대안이며 자동으로 등고선 데이터, 벡터 데이터, DSM(digital surface model) 및 DTM(digital terrain model)을 추출할 수 있다고 하였으며, Noah et al.(2008)은 인터넷 상에 크고 다양한 수십억장의 여러 가지 사진들을 이용하여 시각적인 관점에서 3D 모델을 생성하는 연구를 수행하였다.

Lee et al.(2015)은 5개의 지상기준점에 대해서 고정밀 위성측정시스템을 이용하여 측정한 위치 좌표와 회전익 드론 사진측량시스템을 이용하여 추출한 위치 좌표를 비교한 결과 평균제곱근오차가 X, Y, Z 세 방향 모두 10cm 내외로 나타난 것을 확인하였으며, Lee et al.(2015)은 노천광산의 모니터링을 위해 고정익 드론을 활용하고자 하였고, 기하처리 결과 RMSE가 X, Y,

Z 모두 $\pm 0.05m$ 이내로 나타났고, 정사영상과 수치표고 모델을 생성하였다. 항공 LiDAR 수치표고모델과 UAV (unmanned aerial vehicle) 수치표고모델을 차분하는 잔차 수치표고모델을 생성하여 노천광산의 변화를 분석하였으며 광산 내부의 변화 모니터링에 드론의 활용성이 충분하다고 하였다.

Lim et al.(2015)은 드론을 이용하여 항공사진 촬영을 수행하고 영상 처리를 통해 수치표고모델을 생성하고 횡단면도를 추출함으로써 준설토 투기장의 토공량을 신속하고 정확하게 측정할 수 있는 방법을 제시하였다.

Lee et al.(2016)은 고정익 드론인 eBee와 보급형 회전익 드론인 Phantom2 Vision+를 이용하여 지형측량을 수행하고 그 결과를 비교하였으며 eBee와 Phantom2 Vision+에서 촬영된 항공사진을 각각 처리한 결과 약 4cm/pixel 공간해상도의 정사영상과 수치표고모델을 생성하였다.

본 연구에서는 사면 슬라이딩이나 사면 붕괴, 산사태 등의 발생 가능성으로 인하여 산림훼손지역의 접근성이 떨어지며, 측량에 어려움이 있으므로 드론 사진측량을 활용하고자 하였다.

따라서, 드론 사진측량을 활용하여 산림훼손지역을 촬영한 항공사진을 처리하고, 정사영상과 수치표고 모델을 생성하였으며, 산림훼손 전 데이터인 항공 LiDAR 데이터와의 비교 분석을 통해 수치적인 토량의 변화 등 훼손 현황 분석을 수행하고 복원 계획에 활용할 수 있는 기초자료 생성 방안을 제시하고자 하였다.

