

## 무인항공기를 이용한 노천광산 개발지 조사에 관한 연구

김성보<sup>1</sup>, 김두표<sup>2\*</sup>, 백기석<sup>3</sup>

<sup>1</sup>동아대학교 에너지·자원공학과 겸임교수, <sup>2</sup>동아대학교 토목공학과 박사과정,  
<sup>3</sup>울산과학기술대학교 건축디자인학부 겸임교수

## A Study on the Development Site of an Open-pit Mine Using Unmanned Aerial Vehicle

Sung-Bo Kim<sup>1</sup>, Doo-Pyo Kim<sup>2\*</sup>, Ki-Suk Back<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Adjunct Professor, Dept. of Energy and Mineral Resources Eng., Dong-A University

<sup>2</sup>Doctoral Student, Dept. of Civil Engineering, Dong-A University

<sup>3</sup>Adjunct Professor, School of Building & Environment Design, Ulsan College

**요약** 산림 개발은 대규모의 지형변화와 환경 훼손이 나타나기 때문에 이는 지속적인 관리가 필요하다. 또한 토공량 산출 과정에서 사람이 직접 현황측량을 수행하게 되면 사고 발생의 위험이 있다. 이에 본 연구에서는 사람이 직접 접근하지 않아도 공간정보를 취득할 수 있는 드론 사진측량을 산림개발지역에 적용하여 정확도 및 토공량, 산지복구 계획 여부를 분석하여 적용 가능성을 판단하고자 하였다. 드론 사진측량으로 정사영상 및 DSM(Digital Surface Model)을 제작하여 검사점 정확도를 분석한 결과 RMSE(Root Mean Square Error)가 평면에서 0.120 m, 표고에서 0.150 m로 나타나 1:1,000 수치지도 묘사 허용오차 범위를 만족하였다. 또한, 토공량 비교결과 드론 사진측량이 기존의 측량방법보다 13.0% 더 많은 토공량을 산출하였는데 이는 드론 사진측량이 더 세밀한 지형을 나타내기 때문으로 분석되어 검증자료로 활용 가능성이 있다고 판단되었다. 공간정보를 이용한 산지복구 수행여부 판단 결과 낙석 방지망 및 식생의 존재 여부를 판단할 수 있어 활용 가능성이 있는 것으로 확인되었다. 향후 주기적으로 영상을 취득하여 지형변화에 대한 모니터링이 이루어진다면 산림 개발에 드론 사진측량의 활용성이 증대될 것으로 보인다.

**주제어** : 노천광산, 무인항공사진측량, 정사영상, 수치표면모델, 산지복구

**Abstract** Open-pit mine development requires continuous management because of topographical changes and there is a risk of accidents if the current status survey is performed directly in the process of calculating the earthwork. In this study, the application of UAV photogrammetry, which can acquire spatial information without direct human access, was applied to open-pit mines development area and analyzed the accuracy, earthwork, and mountain restoration plan to determine its applicability. As a result of accuracy analysis at checkpoint using ortho image and Digital Surface Model(DSM) by UAV photogrammetry, Root Mean Square Error(RMSE) is 0.120 m in horizontal and 0.150 m in vertical coordinates. This satisfied the tolerance range of 1:1,000 digital map. As a result of the comparison of the earthwork, UAV photogrammetry yielded 11.7% more earthwork than the conventional survey method. It is because UAV photogrammetry shows more detailed topography. And result of monitoring mountain restoration showed possible to determine existence of rockfall prevention nets and vegetation. If the terrain changes are monitored by acquiring images periodically, the utility of UAV photogrammetry will be further useful to open-pit mine development.

**Key Words** : Open-pit Mine, UAV-Photogrammetry, Ortho Image, DSM, Mountain Restoration

\*Corresponding Author : Doo-Pyo Kim(ksosdkg@hanmail.net)

Received November 30, 2020

Accepted January 20, 2021

Revised December 26, 2020

Published January 28, 2021

### 1. 서론

노천광산 개발로 인한 환경 훼손은 지속적인 관리가 필요하며 개발로 인한 대규모의 지형변화가 안전사고를 야기할 수 있다. 또한, 노천광산 개발 과정에서 물량 산출이 이루어지는데 대규모의 장비가 투입되고 채굴되는 암석의 경우 부피가 상당히 때문에 사람이 직접 모든 지형을 측량하기에 제한적인 상황이 발생한다. 이에 실제 채굴량과 측량으로 산출된 채굴량의 차이가 발생하게 되며 이로 인해 유실되는 채굴량이 발생하거나 관리가 제대로 이루어지지 않기 때문에 실질적으로 활용할 수 있는 방안이 필요하다[1-3].

