

# 시간효율 관점에서 드론을 이용한 3차원 모형 구축과 평가

손승우<sup>1</sup>, 김동우<sup>1</sup>, 윤정호<sup>1</sup>, 전형진<sup>1</sup>, 강영은<sup>2</sup>, 유재진<sup>\*</sup>  
<sup>1</sup>한국환경정책·평가연구원, <sup>2</sup>(주)사이트플래닝 건축사사무소

## 3D Model Construction and Evaluation Using Drone in Terms of Time Efficiency

Seung-Woo Son<sup>1</sup>, Dong-Woo Kim<sup>1</sup>, Jeong-Ho Yoon<sup>1</sup>, Hyung-Jin Jeon<sup>1</sup>,  
Young-Eun Kang<sup>2</sup>, Jae-Jin Yu<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Land and Water Environment Research, Korea Environment Institute

<sup>2</sup>Research Department, Site Planning Co

**요약** 대형폐기물량을 산정해야 하는 상황에서 드론을 이용하여 폐기물의 3차원 모형을 구축하여 폐기물의 정량적인 양을 산출할 수 있다. 필요에 따라서 단시간에 폐기물량을 산정해야 하는 경우가 있다. 본 연구에서는 다양한 비행변수와 지상기준점 측량을 통해 드론 기반의 3차원 모형을 구축하고 정확도와 소요되는 시간의 관계를 분석하였으며 단시간에 폐기물량 산정을 위한 적절한 드론 활용 기법을 도출하고자 하였다. 드론을 이용하여 폐기물의 영상을 촬영하여 자동정합하고 3차원 좌표를 가지는 모형을 생성하였다. 3차원 모형의 정확도는 RMSE(Root Mean Square Error) 계산을 통해 평가하였다. 총 49개 모형의 RMSE는 최고 0.08부터 최저 124.75로 나타났다. 정확도가 높은 상위 15개 모형의 소요시간과 그 특성을 분석한 결과, RMSE가 0.08로 영상의 정확도가 가장 높은 1번 모형의 소요시간이 954.87분으로 나타났다. 또한 소요시간이 98.27분으로 가장 짧은 10번 3차원 모형의 RMSE는 0.15로써 정확도가 가장 높은 모형과 큰 차이가 없음을 확인하였다. 가장 효율적인 드론 비행변수는 비행고도 150m에서 높은 촬영중복도(중중복도 60-70%, 횡중복도 30-40%)이며 영상정합에 필요한 지상기준점 개수는 최소 10개 이상인 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 드론을 활용하여 신속하고 효율적인 폐기물량 산정하는데 기초자료로 활용될 수 있다.

**Abstract** In a situation where the amount of bulky waste needs to be quantified, a three-dimensional model of the wastes can be constructed using drones. This study constructed a drone-based 3D model with a range of flight parameters and a GCPs survey, analyzed the relationship between the accuracy and time required, and derived a suitable drone application technique to estimate the amount of waste in a short time. Images of waste were photographed using the drone and auto-matching was performed to produce a model using 3D coordinates. The accuracy of the 3D model was evaluated by RMSE calculations. An analysis of the time required and the characteristics of the top 15 models with high accuracy showed that the time required for Model 1, which had the highest accuracy with an RMSE of 0.08, was 954.87 min. The RMSE of the 10th 3D model, which required the shortest time (98.27 min), was 0.15, which is not significantly different from that of the model with the highest accuracy. The most efficient flight parameters were a high overlapping ratio at a flight altitude of 150 m (60-70% overlap and 30-40% sidelap) and the minimum number of GCPs required for image matching was 10.

**Keywords :** Flight parameters, Amount of waste, Root Mean Square Error, Ground Control Points, Accuracy of 3D Model

본 연구는 환경부의 환경정책기반공공기술개발사업(과제번호: 2016000200009)에서 지원받아 한국환경정책·평가연구원에서 수행하였음.

\*Corresponding Author : Jae-Jin Yu(Korea Environment Institute)

Tel: +82-44-415-7463 email: jjyu@kei.re.kr

Received August 22, 2018

Revised September 18, 2018

Accepted November 2, 2018

Published November 30, 2018

## 1. 서론

최근 드론(Drone) 기술의 발달로 인해 환경, 농업, 건축, 토목 등 다양한 분야에서 드론이 널리 이용되고 있다. 드론은 비교적 넓은 지역을 빠른 시간과 적은 비용으로 조사, 모니터링, 감시, 측량 등을 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 위성영상이나 항공사진에 비해 고해상도 영상을 취득할 수 있는데, 이를 통해 DEM(Digital Elevation Model)이나 DSM(Digital Surface Model)을 구축하고 정확도를 평가하는 연구[1-5]가 다수 수행되고 있다. 고해상도 영상을 기반으로 하여 지형의 변화를 관찰[6, 7]하거나 폐기물 체적을 산정[8]하는 등의 연구가 수행되고 있으며 촬영 방향이나 비행 고도, 영상의 중복도는 물론 지상기준점(GCP, Ground Control Points) 측량 개수 등의 변수를 다양하게 설정하여 연구를 진행하는 변수 기반의 정확도 평가 관련 연구[9-11]가 수행되고 있다.

