

드론사진측량을 이용한 노천광산 생태복원지역의 변화 모니터링 Change Monitoring in Ecological Restoration Area of Open-Pit Mine Using Drone Photogrammetry

이동국* · 유영걸** · 유지호*** · 이현직****

Lee, Dong Gook · Yu, Young Geol · Ru, Ji Ho · Lee, Hyun Jik

要 旨

본 연구에서는 강원도에 존재하는 노천 채굴 방식의 석회석 광산 내부에 존재하는 생태복원지역에 대한 변화 분석 및 모니터링을 수행하고자 고해상도의 다시기 정사영상을 이용하여 식생 분포 지역의 식생 분포 변화 분석을 수행하고자 하였으며, DEM을 이용한 지형의 변화 분석을 수행하였고, 드론 사진측량의 활용성을 검토하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 2014년 항공레이저측량 및 2015년 고정익 드론사진측량으로 제작된 정사영상과 포인트 클라우드를 수집하였다. 또한 2016년 회전익 드론사진측량을 이용하여 정사영상 및 포인트 클라우드를 제작하고, 이를 이용하여 생태복원지역의 변화 분석을 수행하였다. 그 결과 유인 항공측량시스템보다 단시간, 저비용으로 지형 공간정보를 생성하고 이를 이용하여 노천광산 생태복원지역의 변화 모니터링 수행이 가능하였다. RGB 정사영상을 활용하여 식생 분포 지역을 추출하는 nEGI 및 VARI를 통해 식생 분포 지역을 추출한 결과 식생 분포 지역이 대상지역의 면적 대비 약 10~30%가 증가하여 생태복원이 원활하게 진행되고 있는 것으로 나타났다. DEM을 이용해 제작된 단면과 복원 계획선을 비교 분석한 결과 드론의 활용으로 제작된 단면과 복원 계획선이 $\pm 10\text{cm}$ 의 오차로 유사한 형태를 나타냈으며, 토공량 분석이 가능하였다.

핵심용어 : 드론, 사진측량, 생태복원지역, 변화, 모니터링

Abstract

In this study, analyze and monitor the change of the ecological restoration area inside the open-pit mine in Gangwon-do. and to analyze and monitor the change of ecological restoration area. analyzed the distribution of vegetation using high-resolution orthophoto of various periods and analyzed terrain change using DSM/DEM in study area. Therefore, orthophoto and 포인트 클라우드 were collected from 2014 aerial laser surveying and 2015 fixed-wing drone photogrammetry. In addition, orthophoto and 포인트 클라우드 were produced by using rotary-wing drone photogrammetry in 2016, and change of ecological restoration area was analyzed using this. As a result, it's possible to perform change monitoring of the open-pit mine ecological restoration area. using nEGI and VARI, about 10-30% of the area ratio of the result of extracting vegetation distribution area is distributed, and the comparison DSM and DEM cross section and restoration plan line, the cross section made by using the drone were similar, and the earth-volume analysis was possible.

Keywords : Drone, Photogrammetry, Ecological Restoration Area, Change, Monitoring

1. 서 론

회전익 드론은 조종성이 좋으며, 다양한 각도로 사진 촬영이 가능하고, 수직촬영의 경우 중복도 및 촬영고도

의 설정을 통한 자동비행이 가능하다.

Remondino et al.(2001)은 매핑 및 3D 모델링 분야에서 무인항공기플랫폼은 가장 가치 있는 분야라고 하였으며 단거리 및 근거리 영역에서 무인항공기시스템

Received: 2016.12.02, revised: 2016.12.07, accepted: 2016.12.12

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

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

*** 정희원 · 중앙항공(Member, Manager, Chung-Ang Aerosurvey, sjce96@hanmail.net)

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

은 유인항공사진측량에 대한 저가의 대안이며 자동으로 등고선 데이터, 벡터 데이터, DSM(digital surface model) 및 DTM(digital terrain model)을 추출할 수 있다고 하였다.

Snavely et al.(2008)은 인터넷 상에 크고 다양한 수십억장의 여러 가지 사진들을 이용하여 시각적인 관점에서 3D 모델을 생성하는 연구를 수행하였다.

Lee and Choi(2015)은 5개의 지상기준점에 대해서 고정밀 위성측정시스템을 이용하여 측정한 위치 좌표와 회전익 드론 사진측량시스템을 이용하여 추출한 데이터의 위치 좌표를 비교한 결과 RMSE(root mean square error)가 X, Y, Z 세 방향 모두 10cm 내외로 나타난 것을 확인하였다.

