

무인항공기를 이용한 야적퇴비 적재량 산정 정확도 평가

김흥민* · 박수호* · 윤홍주** · 장선웅***

Accuracy Evaluation of Open-air Compost Volume Calculation Using Unmanned Aerial Vehicle

Heung-Min Kim* · Su-Ho Bak* · Hong-Joo Yoon** · Seon-Woong Jang***

요약

야적퇴비는 농경지의 작물 양분 공급원으로 가치를 가지는 반면, 강우 시 환경에 악영향을 미치는 오염원으로 작용하게 되며, 이에 대한 관리가 요구된다. 본 연구에서는 광범위 영상 취득 및 자동 경로 비행이 가능한 고정익 무인항공기를 이용한 야적퇴비 적재량 산출 정확도 분석 및 활용 가능성을 파악하고자 하였다. 야적퇴비 3개소에 대한 적재량 산출 정확도를 평가하고자 지상 LiDAR 측량 및 회전익 무인항공기를 이용한 정밀 측량을 수행하였으며, 고정익 무인항공기를 통해 취득된 적재량과 비교하였다. 지상 LiDAR를 기준으로 야적퇴비 적재량 산출 비교 결과 회전익 기체의 오차율은 $\pm 5\%$, 고정익 기체의 오차율은 $-15 \sim -4\%$ 로 추정하였다. 고정익 기체에서 산출된 1개의 야적퇴비 적재량이 약 -15% 로 과소추정 하였으나 야적퇴비 적재량의 편차는 2.9 m^3 로 큰 차이는 없었다. 또한 고정익 무인항공기를 이용한 주기적인 모니터링 결과 대상 지역에 위치한 야적퇴비 적재량의 시계열 변동 파악할 수 있었다. 이러한 결과는 고정익 무인항공기를 이용한 넓은 범위의 대한 효율적인 야적퇴비 모니터링 및 농경지의 비점오염원 관리가 가능함을 제시하였다.

ABSTRACT

While open-air compost has value as a source of nutrients for crops in agricultural land, it acts as a pollution that adversely affects the environment during rainfall, and management is required. In this study, it was intended to analyze the accuracy of calculating open-air compost volume using fixed-wing UAV (unmanned aerial vehicle) capable of acquiring a wide range of images and automatic path flights and to identify the possibility of utilization. In order to evaluate the accuracy of calculating the three open-air compost volume, ground LiDAR surveys and precision surveys using a rotary UAV were performed, and compared with the open-air compost volume acquired through a fixed-wing UAV. As a result of comparing the calculation of open-air compost volume based on the ground LiDAR, the error rate of the rotary-wing was estimated to be $\pm 5\%$, and the error rate of fixed-wing was $-15 \sim -4\%$. one of three open-air compost volume calculated by fixed-wing was underestimated as about -15% , but the deviation of the open-air compost volume was 2.9 m^3 , which was not significant. In addition, as a result of periodic monitoring of open-air compost using fixed-wing UAV, changes in the volume of open-air compost with time could be confirmed. These results suggested that efficient open-air compost monitoring and non-point pollutants in agricultural for a wide range using fixed-wing UAV is possible.

키워드

UAV(Unmanned Aerial Vehicle), LiDAR, DSM(Digital Surface Model), Open-Air Compost
무인 항공기, LiDAR, 수치 표면 모델, 야적퇴비

* ㈜아이렘기술개발 기업부설연구소(funwarm@iremtech.co.kr) · Received : Apr. 10, 2021, Revised : May. 14, 2021, Accepted : Jun. 17, 2021

** 부경대학교 공간정보시스템공학과(yoonhj@pknu.ac.kr) · Corresponding Author : Seon-Woong Jang

*** 교신저자 : ㈜아이렘기술개발

· IREMTECH Co., Ltd.

· 접수일 : 2021. 04. 10

Email : jsw@iremtech.co.kr

· 수정완료일 : 2021. 05. 14

· 게재확정일 : 2021. 06. 17

I. 서 론

퇴비는 농경지의 작물 양분 공급원으로 가치를 가지지만, 적절하게 관리되지 않고 야적될 경우 환경에 악영향을 미치는 오염원으로 작용하게 된다[1]. 농경지에서 야적퇴비가 비점오염원으로 지적되고 있으나 적재량 및 분포 파악의 한계로 강우 시 유실 또는 유출되는 양을 파악하기 어렵다. 이러한 비점오염원은 강우 시 수질에 직접적인 영향을 주고 있는 주요 오염물질의 유입원으로 알려지고 있다[2]. 따라서 야적퇴비에 대한 분포 및 적재량을 파악하여 관리가 요구된다.

야적퇴비의 분포 및 적재량 파악을 위해서 넓은 범위의 농경지에 대한 모니터링이 필요하다. 그러나 농경지 전 지역에 대한 모니터링은 많은 비용 및 시간이 소요된다. 최근 넓은 지역에 대해 단시간 저렴한 비용으로 조사할 수 있는 원격탐사를 이용한 모니터링 방법이 제시되고 있다[3]. 과거에는 위성영상 또는 유인 항공기를 이용한 원격탐사 연구가 활발하게 진행되었으나, 원격탐사 플랫폼 발전 및 센서의 소형화로 인해 무인항공기(UAV : Unmanned Aerial Vehicle)를 이용한 원격탐사 연구가 진행되고 있다.