드론은 다양한 목적을 가지고 문제를 해결할 때 비교적 짧은 시간에 탄력적으로 운용할 수 있다는 주요 장점을 가지고 있다. 예컨대, 드론용 소형라이다를 이용하여 지형을 측량하거나 모니터링하는 경우, 드론에 대기질 측정 센서를 부착하여 산업단지 등을 실시간으로 대기모니터링할 때 등이다.

또한 드론을 이용하여 대형 폐기물량을 산정하는 연구[8]를 보면 기존 기술인 GPS나 지상 라이다 등이 가진 시간의 한계점을 개선할 수 있다고 말하고 있다. 재난이 발생하면 빠른 시간에 폐기물량을 산정하여 후속조치를 마련해야 하고 환경감시의 대상 또한 인위적인 변화가 생기기 전에 폐기물 발생량이나 처리량 등을 산정하여 정확한 감시와 단속을 해야 한다. 현재까지 대형재난에서 폐기물 발생량을 예측하는 기술은 과거 자료를 통해 단순히 발생량을 예측하거나 위성영상 자료를 이용하여 원단위로 추정하지만 활용성과 정확성에 대한 문제는 지속적으로 제기되고 있다[8].

대형폐기물량을 산정해야 하는 상황에서 드론을 이용하여 폐기물의 3차원 모형을 구축한다면 드론의 주요 장점을 활용하여 폐기물의 정량적인 양을 산출할 수 있으며 이는 폐기물 분야와 드론기술을 융복합하여 산업발달에도 기여할 수 있다. 그러나 3차원 모형의 정확도에 영향을 주는 비행변수(비행고도와 중복도), 지상기준점 배치 및 측량 등을 어떻게 설정하고 실시하는 지에 따라 3

차원 폐기물 모형을 구축하는 시간이 크게 달라질 수 있다. 물론, 정밀하게 비행변수나 분석 과정을 설정하면 정확도는 높을 것으로 예상되나 시간효율이 떨어질 수밖에 없다.

따라서 다양한 비행변수와 지상기준점 측량을 통해 드론 기반의 3차원 모형을 구축하고 소요되는 시간과 정확도와의 관계를 보고자 하는 것이 본 연구의 주요 목적이다. 이를 통해 단시간에 폐기물량 산정을 위한 적절한 드론 활용 기법을 도출할 수 있을 것으로 보인다.

## 2. 연구재료와 방법

### 2.1 연구 재료

3차원 모형을 제작하는 데 소요되는 시간과 그 효율을 분석하기 위해 대상지를 선정하였다. 본 연구의 목적이 재난 발생 시 가장 빠르게 3차원 모형을 구축하기 위함이나 실제 재난 발생 지역을 대상으로 하기에는 어려운 점이 많다. 따라서 주변 지역과 고저차가 다소 나타나며 재난 발생지와 유사한 형태가 나타나는 지역으로 판단되는 곳을 대상으로 삼았다.

여러 대상 지역을 물색해 본 결과, 최종 대상지를 경기도 여주 남강한 일대로 선정하였다. 이 곳은 현재 곳곳에 준설토 폐기물이 쌓여 있는 곳이다(Fig. 1).

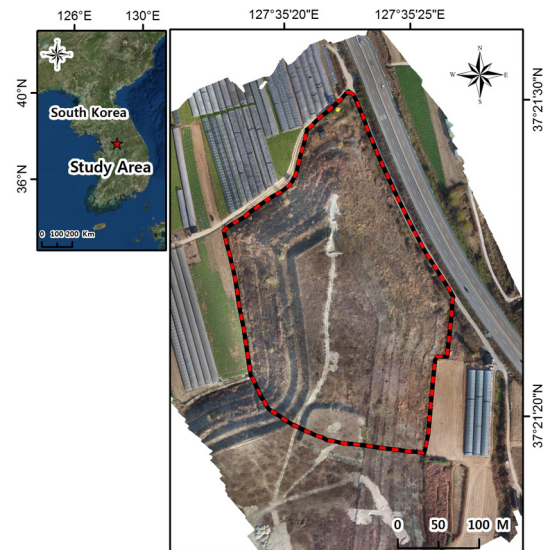


Fig. 1. Study area

3차원 모형 구축을 위해서는 영상취득을 위한 드론과 측량기 등이 필요한데, 드론은 비교적 바람의 영향을 적게 받는 회전익을 이용하였으며 부착된 카메라의 초점 거리는 15mm(DJI MTF), 16메가픽셀(4608x3456)이다. 지상기준점을 이용하여 절대표정을 실시하기 위해 VRS/RTK-GNSS를 이용하였으며 3차원 모형 제작은 Photocan(Agisoft, Russia)을 이용하였다(Table 1).