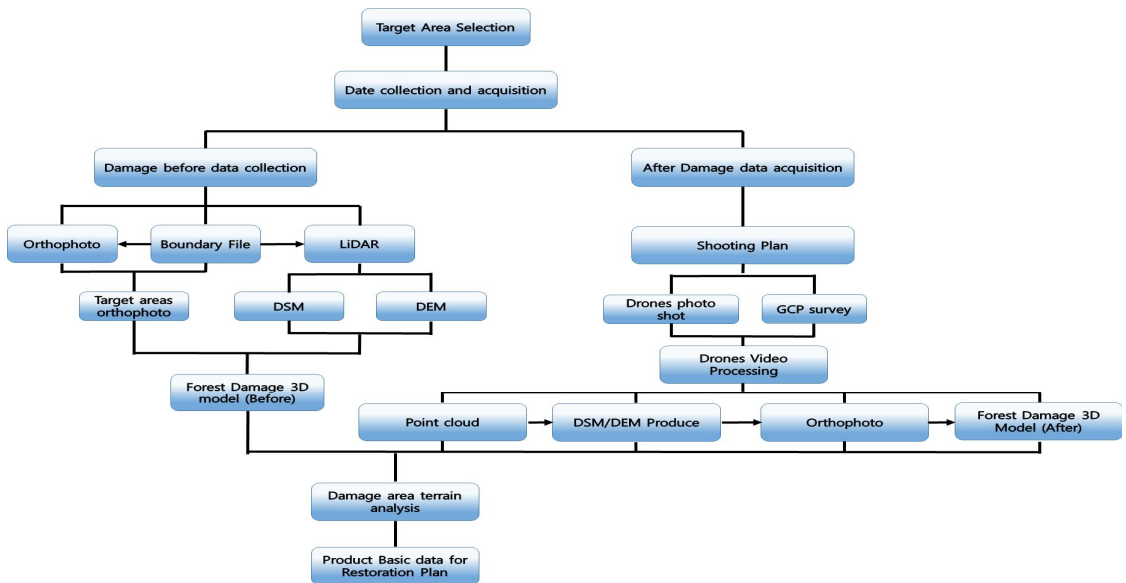


Figure 1. Research flow

2. 연구 방법

본 연구는 무분별한 산림훼손에 따른 사면 슬라이딩이나 사면 붕괴 등의 재해 발생 가능성이 있는 인위적 산림훼손지역을 대상으로 산림훼손 상태를 정확히 파악하기 위한 지형공간정보를 생성하고 복원 계획 및 설계에 활용할 수 있는 기초자료 생성 방안을 제시하고자 하였다. Fig. 2는 본 연구의 대상지역을 나타낸 것이고 Fig. 3은 대상지역의 산림훼손 현황을 나타낸 것이다.

드론 사진측량의 성과품은 point cloud와 정사영상으로 항공 레이저측량 성과품과 동일한 형태의 데이터가 생성되며 2차원 및 3차원 분석이 가능하다.

따라서, 대상지역인 산림훼손지역의 훼손 전 데이터와 훼손 후 데이터를 이용하여 산림훼손지역의 표고분포, 잔차 수치표고모델 제작을 통한 성/절토량 분석, 단면도 생성을 통한 경사 기울기 변화 분석, 재해 위험지역 분석을 수행하였으며, 집중 호우 시 발생 가능성이 있는 사면 슬라이딩이나 사면붕괴 등의 재해 예방을 위한 배수 계획을 제시하고자 하였다. Fig. 1은 연구 흐름도를 나타낸 것이다.

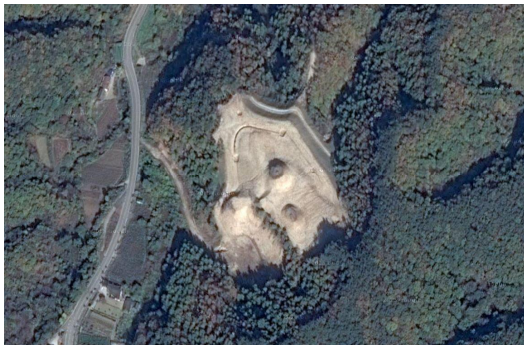


Figure 2. Forest damage area

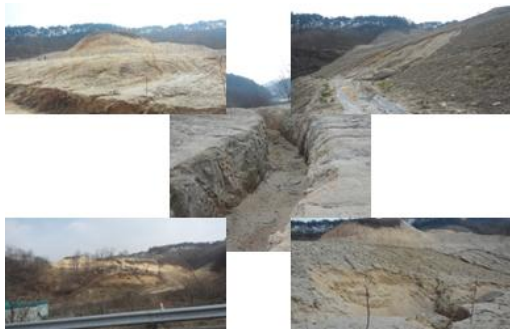


Figure 3. Forest damage status

3. 산림훼손지역 데이터 수집 및 취득

산림훼손지역의 산림훼손 전 데이터는 2007년에 취득된 항공레이저측량 성과로 항공 LiDAR point cloud와 정사영상이고, 산림훼손 후 데이터는 2016년에 취득된 드론사진측량 성과로 point cloud와 정사영상이다.

3.1 산림훼손 전 데이터

산림훼손 전 데이터는 다차원공간정보구축 사업으로 취득된 점밀도 3~6점/m²의 항공 LiDAR 데이터와 GSD 약 0.25m 급의 정사영상을 이용하였다.

Fig. 4는 산림훼손지역의 산림훼손전 데이터인 항공 레이저측량 성과(정사영상 및 DSM/DEM)를 나타낸 것이다.

3.2 산림훼손 후 데이터

산림훼손 후 데이터는 드론 사진측량성과로 지상기준점 측량 및 드론 사진촬영을 수행하고, 영상매칭을 통해 추출된 point cloud 및 정사영상이다. 이러한 드론 사진측량성과는 산림훼손지역의 지형공간정보를 취득하는데 유용하며, 산림훼손지역의 현황 분석 및 위험도 분석에 효과적인 활용이 가능하다.