무인항공기는 기존의 위성영상이나 유인 항공기에 비해 경제적으로 저렴하고 공간해상도 및 시간해상도의 우수성으로 다양한 분야에서 활용되고 있다[4, 5]. 무인항공기를 이용한 수치사진측량은 유인 항공측량시스템보다 단시간, 저비용으로 3차원 지형 공간정보 생성 및 체적 분석이 가능하다[6]. 체적 산정을 위한 기존의 지상측량 방법은 작업자의 주관이 개입될 수 있으나 수치사진측량 데이터를 이용하면 컴퓨터의 하드웨어와 소프트웨어에 의하여 도출됨으로써 단기간에 정량적 체적을 산정할 수 있다[7]. 무인항공기를 이용한 체적 산정 연구로 김 등[8]은 무인항공기를 이용하여 해식에 체적 산정 및 정량적 해식의 침식량을 제시하였으며, 유 등[9]은 무인항공기를 이용한 해안지역의 시계열 지형변화 분석에 활용 가능성을 평가하였다. 특히 정량적 수직 위치 정확도 확보를 통해 신뢰도 높은 DSM(: Digital Surface Model)이 생성 가능함을 보였다.

강우 시 비점오염원으로 인한 직접적인 영향을 받는 하천 모니터링 또한 무인항공기를 이용한 모니터링 방법이 제시되었다. 김 등[10]은 하천의 비점오염원 중 하나인 하천부유쓰레기를 대상으로 무인항공기를 이용한 모니

터링을 통해 집적된 하천부유쓰레기의 성상 및 발생 면적을 추정하였다. 또한 김 등[11]은 하천부유쓰레기의 정제로 인한 수환경 오염에 대한 평가를 진행하였다. 하천 모니터링 연구는 무인항공기를 이용한 하천 유역의 침수 모니터링[12] 및 무인항공탑재 다중분광 센서를 이용한 녹조 모니터링[13] 등에 대한 연구가 진행되었다.

지상 레이저 스캐닝(LiDAR, Light Detection And Ranging) 측량 및 무인항공기를 이용한 정밀 측량을 통해 야적퇴비 적재량 산출이 가능하다. 그러나 광범위한 농경지에 개별 야적퇴비 적재량 산출을 위한 지상 LiDAR 측량 및 무인항공기 정밀 측량은 많은 비용과 시간이 필요하다. 고정익 무인항공기는 높은 고도에서 비행하며 넓은 범위의 농경지에 대한 모니터링이 가능하며 야적퇴비 적재량을 효율적으로 파악할 수 있다. 그러나 높은 고도에서 취득된 자료를 통한 야적퇴비 적재량 산출에 대한 효용성 및 정확도 평가는 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 광범위 무인항공영상 취득 및 자동 경로 비행이 가능한 고정익 무인항공기를 이용한 야적퇴비 적재량 산출 정확도 분석 및 활용 가능성을 파악하고자 하였다.

II. 연구 자료 및 방법

2.1 연구지역 및 자료

본 연구 대상 지역은 광려천 하류부에 위치한 경상남도 함안군 덕남리 일대이다. 광려천 하류부는 본류인 낙동강과 합류하는 지점이며, 해당 지점은 여름철 녹조 발생빈도가 높은 녹조 발생 우심지역이다. 또한 축사시설 및 광범위한 농경지로 인한 비점오염원 유출이 우려되는 지역이다. 따라서 본 연구에서는 경상남도 함안군 덕남리에 분포하고 있는 야적퇴비를 대상으로 자료를 수집하였다(Fig. 1).

동일한 영역의 야적퇴비 적재량 산출을 위해서 야적퇴비 주변 안전띠를 이용하여 적재량 산출 범위를 설정하였다(Fig. 2). 무인항공기를 이용한 야적퇴비 적재량 산정의 검증을 위하여 지상 LiDAR 측량을 수행하였다. 지상 LiDAR 측량과 동일 시기, 동일한 위치의 야적퇴비에 대한 회전익 무인항공기 정밀 측량을 수행하였다. 또한 고정익 무인항공기를 이용하여 농경지 및 지상 LiDAR 측량 지점을 포함하는 광려천 하류 2km에 해당하는 지역에

대한 무인항공영상 촬영을 수행하였으며, 촬영 범위 내 야적퇴비에 대한 영상 자료를 취득하였다. 지상 LiDAR, 회전익 무인항공기, 고정익 무인항공기로 취득된 자료는 전처리 후 DSM을 제작하여 야적퇴비 적재량을 산출하였다. 이후 LiDAR 야적퇴비 적재량을 기준으로 회전익 및 고정익 무인항공기의 야적퇴비 적재량에 대한 정확도 평가를 수행하였다.