Table 1. Study Materials

Materials	Model	Detail
Drone	DJI Inspire 1 pro	max speed: 18m/s weight: 3.4kg flight time: about 15m
Camera	DJI Zenmuse X5	Sensor Size: 17.3 x 13.0 mm Max-Pixels: 16.0M Diagonal FOV: 72 degree Shutter Speed: 8-1/8000 sec
VRS-RTK GNSS	Trimble R8s	Satellite: GPS, GLONASS VRS H: 8mm+0.5ppm RMS VRS V: 15mm+0.5ppm RMS
Image processing S/W	Photocan ver 1.4.2	Photographic processing

## 2.2 연구 방법

영상취득을 위한 비행변수는 비행고도와 영상의 중복도로 구분하여 설정하였고 절대표정을 위한 지상기준점 개수 또한 다양하게 설정(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30개)하였다.

비행고도는 영상의 GSD(Ground Sampling Distance)에 직접적으로 영향을 주기 때문에 영상의 픽셀 크기를 좌우한다. 본 연구에서는 비행 고도를 50m, 80m, 120m, 150m로 구분하였다.

사진을 이용하여 3차원 영상을 제작하기 위해서는 촬영된 사진과 인접한 사진 사이에 다소 간의 중복도가 요구된다. 이러한 중복도는 결과물의 정확도에 영향을 미치기 때문에 촬영 전 중복도를 어떻게 설정할지가 매우 중요하다. 중복도는 종중복과 횡중복으로 구분하여 두 가지, (1) 종중복도 80-90%, 횡중복도 50-60% (2) 종중복도 60-70%, 횡중복도 30-40%로 설정하였다.

드론으로 촬영한 영상만을 이용하여 3차원 모형을 제작할 경우 위치정확도를 확보하기 어렵다. 따라서 VRS/RTK-GNSS를 이용하여 지상기준점을 측량한 뒤 절대표정을 실시하여 위치정확도를 확보하였다. 지상기

준점 개수는 0개, 5개, 10개, 15개, 20개, 25개, 30개로 구분하여 영상에 부여하였다.

영상처리를 위해 사용한 소프트웨어인 Photocan은 SIFT(Scale Invariant Feature Transform), SfM(Structure from Motion) 알고리즘을 이용하여 영상을 자동정합하고 3차원 좌표를 가지는 모형을 생성한다. 3차원 모형의 정확도는 영상의 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하여 위치 정확도를 통해 평가하였다. RMSE는 일반적으로 위치 정확도에 대한 기준 중 하나[12, 13]이며 드론을 이용하여 구축한 3차원 모형의 위치정보와 실제 측량을 통해 측정한 위치정보와의 비교를 통해 그 차이를 보는 것이다. 본 연구에서는 xyz 수치를 도출하여 비교 분석하였다.

## 3. 연구 결과 및 고찰

### 3.1 드론 기반 3차원 모형 구축

앞서 설정한 비행고도, 종·횡중복도의 비행변수와 지상기준점 개수에 따라 3차원 모형과 정사영상이 구축하였다. 영상이 정합되지 않은 7개를 제외하고 총 49개의 3차원 모형과 정사영상이 제작되었다.

영상이 정합되지 않아 3차원 모형을 구축할 수 없었던 비행변수는 50m의 비행고도와 종중복도 60-70%, 횡중복도 30-40%일 때의 영상이었다. 일반적으로 비행고도를 낮게 설정할 경우 공간해상도가 높아 영상의 정확도가 더욱 높아질 수 있다. 그러나 본 연구에서 가장 낮은 비행고도에서의 영상은 정합조차 되지 않았다. 이는, 대상지의 고저차가 크기 때문에 가장 높은 고도에서 드론이 비행하며 영상을 촬영할 때 촬영되는 면이 매우 작아 영상끼리 중복이 되지 않았기 때문으로 보인다. 이유 인즉, 동일한 고도에서 촬영한 영상 중 더 높은 중복도를 설정한 영상은 정합이 되었기 때문이다.

Fig. 2는 드론을 이용하여 촬영한 폐기물 지역 전체 영상과 일부분을 확대하여 3차원 모형과 비교한 그림이다.