Lee and Choi(2016)는 고정익 드론인 eBee와 보급형 회전익 드론인 Phantom2 Vision+를 이용하여 지형 측량을 수행하고 그 결과를 비교하였으며 eBee와 Phantom2 Vision+에서 촬영된 항공사진을 각각 처리한 결과 약 4cm/pixel 공간해상도의 정사영상과 수치표고모델을 생성하였다.

또한 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.(2015)은 노천광산의 모니터링을 위해 고정익 드론을 활용하고자 하였고, 기하처리 결과 RMSE가 X, Y, Z 모두 $\pm 0.05m$ 이내로 나타났고, 정사영상과 수치표고모델을 생성하였다. 항공 LiDAR 수치표고모델과 UAV(unmanned aerial vehicle) 수치표고모델을 차분하는 잔차 수치표고모델을 생성하여 노천광산의 변화를 분석하였으며, 광산 내부의 변화 모니터링에 드론의 활용성이 충분하다고 하였다.

Gitelson et al.(2002)은 가시광 및 근적외선(NIR) 범위의 0% ~ 100%의 초목 구획(VF)을 갖는 밀 캐노피의 스펙트럼 특성을 연구하여 VF의 원격 평가 기술을 고안하였으며, VARI를 이용할 경우 광범위한 대기의 광학적 두께에서 VF의 높은 값에서 중도 값까지의 민감도가 NDVI 보다 높고, VF 예측 오차에서 10% 미만으로 VF를 평가 할 수 있다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 회전익 드론을 활용하여 노천광산의 생태복원지역에 대한 항공사진을 촬영하고, 촬영된 항공사진을 이용해 포인트 클라우드, DSM, 정사영상을 생성하고 다시기 정사영상 및 DEM(digital elevation model)과 비교 분석을 통하여 변화를 모니터링 하고자 하였다.

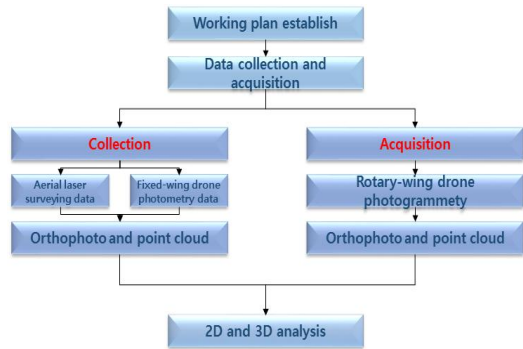


Figure 1. Study flow

따라서 대상지역인 노천광산의 생태복원지역에 대하여 드론을 이용한 데이터 취득 및 처리를 통해 정사영상 및 DEM을 생성하고, DEM을 이용해 단면도 제작을 통해 지형의 복원 계획에 따른 지형 변화를 분석과 정사영상을 이용해 식생의 분포 변화 분석을 수행하였다. Fig. 1은 연구 흐름도를 나타낸 것이다.

2. 대상지역 선정 및 기초자료 수집

2.1 대상지역 선정

대상지역은 강원도에 존재하는 노천 채굴 방식의 석

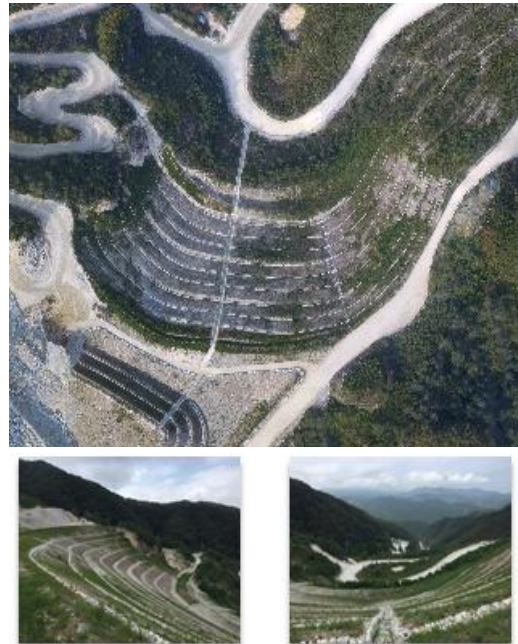


Figure 2. Ecological restoration area

회석 광산이며, 현재 운영 중인 노천 광산으로 채굴과 복원이 동시에 이루어지고 있다. 본 연구에서는 대상지역 내부의 생태복원이 진행되고 있는 지역에 대하여 모니터링을 수행하고자 하였다.