3.2.1 지상기준점 및 검사점 측량

지상기준점은 드론으로 촬영된 항공사진 상에서 위치 확인이 가능하도록 선점하고 Network-RTK 방식의

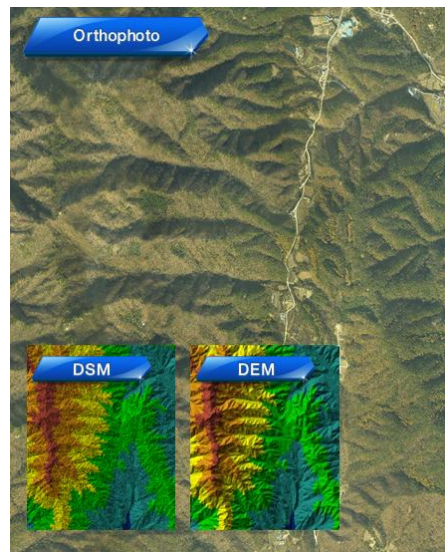


Figure 4. Orthophoto and DSM/DEM (airborne LiDAR surveying)

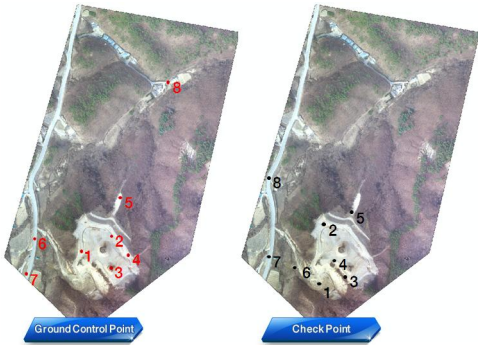


Figure 5. Position map of ground control point and check point

Table 1. GCP and check point coordinate

Classification	No	X	Y	Z
GCP	1	410641.209	277084.624	327.379
	2	410765.177	277102.943	339.059
	3	410650.070	277151.269	351.524
	4	410683.345	277129.099	347.327
	5	410779.745	277154.072	332.751
	6	410658.498	277043.313	314.832
	7	410672.912	276975.610	316.354
	8	410862.798	276978.016	294.761
Check Point	1	410703.426	277084.505	333.128
	2	410731.376	277152.641	338.510
	3	410668.768	277146.251	353.476
	4	410692.606	277189.547	339.596
	5	410823.366	277171.922	327.335
	6	410755.854	276986.421	305.174
	7	410628.339	276952.454	322.871
	8	411078.356	277279.522	249.991

VRS 장비를 이용하여 현장측량을 수행하였다. Fig. 5는 지상기준점 및 검사점의 위치도를 나타낸 것이고, 지상기준점과 검사점의 좌표는 Table 1과 같다.

3.2.2 드론 데이터 취득

데이터 취득을 위한 드론 및 카메라는 Fig. 6과 같으며, 제원은 Table 2와 같다. 드론은 중국 DJI사의 Inspire1 V2 모델을 이용하였으며, 배터리를 포함한 무게는 약 3kg이고, 최대 22m/s의 속도로 약 18분 비행이 가능하다.

카메라는 드론에 짐벌과 함께 탑재하도록 생성된 중국 DJI사의 Zemuse X3 모델을 이용하였으며, 화각은 94°이고, 4K의 영상 촬영이 가능하다.

이와 같은 드론과 카메라를 이용하여 Fig. 7과 같이 교차촬영을 수행하였으며, Fig. 8과 같은 항공사진을 약 80%의 중복도로 총 410매 촬영하였다.



Figure 6. Drone and camera

Table 2. Specification of drone and camera

Classification		Contents
Drone	Maker/Name	DJI(China) / Inspire1 V2
	Wing size	34cm
	Weight	2935g(inclusion battery)
	Battery	22.2 V, 4500mAh
	Flight time	Approximately 18 minute
	Flying speed	22m/s
	Radius of landing	Approximately 1m
Camera	Maker/Name	DJI (China) / ZEMUSE X3
	Focal length	3.6mm
	Sensor	Sony EXMOR (1/2.3" type)
	Data format	Image: JPEG, DNG Video: MP4,MOV
	Image size	4000 x 3000
	Angle of view	94°

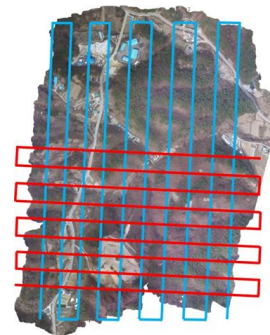


Figure 7. Flight course



Figure 8. Drone aerial photograph

3.2.3 드론 데이터 처리 및 지형공간정보 생성

드론으로 촬영된 사진과 지상기준점을 이용하여 지형공간정보를 생성하였으며, 드론 데이터의 처리는 Agisoft 사의 photscan standard edition 버전을 이용하였다. 드론 데이터의 처리 과정은 Fig. 9와 같이 작업 계획을 수립하고, 지상기준점 측량 후 항공사진을 종방향 및 횡방향으로 교차 촬영하였으며 데이터 처리를 위한 소프트웨어를 이용하여 영상입력, 지상기준점입력, 영상 매칭 순으로 진행 후 point cloud를 추출하고 정사영상을 생성하였다.