한편, 드론이 4차 산업혁명의 주요 산업 중 하나로 선정되고 다양한 센서의 탑재가 가능해지면서 그 활용성 또한 높아지고 있다[4]. 드론을 활용한 연구사례를 살펴보면 드론 영상을 취득하여 정사영상 및 DSM(digital surface model)을 제작하고 벡터화를 통해 수치지도를 생성하였으며 정확도 분석을 위하여 주로 영상에서 취득한 검사점 좌표를 현황측량 성과와 비교하였다[5-7]. 드론의 지적 분야에 대한 활용 가능성을 평가하기 위하여 필지경계 설정의 정확도를 분석하여 지적 재조사 및 정밀 공간정보 분야의 활용 가능성을 나타낸 바 있다[8]. 하천측량분야에서는 드론의 활용 가능성 및 한계를 판단하고자 하는 연구가 수행되어왔다[9-12]. 뿐만 아니라, 드론기술을 보안기술과 융합하여 활용하는 사례도 증가하고 있다[13-14]. 이와 같이 드론은 다양한 분야에 융합되어 활용 될 수 있다. 특히, 드론 사진측량은 기존의 유인 항공 사진측량과 비교하여 고해상도의 영상을 신속하게 취득하여 고품질의 공간정보를 생성할 수 있다는 장점이 있다.

한편, 암석의 부피가 크고 경사가 높아 안전사고의 우려가 있는 노천 광산 개발 지역의 경우 드론사진측량을 적용하면 비교적 안전하고 효율적으로 측량 및 조사가 가능하다. 이에 본 연구는 사람이 접근하기 어렵고 위험한 노천광산 개발 지역에 드론 사진측량을 적용하여 현장 특성 및 기존 측량 방법의 단점을 보완 및 적용 가능성을 판단하였다. 본 연구 결과 및 다양한 영상 분석 방법을 적용하면 안전관리 및 환경조사와 같은 분야에 드론을 접목시켜 활용 할 수 있을 것으로 보여 진다.

본 논문의 구성은 2장에서 드론을 이용하여 영상을 취득하고 3차원 포인트클라우드, 정사영상, DSM과 같은 공간정보를 제작하는 과정을 나타내었으며 3장에서

는 생성된 3차원 공간정보를 이용하여 정확도, 토공량, 산지복구 활용 가능성 판단을 위한 분석방법 및 결과를 제시하였다. 4장에서는 3장의 결과 분석내용을 기반으로 노천광산 개발지 조사 활용 가능성을 판단 및 제시하였다.

### 2. 자료취득 및 처리

본 연구는 노천광산에 드론 사진측량의 활용 가능성을 판단하기 위한 것으로 드론 영상을 취득하여 제작된 성과의 정확도를 분석하고 일부 구간에 대해서는 토공량을 산출하여 비교 분석하였다. 또한, 산지복구에 드론 공간정보의 활용성을 판단하기 위하여 식생복원에 대하여 시각적으로 판별 가능한지 분석하였다. Fig. 1은 본 연구의 연구 흐름도를 나타낸 것이다.

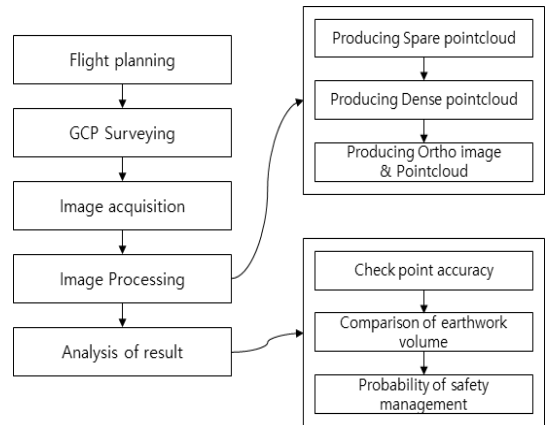


Fig. 1. Flow chart

#### 2.1 연구대상지

연구대상지는 경남 지역에 위치한 노천광산으로 정확도 및 산지복구 활용성 평가에 활용 가능한 채굴로 인하여 노천광산의 변화와 산지복구 계획이 동시에 수행되고 있는 곳으로 선정하였다. Fig. 2는 연구대상지를 구글맵에서 나타낸 것이다.