모니터링 대상지역은 2014년 당시 폐석적치 및 개발이 진행되던 지역으로 복원 계획에 따라 2015년에 지형의 복원이 완료 되었으며, 2016년에는 식재로 생태복원이 진행되고 있는 지역이다. Fig. 2는 본 연구의 대상지역을 나타낸 것이다.

2.2 데이터 수집

데이터 수집은 정사영상 및 포인트 클라우드로 2014년 당시의 데이터는 항공레이저측량을 통해 제작된 데이터로 정사영상과 항공 LiDAR 포인트 클라우드이다. 2015년 데이터는 고정익 드론 사진측량을 통해 제작된 데이터로 정사영상과 영상 매칭을 통해 추출된 포인트 클라우드이다.

2014에 제작된 LiDAR 포인트 클라우드 및 2015년에 제작된 포인트 클라우드는 포인트 분류 기법을 이용해 지표면에 해당하는 포인트만을 추출하여 DEM을 제작하였다. Fig. 3은 2014년 당시 항공레이저측량을 통해 제작된 정사영상이고, Fig. 4는 2015년 당시 고정익 드론을 이용한 드론사진측량을 통해 제작된 정사영상이다. Fig. 5는 2014년 LiDAR 포인트 클라우드로 제작된 DEM이며, Fig. 6은 2015년 포인트 클라우드로 제작된 DEM을 나타낸 것이다.



Figure 3. Airborne laser surveying orthophoto(2014)



Figure 4. Fixed-wing drone orthophoto(2015)

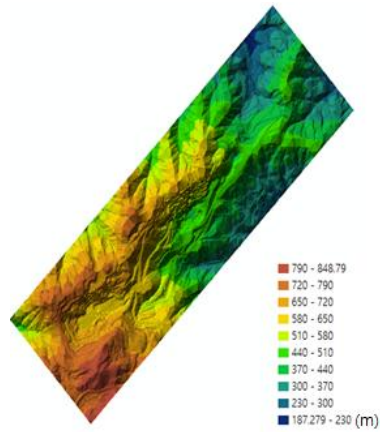


Figure 5. Airborne laser surveying DEM(2014)

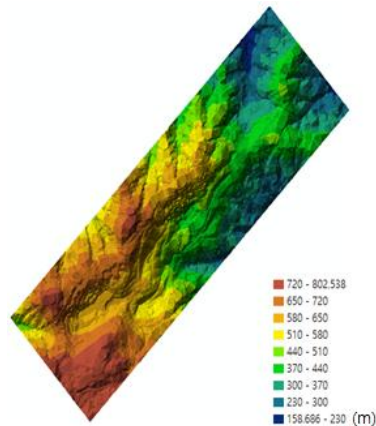


Figure 6. Fixed-wing drone DEM(2015)

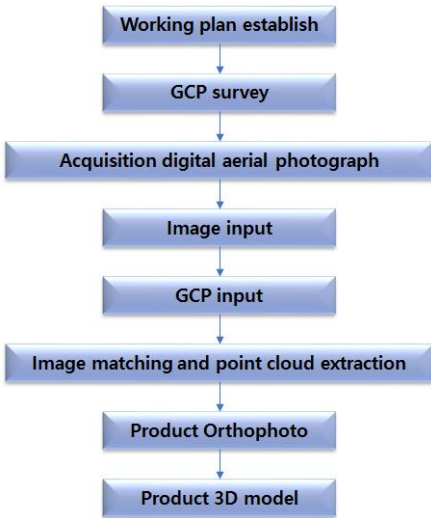


Figure 7. Drone photogrammetry work flow

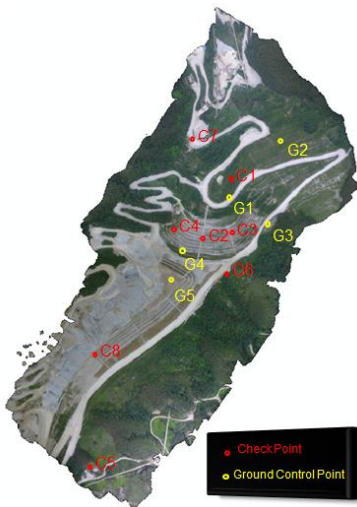


Figure 8. GCP and checkpoint position map

2.3 회전익 드론 사진측량

회전익 드론 데이터 취득은 노천광산의 생태복원지역에 대해서만 취득하였다.

