

## 보급형 회전익 무인항공기(드론)를 이용한 소규모 노천광산의 지형측량 이성재, 최요순\*

### Topographic Survey at Small-scale Open-pit Mines using a Popular Rotary-wing Unmanned Aerial Vehicle (Drone)

Sungjae Lee, Yosoon Choi\*

**Abstract** This study carried out a topographic survey at a small-scale open-pit limestone mine in Korea (the Daesung MDI Seoggyo office) using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (UAV, Drone, DJI Phantom2 Vision+). 89 sheets of aerial photos could be obtained as a result of performing an automatic flight for 30 minutes under conditions of 100m altitude and 3m/s speed. A total of 34 million cloud points with X, Y, Z-coordinates was extracted from the aerial photos after data processing for correction and matching, then an orthomosaic image and digital surface model with 5m grid spacing could be generated. A comparison of the X, Y, Z-coordinates of 5 ground control points measured by differential global positioning system and those determined by UAV photogrammetry revealed that the root mean squared errors of X, Y, Z-coordinates were around 10cm. Therefore, it is expected that the popular rotary-wing UAV photogrammetry can be effectively utilized in small-scale open-pit mines as a technology that is able to replace or supplement existing topographic surveying equipments.

**Key words** Drone, Unmanned aerial vehicle, Photogrammetry, Digital surface model, Orthomosaic image

**초 록** 본 연구에서는 보급형 회전익 무인항공기(드론, DJI 팬텀2 비전 플러스)를 이용하여 국내 소규모 석회석 노천광산 현장(대성MDI(주) 석교사업소)의 지형측량을 수행하였다. 고도 100 m, 속도 3 m/s 조건으로 30분간 자동모드 비행을 수행한 결과 총 89장의 항공사진을 획득할 수 있었다. 현장에서 취득한 항공사진 자료들을 보정하고, 정합한 결과 총 3,400만 개의 3차원 점군 데이터가 추출되었고, 이로부터 5 cm 해상도의 정사영상과 수치표면모델 자료를 생성할 수 있었다. 5개 지상기준점에 대해서 고정밀 위성측정시스템을 이용하여 측정된 위치 좌표와 회전익 무인항공기 사진측량시스템을 이용하여 추출한 위치 좌표를 비교한 결과 평균 제곱근 오차가 X, Y, Z 세 방향 모두 10 cm 내외로 나타났다. 따라서 보급형 회전익 무인항공기 사진측량시스템이 기존의 지형측량 장비들을 대체하거나 보완할 수 있는 기술로서 소규모 노천광산 현장에서 효과적으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

**핵심어** 드론, 무인항공기, 사진측량, 수치표면모델, 정사영상

## 1. 서 론

중소형 광산의 경우 일반적으로 중소기업의 투자 하에 개발이 진행된다. 상대적으로 자본 및 기술이 부족한 중소기업의 여건으로 인해 이러한 중소형 광산들은 전략적이고 장기적인 탐사·개발 계획 없이 현지 지역 전문가의 단순 경험과 단기적 계획에 의존하여 개발을 진행하는 경우가 많다. 그 결과 중소형 광산에서는 비효율적인 광산설계 및 채광작업으로 인해 유실되는 광량이 많고 생산단가가 높아 수익성을 확보하기가 어려운

