

UAV를 활용한 농촌지역 비점오염원 야적퇴비 관리상태 및 적재량 변화 모니터링*

박건웅¹ · 박경훈^{2*} · 문병현² · 송봉근³

Monitoring of non-point Pollutant Sources: Management Status and Load Change of Composting in a Rural Area based on UAV*

Geon-Ung PARK¹ · Kyung-Hun PARK^{2*}
Byung-Hyun MOON² · Bong-Geun SONG³

요 약

농촌지역에서 야적퇴비가 비점오염원으로 작용하고 있으나, 정량적으로 분포 및 적재량이 산정되지 않아 야적퇴비가 유실되어 하천 수질에 미치는 영향을 파악하기 어렵다. 본 연구에서는 지상 LiDAR를 활용하여 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 야적퇴비 데이터를 검증하고, 수동조종 비행으로 UAV를 활용하여 야적퇴비 탐색 및 촬영 후 관리상태 및 적재량 변화를 파악함으로써, 수계에 미치는 영향을 판단하기 위한 기초자료를 확보하고자 한다. 지상 LiDAR를 기준으로 정확도를 비교분석한 결과 DSM(Digital Surface Model)에 대해 약 0.21m 이내의 차이를 보이며 적재량의 정확도는 93.24%로 나타나, UAV 영상을 이용하여 야적퇴비의 적재량을 산출하고 활용하기에 충분하다고 판단된다. UAV를 활용하여 야적퇴비의 관리상태를 확인할 수 있었으며, 총 야적퇴비 적재량은 1,172.16m³, 1,461.66m³, 1,350.53m³순으로 나타나 야적퇴비 적재량 변화를 파악할 수 있었다. 본 연구의 결과는 UAV를 활용하여 효율적인 비점오염원 관리에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 야적퇴비, 무인항공기, 지상 LiDAR, 수치표면모델, 수동조종 비행

2019년 03월 08일 접수 Received on March 08, 2019 / 2019년 03월 23일 수정 Revised on March 23, 2019 /
2019년 03월 25일 심사완료 Accepted on March 25, 2019

* 본 연구는 2018년 낙동강수계 환경기초조사사업으로 추진된 "드론을 활용한 유역환경 조사법 개선 및 야적퇴비 적재 등 비점오염원 현황 조사"의 일환으로 수행되었습니다.

1 창원대학교 친환경해양플랜트FEED공학 Dept. of FEED of Eco-Friendly Offshore structure, Changwon National University

2 창원대학교 토목환경화공융합공학부 School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon National University

3 창원대학교 산업기술연구원 Industrial Technology Research Institute, Changwon National University

※ Corresponding Author E-mail : landpkh@changwon.ac.kr

ABSTRACT

In rural areas, composting is a source of non-point pollutants. However, as the quantitative distribution and loading have not been estimated, it is difficult to determine the effect of composting on stream water quality. In this study, composting datum acquired by unmanned aerial vehicle(UAV) was verified by using terrestrial LiDAR, and the management status and load change of the composting was investigated by UAV with manual control flight, thereby obtaining the basic data to determine the effect on the water system. As a result of the comparative accuracy assessment based on terrestrial LiDAR, the difference in the digital surface model(DSM) was within 0.21m and the accuracy of the volume was 93.24%. We expect that the accuracy is sufficient to calculate and utilize the composting load acquired by UAV. Thus, the management status of composting can be investigated by UAV. As the total load change of composting were determined to be 1,172.16m³, 1,461.66m³, and 1,350.53m³, respectively, the load change of composting could be confirmed. We expect that the results of this study can contribute to efficient management of non-point source pollution by UAV.

KEYWORDS : *Composting, Unmanned Aerial Vehicle, Terrestrial LiDAR, Digital Surface Model, Manual Control Flight*

서 론

2017년 낙동강의 제 1지류인 남강의 상류인 남강댐은 2017년도에 154일간의 기록적 조류경보가 발생하였다(Lee, 2018). 제3단계 경상남도 오염총량관리 기본계획(2015)에 따르면, 남강댐 중권역에서 2012년 기준 배출부하량의 대부분이 비점오염원으로 확인되었으며, 비점오염원 배출부하량에서 축산계와 토지계가 대부분을 차지하는 것으로 밝혔다(Gyeongsangnam-do, 2015). 축산계 비점오염원은 축사시설의 배출수, 축산분뇨를 야외에 쌓아 퇴비화 시키는 야적퇴비, 농경지에 살포되는 퇴비 등이 있으며, 강우로 인해 하천으로 유입되면 질소, 인 등의 부하량이 높아져 하천 수질에 악영향을 미칠 수 있다(Hong and Kim, 2001; Lee *et al.*, 2009; Konkuk University, 2016). 이러한 축산계의 비점오염원을 관리하고자 다양한 연구에서 강우에 의한 가축분뇨의 유출 및 수질특성을 파악하거나(Oh *et al.*, 2007; Won *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2012a; Choi *et al.*, 2012b), 가

축분 종류 및 혼합비에 따른 퇴비성분과 가축분 퇴비의 화학적 분포특성을 파악하는 연구(Ahn *et al.*, 2013)들이 수행되고 있다.