3차원 모형의 정확도는 RMSE 계산을 통해 평가하였으며 총 49개 3차원 모형의 RMSE를 도출하였다. RMSE는 실제 위치값과 드론을 통해 구축한 3차원 모형의 위치값의 차이를 통계적으로 계산한 값으로 볼 수 있다. RMSE가 낮을수록 실제와 모형 간의 차이가 작으며 이는 곧, 정확도가 높다고 볼 수 있다.

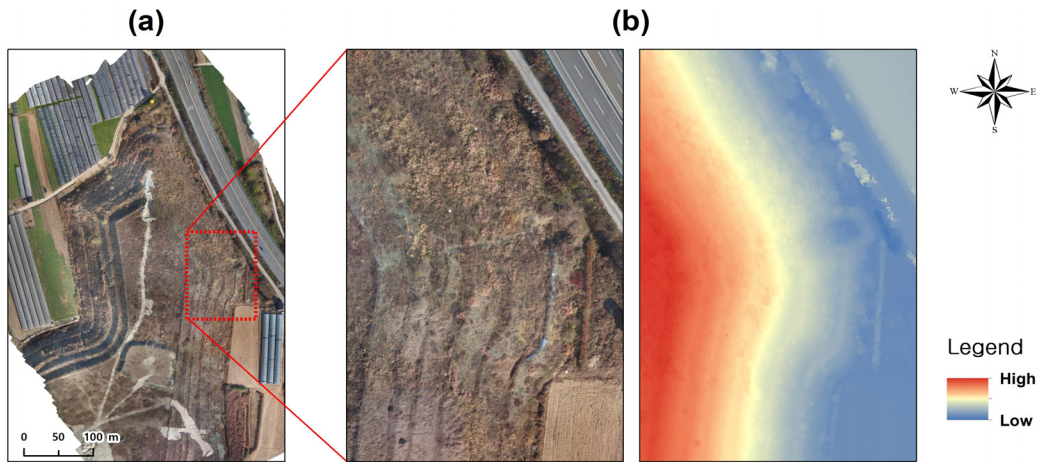


Fig. 2. (a) is Ortho image using drone. (b) are Ortho image and 3D model zoomed in version.

Table 2. Accuracy and Paramater of 3D Model Constructed with Drone

Number of 3D model	3D model accuracy of XYZ (RMSE [m])		Flight altitude(m) and Overlap*	Number of GCP
1	High	0.08	80, ↑	30
2		0.10	80, ↑	25
3		0.11	120, ↑	25
4		0.11	80, ↑	20
5		0.13	120, ↑	30
6		0.13	150, ↑	20
7		0.14	150, ↑	15
8		0.14	120, ↑	15
9		0.14	150, ↓	10
10		0.15	150, ↓	30
11		0.15	120, ↑	20
12		0.15	80, ↑	15
13		0.16	120, ↑	10
14		0.16	50, ↑	25
15		0.17	50, ↑	20
·		·	·	
·		·	·	
·		·	·	
·		·	·	
·		·	·	
·		·	·	
·		·	·	
35	Low	0.33	150, ↓	10
36		0.63	120, ↓	5
37		0.63	50, ↑	10
38		0.67	80, ↓	15
39		0.70	80, ↓	10
40		1.11	50, ↑	10
41		1.24	80, ↓	10
42		1.28	150, ↓	10
43		105.35	50, ↑	0
44		120.58	120, ↓	0
45		120.84	80, ↓	0
46		123.49	120, ↑	0
47		124.00	150, ↑	0
48		124.07	80, ↑	0
49		124.75	150, ↓	0

\* ↑ : Forward lap 80-90%, Side lap 50-60%  
 ↓ : Forward lap 60-70%, Side lap 30-40%

Table 2는 총 49개의 3차원 모형 중에서 정확도가 높은 상위 15개, 정확도가 낮은 하위 15개를 선별하여 나타낸 표이며 Fig. 3은 정확도가 높은 상위 4개, 정확도가 낮은 하위 4개의 3차원 모형이다.

정확도는 비행고도 80m, 중중복도 80-90%, 횡중복도 50-60%, 지상기준점 30개를 적용한 3차원 모형이 RMSE값 0.08m로 나타남에 따라 가장 높은 정확도를 보였다. 반대로 비행고도 80m, 중중복도 80-90%, 횡중복도 50-60%, 지상기준점 0개를 적용한 3차원 모형이 RMSE값 124.07m로, 가장 낮은 정확도를 보였다. ‘항공 레이저측량작업규정’에의하면 RMSE 한계를 0.25 m로 규정[7, 8]하고 있는데, 본 연구에서 도출한 3차원 모형에서 상위 15개의 모형은 이를 모두 충족하고 있지만 하위 15개 모형은 충족하지 못하는 것으로 나타났다(Table 2). 하지만 위에서 언급한 규정은 항공기가 수 백미터 이상의 고도에서 측량한 기준[8]으로써 드론으로 도출한 결과에 적용하기에는 다소 무리가 있다. 현재 드론을 이용한 공공측량 제도를 도입 중에 있으며 추후 드론을 이용하여 측량 시 RMSE 한계는 항공기 기준보다 낮아질 것으로 보인다.