**Received:** Oct. 12, 2015

**Revised:** Oct. 26, 2015

**Accepted:** Oct. 26, 2015

**\*Corresponding Author:** Yosoon Choi

(Tel) +82516296562, (Fax) +82516296553

E-Mail) energy@pknu.ac.kr, yspower7@gmail.com

Dept. of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 608-737, Korea

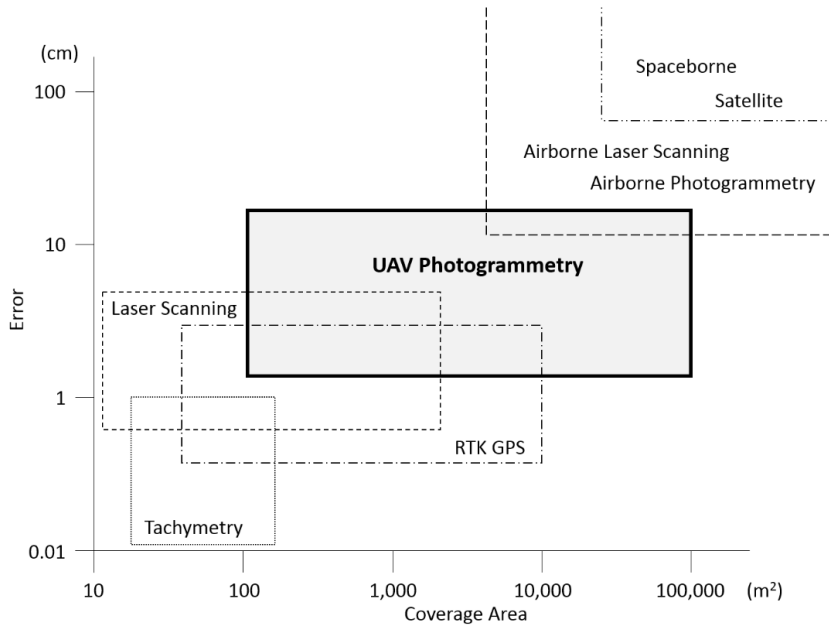


Fig. 1. Ranges of coverage area and error for each topographic surveying technology (Siebert and Teizer, 2014)

실정이다.

노천광산 현장의 지형측량 문제는 고가의 측량장비와 전문적인 기술 인력을 확보하지 못한 중소형 광산에서 극복해야 할 중요한 과제 중의 하나이다. 현재 국내외 많은 수의 중소형 노천광산들이 지형도는 물론 정확한 광산 도면도 없이 경험에 의존하여 채광작업을 진행하고 있다. 이러한 현장여건에서는 장기적인 생산계획 수립은 물론 작업 효율성 개선을 기대하기 어렵다. 또한, 정기적인 채광장 사면 모니터링도 이루어지고 있지 않기 때문에 작업장 붕괴 등 생산현장의 안전성의 문제에도 매우 취약한 실정이다. 현장여건이 비교적 양호하여 지형측량을 통해 광산도면을 제작하고 활용하는 노천광산도 일부 존재하지만, 이 경우에도 분기별 또는 연 단위로 지형측량을 수행하여 광산도면을 갱신하고 있는 실정이다. 발파 작업으로 인해 지형변화가 급속도로 진행되는 노천광산 현장의 현실을 고려할 때, 분기별 또는 연 단위로 수행되는 지형측량 작업은 충분하지 못하다. 따라서 중소형 노천광산 현장에서는 넓은 영역을 신속하게 측량할 수 있으며, 사람이 접근하기 어려운 곳에도 쉽게 접근하여 작업을 수행할 수 있고, 합리적인 예산 범위에서 기술 도입이 가능하며, 한두 명 정도의 소수 인력으로 운영이 가능한 지형측량 기술을 필요로 하고 있다.

노천광산의 지형측량을 위해 토털 스테이션과 같은

광파기 뿐만 아니라 초고정밀 위성측정시스템(real-time differential global positioning system, RTK-GPS), 지상 레이저스캐너(terrestrial laser scanner), 항공 레이저스캐너(airborne laser scanner), 항공 사진측량시스템, 인공위성 사진측량시스템 등 다양한 장비와 기술들이 활용될 수 있다. 이러한 장비들은 작업 가능 영역의 크기와 측정오차가 상이하여 각기 장단점을 가진다(Fig. 1). 예를 들어, 항공 레이저스캐너, 항공 사진측량시스템, 인공위성 사진측량시스템 등의 항공 측량장비들은 넓은 영역을 빠르게 조사할 수 있는 장점이 있으나 측량 성과물의 오차가 크다는 단점이 있다. 반면에 광파기, RTK-GPS, 지상 레이저스캐너 등의 지상 측량장비들은 측량 성과물의 정확도가 높다는 장점이 있으나 넓은 영역을 대상으로 작업을 수행하기에는 시간이 오래 걸리고 비용이 비싸다는 단점이 있다.