본 연구에서 사용한 데이터 처리 소프트웨어인 Photoscan은 촬영된 중복 사진을 이용하여 3차원 point cloud 데이터로 피사체를 재구성하는 기법인 SfM (structure from motion) 기법을 이용하여 사진에 저장된 태그로부터 초점거리, 카메라 종류, 영상크기 등의 정보를 취득해 초기 값으로 이용하며, 카메라의 위치와 자세를 추정하므로 표정요소를 입력하지 않아도 지형공간정보의 생성이 가능하다.

드론으로 촬영된 항공사진과 지상기준점을 이용하여 지형공간정보를 생성하기 위해 기하처리를 수행한 결과 Table 3과 같이 지상기준점 관측의 RMSE는 평면 위치오차가 ±0.034m, 표고오차가 ±0.017m로 항공사진측량작업규정에서 규정하고 있는 1:1,000 축척 수치지도 생성을 위한 항공삼각측량의 평면위치 및 표고오차의 허용오차인 ±0.20m에 비해 정확도가 높게 나타났다. Fig. 10은 드론 사진측량으로 생성된 수치표고모형을 나타낸 것이고, Fig. 11은 드론 사진측량으로 생성된 정사영상을 나타낸 것이다.

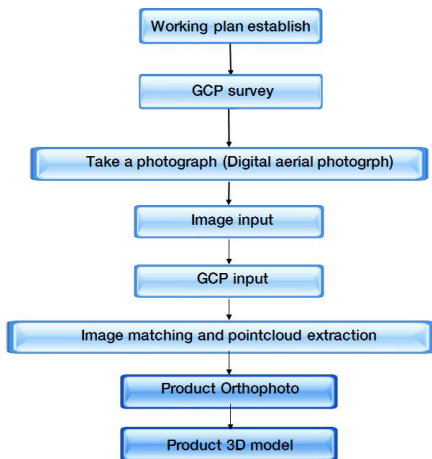


Figure 9. Drone photogrammetry work flow

Table 3. Result of geometrical treatment

Classification	Error(RMSE)			
	dX	dY	dZ	dI
Geometrical Treatment	±0.024m	±0.016m	±0.017m	±0.034m

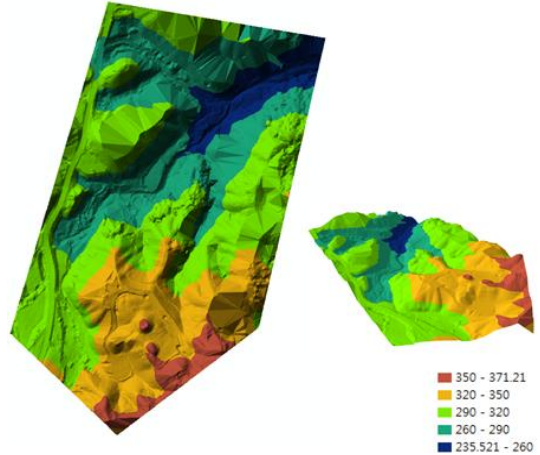


Figure 10. Drone digital elevation model



Figure 11. Drone orthophoto

3.2.4 드론 지형공간정보의 정확도 분석

드론 사진측량으로 생성된 지형공간정보인 수치표고 모델과 정사영상을 활용하여 산림훼손지역의 훼손 현황분석을 수행하기 위해 검사점을 이용하여 정사영상의 평면위치오차와 수치표고모델의 표고오차 분석을 수행하였다. 드론 지형공간정보의 정확도 분석 결과

Table 4. Result of accuracy analysis

Classification	dX	dY	dZ	dL
1	-0.067	0.007	0.078	0.068
2	-0.035	0.023	0.066	0.042
3	0.026	-0.039	-0.072	0.047
4	0.046	0.028	0.059	0.054
5	-0.068	0.029	0.046	0.074
6	-0.017	-0.051	0.094	0.054
7	-0.017	-0.067	-0.039	0.069
8	-0.018	-0.031	-0.010	0.036
RMSE	±0.068	±0.065	±0.085	±0.083

Table 4와 같이 평면위치오차의 RMSE는 ±0.083m로 나타났으며, 표고오차의 RMSE는 ±0.085m로 나타났다.