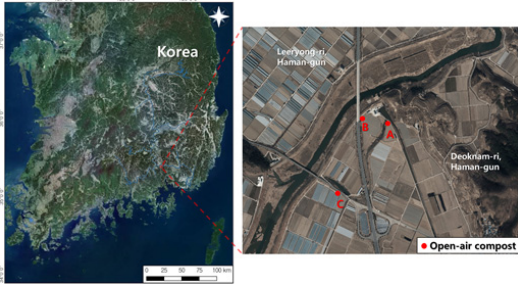


그림 1. 연구지역
Fig. 1 Study area




그림 2. 연구지역 내 야적퇴비, (a) 야적퇴비 A, (b) 야적퇴비 B, (c) 야적퇴비 C
Fig. 2 Open-air compost in the study area (a) compost A, (b) compost B, (c) compost C

2.2 지상 레이저 스캐닝(LiDAR) 측량

야적퇴비의 적재량 산정 및 무인항공기를 이용한 야적퇴비 적재량 산정 비교를 위해 지상 LiDAR를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 지상 LiDAR는 Leica RTC360 Laser Scanner를 사용하였다(Table. 1)

표 1. LiDAR 제원
Table 1. Specification of LiDAR

Distance measurement	High-speed, high dynamic time of flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology	
Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1:2014), 1550 nm (Invisible)	
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)	
Range	Min. 0.5 - up to 130 m	
Speed	Up to 2,000,000 pts / sec	
Resolution	3 user selectable settings (3/6/12 mm@ 10 m)	
Accuracy	Angular accuracy 18" Range accuracy 1.0 mm + 10 ppm 3D point accuracy 1.9 mm @ 10 m 2.9 mm @ 20 m 5.3 mm @ 40 m	
Range noise	0.4 mm @ 10 m, 0.5 mm @ 20 m	

지상 LiDAR 측량은 먼저 측량 구간의 조망이 양호한 지상 기준점을 먼저 선정하여 GPS VRS(: Virtual Reference Station) 방법으로 측량을 실시하였고 설치된 기준점에서 Scan data를 취득하였다. 취득된 자료를 GPS와 연동하여 원시자료를 생성하였으며, LAS 파일을 형성 후 DSM를 생성하여 야적퇴비 적재량 비교에 사용되었다. 야적퇴비 주변 지상 기준점을 설치하기 위해 각 구역별로 A 지역은 4점, B 지역은 5점, C 지역은 4점을 설치하였다. 지상 LiDAR는 A 지역은 7점, B 지역은 6점, C 지역은 4점을 설치하였다. 야적퇴비 주변 지상 기준점 및 지상 LiDAR의 위치도는 Fig. 3과 같다.




그림 3. LiDAR 및 지상 기준점 위치, (a) 야적퇴비 A, (b) 야적퇴비 B, (c) 야적퇴비 C.
Fig. 3 Datum points and LiDAR location, (a) compost A, (b) compost B, (c) compost C.

2.3 무인항공영상 촬영

무인항공기를 이용한 야적퇴비 정밀 측량을 위해 회전익 무인항공기를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 회전익 무인항공기는 DJI Phantom4 RTK를 사용하였다(Table

2). Phantom4 RTK는 RTK(Real-Time Kinematic) 모들이 기체에 장착되어 cm 급의 위치 정확도 확보가 가능하다.

표 2. Phantom4 RTK 제원
Table 2. Specification of Phantom4 RTK

	Weight	1,391 g
	Maximum flight time	30 min
	Maximum control distance	7 km
	Sensor	1" CMOS Pixel : 20 MP
	FOV (Field of View)	84°

야적퇴비의 적재량을 산정하기 위한 Phantom4 RTK 영상 취득은 DJI GSR(Ground Station RTK) 어플리케이션을 이용하였다. GSR은 Phantom4 RTK(이하 회전익 기체)의 비행 컨트롤 어플리케이션이며 비행 경로 설정, 촬영 고도, 촬영 각도, 영상 중복률 등 설정 가능하다. 본 연구에서는 야적퇴비의 정밀 측량을 위해 이중 격자 형태로 비행계획을 수립하였다. 촬영 고도는 50 m, 중·횡중복도는 80%로 설정하였다. 야적퇴비 A, B는 인접한 위치에 있어 1회 비행으로 영상을 취득하였고 야적퇴비 C는 1회 추가 비행을 통해 영상을 취득하였다(Fig. 4).

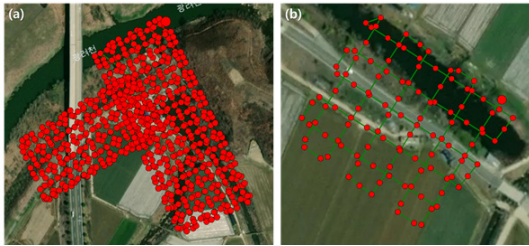




그림 4. 회전익 기체 비행경로 및 영상 취득 위치, (a) 야적퇴비 A, B, (b) 야적퇴비 C.

Fig. 4 Rotary-wing flight path and image acquisition location, (a) compost A, B, (b) compost C.

고정익 무인항공기는 동체의 프로펠러를 이용하여 날개에 양력을 얻어 비행하는 형태로 무게가 가볍고 하나의 프로펠러를 이용하여 적은 전력으로 장시간 비행이 가능하다[8]. 따라서, 고정익 무인항공기는 넓은 농경지에 분포된 야적퇴비 모니터링에 효율적으로 활용할 수 있다. 본 연구에서 사용된 고정익 무인항공기는 Sensefly eBee

X(이하 고정익 기체)를 사용하였으며, 영상 취득을 위해 Duet T 카메라를 사용하였다(Table 3). Duet T는 동일한 시간 및 위치에서 RGB, 열적외 영상을 취득할 수 있다. 본 연구에서는 RGB 영상을 사용하였다.