회전익 드론 사진측량은 Fig. 7과 같이 촬영계획 수립, 지상기준점 측량, 드론 사진 촬영 순으로 데이터를 취득하고, 촬영된 영상입력, 지상기준점 입력, 영상 매칭을 통한 포인트 클라우드 추출, 정사영상 생성, 3D 모델 생성 순으로 진행된다.

2.3.1 지상기준점 및 검사점 측량

노천광산은 드론을 활용하여 촬영된 사진에서 도로

의 선과 같은 변곡점의 확인이 불가능 하여 대공표지를 설치하고, Network-RTK 방식의 VRS 장비를 이용하여 5개의 지상기준점(GCP, ground control point)을 측량 하였으며, 8개의 검사점을 측량하였다. Fig. 8은 지상기준점 및 검사점의 위치를 나타낸 것이다.

2.3.2 회전익 드론 데이터 취득

데이터 취득을 위한 회전익 드론 및 카메라는 Fig. 9과 같으며, 제원은 Table 1과 같다. 드론은 중국 DJI사의 Inspire1 V2 및 Phantom 3 모델을 이용하였으며, Inspire1 V2는 배터리를 포함한 무게가 약 3kg이고, 최대 22m/s의 속도로 약 18분 동안 비행이 가능하다. Phantom 3는 배터리를 포함한 무게가 약 1.3kg이고, 최대 16m/s의 속도로 약 23분 동안 비행이 가능하다.

카메라는 드론에 짐벌과 함께 탑재하도록 제작된 카메라로 화각은 94°이고, 초점거리가 20mm로 4K 해상도를 지원하는 카메라를 이용하였다.

이와 같은 드론과 카메라를 이용하여 Fig. 10와 같이 교차촬영을 수행하였으며, Fig. 11과 같은 항공사진을 약 80%의 중복도로 총 410매 촬영하였다.



(a) Phantom 3



(b) Inspire1 V2

Figure 9. Rotary-wing drone

Table 1. Specification of rone and amera sensor

Classification	Contents	
Maker/Name	DJI Inspire1 V2	DJI Phantom 3
Wing size	58cm	35cm
Weight	2935g (inclusion battery)	1280g (inclusion battery)
Battery	22.2 V, 4500mAh	22.2 V, 4500mAh
Flight time	Approximately 18 minute	Approximately 23 minute
Flying speed	22m/s	16m/s
Radius of landing	Approximately 1m	Approximately 1m
Focal length/angle of view	20mm / 94°	20mm / 94°
sensor	Sony EXMOR (1/2.3" type)	Sony EXMOR (1/2.3" type)



Figure 10. Flight course



Figure 11. Drone aerial photograph

2.3.3 드론 데이터 처리 및 지형공간정보 생성

회전익 드론을 이용하여 촬영된 사진과 GPS/INS 데이터 및 지상기준점 측량 성과를 이용하여 데이터 처리를 수행하였다. 그 결과 Fig. 12과 같이 정사영상이 생성되었으며, Fig. 13와 같이 DEM을 생성하였다.

생성된 정사영상과 DEM의 정확도 분석을 수행하기 위해 검사점의 좌표를 이용하여 정량적 정확도 분석을 수행하였다. 평면위치오차 RMSE와 표고오차 RMSE를 계산한 결과는 Table 2와 같이 평면위치 오차 RMSE가 ±0.140m, 표고오차 RMSE가 ±0.328m로 나타났다.