4. 산림훼손 현황 분석

산림훼손지역의 훼손 현황 분석은 산림훼손 전 데이터인 항공 레이저측량 성과와 산림훼손 후 데이터인 드론 사진측량성과 데이터인 정사영상을 이용하여 훼손 지역 경계 파일을 생성하고, 경계파일 내부의 수치표고 모델을 이용하여 두 개의 수치표고모델을 차분하는 잔차 수치표고모델 생성, 성/절토량 분석, 경사 기울기 분석을 수행하였다.

본 연구에서 사용된 산림 훼손 전 데이터인 항공 레이저측량 성과는 2007년 7월에 취득된 데이터를 이용하였으며, 산림 훼손 후 데이터인 드론 사진측량성과는 2016년 3월에 취득된 데이터를 이용하였다.

4.1 표고분포 분석

표고분포 분석은 훼손지역 경계 파일과 산림훼손 전 데이터인 항공 레이저측량 성과 및 산림훼손 후 데이터인 드론 사진측량성과를 이용하여 훼손지역 경계 파일 내부의 수치표고모델을 생성하여 표고분포를 분석하였다.

산림훼손 전의 표고분포 분석을 수행한 결과 Fig. 12와 같이 최소 표고는 301.005m, 최대 표고는 363.864m, 평균 표고는 335.033m로 나타났으며, 산림훼손 후의 표고분포 분석을 수행한 결과 Fig. 13과 같이 최소 표고는 303.430m, 최대 표고는 363.410m, 평균 표고는 334.711m로 나타났다.

4.2 잔차 수치표고모델 생성 및 성/절토량 분석

산림훼손지역의 성/절토량 분석을 수행하기 위하여 훼손지역 경계 파일 내부의 LiDAR 수치표고모델과 드론 수치표고모델을 차분하는 잔차 수치표고모델을 생성하고, 변화가 없는 지역의 범위를 설정하였다. 변화

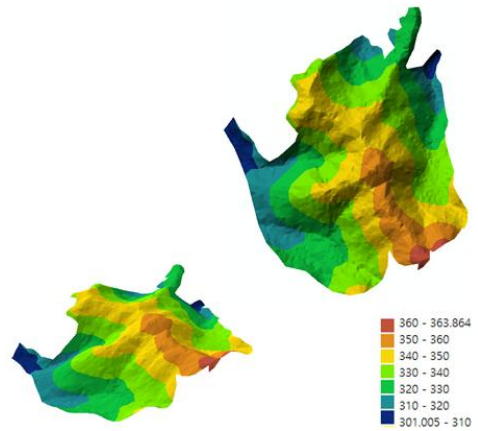


Figure 12. Forest damage area elevation analysis (before)

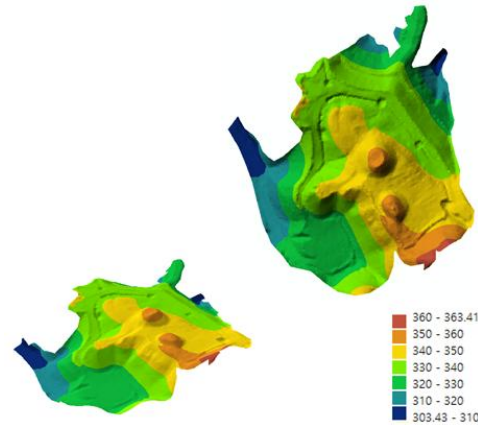


Figure 13. Forest damage area elevation analysis (after)

가 발생하지 않은 지역의 범위는 1:1,000 및 1:5,000 축척 수치지도의 표고 허용오차인 주곡선 간격의 1/3을 각각 계산한 결과 1:1,000 축척 수치지도의 표고 허용오차는 0.333m, 1:5,000 축척 수치지도의 표고 허용오차는 1.667m이며, 그 평균값은 ±1m이므로 성/절토량 분석 시 변화가 발생하지 않는 지역의 범위는 ±1m로 설정하였다.