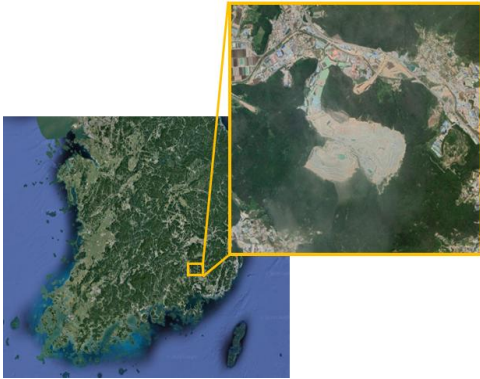


Fig. 2. Study area

### 2.2 지상기준점 측량

정확한 위치정보를 가진 공간정보의 생성을 위하여 드론 영상 취득 전 지상기준점 측량을 먼저 수행하였다. 지상기준점 측량은 항공 삼각측량 과정에서 절대 좌표를 계산하는데 사용되며, 드론 사진측량에서 위치 좌표의 정확도 향상을 위하여 필요한 과정이다. 정방형의 대공표지를 제작하여 현장에 설치하고 Network RTK-VRS(Real Time Kinematic-Virtual Reference Station)방법을 이용하여 지상기준점 좌표를 취득하였다. 지상기준점은 검사점을 포함하여 총 12개를 설치하였으며 Table 1은 지상기준점(GCP: Ground Control Point) 및 검사점(CP: Check Point)의 측량성과를 나타낸 것이며 Fig. 3은 GPS를 이용하여 지상기준점에 대한 좌표를 취득하는 모습이다.

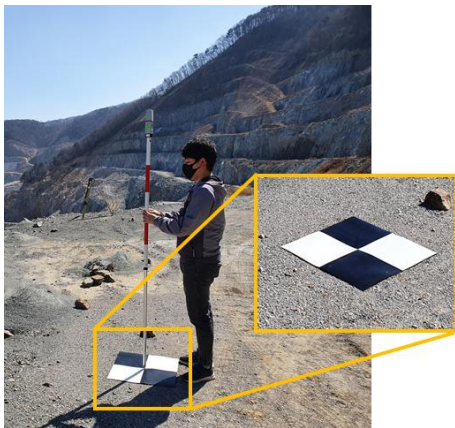


Fig. 3. GCP survey and target

Table 1. Coordinate of GCPs and CPs

Point	X(m)	Y(m)	Z(m)
GCP1	301815.764	186889.092	118.881
GCP2	301806.651	187114.782	113.234
GCP3	301584.453	186953.387	140.587
GCP4	301828.248	186660.336	102.683
GCP5	301474.682	186472.101	191.980
GCP6	301514.338	186320.678	231.281
GCP7	301507.848	186884.214	142.747
GCP8	301517.766	186882.828	141.893
CP1	301596.276	186816.594	133.681
CP2	301645.287	187173.359	154.303
CP3	301690.069	187422.918	183.911
CP4	301349.339	187262.870	211.757

### 2.3 영상 취득

영상은 회전의 기계인 DJI사 Inspire 2를 이용하여 약 0.8km<sup>2</sup>의 면적을 촬영하였으며 노천광산의 상단부까지 촬영하기 위하여 노천광산 중단부에서 200m 고도로 자동항법을 이용하여 촬영하였다. 그러나 자동항법을 이용한 영상 취득은 지형의 변화와 상관없이 초기 설정한 고도로 촬영하기 때문에 노천광산의 하단부는 해상도가 낮아진다. 이를 해결하기 위하여 노천광산의 중심부는 저고도 비행하여 약 GSD 6cm의 영상을 취득하였다. Fig. 4는 취득된 영상의 위치 및 비행경로를 나타낸 것이며, Table 2와 3은 각각 영상 취득에 활용한 기체 및 센서의 제원, 촬영 조건에 대한 세부내용을 나타내고 있다.