Figure 12. Rotary-wing drone orthophoto(2016)

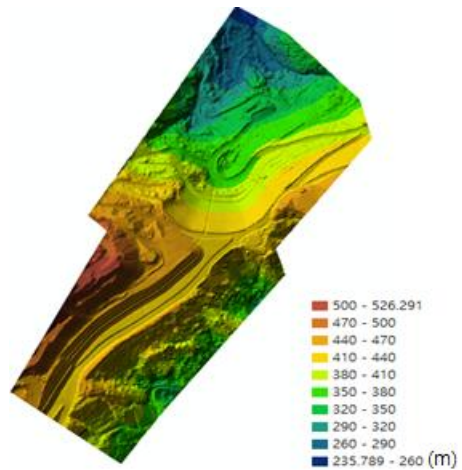


Figure 13. Rotary-wing drone DEM(2016)

Table 2. Result of accuracy analysis

No	dX(m)	dY(m)	dL(m)	dZ(m)
1	-0.030	0.053	0.061	0.216
2	0.048	0.077	0.091	0.051
3	0.155	-0.029	0.158	-0.166
4	-0.003	-0.015	0.015	0.022
5	0.190	-0.019	0.191	0.292
6	0.097	-0.109	0.146	-0.406
7	0.036	-0.051	0.062	-0.042
8	0.241	0.015	0.241	0.332
Average	0.100	0.046	0.121	0.290
RMSE	±0.129	±0.056	±0.140	±0.328

3. 변화 모니터링

생태복원지역의 변화 모니터링은 2차원 분석 및 3차원 분석을 통하여 수행하였다. 2차원 분석은 정사영상을 이용한 변화 분석으로 식생이 분포하고 있는 지역의 변화를 분석하였다. 3차원 분석은 DEM을 이용한 변화 분석으로 단면 및 토공량 분석을 수행하였다. 변화 모니터링을 위한 분석 과정은 Fig. 14과 같다.

3.1 식생 분포 분석

일반적으로 식생 분포 지역의 추출은 NDVI를 이용하여 분석을 수행하지만 NDVI는 Nir 밴드의 사용이 필수적이다. 그러나 회전익 드론을 이용하여 제작된 정사영상에는 R, G, B 밴드만으로 구성되어 있어 Nir 밴드를 이용하는 NDVI 산정이 불가능하다. 그러므로 RGB 정사영상을 이용하여 식생 분포 지역의 추출이 가능한 Eq. (1)과 같은 nEGI(excessive green index) 및 Eq. (2)와 같은 VARI(visible atmospherically resistant index)를 이용하여 식생 분포 지역을 추출하였다.

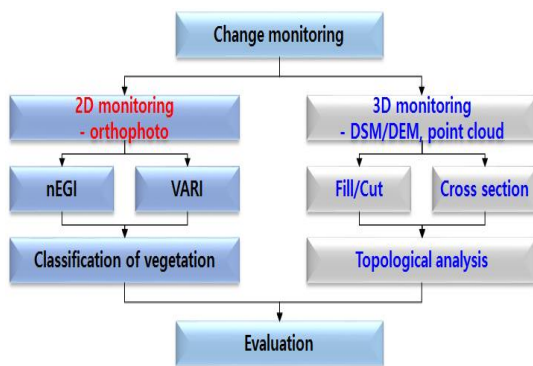


Figure 14. Change monitoring flow

$$nEGI = \frac{2Green - Red - Blue}{2Green + Red + Blue} \quad (1)$$

where, Green denotes green band, Red denotes red band, Blue denotes blue band

$$VARI = \frac{Green - Red}{Green + Red - Blue} \quad (2)$$

where, Green denotes green band, Red denotes red band, Blue denotes blue band

식생 분포 분석은 잔차 DEM을 제작하여 추출된 생태복원완료 지역의 경계 내부의 정사영상을 이용하여 분석을 수행하였다. 그 결과 Fig. 15와 같이 나타났다.

연구 대상지역의 면적 대비 식생 분포 지역의 면적을 분석한 결과 Fig. 16 및 Table 3과 같이 2015년에는 nEGI를 이용한 경우 식생 분포 면적이 195.438m²로 대상지역의 면적 대비 약 0.7%가 식생이 분포하고 있는 것으로 나타났고, VARI를 이용한 경우 식생 분포 면적이 227.500m²로 대상지역 면적대비 약 0.7%가 식생이 분포하고 있는 것으로 나타나 2015년에는 식생이 존재 하지 않고 있는 것으로 판단하였다. 2016년에는 nEGI를 이용한 경우 식생 분포 면적이 9,202.750m²로 대상지역 면적대비 약 29%가 식생이 분포하고 있는 것