잔차 수치표고모델 생성 결과는 Fig. 14와 같이 나타났으며, 잔차 수치표고모델 생성 결과를 이용하여 성/절토량 분석 결과 Table 5와 같이 성토지역의 면적은 15,830m², 절토지역의 면적은 12,882m²으로 나타났고, 성토량은 41,038.960m³, 절토량은 31413.700m³로 나타났다. Fig. 15는 성/절토 지역 분석 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

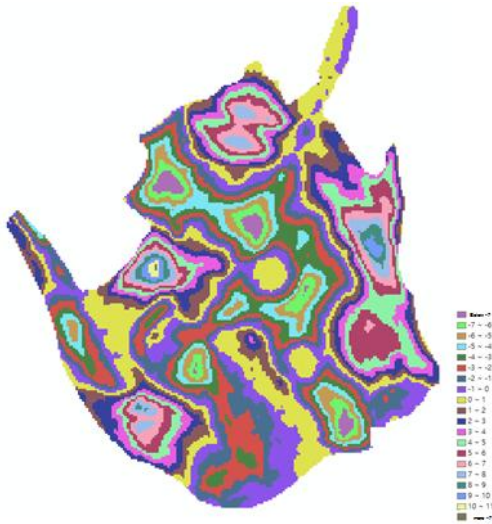


Figure 14. Result of residual digital elevation model

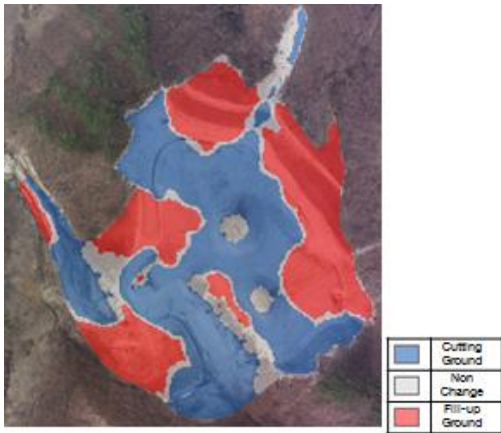


Figure 15. Result of fill-up and cutting ground analysis

Table 5. Result of fill-up/cut analysis

Classification	Area(m ²)	Volume(m ³)
Fill-up	15,830	41,038.960
Cut	12,882	31413.700

4.3 단면도 생성을 통한 산림훼손지역 단면 분석
 산림훼손으로 절토된 흙을 성토한 계곡 지역에 대하여 단면도를 생성하고, 경사 기울기 변화 분석을 수행하였다. 경사 기울기 분석을 수행하기 위한 단면의 위치도는 Fig. 16과 같다.

경사 기울기 변화 분석 결과 1~1' 단면은 Fig. 17과 같이 산림훼손 전의 경사 기울기가 1:3.62로 나타났으나, 산림훼손으로 인하여 경사 기울기가 1:1.96으로 급

경사로 변화한 것으로 나타났다. 2~2' 단면은 Fig. 18과 같이 산림훼손 전의 경사 기울기가 1:1.88로 나타났으나, 산림훼손으로 인하여 1:1.58, 1:1.44로 산림훼손 전보다 급경사로 변화한 것으로 나타났다. 3~3' 단면은 Fig. 19와 같이 산림훼손 전의 경사 기울기가 1:2.30으로 나타났으나, 산림훼손으로 인하여 1:1.47, 1:1.59로 산림훼손 전보다 급경사로 변화한 것으로 나타났다. 4~4' 단면은 Fig. 20과 같이 산림훼손 전의 경사 기울기가 1:1.96으로 나타났으나, 산림훼손으로 인하여 1:1.50, 1:1.66으로 산림훼손 전보다 급경사로 변화한 것으로 나타났다.



Figure 16. Position map of cross-sectional diagram

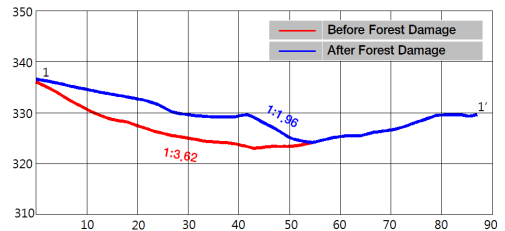


Figure 17. Cross-sectional diagram(1~1')