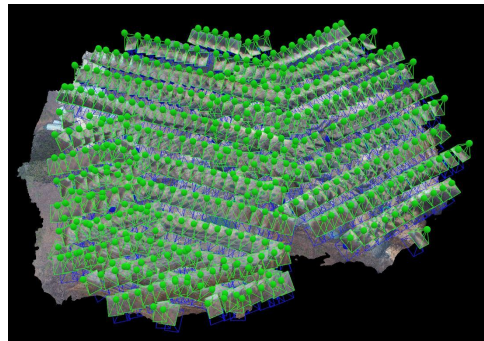


Fig. 4. Flight trajectory and image Location of UAV

Table 2. Flight height and overlap

Flight height	Overlap
200m	End lap : 80 % Side lap : 65 %

Table 3. Specification of UAV and camera

	
UAV model	DJI Inspire 2
Camera model	FC6520
Focal length	15mm
Image resolution	5280 × 3956 pixel

### 2.3 영상 처리

드론 영상을 이용한 공간정보 생성은 Pix4D를 이용하였다. Pix4D는 SIFT기반의 영상 매칭과 SfM기반의 포인트 클라우드를 생성하는 프로그램으로 사용이 편리하여 드론 사진측량에 많이 사용되고 있다. 영상처리 과정은 초기 포인트 클라우드를 생성하고 정사영상 및 DSM을 제작한 뒤 3D모델을 제작하는 과정으로 이루어진다. 이때 앞서 지상기준점 측량 시 취득한 성과를 입력하여 영상에서 정확한 위치를 선점하고 영상처리를 진행한다.

영상처리 과정은 먼저 지상기준점을 입력한 뒤 포인트 클라우드를 생성하고 정사영상, DSM, 3D 모델을 제작하였다. Fig. 5-7은 각각 무인 항공 사진측량으로 제작된 포인트 클라우드, 정사영상, DSM을 나타낸 것이다.

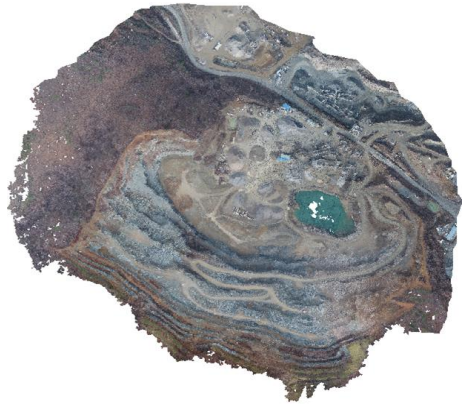


Fig. 5. Point clouds produced using UAV photogrammetry

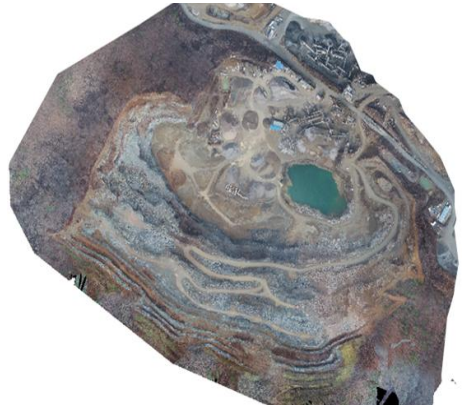


Fig. 6. Ortho image produced using UAV photogrammetry

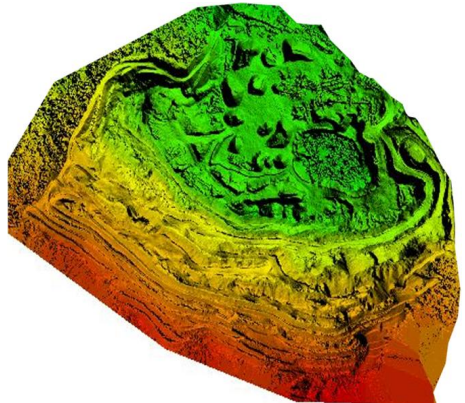


Fig. 7. Digital surface model produced using UAV photogrammetry

토공량 분석은 GPS로 취득한 기준자료를 기반으로 드론 사진측량으로 취득된 성과를 비교하였다. 먼저 기준자료 취득을 위하여 GPS로 현황측량을 수행하고

GPS 측량 성과를 기반으로 횡단면도를 작성하였다. 기준자료와 비교를 위하여 드론 사진측량을 이용해 제작된 정사영상 및 DSM을 공간정보 활용 프로그램인 Smart Construction에 입력하여 횡단면도를 제작하였다. 기준자료 및 비교자료 모두 횡단면도는 20m 간격으로 체인을 형성하여 제작하였다. Fig. 8은 Smart Construction을 이용하여 횡단면도를 제작하는 모습을 나타낸 것이다. Fig. 9는 드론 사진측량을 이용하여 제작한 횡단면도를 나타낸 것이다.