정확도가 높은 상위 15개의 3차원 모형을 살펴보면, 비행 고도 변수는 50m, 80m, 120m, 150m값이 모두 포함되어 특정 고도에서 높은 정확도를 보이지는 않았다. 지상기준점 개수는 0개와 5개를 제외한 모든 개수가 포함되었으며 특히, 20개 이상에서 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 중중복도의 경우, 10번 3차원 모형(Table 2)을 제외하고 모두 중중복도 80-90%, 횡중복도 50-60%에서 높은 정확도를 보였다.

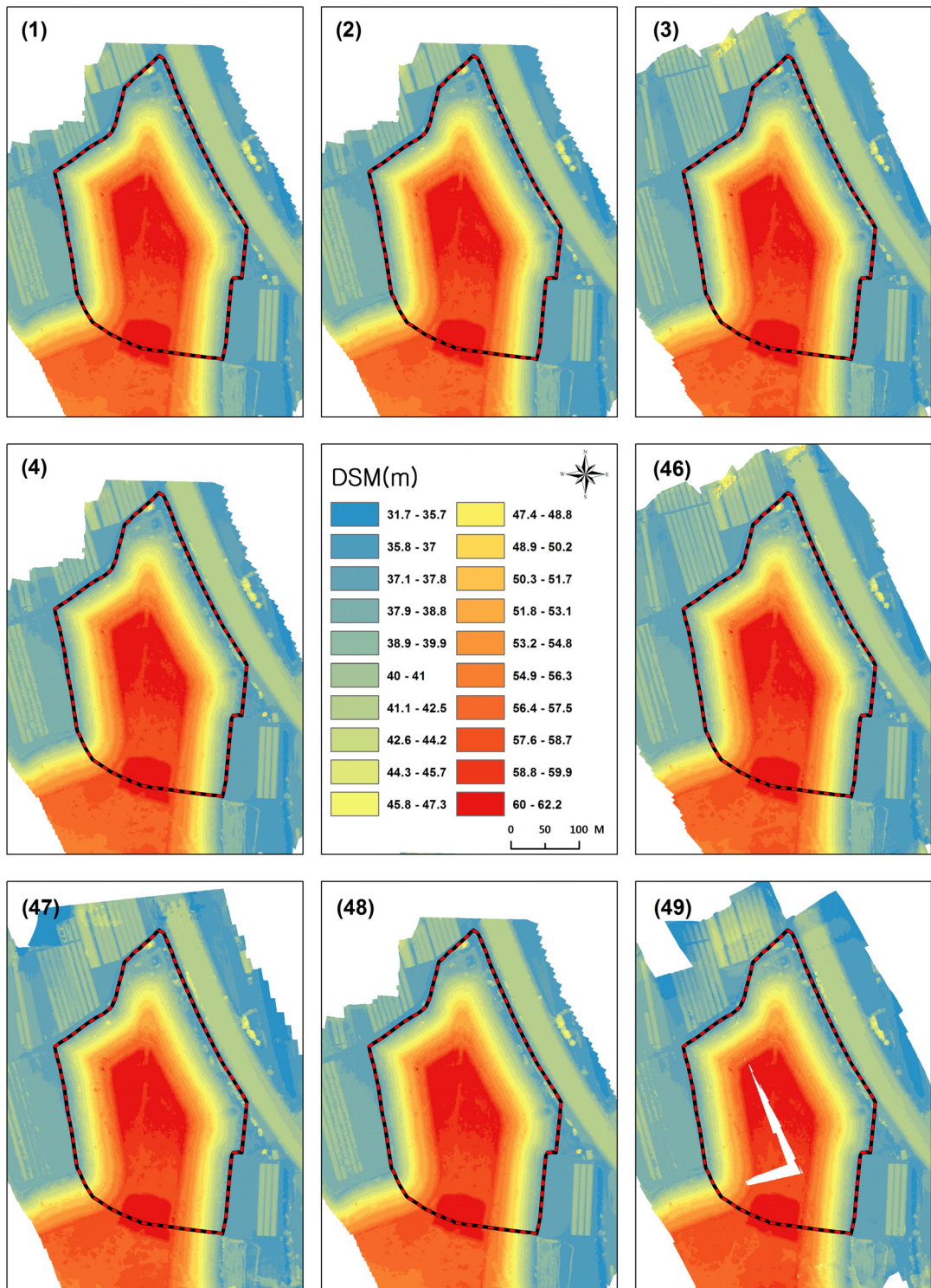


Fig. 3. Digital Surface Model using Drone (1~4: High Accuracy / 46~49: Low Accuracy)

이러한 결과를 비추어 보면 중복도의 경우, 높은 중복도(중복도 80-90%, 횡중복도 50-60%)에서 모형의 정확도가 높게 나타나며 지상기준점은 최소 10개 이상을 영상에 반영해야 함을 알 수 있다.