표 3. eBee X, Duet T 제원
Table 3. Specification of eBee X, Duet T

eBee X		
	Weight	1,391 g
	Maximum flight time	90 min
	Maximum control distance	8 km
Duet T		
	Focal length	F/2.8-11, 10.6 mm (35 mm equivalent : 40 mm)
	Shutter	Global shutter 1/30 - 1/2,000s
	Resolution	5,472 × 3,648 px

무인항공촬영을 위한 비행계획 수립은 기체 제어 소프트웨어인 eMotion 3를 이용하였다. eMotion 3은 비행 고도, 비행 경로, 촬영 중첩도 등을 설정할 수 있으며 모의 비행을 통해 사전 비행계획 수립에 용의하다. 모의 비행 후 비행 경로는 Fig. 5과 같으며, 촬영 고도는 150 m, 중중복도 84%, 횡중복도는 80%로 설정하였다.

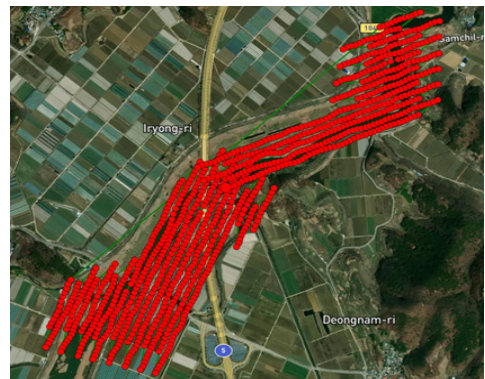


그림 5. 고정익 기체 비행경로 및 영상 취득 위치.

Fig. 5 Fixed-wing flight path and image acquisition location.

무인항공영상 기반의 야적퇴비 적재량 산출을 위한 위치 정확도 확보를 위해 지상 LiDAR 및 회전익 기체 촬영 범위 외 추가로 지상 기준점(GCP : Ground Control

Point) 측량을 실시하였다. 지상 기준점은 GPS VRS 방법으로 측량을 실시하였고 회전익 기체의 경우 야적퇴비를 기준으로 3 ~ 5점, 고정익 기체의 촬영 범위 내 5개의 지상기준점을 GPS VRS 측량 방법으로 지상 측량을 실시하였다(Fig. 6).

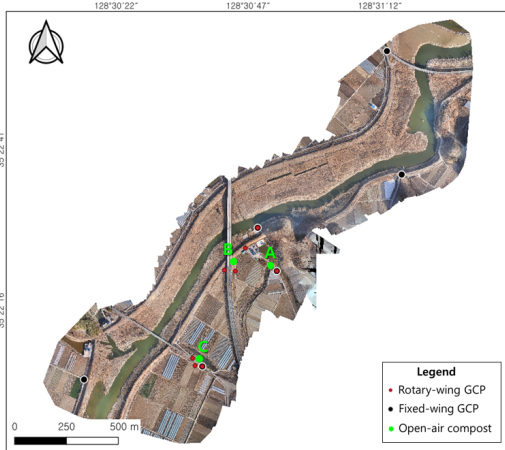


그림 6. GCP 분포도.
Fig. 6 Distribution of GCP.

무인항공기에서 개별 취득된 영상 전처리를 위해 Pix 4D mapper를 사용하였다. 각 개소에서 취득된 영상은 메타데이터를 활용하여 기하보정을 실시하였다. 이후 3차원 형태로 구성하는 수 많은 포인트 간의 집합인 3차원 포인트 클라우드를 생성하였다. 포인트 클라우드를 통해 추출된 각 포인트들은 개별 위치(X, Y, Z)를 가지고 있으며, 이를 기반으로 DSM을 제작하여 야적퇴비의 적재량을 산출하였다.

III. 연구결과 및 고찰

3.1 무인항공영상 위치 정확도 검증

무인항공영상을 이용한 야적퇴비 적재량 산정에 신뢰성 확보를 위해 지상 기준점의 오차를 파악하였다. 무인항공영상 내 지상 기준점 오차는 최소 0 m, 최대 0.154 m를 보였다. 지상 기준점 오차는 「항공사진측량 작업규정」(2016) 및 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」(2018)에 따르면 가장 큰 축척인 1/500 ~ 1/600의 경우 평면 위치 및 표고 모두 표준편차 0.14 m, 최대값

0.28 m로 규정한다. 본 연구에서 제시된 모든 오차는 규정을 만족하므로 신뢰도 높은 DSM이 제작된 것으로 판단된다.

표 4. 야적퇴비 A, B GCP 오차
Table 4. GCP error of Open-air compost A, B

GCP	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
1	0.034	0.032	0.091
2	0.037	-0.018	0.091
3	0.009	0.005	-0.018
4	-0.022	-0.018	-0.067
5	-0.042	-0.011	-0.071
RMSE	0.031	0.019	0.073

표 5. 야적퇴비 C GCP 오차
Table 5. GCP error of Open-air compost C

GCP	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
1	-0.009	0.013	-0.033
2	0.003	-0.012	0.005
3	0.007	0	0.021
RMSE	0.007	0.010	0.023

표 6. 고정익 기체 정사영상 GCP 오차
Table 6. GCP error of fixed-wing orthomosaic

GCP	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
1	0.005	-0.016	0.033
2	0.002	0.002	-0.021
3	0.006	-0.002	-0.096
4	-0.004	-0.007	0.039
5	0.001	-0.008	0.154
6	-0.002	0.006	-0.070
RMSE	0.004	0.008	0.083

3.2 지상 LiDAR, 무인항공기 야적퇴비 적재량 비교

야적퇴비의 적재량을 산출하기 위하여 회전익 기체 영상을 통해 제작된 정사영상을 이용하여 야적퇴비 적재량 산출의 기준 폴리곤을 생성하였다. 기준 폴리곤을 이용하여 지상 LiDAR, 무인항공영상의 DSM 중 야적퇴비 영역만 추출하였으며(Fig. 7 ~ 9), 기준 폴리곤을 단면으로 한 야적퇴비의 적재량을 산출하였다.