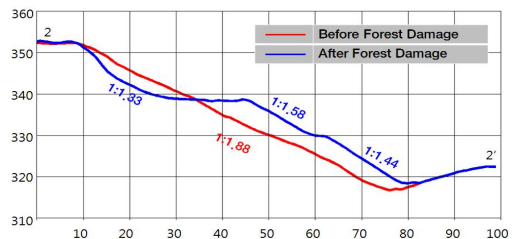


Figure 18. Cross-sectional diagram(2~2')

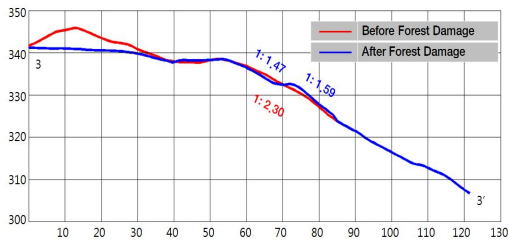


Figure 19. Cross-sectional diagram(3~3')

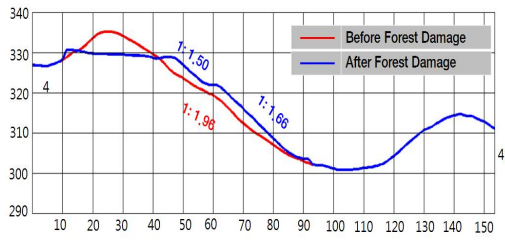


Figure 20. Cross-sectional diagram(4~4')

4.4 재해 위험지역 분석

산림훼손으로 인한 사면 슬라이딩이나 사면 붕괴 등의 재해가 발생할 가능성이 있는 위험지역을 Fig. 21과 같이 분류 하였으며, a 및 b 지역은 자연 사면에 흙을 성토한 지역으로 사면 슬라이딩이나 사면 붕괴 등의 위험도가 높을 것으로 예상되며, a 및 b 지역의 토량을 분석한 결과 a 지역은 기존 자연사면에 16414.76m³의 토량을 성토한 것으로 나타났고, b 지역은 7162.96m³의 토량을 성토한 것으로 나타났다.

사면 슬라이딩이나 사면 붕괴 등의 재해가 발생할 경우 피해가 발생하는 지역을 분석하기 위하여 산림훼손



Figure 21. Classification of danger area

전과 산림훼손 후 데이터를 이용하여 배수라인을 추출 하였다.

산림훼손 전 데이터를 이용한 배수라인 추출 결과는 Fig. 22와 같으며, 산림훼손 후 데이터를 이용한 배수라인 추출 결과는 Fig. 23과 같고, 사면 슬라이딩이나 사면 붕괴, 산사태 등의 재해가 발생할 경우 Fig. 24와 같이 A 및 B 방향으로 사면 슬라이딩이나 사면 붕괴, 산사태 등의 재해가 발생할 것으로 예상된다. 또한, C 지역의 민가에 피해가 발생할 것으로 예상된다.

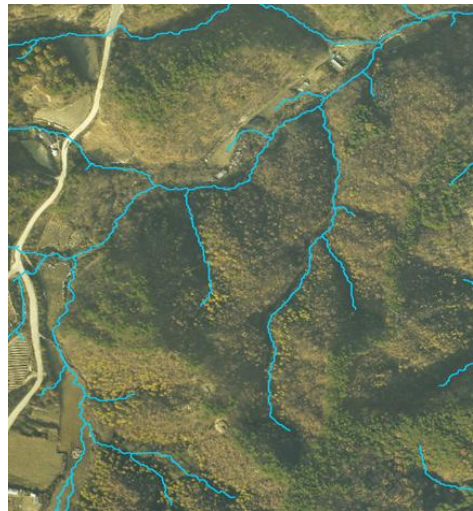


Figure 22. Result of drainage line extraction (before)



Figure 23. Result of drainage line extraction (after)

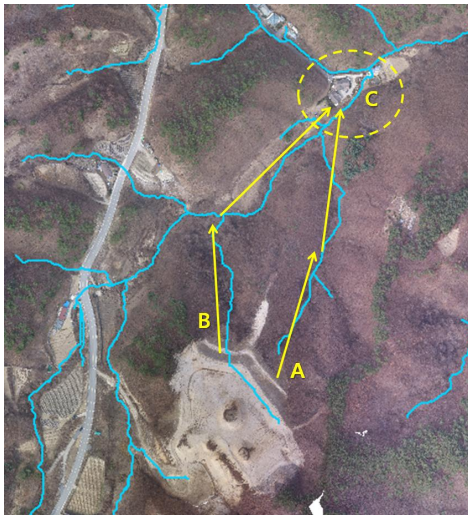


Figure 24. Result of risk area analysis

5. 결론

본 연구는 드론 사진측량을 이용하여 산림훼손지역에 대한 수치적 훼손 현황 분석을 수행하고, 훼손지역 복원 계획 및 설계에 활용 가능한 기초자료 생성 방안을 제시하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 드론 사진측량을 이용하여 산림 훼손지역에 대한 지형공간정보를 생성하고 정확도 분석을 수행한 결과 평면위치오차의 RMSE는 $\pm 0.083\text{m}$ 로 나타났으며, 표고오차의 RMSE는 $\pm 0.085\text{m}$ 로 나타났다.