정확도가 높은 상위 15개의 3차원 모형은 RMSE값 차이가 크지 않음에 따라 소요시간 분석을 통해 효율적인 3차원 모형 구축에 필요한 변수를 분석할 필요가 있다.

### 3.2 3차원 모형 구축 소요시간 분석

Table 2에서 보여준 정확도가 높은 상위 15개 3차원 모형의 구축 소요시간을 분석하였다(Table 3). 드론이 이륙하여 착륙할 때까지 영상을 촬영하는 시간, 지상기준점을 측량하는 시간, 소프트웨어를 통해 촬영한 영상을 분석하여 3차원 모형으로 구축하는 시간으로 구분하였다. 지상기준점 측량 시간은 기준점 간 이동시간을 포함해 한 점당 약 2분 정도가 소요됨에 따라 한 개당 측량시간을 2분으로 계산하였다.

Table 3에서 볼 때, RMSE가 0.08m로써 정확도가 가장 높은 1번 3차원 모형은 드론 비행에 20분, 지상기준점 측량에 60분, 영상분석에 874.87분이 소요되어 총 954.87분의 시간이 소요됐다. 정확도가 높은 상위 15개의 모형 중에서 소요시간이 가장 많은 15번 3차원 모형은 1058.78분으로써 가장 높은 정확도를 보이는 1번 3차원 모형과 큰 차이를 보이지 않았다.

반대로 소요시간이 가장 짧은 10번 3차원 모형은 드

론 비행에 3분, 지상기준점 측량에 60분, 영상분석에 35.27분이 소요되어 총 98.27분의 시간이 소요됐다. 모형의 정확도는 RMSE가 0.15m로써 정확도가 가장 높은 1번 3차원 모형과의 RMSE가 0.07m차이이며 이는 매우 작은 차이로 볼 수 있다. 이를 통해 3차원 모형을 구축하는 시간 차이가 커도 정확도에서 큰 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있다.

따라서 시간효율적 관점에서 본다면 3차원 모형 제작을 위한 드론 촬영 시 설정한 변수인 비행고도, 중복도, 지상기준점 개수 각각을 고려해볼 필요가 있다. 3차원 모형 제작에 투입되는 세 가지 소요시간 중 영상분석에 필요한 시간이 가장 많다. 이는 대부분 비행고도와 영상 중복도에 직접적 영향을 받는다. 낮은 고도에서 촬영할수록, 중복도가 높을수록 많은 수의 영상이 획득되 때문이다. 중복도의 경우, 15개의 3차원 모형 중에서 1개(10번)를 제외하고 모두 높은 중복도에서 정확도가 높기 때문에 중복도는 높게 설정해야 할 것으로 보인다. 지상기준점은 10개 미만의 3차원 모형은 정확도가 높지 않아 최소 10개를 측량해야 할 것으로 판단된다. 이를 정리하면, 3차원 모형을 구축하기 위한 효율적인 비행 변수는 150m의 비행고도와 중중복도 60-70%, 횡중복도 30-40%, 지상기준점 10개 이상으로 설정해야 한다. 정확도가 높은 상위 15개의 3차원 모형 중 위의 조건을 만족하는 모형은 6번, 7번, 9번(Table 3)으로써 약 100분~150분만에 3차원 모형을 구축한 것으로 확인할 수 있다.

Table 3. Time spent building 3D model (top 15 with high accuracy)

Number of 3D model	3D model accuracy of XYZ (RMSE [m])	Entire of work time(minute)	Flight altitude(m) and Overlap*, / Flight time(minute)		Number of GCP, Survey time(minute)		Image processing time (minute)
			Flight altitude(m)	Overlap*	Number of GCP	Survey time(minute)	
1	0.08	954.87	80, ↑	20	30	60	874.87
2	0.10	941.82	80, ↑	20	25	50	871.82
3	0.11	442.5	120, ↑	9	25	50	383.50
4	0.11	924.77	80, ↑	20	20	40	864.77
5	0.13	451.45	120, ↑	9	30	60	382.45
6	0.13	131.15	150, ↑	4	20	40	87.15
7	0.14	121.17	150, ↑	4	15	30	87.17
8	0.14	420.47	120, ↑	9	15	30	381.47
9	0.14	111.12	150, ↑	4	10	20	87.12
10	0.15	98.27	150, ↓	3	30	60	35.27
11	0.15	430.38	120, ↑	9	20	40	381.38
12	0.15	923.82	80, ↑	20	15	30	873.82
13	0.16	409.35	120, ↑	9	10	20	380.35
14	0.16	1051.65	50, ↑	46	25	50	955.65
15	0.17	1058.78	50, ↑	46	20	60	952.78