지상/항공 측량장비들의 장점과 단점을 상호 보완하기 위하여 최근에는 무인항공기(unmanned aerial vehicle, UAV)를 이용한 사진측량시스템이 지형측량 작업에 활용되고 있다. 무인항공기 사진측량시스템은 기존의 지상 측량장비들에 비해서는 상대적으로 작업 가능 영역의 크기가 넓고 항공 측량기술들에 비해서는 비교적 측정오차가 작다는 특성을 가진다(Fig. 1). 이러한 특성으로 인해 무인항공기 사진측량시스템은 기존의 측량 장비들을 대체하거나 보완할 수 있는 기술로서 인정받고

있으며(Siebert and Teizer, 2014), 토목건설(Park et al., 2013, Siebert and Teizer, 2014, Lucieer et al., 2014), 문화재관리(Kim, 2015), 방재(Astuti et al., 2008, Birk et al., 2011, Niethammer et al., 2012), 농업(Zarco-Tejada et al., 2014) 등 다양한 분야에서 지형측량 작업에 활용되고 있다.

호주, 캐나다 등과 같은 광업 선진국에서는 무인항공기 사진측량시스템을 활용하여 노천광산의 지형측량 작업을 수행한 사례들이 일부 보고되고 있다. Cryderman 등(2014)은 무인항공기 사진측량시스템을 활용하여 광석 적재장 주변의 지형을 측량하고, 광석 적재량을 산정하였다. 또한, RTK-GPS를 이용한 측량결과와의 오차비교를 통해 무인항공기 사진측량시스템의 정확도를 평가하였다. McLeod 등(2013)은 노천광산의 일부 사면을 대상으로 무인항공기 사진측량시스템을 이용하여 지형측량을 수행하였고, 그 결과를 분석하여 암반사면에 존재하는 불연속면의 방향성을 분석하였다. Cho 등(2015)은 비금속 노천광산의 지질구조 해석을 위해 회전의 무인항공기 사진측량시스템을 활용하는 방안을 제시하였다. 이처럼 최근 들어 무인항공기 사진측량시스템을 광업 분야에서 활용하는 방안에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있으나, 노천광산 현장의 지형측량을 위한 대체 기술로서 보급형 회전의 무인항공기를 활용하는 것에 대한 연구는 수행되지 않았다.

본 연구의 목적은 국내 중소형 노천광산 현장에서 보급형 회전의 무인항공기 사진측량시스템을 이용한 지형측량 기술의 적용 가능성을 실증하는 것이다. 이를 위해 충청북도 단양군에 위치한 소규모 석회석 노천광산인 대성MDI(주) 석교사업소를 연구지역으로 선정하고, 보급형 회전의 무인항공기 중의 하나인 DJI 팬텀2 비전 플러스를 이용하여 노천광산 현장의 항공사진 촬영을 수행하고자 한다. 또한, 현장에서 취득한 항공사진 자료들을 보정하고, 정합하여 연구지역의 정사영상(orthomosaic image)과 수치표면모델(digital surface model, DSM)을 제작할 것이다. 마지막으로 5개 지상기준점(ground control point, GCP)에 대한 고정밀 위성측정시스템(differential global positioning system, DGPS) 좌표 측정 결과와 비교를 통해 회전의 무인항공기 사진측량시스템을 이용하여 수행한 지형측량 결과의 오차를 평가하고자 한다.

## 2. 연구지역

본 연구에서는 충청북도 단양군에 위치한 대성MDI(주) 석교사업소를 연구지역으로 선정하였다. 연구지역은 소규모의 석회석 노천광산으로서, 고품위 백운석을



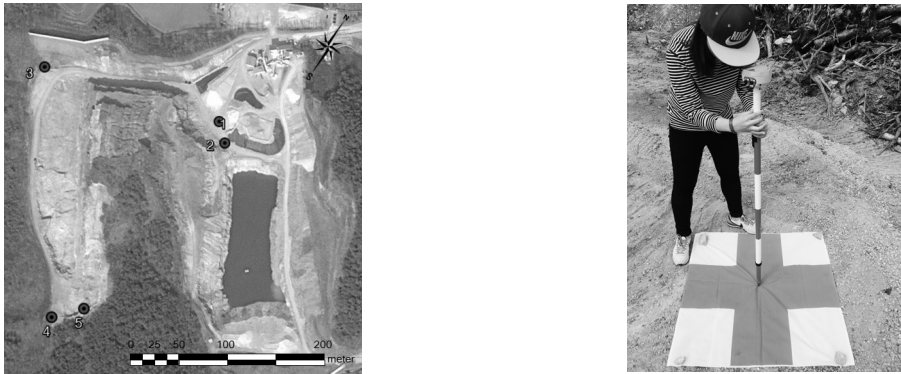
Fig. 2. Aerial view of the study area (image source: Google Earth, <http://www.google.com/earth/index.html>)

주로 생산하고 있다. 본 연구에서는 2015년 7월 당시 개발 및 생산 작업이 주로 진행되고 있었던 채광장을 대상으로 회전의 무인항공기 사진측량시스템의 현장 적용을 수행하였다(Fig. 2).