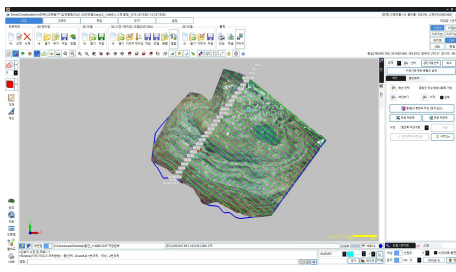


Fig. 8. Production of cross-section maps using Smart Construction

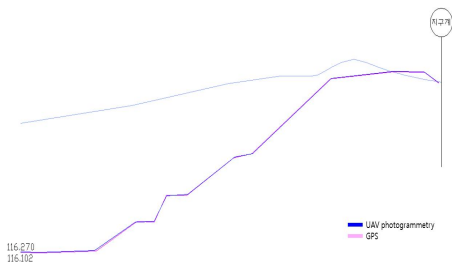


Fig. 9. Cross-section maps of UAV photogrammetry and GPS

### 3. 결과분석

#### 3.1 정확도 분석

생성된 공간정보의 정확도 분석은 검사점을 이용하여 확인하였다. 정사영상 및 DSM에서 검사점의 3차원 좌표를 취득하고 실제 현장에서 GPS로 취득한 3차원 좌표를 비교하여 분석하였다. 검사점은 총 4개를 이용했으며, 정확도 분석 결과 Table 4와 같이 RMSE가 평면에서 0.120m, 표고에서 0.150m로 나타났다. 해당 결과는 국토정보지리원 고시 「항공사진측량 작업규정」의 1/1,000 세부도화 묘사 오차의 허용범위를 만족하고 있어 노천광산 개발 현장에 활용이 가능할 것으로 판단된다. Fig. 10

은 각각의 검사점들의 잔차를 그래프로 나타낸 것이다.

Table 4. Residuals of CPs

Point No.	GPS vs. Vectorizing	
	$\Delta XY(m)$	$\Delta Z(m)$
CP1	0.112	0.134
CP2	0.107	0.122
CP3	0.097	0.125
CP4	0.098	0.138
Ave	0.104	0.130

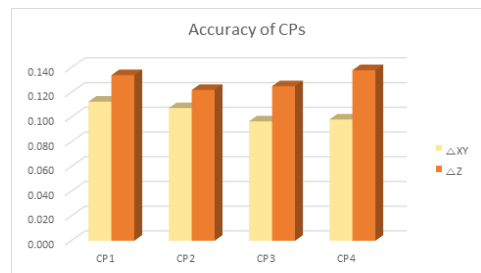


Fig. 10. Accuracy of CPs

#### 3.2 토공량 분석

토공량은 드론 사진측량으로 제작된 횡단면도와 현장측량 성과를 이용하여 제작된 횡단면도를 계획선과 비교하여 산출하였다. 노선간 20m간격으로 5개 노선에 대하여 비교하였으며 양단면 평균법을 이용하여 토공량을 산출 하였다. 토공량 계산 결과 Table 5와 같이 GPS 방법은 절토량이 8,221.0m<sup>3</sup>로 나타났으며 드론 사진측량의 경우 절토량이 9291.3m<sup>3</sup>의 토공량이 산출되었다. 드론 사진측량으로 산출한 토공량이 드론 사진측량을 이용한 경우 전체 토공량 대비 약13.0% 만큼 더 산출되었다. 이러한 차이는 드론 사진측량의 경우 암석의 표면을 세부적으로 나타내기 때문에 더 많은 토공량이 산출되었을 것으로 판단된다.