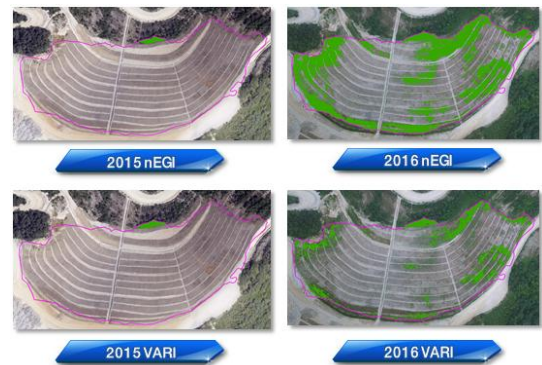


Figure 15. Classification of vegetation distribution

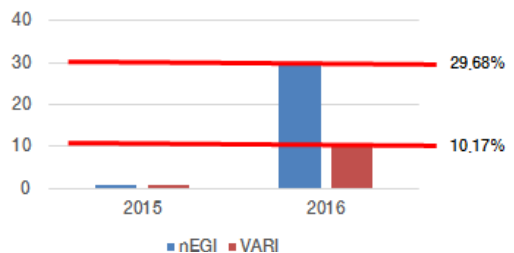


Figure 16. Vegetation distribution graph

Table 3. Result of vegetation distribution area

Classification	2015	2016
nEGI (m ²)	195.438	9,202.750
VARI (m ²)	227.500	3,154.625
Study area (m ²)	31,006.563	
nEGI vegetation distribution chart (%)	0.63	29.68
VARI vegetation distribution chart (%)	0.73	10.17

으로 나타났고, VARI를 이용한 경우 식생 분포 면적이 3,154.625m²로 대상지역 면적대비 약 10% 가 식생이 분포하고 있는 것으로 나타났다.

2015년 대비 2016년에 식생 분포 지역의 약 10 ~ 30% 증가한 것으로 보아 생태복원이 원활하게 진행되고 있는 것으로 나타났다.

3.2 단면 및 토공량 분석

2014~2016년 DEM을 이용하여 토공량 분석을 수행하고 동일한 위치에서의 단면도 제작을 통하여 복원 계획에 따라 준공 되었는지에 대한 분석을 수행하였다.

3.2.1 단면도 제작을 통한 복원 분석

단면도 제작을 통한 복원 분석은 2014~2016년 DEM을 이용해 Fig. 17과 같이 동일한 위치에 해당하는 단면도를 제작하고 제작된 단면도와 복원 계획선의 비교를 통하여 준공 측량에 회전익 드론 사진측량의 활용 가능성을 검토하였다.

그 결과 2014년에는 복원 계획고보다 표고가 낮았던 것으로 나타났고, 2015년에는 복원계획에 따라 복원 완료된 것으로 나타났으며, 일부 구간에 대해서는 복원이 진행 중인 지역이 있었던 것으로 나타났다. 2016년에는 복원이 지형 복원이 완료되어 복원 계획선과 매우 유사한 형태의 단면도가 제작된 것을 알 수 있었다. 또한 2015년 및 2016년 단면도와 복원 계획고가 약 ±10cm 이내의 차이를 나타내는 것으로 나타났다. Figs.



Figure 17. Sectional diagram position

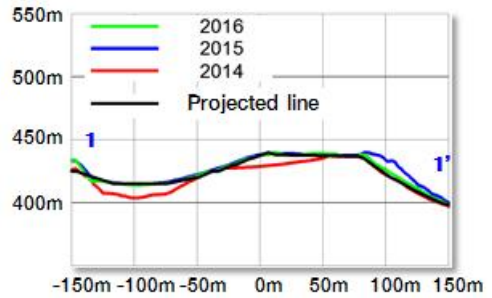


Figure 18. Sectional diagram(1~1')

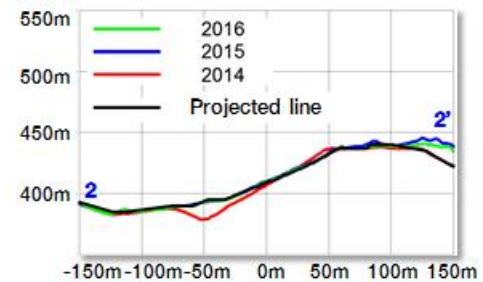


Figure 19. Sectional diagram(2~2')

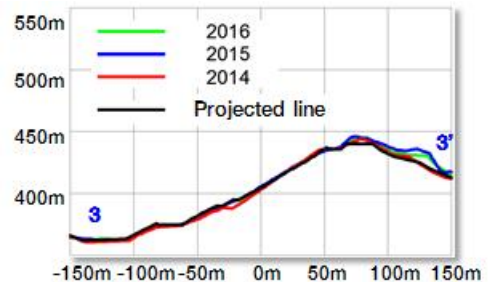


Figure 20. Sectional diagram(3~3')

18, 19 and 20는 각각의 단면 별로 DEM을 이용하여 제작된 단면도와 복원 계획선을 나타낸 것이다.