## 3. 연구방법

### 3.1 지상기준점 설치 및 좌표 측정

무인항공기를 이용한 항공사진을 촬영을 수행하기 전에 연구지역에 5개의 지상기준점을 지정하고 좌표를 측정하였다(Fig. 3). 지상기준점들은 가급적 채광장 전역에 분포하면서 현장에서 접근이 가능한 위치에 지정하였다. Pit lake 좌·우측의 경우에는 연구수행 당시 현장접근이 어려웠기 때문에 지상기준점을 설정할 수 없었다. 항공사진에서 지상기준점들의 위치를 명확하게 식별할 수 있도록 각 지점에 직접 제작한 표식지(가로 : 1 m, 세로 : 1 m)를 설치하였고, 아센코리아 AKNB DGPS 장비를 이용하여 각 지점의 위도, 경도, 고도 좌표를 측정하였다. WGS84 타원체와 Universal Transverse Mercator (UTM, 52N) 좌표계를 기준으로 지상기준점들의 좌표를 표시한 결과는 Table 1과 같다. 본 연구에서 UTM 좌표계를 기준 좌표계로 선택한 이유는 UTM 좌표계를 사용할 경우 지상기준점들의 좌표 측정 결과나 항공사진 촬영 결과를 구글맵(<http://maps.google.com>) 또는 구글어스에서 제공하는 위성영상에 중첩하여 확인하는 것이 용이하기 때문이다. UTM 좌표계는 필요할 경우



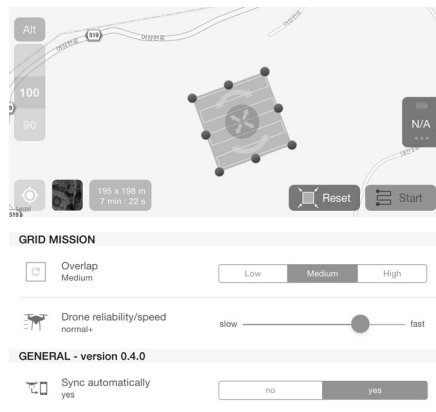
**Fig. 3.** Locations of ground control points (left). The number represents the ID of ground control points. The coordinates were measured at each point using DGPS (right)

**Table 1.** Coordinates of the ground control points (GCPs) installed in the study area

GCPs	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	4111386.840	440882.984	280.6
2	4111366.981	440902.329	280.2
3	4111338.775	440662.342	284.5
4	4111082.765	440825.581	307.5
5	4111109.994	440853.899	308.7



(a)



(b)

**Fig. 4.** Views of (a) the Phantom2 Vision+ and (b) a smartphone application for automatic control

국내에서 사용되고 있는 기준 좌표계인 TM 좌표계로도 변환이 가능하다.

지상기준점의 좌표 측정 결과는 추후 항공촬영 사진의 보정을 위해 사용되며, 지형측량 성과물의 정확도 평가 시에도 활용될 수 있다.

**3.2 회전익 무인항공기를 이용한 항공사진 촬영**

무인항공기는 기체의 형태에 따라 고정익과 회전익으로 분류할 수 있다. 고정익 무인항공기는 공기의 양력

으로 비행을 하여 에너지 효율이 높으며, 장시간 비행이 가능하여 넓은 지역을 한 번에 촬영할 수 있다. 반면, 회전익 무인항공기는 상대적으로 에너지 효율이 낮아 비행시간이 짧은 단점이 있지만, 수직이착륙이 가능하기 때문에 이착륙장의 확보가 어려운 중소형 노천광산에서도 활용가능하다. 본 연구에서는 보급형 회전익 무인항공기로서 전 세계적으로 광범위하게 활용되고 있는 DJI 팬텀2 비전 플러스(Fig. 4(a))를 이용하여 연구 지역 채광장의 항공사진 촬영을 수행하였다. 팬텀2 비전