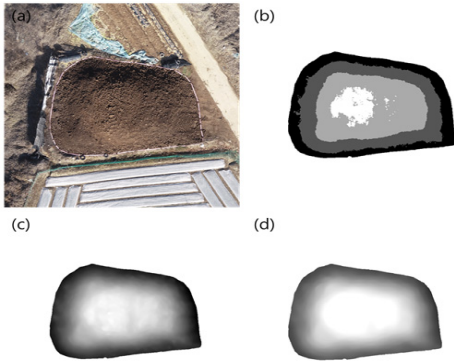


그림 7. 야적퇴비 A, (a) 정사영상, (b) LiDAR DSM, (c) 회전익 기체 DSM, (d) 고정익 기체 DSM.

Fig. 7 Compost A, (a) orthomosaic, (b) LiDAR DSM, (c) Rotary-wing DSM, (d) Fixed-wing DSM.

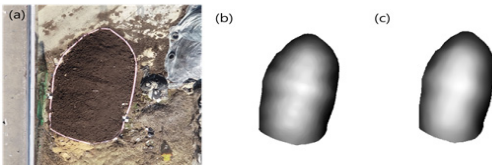


그림 8. 야적퇴비 B, (a) 정사영상, (b) 회전익 기체 DSM, (c) 고정익 기체 DSM.

Fig. 8 Compost B, (a) orthomosaic, (b) Rotary-wing DSM, (c) Fixed-wing DSM.

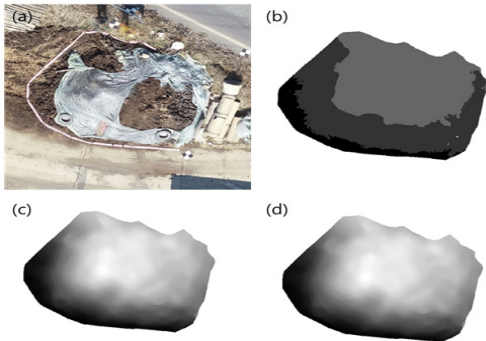


그림 9. 야적퇴비 C, (a) 정사영상, (b) LiDAR DSM, (c) 회전익 기체 DSM, (d) 고정익 기체 DSM.

Fig. 9 Compost C, (a) orthomosaic, (b) LiDAR DSM, (c) Rotary-wing DSM, (d) Fixed-wing DSM.

야적퇴비 A의 적재량은 지상 LiDAR 260.10 m³, 회전익 기체 273.08 m³, 고정익 기체 251.92 m³로 산출되었다. 지상 LiDAR의 야적퇴비 적재량을 기준으로 정확도는 회전익 기체는 104.99 %로 과대 추정 하였으며, 고정익 기체는 96.86 % 과소 추정 하였다(table 7).

야적퇴비 B는 교각 아래에 위치하고 있었으며 주변의 담벼락, 적재물 등으로 지상 LiDAR 스캔 자료의 노이즈 증가로 인해 야적퇴비 적재량 산출에 한계가 있었다. 지상 LiDAR를 제외한 무인항공기의 야적퇴비 B 적재량은 회전익 기체 15.31 m³, 고정익 기체 13.83 m³로 산출되었다. 회전익 기체의 야적퇴비 적재량을 기준으로 정확도는 고정익 기체는 90.33 % 과소 추정 하였다(table 8).

야적퇴비 C의 적재량은 지상 LiDAR 18.38 m³, 회전익 기체 17.52 m³, 고정익 기체 15.48 m³로 산출되었다. 지상 LiDAR의 야적퇴비 적재량을 기준으로 정확도는 회전익 기체는 95.30 %로 과대 추정 하였으며, 고정익 기체는 84.21 % 과소 추정 하였다(table 9).

표 7. 야적퇴비 A 적재량 비교 결과
Table 7. Result of compost A volume comparison

	LiDAR	Rotary-wing	Fixed-wing
Volume	260.10 m ³	273.08 m ³	251.92 m ³
Volume Ratio (UAV/LiDAR)*100(%)	-	104.99 %	96.86 %

표 8. 야적퇴비 B 적재량 비교 결과
Table 8. Result of compost B volume comparison

	LiDAR	Rotary-wing	Fixed-wing
Volume	-	15.31 m ³	13.83 m ³
Volume Ratio (UAV/LiDAR)*100(%)	-	-	90.33 %

표 9. 야적퇴비 C 적재량 비교 결과
Table 9. Result of compost C volume comparison

	LiDAR	Rotary-wing	Fixed-wing
Volume	18.38 m ³	17.52 m ³	15.48 m ³
Volume Ratio (UAV/LiDAR)*100(%)	-	95.30 %	84.21 %