\* ↑ : Forward lap 80-90%, Side lap 50-60%    ↓ Forward lap 60-70%, Side lap 30-40%

#### 4. 결론

본 연구는 재난이나 대규모 공사현장에서 발생하는 폐기물의 발생량을 신속하고 정확하게 계산하는데 가장 효율적인 드론 활용기법을 도출하고자 하였다. 따라서 비행변수와 측량기준점을 다양하게 설정하여 폐기물의 3차원 모형을 구축하고 모형 구축에 소요된 시간과 xyz RMSE 정확도를 계산하여 그 관계를 분석하였다. 드론의 비행변수로는 비행고도와 영상의 중복도를 설정하였다. 비행고도는 50m, 80m, 120m, 150m로 구분하였고 중복도는 높은 중복도(중중복도 80-90%, 횡중복도 50-60%)와 낮은중복도(중중복도 60-70%, 횡중복도 30-40%)로 구분하였다. 영상처리 과정에서 사용되는 지상기준점은 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30개로 달리 적용하였다.

낮은 중복도와 고도로 인해 영상이 정합되지 않은 7개를 제외하고 총 49개의 3차원 모형과 정사영상이 제작되었다. 49개 모형의 RMSE는 최고 0.08부터 최저 124.75로 나타났다. 이 가운데 정확도가 높은 상위 15개의 모형의 소요시간과 그 특성을 분석하였다.

정확도 상위 15개 모형 가운데 4개의 모형이 150m고도에서 촬영한 영상을 활용한 것으로 확인되었다. 촬영 중복도는 15개 모형 가운데 10번 모형을 제외하고 모두 높은 중복도에서 촬영한 영상을 사용한 것으로 나타나 중복도는 높게 설정해야 하는 것으로 나타났다. 지상기준점의 개수가 10개 미만인 모형은 상위 15개 모형에 포함되지 않아 모형 구축 시 지상기준점은 최소 10개 이상 활용해야 하는 것으로 나타났다. RMSE가 0.08로 가장 낮게 나타난 1번 모형의 소요시간이 954.87분으로 나타났다. 그러나 소요시간이 1058.78분으로 가장 긴 15번 3차원 모형의 RMSE가 0.17로 나타나 두 모형 간의 정확도는 0.09로 크게 차이하지 않았다. 또한 소요시간이 98.27분으로 가장 짧은 10번 3차원 모형의 RMSE도 0.15로써 정확도가 가장 높은 모형과 큰 차이가 없음을 확인하였다. 즉, 소요시간과 RMSE는 비례하지 않는 것으로 나타났다.

본 연구에서 촬영한 폐기물량 산정에 가장 효율적인 드론 비행변수는 비행고도 150m에서 높은 촬영중복도(중중복도 60-70%, 횡중복도 30-40%)이며 영상정합에 필요한 지상기준점 개수는 최소 10개 이상인 것으로 나타났다. 위의 조건에 해당되는 모형은 6번, 7번, 9번 모형으로 xyz RMSE는 약 0.13~0.14로 나타났으며 3차

원 모형 구축 소요시간은 약 100~150분인 것으로 확인되었다.

향후에는 실측한 폐기물량과 드론 기반의 3차원 모형 기반의 폐기물량과의 비교 연구를 통해 더욱 정교한 검증이 필요할 것으로 보인다. 또한 대형 폐기물을 원활하게 관리하고 처리하기 위해서는 향후에 폐기물 성상을 파악하여 중량을 산정하는 연구 또한 필요할 것으로 보인다. 이는, 드론과 센서에 대한 향후 연구로 수행할 필요가 있다.