**Table 2.** Inner orientation parameters of the camera mounted on Phantom2 Vision+

Item (unit)	Type	Calibration value
Sensor (mm)	Width	6.4852
	Height	4.8639
Pixel size ( $\mu\text{m}$ )		1.4074
Principal point offset (mm)	X	3.2487
	Y	2.4765
Affine transformation	C	4,146.682
	F	4,146.682
Polynomial coefficients	A1	1.70868E-05
	A2	-0.007318617
	A3	-0.140084756
Image size (pixels)	X	4,608
	Y	3,456

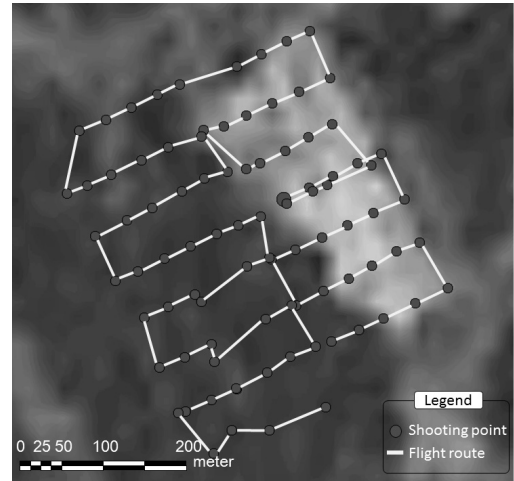
플러스는 4개의 회전익을 가진 쿼드콥터(quadcopter)로서, 기체에 GPS/IMU가 내장되어 자세제어, 정지비행, 자동 이착륙 등이 가능하다. 팬텀2 비전 플러스는 조종기를 이용한 수동모드와 안드로이드 또는 IOS 스마트폰 어플리케이션(Fig. 4(b))을 이용한 자동모드의 비행이 모두 가능하다. 자동모드를 사용할 경우 비행경로, 비행속도, 비행고도, 촬영범위, 사진의 중첩도 등을 설정할 수 있으므로 보다 계획적인 항공사진 촬영이 가능하다.

팬텀2 비전 플러스는 1400만 화소의 RGB 카메라를 탑재하고 있어 고해상도의 항공사진 촬영이 가능하다. 탑재된 카메라는 어안렌즈(광각렌즈)를 사용하고 있으며, 촬영된 항공사진을 보정하기 위해 필요한 내부표정요소 정보는 Table 2와 같다.

연구지역의 항공사진 촬영을 위해 스마트폰 어플리케이션을 이용하여 팬텀2 비전 플러스의 자동모드 비행계획을 수립하였다(Fig. 5). 자동모드 비행 시 작업 가능 영역의 크기가 최대 200 m × 200 m로 설정되어 있으므로, 연구지역을 4개의 구역으로 분할하여 총 4회에 걸쳐 자동모드 비행을 통한 항공사진 촬영을 수행하였다. 이때 비행고도 100 m, 비행속도 3 m/s, 촬영된 사진의 횡방향 중복도 80%, 종방향 중복도 80%로 설정하였다. 이러한 설정에 따라 현장에서 총 89장의 항공사진을 촬영할 수 있도록 자동 비행계획을 수립하였다.

### 3.3 항공사진 자료처리

본 연구에서는 현장에서 촬영된 항공사진의 자료처리를 위해 Pix4D mapper pro(ver 2.0)를 사용하였다(<http://pix4d.com>). Pix4D mapper pro의 자료처리 절차는 Fig. 6과 같다. 먼저 항공사진들이 입력되면 각 영상에

**Fig. 5.** Flight route and shooting points designed for the study area

서 식별이 가능한 특이점(key point)들이 자동으로 추출되며, 이후 다수의 항공사진들 간의 상호비교를 통해 각 영상에서 추출된 특이점들이 서로 연계된다. 연계된 특이점들은 지상기준점 정보를 반영하여 자동항공삼각법(automatic aerial triangulation, AAT)에 의해 기하보정된다(Siebert and Teizer, 2014). 각각의 항공사진에서 특이점들의 기하보정이 완료되면, 연속하는 항공사진들 간의 비교를 통해 여러 장의 사진에서 동일한 지점을 나타내는 특이점들이 자동으로 정합된다. 정합된 특이점들을 추출하면 3차원 좌표를 가지는 점군 데이터(3D cloud point)가 생성된다. 또한, 이들 점군 데이터들로부터 수치표면모델을 생성할 수 있으며, 항공사진 간의 결합을 통해 정사영상을 제작할 수 있다.