각 자료별 야적퇴비 적재량 비교 결과 지상 LiDAR 기준 회전익 기체의 오차율은 ±5 %, 고정익 기체 오차율

은 -15 ~ -4 %로 과소 추정하였다. 고정익 기체의 경우 낮은 GSD(Ground Sample Distance) 로 인해 상대적으로 낮은 해상도의 DSM을 생성하여 과소 추정된 것으로 판단된다. 각 지점별 야적퇴비 적재량 결과 야적퇴비 A에서 무인항공기로 산출한 오차율은 ±5 % 이내로 선행연구 [14, 15]와 큰 차이는 없었으나, 고정익 기체에서 산출된 오차율의 경우 야적퇴비 B에서 9.67 %, 야적퇴비 C에서 오차율은 15.79 %까지 큰 차이가 났다. 그러나 지상 LiDAR와 고정익 기체의 야적퇴비 적재량의 편차를 확인하였을 경우 야적퇴비 A에서 8.18 m³, 야적퇴비 C에서 2.9 m³으로 크게 차이 나지 않았다. 또한 지상 LiDAR로 야적퇴비 적재량 산정이 불가능했던 야적퇴비 B 대한 자료 취득 및 야적퇴비 적재량 산정이 가능하였다.

회전익 기체를 이용한 야적퇴비 정밀 측량은 높은 GSD 및 많은 포인트 클라우드 생성을 위해 낮은 고도에서 이중 격자 형태로 비행 경로를 설정하였다. 고정익 기체의 경우 높은 고도에서 단일 격자 형태로 비행경로를 설정하여 회전익 기체에 비해 상대적으로 낮은 GSD 및 적은 양의 포인트 클라우드를 생성하였다. 그러나 회전익 기체 및 고정익 기체의 야적퇴비 적재량 비교 결과 90% 이상 높은 정확도를 보였다. 이를 통해 고정익 기체를 이용한 활용한 야적퇴비 적재량 산출에 대한 효용성 및 정확도를 확보하였고, 효율적인 야적퇴비 모니터링이 가능함을 확인하였다.

3.3 야적퇴비 시계열 변화

고정익 기체를 이용하여 연구지역 내 야적퇴비 시계열 변화를 파악하고자 하였다. 2020년 11월 17일, 2020년 11월 20일, 2021년 01월 20일, 2021년 01월 25일, 2021년 02월 04일, 2021년 02월 19일 총 6회에 걸쳐 약 1.3 km² 범위에 대한 영상자료를 취득하였다. 야적퇴비 적재량 변화 파악을 위한 3개소를 포함하여 총 4개소의 야적퇴비 시계열 변화를 파악하고자 하였다(Fig. 10).

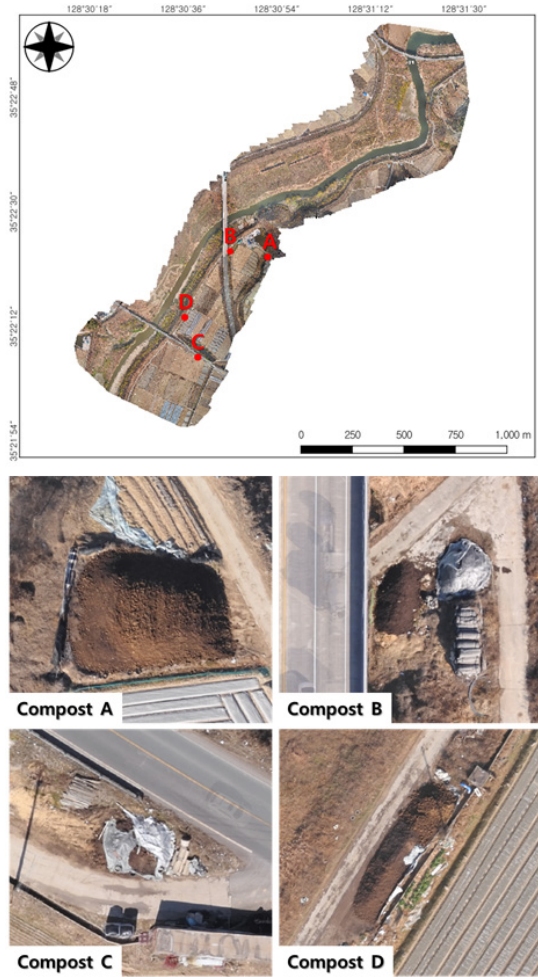


그림 10. 야적퇴비 분포도.
Fig. 10. Distribution of open-air compost.