Table 5. Comparison of eachworks

Chain No.	UAV photogrammetry - GPS	
	Area (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )
1	12.05	241.0
2	11.41	234.6
3	10.14	215.5
4	9.11	192.5
5	10.55	196.6
Sum	53.26	1080.20



### 3.3 산지복구 활용 가능성 분석

산지복구 활용 가능성 평가는 노천광산 개발지에 기 계획되어 있던 산지복구계획을 기반으로 정성적으로 분석하였다. 산지복구계획상 최상단부는 이미 채굴이 끝나 식생 및 낙석 방지망을 설치하도록 되어 있어 해당 구역의 정상영상 및 원본 영상으로 분석하였다. 분석 결과 상단부에 낙석 방지망이 설치되어 있는 것을 확인할 수 있었으며 산지 복구 계획에 따른 식생이 분포되어 있는지 여부를 판단할 수 있었다. Fig. 11은 산지복구 계획에 따라 설치된 (a) 낙석 방지망과 (b) 식생을 나타낸 것이다. 그러나 산지복구 계획에는 식생의 종류까지 명시되어 있으나 본 연구에서 취득한 영상을 이용한 식생의 종류 파악을 할 수 없는 문제점이 존재하였다.

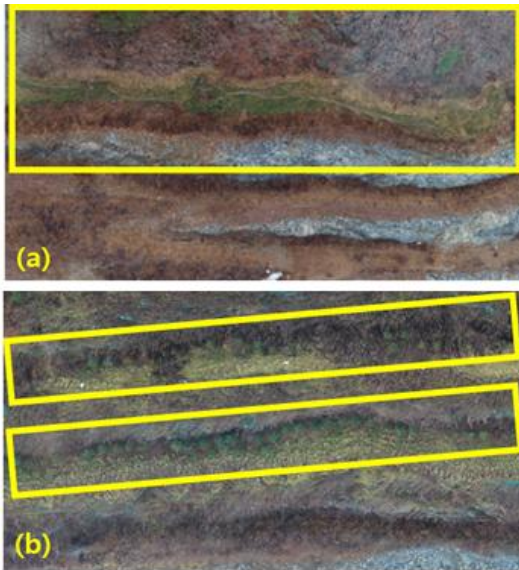


Fig. 11. Rockfall prevention network and vegetation

## 4. 결론

본 논문에서는 드론 사진측량의 노천광산 개발 지역에서의 활용성을 판단하기 위하여 검사점을 이용한 정확도 분석, 토공량 비교, 산지복구 계획 수행 여부에 대해 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 검사점을 이용한 정확도 분석 결과 RMSE가 평면에서 0.120m, 표고에서 0.150m로 나타나 1/1,000 「항공사진측량 작업규정」1/1,000 세부도화 묘사 오차의 허용범위를 만족하여 노천광산 개발에 활용 가능할 것으로 판단된다.

둘째, 물량 산출을 위한 토공량 산정은 5개 체인에서 GPS와 드론 사진측량 성과를 각각 취득하여 비교 분석하였다. 그 결과 드론 사진측량의 경우가 13.0%의 토공량이 더 많이 산출되었다. 이는 드론 사진측량이 더 세부적인 측량이 가능하기 때문으로 판단된다. 따라서 토공량 분석결과 기존의 방법을 대체하여 활용 가능할 것으로 보이며, 계획선 준수 여부 판단에도 활용 가능할 것으로 보여진다.

셋째, 산지복구에 드론 사진측량의 적용 가능성을 판단하기 위하여 실제 산지복구 계획과 비교 분석하였다. 그 결과 낙석 방지망 및 식생이 분포 여부를 판단할 수 있었다. 그러나 어떤 식생인지는 구별하기 어려운 점이 존재하여 식생의 종류를 판단하기 위해서는 더 근접해서 촬영한 영상을 활용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 노천광산 개발지에 대하여 드론사진측량을 적용하고 그 활용성을 평가하여 직접측량 및 조사시 발생하는 안전문제와 한계점의 보완 가능성을 판단하였다. 그 결과 드론사진측량의 적용 가능성은 충분히 가능하다고 판단되었으며 분석과정에서 확인된 일부 문제점을 보완한다면 안전하고 신속·정확한 측량 및 조사뿐만 아니라 안전관리 및 환경조사와 같은 다양한 분야에도 적용할 수 있을 것으로 보여진다.