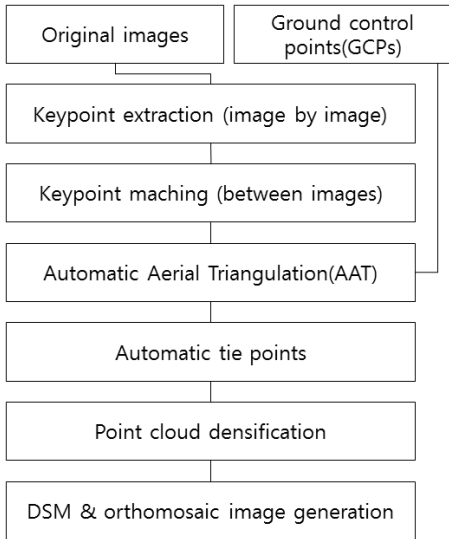


Fig. 6. Procedure of data processing using the Pix4D mapper pro

본 연구에서는 팬텀2 비전 플러스를 이용하여 채광장의 항공사진을 총 89장 촬영하였다. 이 중 수목들만이 촬영되어 특이점을 추출하기 어려운 한 장의 항공사진을 제외한 88장의 사진들이 Fig. 6의 절차에 따라 수치표면모델(DSM)과 정사영상의 제작에 사용되었다. 수치표면모델은 사진 상에 찍힌 자연지물과 인공지물의 고도 값을 함께 표현하기 때문에 자연지물의 고도 값만을 표현하는 수치표고모델(digital elevation model, DEM)과는 차이가 있다. 지형 자료처리에 사용된 컴퓨터의 운영체제는 Windows 7 64-bit이며, CPU의 성능은 2.93GHz × 4, 내장메모리의 크기는 8G이다.

#### 4. 연구결과

팬텀2 비전 플러스를 이용하여 연구지역의 지형측량을 수행한 결과는 Fig. 7과 같다. 앞서 제시된 자료처리 방법에 따라 총 3,400만 개의 3차원 점군 데이터가 추출되었고, 약 30 ha 영역에 대한 5 cm 해상도의 정사영상과 수치표면모델 자료가 생성되었다. 또한, 수치표면모델 자료로부터 5 m 간격의 지형등고선을 추출할 수 있었다. 연구지역의 지형측량 결과를 3차원으로 도시한 결과는 Fig. 8과 같다. 현장에서 항공촬영을 위해 소요된 시간은 30분이며, 88장의 항공사진 자료를 처리하여 정사영상과 수치표면모델을 생성하는 데에는 총 2시간 30분이 소요되었다.

연구지역에 설정한 5개 지상기준점들에 대하여 지상에서 DGPS를 이용하여 측정한 좌표와 회전의 무인항공기 사진측량시스템을 이용하여 추출한 좌표의 오차를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 위치좌표의 평균 제곱근 오차(root mean square error, RMSE)가 X, Y, Z 세 방향 모두 10cm 내외로 분석되었다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 보급형 회전의 무인항공기 중의 하나인 DJI 팬텀2 비전 플러스를 이용하여 소규모 석회석 노천광산인 대성MDI(주) 석교사업소의 지형측량을 수행하였다. 비행고도 100 m, 비행속도 3 m/s, 촬영된 사진의 횡중복도 80%, 종중복도 80%로 조건을 설정하고 총 4회에 걸쳐 자동모드 비행을 수행한 결과 현장에서 총 89장의 항공사진을 획득할 수 있었으며, 작업시간은 30분이 소요되었다. 수목들만이 촬영되어 특이점을 추