둘째, 산림훼손지역의 성/절토량 분석을 수행하여 성토량은 $41,038.960\text{m}^3$ 로 나타났고, 절토량은 $31,413.700\text{m}^3$ 로 나타났으며, 성토지역과 절토지역을 분류할 수 있었다.

셋째, 산림훼손으로 절토된 흙을 성토한 계곡 지역에 대하여 단면도를 생성하고, 경사 기울기 변화 분석을 수행한 결과 산림훼손 전에는 완만한 경사였으나, 산림훼손으로 인하여 산림훼손 전에 비해 경사가 급하게 변화한 것으로 나타났다.

넷째, 산림훼손 후 데이터를 이용하여 배수라인 추출을 통한 재해위험 지역 분석 결과 사면 슬라이딩이나 사면 붕괴, 산사태 등의 재해가 발생할 경우 산림훼손에 따른 피해예상지역을 예측할 수 있었다.

다섯째, 드론 사진측량을 이용할 경우 유인 항공측량 시스템보다 단시간, 저비용으로 산림훼손지역의 복원 계획 및 설계에 활용 가능한 기초자료의 생성이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2013R1A2A2A01068391).

References

1. Kim, E. Y., Wie, G. J., Cho, H. M. and Yang, I. T., 2010, A study for forest research using airborne laser scanning, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 3, pp. 299–304.
2. Lee, D. G., Lee, H. J., You, J. H., Kim, S. Y. and Lim, J. S., 2015, Availability analysis of UAV for the monitoring of open-pit mines, *Proc. of 2015 Conference on Geo-Spatial Information*, Korean Society for GeoSpatial Information System, pp. 194–196.
3. Lee, H. J., Eom, J. S., Yu, Y. G. and Park, E. G., 2013, Application of smart geospatial information for modeling and analysis of city river, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21, No. 4, pp. 135–142.
4. Lee, S. J. and Choi, Y. S., 2015, Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned areal vehicle(drone), *Journal of Tunnel & Underground Space*, Vol. 25, No. 5, pp. 462–469.
5. Lee, S. J. and Choi, Y. S., 2016, Comparison of topographic surveying results using a fixed-wing and a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (drone), *Journal of Tunnel & Underground Space*, Vol. 26, No. 1, pp. 24–31.
6. Lee, Y. S., 2016, The application of drone photogrammetry for restoration planning and design if forest damage areas, Master's degree, Sangji University.
7. Lian, P. K., and Serge, A., 2012, Dawn of drone ecology : low-cost autonomous aerial vehicles for conservation, *Mongabay.com Open Access Journal, Tropical Conservation Science*, Vol. 5, No. 2, pp. 121–132.
8. Noah, S., Steven. M. S. and Richard S., 2008, Modeling the world from internet photo collections, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 80, Issue 2, pp. 189–210.

9. Park, E. G., You, J. H. and Lee, H. J., 2015, The planning and design of urban streams based on 3D terrain modeling, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 23, No. 2, pp. 59–67.
10. Park, J. W. and Lee, J. S., 2013, Analysis on the spatial characteristics of degraded forest area using high resolution remotely-sensed data - A case study of DMZ region in goseong-gun, *Proc. of 2013 Conference on Forest Recreation Welfare*, The Korea Institute of Forest Recreation Welfare, pp. 923–924.
11. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. and Sarazzi, D., 2011, UAV Photogrammetry for mapping and 3D modeling - current status and future perspectives, *Proc. of International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, ISPRS, Zurich, Switzerland*, pp. 25–31.
12. Song, C. C., Lee, W. K., Kwak, D. A. and Kwak, H. B., 2008, A simulation model development to analyze effects on LiDAR acquisition parameters in forest inventory, *Proc. of 2008 Conference on Geo-Spatial Information*, Korean Society for GeoSpatial Information System, pp. 310–317.