표 10. 야적퇴비 적재량 시계열 변화 (단위 : m³)
Table 10. Time series change of open-air (Unit : m³)

	야적퇴비 A	야적퇴비 B	야적퇴비 C	야적퇴비 D
2020.11.17.	6.55	22.45	19.44	36.1
2020.11.20.	-	21.02	19.26	39.93
2021.01.20.	247.77	12.77	12.56	45.76
2021.01.25.	242.41	10.93	14.79	48.62
2021.02.04.	250.21	14.14	10.71	49.9
2021.02.19.	194.18	13.92	13.57	51.14

야적퇴비 A는 2020년 11월 20일 강풍으로 인한 기체의 자세 불안정 및 노이즈로 인해 야적퇴비의 DSM 및 정사 영상은 생성되지 않았다. 2020년 11월 20일을 제외한 야적퇴비 시계열 변화는 2020년 11월 17일 야적퇴비는 대부분 사용되어 6.55 m³의 퇴비가 산재되어 있었으며, 2021년 01월 20일 247.77 m³의 퇴비가 적재된 것을 확인하였다. 이후 유사한 적재량이 산출되었으며 2021년 02월 19일 퇴비의 양이 감소하였다. 이는 퇴비사용으로 인하여 적재량이 감소한 것으로 파악되었다(Fig. 11). 야적퇴비 B는 2020년 11월 17일부터 2021년 01월 25일까지 감소하였다가 2021년 02월 04일 퇴비량이 증가하였다. 야적퇴비 C는 2021년 01월 20일 감소하였다가 체적량이 약 2m³ 증가하였다. 해당 지역은 야적퇴비를 지속적으로 소량 소비하고 있었으며 사용 후 비닐덮개를 이용하여 관리한 것으로 나타났다. 야적퇴비 D는 2020년 11월 17일 이후 체적량이 36.1 m³에서 지속적으로 증가하여 총 51.14 m³으로 증가하였으며 2020년 11월 17일 이후 지속적으로 비닐덮개를 이용하여 관리되어 있었다.



그림 11. 야적퇴비 A 적재량 변화.

Fig. 11. Changes in the volume of open-air compost A.

IV. 결론

본 연구는 넓은 범위에 대한 무인항공영상 취득 및 자동 경로 비행이 가능한 고정익 기체를 이용하여 효율적인 야적퇴비 적재량을 산출하고자 하였다. 고정익 기체의 산출 정확도를 평가하기 위해 동일한 야적퇴비를 대상으로 지상 LiDAR 측량 및 회전익 기체를 이용한 정밀 측량을 수행하였다. 낮은 고도에서 회전익 기체는 이중 격자 형태로 영상을 취득하였으며 고정익 기체는 높은 고도에서 단일 격자 형태로 영상을 취득하였다. 지상 LiDAR 및 무인항공기를 이용하여 취득된 자료는 각각 자료 처리 후 DSM을 생성하였으며 동일한 위치 및 면적의 기준 폴리곤을 단면으로 하여 야적퇴비 적재량을 산출하였다.

무인항공기 영상 위치 정확도 검증 결과 모든 지점에

서 「항공사진측량 작업규정」 및 「무인비행장치 이용 공공측량 작업지침」에서 제시된 모든 오차 규정을 만족하였다. 각 자료별 야적퇴비 적재량 비교 결과 지상 LiDAR 기준 회전익 기체의 오차율은 ±5 %, 고정익 기체 오차율은 -15 ~ -4 %로 과소 추정하였다. 지상 LiDAR와 고정익 기체의 야적퇴비 적재량의 편차를 확인하였을 경우 야적퇴비 A에서 8.18 m³, 야적퇴비 C에서 2.9 m³으로 크게 차이 나지 않았다. 무인항공기를 이용한 경우 지상 LiDAR로 야적퇴비 적재량 산정이 불가능했던 지역에 대한 자료 취득 및 야적퇴비 적재량 산정이 가능하였다. 이를 통해 고정익 기체를 이용한 효율한 야적퇴비 적재량 산출에 대한 효율성 및 정확도를 확보하였다. 또한 고정익 무인항공기를 이용한 지속적인 모니터링 결과 대상 지역에 위치한 야적퇴비 적재량의 시계열 변동 파악할 수 있었다. 이를 통해 고정익 기체를 이용하여 효율적인 야적퇴비 모니터링이 가능함을 확인하였다.

본 연구는 고정익 기체를 이용한 경우 지상 LiDAR 및 회전익 기체를 이용한 정밀 측량에 비해 넓은 범위의 대한 적은 양의 자료를 이용하여 정확도 높은 야적퇴비 적재량 산출이 가능함을 제시하였다. 이러한 결과는 고정익 기체를 이용하여 1회의 자료 수집을 통해 효율적으로 야적퇴비 모니터링을 수행 가능함을 시사한다. 또한 동일한 자료를 이용하여 농경지 주변에 위치한 하천 수질 모니터링, 불법 건축물 단속, 작물 모니터링 등 1회의 자료 수집을 통해 다양한 모니터링이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2020년 낙동강수계 환경기초조사사업의 “드론과 인공지능 활용 수계 오염원 탐지 및 물환경 관리 방안 마련”의 지원으로 수행되었음.

References

- [1] H. Yun, Y. Lee, S. Lee, S. Kim, S. Hong, and Y. Lee, “Ammonia Emission and Nitrogen and Phosphorous Loss by Rainfall from Cow Manure Pile,” *Korean J. of Environmental Agriculture*, vol. 28, no. 4, 2009, pp. 392-396.