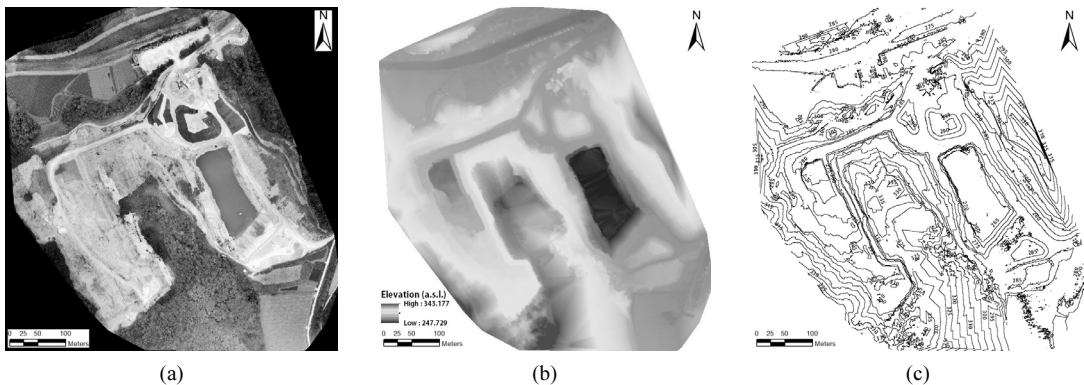
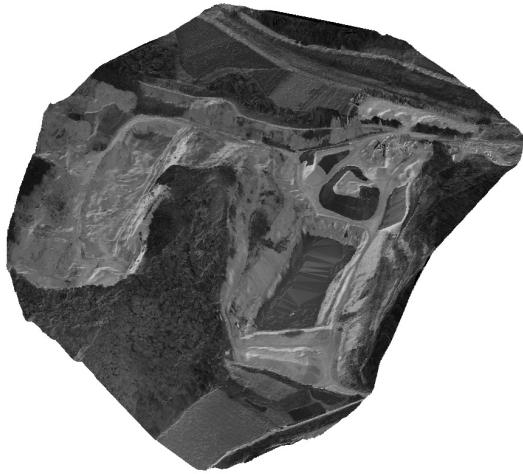


Fig. 7. Results of topographic surveying. (a) Orthomosaic image. (b) Digital surface model. (c) Topographic contours (interval: 5 m)



**Fig. 8.** 3D visualization of the study area using the orthomosaic image and digital surface model created by UAV photogrammetry

**Table 3.** Differences between the X, Y, Z-coordinates of ground control points measured by DGPS and those extracted by UAV photogrammetry

GCPs	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
1	-0.242	-0.011	-0.007
2	0.142	-0.013	-0.023
3	0.049	0.087	-0.048
4	-0.021	0.036	0.070
5	0.111	-0.120	-0.149
RMSE	0.137	0.069	0.077

출하기 어려운 한 장의 항공사진을 제외한 88장의 사진들을 Pix4D mapper pro(ver 2.0)로 자료처리한 결과, 총 3,400만 개의 3차원 점군 데이터가 추출되었고, 이로부터 5 cm 해상도의 정사영상과 수치표면모델 자료가 생성되었다. Windows 7 64-bit 운영체제, 2.93GHz × 4 CPU, 8G 내장메모리 조건의 컴퓨터에서 88장의 항공사진 자료를 처리하여 정사영상과 수치표면모델을 생성하는 데에는 총 2시간 30분이 소요되었다. 정확도 평가를 위해 연구지역에 설정한 5개 지상기준점에 대하여 지상에서 DGPS를 이용하여 측정한 위치 좌표와 회전익 무인항공기 사진측량시스템을 이용하여 추출한 위치 좌표를 비교한 결과 이들 간의 평균 제곱근 오차가 X, Y, Z 세 방향 모두 10 cm 내외로 나타났다. 이 결과는 타 분야에서 고정의 또는 회전익 무인항공기 사진측량시스템을 이용하여 지형측량을 수행했던 기존의 연구들(Turner et al., 2012, Jung et al., 2009, Lee et al., 2013, Rhee et al., 2015)과 비교할 때에는 유사한 오차

수준이며, 최근 Uysal 등(2015), Cryderman 등(2015)이 수행한 연구의 결과보다는 다소 큰 오차를 보인다. 팬텀2 비전 플러스에 탑재된 RGB 카메라가 어안렌즈를 사용하고 있어 오차발생의 주요한 원인이 되었을 것이라 추정된다. 그러나 노천광산의 지형도 작성을 위한 목적으로는 10 cm 내외의 오차를 가지는 지형측량 자료도 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다.

고가의 측량장비와 전문적인 기술 인력을 확보하지 못한 중소형 노천광산에서 채광장의 지형측량 문제는 극복해야 할 중요한 과제 중의 하나이다. 본 연구에서 소규모 석회석 노천광산을 대상으로 실증한 회전익 무인항공기 사진측량시스템은 넓은 영역을 신속하게 측량할 수 있으며, 사람이 접근하기 어려운 곳에도 쉽게 접근하여 작업을 수행할 수 있고, 합리적인 예산 범위에서 기술 도입이 가능하다. 또한, 1-2명 정도의 소수 인력으로 운영이 가능하다. 따라서 회전익 무인항공기 사진측량시스템은 기존의 측량 장비들을 대체하거나 보완할 수 있는 기술로서 노천광산 현장에서 실질적으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

현재 해외의 광업 선진국들에서는 광산현장의 생산성과 효율성 개선을 위해 무인항공기를 다양한 목적으로 활용하는 방안을 검토 중에 있다. 국내 광업 분야에서도 이러한 신기술의 활용 및 현장보급을 위한 기술개발이 필요할 것이다.