## REFERENCES

- [1] J. K. Park & D. Y. Um. (2019). Evaluaton of Accuracy and Utilization of the Drone Photogrammetry for Open-pit Mine Monitoring. *Journal of Digital Convergence*, 17(12), 191-196. DOI : 10.14400/JDC.2019.17.12.191
- [2] S. J. Lee & Y. S. Choi. (2015). Topographic Survey at Small-scale Open-pit Mines using a Popular Rotary-wing Unmanned Aerial Vehicle (Drone). *TUNNEL & UNDERGROUND SPACE*, 25(5), 462-469. DOI : 10.7474/TUS.2015.25.5.462
- [3] D. G. Lee, Y. G. Yu, J. H. Ru & H. J. Lee. (2016). Change Monitoring in Ecological Restoration Area of Open-Pit Mine Using Drone Photogrammetry. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, 24(4), 97-104. DOI : 10.7319/kogsis.2016.24.4.097
- [4] J. O. Lee & D. P. Kim. (2019). Analysis of Three Dimensional Positioning Accuracy of

Vectorization Using UAV-Photogrammetry. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 37(6), 525-533.  
DOI : 10.7848/ksGPC.2019.37.6.525

[5] S. B. Lim. (2016). *Geospatial Information Data Generation Using Unmanned Aerial Photogrammetry and Accuracy Assessment*. Doctoral dissertation. Chungnam National University, Daejeon.

[6] J. H. Jo. (2016). *Accuracy and Economic Feasibility Study of Orthoimage Map Production using UAV*. Master's thesis. The University of Seoul, Seoul.

[7] M. G. Kim & K. Y. Jung. (2016). Applicability Analysis of Drone Photogrammetry for Updating Digital Maps. *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, 6(8), 603-610.  
DOI : 10.14257/AJMAHS.2016.08.60

[8] S. M. Sung & J. O. Lee. (2016). Accuracy of Parcel Boundary Demarcation in Agricultural Area Using UAV-Photogrammetry. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 34(1), 53-62.  
DOI : 10.7848/ksGPC.2016.34.1.53

[9] S. A. Lee, T. J. Kim, J. I. Kim, M. C. Kim & H. J. Chang. (2015). DSM Generation and Accuracy Analysis from UAV Images on River-side Facilities. *Korean Journal of Remote Sensing*, 31(2), 183-191.  
DOI : 10.7780/kjrs.2015.31.2.12

[10] A. Tamminga, C. Hugenholtz, B. Eaton & M. Lapointe. (2015). Hyperspatial Remote Sensing of Channel reach Morphology and Hydraulic Fish Habitat Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV): A First Assessment in The Context of River Research and Management. *Korean River Res. Applic*, 31(3), 379-391.  
DOI : 10.1002/rra.2743

[11] R. K. Kong. (2015). A Study on Improvement of the Small Stream Management Project (around Small stream maintenance Act). *JFM SE*, 27(3), 841-852.  
DOI : 10.13000/JFMSE.2015.27.3.841

[12] M. Erena, J. F. Atenza, S. G. Galiano, J. A. Dominguez & J. M. Bernabe (2019). Use of Drones for the Topo-Bathymetric Monitoring of the Reservoirs of the Segura River Basin. *Water*, 11(3), 455-460.  
DOI : 10.3390/w11030445

[13] D. H. Kim & Y. H. Lee. (2018). A Study on the Countermeasures and Drone's Threats in Military Security. *Journal of Digital Convergence*, 16(10), 223-233.  
DOI : 10.14400/JDC.2018.16.10.223

[14] S. P. Hwang & D. H. Kim. (2020). A Study on the Establishment of Anti-Drone system for the Protection of National Important Facilities. *Journal of Digital Convergence*, 18(11), 247-257.  
DOI : 10.14400/JDC.2020.18.11.247

김 성 보 (Sung-bo Kim)

[정회원]



- 2006년 2월 : 동아대학교 토목해양공학부(공학사)
- 2008년 2월 : 동아대학교 해양공학과(공학석사)
- 2015년 8월 : 동아대학교 에너지-자원공학과(공학박사)

- 2019년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 에너지-자원공학과 겸임교수
- 2020년 7월 ~ 현재 : (주)MGIT 책임연구원
- 관심분야 : 해양조사, 원격탐사, 항공사진측량, 프로그래밍 언어, 무인항공기 제어
- E-Mail : tamsabo@donga.ac.kr

김 두 표(Doo-Pyo Kim)

[정회원]



- 2019년 8월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (박사과정)
- 관심분야 : 측량학, 사진측량
- E-Mail : ksosdkgk@hanmail.net

백 기 석(Ki-Suk Back)

[정회원]



- 2001년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2010년 11월 ~ 현재 : (주) 정인이앤씨

- 2015년 2월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 (겸임교수)
- 관심분야 : 측량학, 사진측량
- E-Mail : back08970@hanmail.net