본 연구의 결과는 드론을 활용하여 신속하고 효율적인 폐기물량 산정하는데 기초자료로 활용될 것으로 판단되며 폐기물 처리, 관리 등의 분야에서 드론기술의 적용을 통해 산업적 발전에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

#### References

- [1] Rock, G., Ries, J. B. & Udelhoven, T., "Sensitivity analysis of UAV-photogrammetry for creating digital elevation models (DEM). In Proceedings of Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics.
- [2] Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N., "DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill", *Measurement* 73, pp. 539-543, 2015.
- [3] S. A. Rhee, T. J. Kim, J. I. Kim, M. C. Kim & H. J. Chang, "DSM Generation and Accuracy Analysis from UAV Images on River-side Facilities", *Korean Journal of Remote Sensing* 31(2), pp. 183-191, 2015.
- [4] G. S. Lee, Y. W. Choi & J. J. Lee, "Building of 3D Terrain Modeling and Evaluation of Location Accuracy using UAV in Beach Area", *Korean Association of Cadastre Information* 18(2), pp. 207-216, 2016.
- [5] Coveney, S., & Roberts, K., "Lightweight UAV digital elevation models and orthoimagery for environmental applications: data accuracy evaluation and potential for river flood risk modelling", *International journal of remote sensing* 38(8-10), pp. 3159-3180, 2017.
- [6] Pérez Alberti, A., & Trenhaile, A. S., "An initial evaluation of drone based monitoring of boulder beaches in Galicia, north western Spain", *Earth Surface Processes and Landforms* 40(1), pp. 105-111, 2015.
- [7] J. J. Yu, H. S. Park, Y. J. Yang & D. H. Jang, "Assessing the Applicability of UAS for Detecting Geomorphological Changes in Coastal Areas: A Case Study in the Baramarae Beach in Anmyeon-do", *Journal of the Korean geomorphological association* 23(4), pp. 113-126, 2016.
- [8] S. W. Son, J. J. Yu, H. J. Jeon, S. H. Lim, Y. E. Kang, & J. H. Yoon, "Investigation of Measurement Feasibility of Large-size Wastes Based on Unmanned Aerial System", *Korean Journal of Remote Sensing* 33(5), pp. 809-820, 2017

- [9] Udin, W. S., & Ahmad, A, "Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation flying altitude using unmanned aerial vehicle", In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 18(1), pp. 012027, 2014.
- [10] Mesas-Carrascosa, F. J., Notario García, M. D., Meroño de Larriva, J. E., & Garcia-Ferrer, A, "An analysis of the influence of flight parameters in the generation of unmanned aerial vehicle (UAV) orthomosaics to survey archaeological areas", Sensors 16(11), pp. 1838, 2016.
- [11] Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P, "Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle", Measurement 98, pp. 221-227, 2017.
- [12] Tomašík, J., Mokroš, M., Saloň, Š., Chudý, F., & Tunák, D, "Accuracy of photogrammetric UAV-based point clouds under conditions of partially-open forest canopy", Forests 8(5), pp. 151, 2017.
- [13] Yu Jae Jin, Park Hyun-su, Kim dong woo, Jeong Ho Yoon, & Seung Woo Son, "Assessing the Applicability of Sea Cliff Monitoring Using Multi-Camera and SfM Method", Journal of the Korean geomorphological association 25(1) pp. 67-80, 2018.

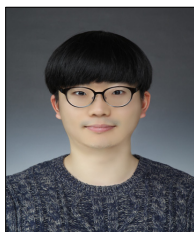
**손 승 우(Seung-Woo Son) [정회원]**



- 2013년 8월 : 서울대학교 생태조경학과 (조경학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 협동과정조경학 박사수료
- 2013년 7월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>  
환경정보, 환경계획, 공간분석, 드론기반 영상분석

**김 동 우(Dong-Woo Kim) [정회원]**



- 2018년 2월 : 공주대학교 지리학과 (지리학석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>  
GIS, 원격탐사, 드론기반 영상분석

**윤 정 호(Jeong-Ho Yoon) [정회원]**



- 1997년 2월 : 고려대학교 산림자원학과 (농학석사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 산림자원학과 (이학박사)
- 1996년 7월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 선임연구위원

<관심분야>  
환경영향평가, 환경정보, 원격탐사

**전 형 진(Hyung-Jin Jeon) [정회원]**



- 2005년 8월 : 한양대학교 공학대학원 (대기공학 석사)
- 2011년 2월 : 한양대학교 일반대학원 보건학과 (보건학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 초빙연구위원

<관심분야>  
환경영향평가, 환경보건, 환경정보

**강 영 은(Young-Eun Kang) [정회원]**



- 2009년 2월 : 서울대학교 생태조경학과 (조경학석사)
- 2012년 2월 : 서울대학교 협동과정 조경학 (공학박사)
- 2018년 7월 ~ 현재 : ㈜씨이트플래닝 건축사사무소 기업부설연구소 소장

<관심분야>  
환경계획, 공간통계, 기후변화 적응, 경관



유 재 진(Jae-Jin Yu)

[정회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 지리학과 (지리학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 지리학 박사수료
- 2016년 12월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>

지형, 원격탐사, GIS, 드론기반 영상분석