3.2.2 토공량 분석

토공량 분석은 DEM을 차분하는 잔차 DEM의 제작을 통해 수행하였으며, 2014년과 2015년의 잔차 DEM, 2015년과 2016년의 잔차 DEM 그리고 2014년과 2016년의 잔차 DEM을 제작하고, 토공량을 분석 하였다. 이때, 1:1,000 수치지도의 수직위치 허용오인 0.333m와 1:5,000 수치지도의 수직위치 허용오차인 1.667m의 평균인 ±1m에 해당하는 지역은 변화가 없는 것으로 설정 하였다.

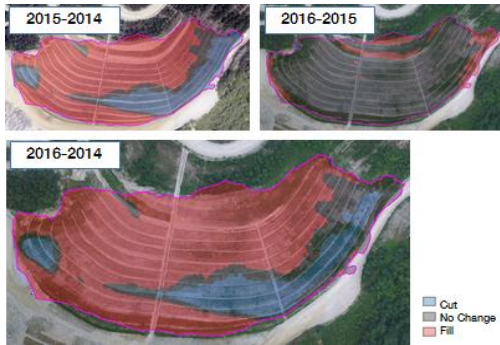


Figure 21. Analysis of earth-volume in period

Table 4. Result of earth-volume analysis

Classification		Fill(m ³)	Cut(m ³)
Earth-volume	2015-2014	111,995.130	16,216.580
	2016-2015	13,834.940	976.480
	2016-2014	121,055.000	12,326.290

그 결과 Fig. 21 및 Table 4와 같이 2014년에서 2015년 사이의 토공량은 성토량이 111,995.130m³, 절토량이 16,216.580m³로 나타났으며, 2015년에서 2016년 사이의 토공량은 성토량이 13,834.940m³, 절토량이 976.480m³로 나타났다. 2014년에서 2016년 사이의 총 토공량은 성토량이 121,055.000m³, 절토량이 12,326.290m³로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 드론 사진측량을 이용해 생성된 지형공간 정보인 정사영상과 포인트 클라우드를 이용하여 노천광산의 생태복원지역에 대한 변화를 모니터링 하고자 하였으며, 준공측량에 회전익 드론을 이용한 드론 사진측량의 활용성을 검토하고자 하였다.

첫째, RGB 정사영상을 활용하여 식생 분포 지역을 추출하는 nEGI 및 VARI를 이용해 식생 분포 지역을 추출한 결과 면적대비 약 10~30%가 식생이 증가한 것으로 나타났다.

둘째, 드론 사진측량을 활용하여 생성된 DEM을 이용하여 제작된 단면과 복원 계획선을 비교 분석한 결과 ±10cm의 오차로 드론의 활용으로 제작된 단면과 복원 계획선이 유사한 형태를 나타내는 것으로 나타났다. 따라서 복원 공정이 100% 완료된 것으로 조사되었다.

따라서 드론 사진측량을 이용할 경우 유인 항공측량 시스템보다 단시간, 저비용으로 지형공간정보의 생성이 가능하고, 노천광산의 변화 모니터링뿐만 아니라 복원계획 수립에 활용이 가능할 것으로 판단되며, 준공측

량 등 다양한 분야에서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

- Gitelson, A., Kaufman, A. J., Stark, Y. R. and Rundquist, D., 2002, Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 80, No. 1, pp. 76–87.
- 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, Seoul, Korea, pp. 194–196.
- Lee, S. J. and Choi, Y. S., 2015, Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle(drone), *Tunnel & Underground Space*, Vol. 25, No. 5, pp. 462–469.
- 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.
- Lim, S. B., Seo, C. W. and Yun, H. C., 2015, Earthwork management for dredged soil dumping area by using drone, *Proc. of KSCE 2015 Convention*, Korean Society of Civil Engineers, Gunsan, Korea, pp. 99–100.
- 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.
- Snavely, N., Seitz, S. and Szeliski, R., 2008, Modeling the world from internet photo collections, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 80, Issue 2, pp. 189–210.