## 사 사

본 연구는 산업통상자원부 2단계 자원개발특성화사업 산학협력연구단(연구과제: 광물자원 탐사개발) 과제의 연구비 지원으로 수행되었다.

## References

1. Astuti, G., Longo, D., Melita, C. D., Muscato, G. and Orlando A., 2008, HIL tuning of UAV for exploration of risky environments, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 5, No. 4, 419-424.
2. Birk, A., Wiggerich, B., Bulow, H., Pfingsthorn, M. and Schwertfeger, S., 2011, Safety, security, and rescue missions with an unmanned aerial vehicle(UAV), *Journal of intelligent and robotic systems*, Vol. 64, No. 1, 57-76.
3. Cho, S.J., Bang, E.S. and Kang, I.M., 2015, Construction of Digital Terrain Model for Nonmetal Open-pit Mine by Using Unmanned Aerial Photograph, *Economic and Environmental Geology*, Vol. 48, No. 3, 205-212.
4. Cryderman, C., Bill Mah, S. and Shuffertski, A., 2014, Evaluation of UAV Photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations, *Geomatica*, Vol.

- 68, No. 4, 309-317.
5. Jung, S.H., Lim, H.M. and Lee, J.K., 2009, Analysis of the accuracy of the UAV photogrammetric method using digital camera, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 27, No. 6, 741-747.
  6. Kim, K.H., 2015, Construction of high resolution photo-realistic model using UAV photogrammetry, MS Thesis, Chungbuk National University, KOREA.
  7. Lee, I.S., Lee, J.O., Kim, S.J. and Hong, S.H., 2013, Orthophoto accuracy assessment of ultra-light fixed wing UAV photogrammetry techniques, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No. 6, 2593-2600.
  8. Lucieer, A., Jong, de S. M. and Turner, D., 2014, Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography, Progress in Physical Geography, Vol. 38, No. 1, 97-116.
  9. McLeod, T., Samson, C., Labrie, M., Shehata, K., Mah, J., Lai, P., Wang, L. and Elder, J.H., 2013, Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-pit mine, GEOMATICA, Vol. 67, No. 3, 173-180.
  10. Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J. and Joswig M., 2012, UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results, Engineering Geology, Vol. 128, No. 1, 2-11.
  11. Park, M.H., Kim, S.G. and Choi, S.Y., 2013, The study about building method of geospatial informations at construction sites by unmanned aircraft system(UAS), Journal of the Korean Cadastre Information, Vol. 15, No. 1, 145-156.
  12. Rhee, S., Kim, T., Kim, J., Kim, M.C. and Chang, H.J., 2015, DSM Generation and Accuracy Analysis from UAV Images on River-side Facilities, Journal of Remote Sensing, Vol. 31, No. 2, 183-191.
  13. Siebert, S. and Teizer, J., 2014, Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle(UAV) system, Automation in Construction, Vol. 41, 1-14.
  14. Turner, D., Lucieer, A. and Watson, C., 2012, An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery based on structure from motion (SfM) point clouds, Remote Sensing, Vol. 4, 1392-1410.
  15. Uysal, M., Toprak, A.S. and Polat, N., 2015, DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, Measurement, Vol. 73, 539-543.
  16. Zarco-Tejada, P.J., Diaz-Varela, R., Angileri, V. and Loudjani, P., 2014, Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods, European Journal of Agronomy, Vol. 55, 89-99.

---

### 이성재



2014년 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 공학사

Tel: 051-629-6550  
E-mail: lsjtjtwo@gmail.com  
현재 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 석사과정

---

### 최요순



2004년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공학사  
2009년 서울대학교 대학원 에너지시스템공학부 공학박사  
2010년 미국 펜실베이니아 주립 대학교 에너지자원공학과 Post-Doc

Tel: 051-629-6562  
E-mail: energy@pknu.ac.kr  
현재 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 부교수

---