- [2] J. Ko, W. Yang, and Y. Lee, "Management Plans of Livestock Excretions from Field Scrutiny in Yeongsan Stream Basin," *J. of the Korean Society of Urban Environment*, vol. 18, no. 4, 2018, pp. 465-471.
- [3] S. Bak, N. Kim, M. Jeong, D. Hwang, U. Enkhjargal, B. Kim, M. Park, H. Yoon, and W. Seo, "Study on Detection Technique for Coastal Debris by using Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Object Detection Algorithm based on Deep Learning," *J. of the Korea Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 15, no. 6, 2020, pp. 1209-1216.
- [4] S. Del Pozo, P. Rodríguez-Gonzálvez, D. HernándezLópez, and B. Felipe-García, "Vicarious radiometric calibration of a multispectral camera on board an unmanned aerial system," *Remote Sensing*, vol. 6, no. 3, 2014, pp. 1918-1937.
- [5] W. Cho "Relay Network using UAV: Survey of Physical Layer and Performance Enhancement Issue," *J. of the Korea Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 14, no. 5, 2019, pp. 901-906.
- [6] D. Lee, Y. Yu, J. and H. Lee, "Change Monitoring in Ecological Restoration Area of Open-Pit Mine Using Drone Photogrammetry," *J. of the Korean Society for Geospatial Information Science*, vol. 24, no. 4, 2016, pp. 97-104.
- [7] B. Choi, C. Lee, and T. Cho, "A Study on the Earth Volume Estimation Using Digital Photogrammetry," *Research Institute for Engineering and Technology*, Incheon National University, vol. 19, no. 2, 2004, pp. 85-89.
- [8] J. Kim, "Calculating Erosion Amount of Sea-cliff in Dundu-ri by Using UAV," *J. of the Association of Korean Photo-Geographers*, vol. 28, no. 2, 2018, pp. 1-12.
- [9] J. Yu, H. Park, Y. Yang, and D. Jang, "Assessing the Applicability of UAS for Detecting Geomorphological Changes in Coastal Areas: A Case Study in the Baramarae Beach in Anmyeon-do," *J. of the Korean Geomorphological Association*, vol. 23, no. 4, 2016, pp. 113-126.
- [10] H. Kim, H. Yoon, S. Jang, and Y. Chung, "Detection method of River Floating Debris Using Unmanned Aerial Vehicle and Multispectral Sensors," *Korean j. of Remote Sensing*, vol. 33, no. 5-1, 2017, pp. 537-546.
- [11] H. Kim, S. Bak, S. Jang, S. Kwak, and H. Yoon, "Impact Assessment to the Water Environmental and Biodiversity on the Constant Stagnation Zone by River Floating Debris," *J. of the Korea Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 13, no. 1, 2018, pp. 213-220.
- [12] G. Lee, S. Kim, and Y. Choi, "A Comparative Study of Image Classification Method to Detect Water Body Based on UAS," *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, vol. 18, no. 3, 2015, pp. 113-127.
- [13] H. Kim, S. Jang, and H. Yoon, "Utilization of Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Image for Detection of Algal Bloom in Nakdong River," *J. of the Korea Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 12, no. 3, 2017, pp. 457-464.
- [14] G. Park, K. Park, B. Moon, and B. Song, "Monitoring of non-point Pollutant Sources: Management Status and Load Change of Composting in a Rural Area based on UAV," *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, vol. 22, no. 2, 2019, pp. 01-14.
- [15] S. Kim and Y. Kim, "Development and Evaluation of High-precision Earth-work Calculating System using Drone Survey," *J. of the Korean Geosynthetics Society*, vol. 18, no. 4, 2019, pp. 87-95.

저자 소개



김흥민(Heung-Min Kim)

2015년 부경대학교 공간정보시스템 공학과 졸업(공학사)
2017년 부경대학교 대학원 공간정보시스템공학과 졸업(공학석사)

2017년 ~ 2019년 부경대학교 공간정보시스템공학과 박사수료

2019년 ~ 현재 (주)아이렘기술개발 기업부설연구소 연구소장

※ 관심분야 : 해양원격탐사, GIS, UAV



박수호(Su-Ho Bak)

2013년 부경대학교 공간정보시스템 공학과 졸업(공학사)
2017년 부경대학교 대학원 공간정보시스템공학과 졸업(공학석사)

2017년 ~ 2020년 부경대학교 공간정보시스템공학과 박사수료

2021년 ~ 현재 (주)아이렘기술개발 기업부설연구소 책임연구원

※ 관심분야 : 해양원격탐사, GIS, Deep Learning



윤홍주(Hong-Joo Yoon)

1983년 부경대학교 해양공학과 졸업(공학사)

1985년 부경대학교 대학원 해양공학과 졸업(공학석사)

1997년 프랑스 그르노블 I 대학교 대학원 위성원격탐사 전공 졸업(공학박사)

1999년~2002년 여수대학교 해양공학과 교수

2002년~현재 부경대학교 공간정보시스템공학 교수

2012년~2013년 부경대학교 공간정보연구소 초대소장

2013년 (사)한국클라우드센터럴파크 이사

2014년 한국전자통신학회 부회장

2015년 공간정보 Big Data 센터장

2015년 행정공간정보화연구소 소장

2016년 (사)한국생태공학회 회장

2019년~현재 한국전자통신학회 회장

※ 관심분야 : 해양원격탐사, GIS



장선웅(Seon-Woong Jang)

2008년 대구가톨릭대학교 지리교육과 졸업(지리학사)

2012년 부경대학교 대학원 위성정보과학과 졸업(공학석사)

2017년 ~ 현재 (주)아이렘기술개발 대표이사

※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS, Deep Learning