남강댐 중권역은 축사시설과 광범위한 농경지가 넓게 분포하여 비점오염원에 대한 영향이 많은 지역이며, 남강댐 중권역의 축산계 비점오염원은 축사의 미규제 및 미신고 농가로 이는 약 88%를 차지하고 있다(Nakdong river environment research center, 2012). 이러한 농가는 퇴비화에 대한 법적 규제가 없어 자체처리 방식으로 야적식 퇴비화를 하고 있으며, 강우에 의해 유실되어 인근 하천으로 유입되어 비점오염원으로 작용하고 있다. 해당 지자체에서 야적퇴비 관리를 담당하고 있으나, 야적퇴비의 유무를 파악하는 정도로 국한되어 있으며, 정량적인 분포 및 적재량에 대한 산정이 이루어지지 않고 있다. 또한, 야적퇴비의 위치는 대략적인 주소만으로 조사되고 있어 비점오염원에 대한 정량적인 영향을 파악하는데 한계가 있다(Nakdong river environment research center, 2012; Konkuk University, 2016). 따라서 강우 시 야적퇴비가 유실되어 수질에 미치는 영향을 파악하기 위해

서는 야적퇴비에 대한 위치 및 적재량에 대한 기초자료 구축이 선행되어야 한다.

기존 지표면의 정보를 파악하기 위해 위성영상을 활용하는 연구들이 다양하게 이루어지고 있다. 위성영상은 광범위한 지역에 대해 지표면의 정보를 취득할 수 있으며, 일정한 주기로 촬영하기 때문에 지표면의 특성에 대한 시계열 변화를 파악하는데 효과적이다. 그러나 위성영상은 대부분 중·저해상도이기 때문에 지표면의 정밀한 특성을 파악하는데 한계가 있으며, 특히 야적퇴비와 같은 적은 면적의 유형은 탐지하기 어렵다.

이러한 위성영상의 한계점을 극복하기 위해 고해상도의 영상정보를 취득할 수 있는 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)가 주목받고 있다. UAV는 다양한 센서의 탑재를 통해 지표면의 분광정보를 고해상도로 취득할 수 있어 정밀한 분석이 가능하다. 또한, 점군(point cloud) 데이터 취득으로 수치표면모델(DSM, Digital surface models) 분석을 통해 3차원 형상을 도출할 수 있다. 이러한 특성으로 인해 UAV는 지표면의 3차원 지형을 분석하는데 매우 유용하게 활용되고 있다. UAV를 활용한 3차원 지형분석과 관련된 선행연구를 살펴보면, Choi *et al.*(2015)은 무인항공기와 비 측량용 디지털 카메라를 이용하여 3차원 공간정보의 제작 가능성과 기존 수치사진측량 시스템과의 호환성을 분석하였다. 그 결과 1:1000 수치지도 제작을 위한 항공 삼각측량의 평면위치 및 표고오차의 허용오차인 ±0.20m를 매우 잘 만족하였다. Lee *et al.*(2016)은 UAV 사진측량을 이용할 경우 유인

항공측량시스템보다 단시간, 저비용으로 지형공간정보의 생성이 가능하고, 변화 모니터링에 활용이 가능하다고 하였다. Park *et al.*(2018)은 건설공사 현황측량을 위하여 UAV DSM의 활용성을 평가하였으며, 지상 LiDAR에 비해 UAV가 데이터 취득 시간 및 면적에서 크게 효율이 좋음을 보여주었다. 이와 같이 UAV는 기존의 조사방법과 비교하여 시간과 비용적인 측면에서 매우 효율성이 있는 것으로 나타났다. 이러한 선행연구들을 통해 야적퇴비의 관리 부분에서도 UAV의 적극적인 활용을 통해 야적퇴비의 위치와 적재량 등의 기초자료 구축에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 농촌지역에서 비점오염원의 주요 원인으로 작용하고 있는 야적퇴비의 효과적인 관리를 위해 UAV를 활용하여 야적퇴비의 관리상태 및 적재량 변화를 분석하였다. 또한, 지상 LiDAR와 UAV 자료를 비교하여 UAV 영상으로 제작한 데이터의 정확도를 비교해보고자 하였다.

연구 방법

1. 연구수행과정

본 연구는 야적퇴비의 관리상태 및 적재량 변화를 파악하기 위해 그림 1과 같이 UAV를 활용하여 야적퇴비 탐색과 영상을 수집하였고, 적재량 산출에 앞서 UAV 데이터의 정확도를 확인하기 위해 1 개소의 야적퇴비에 대하여 지상 LiDAR와 UAV의 DSM 및 적재량을 비교하였다. 그 후 UAV 영상을 활용하여 정사영상 및

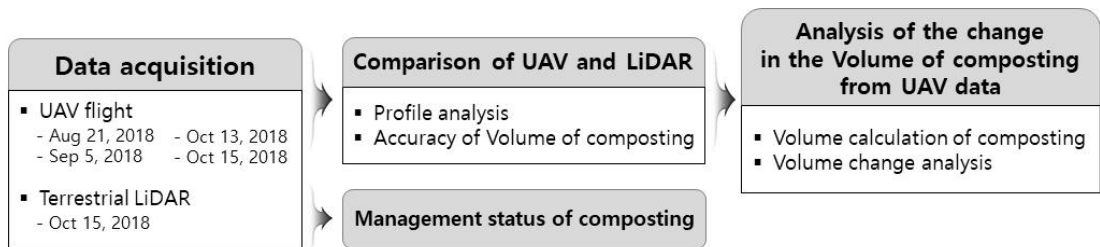


FIGURE 1. Study Process

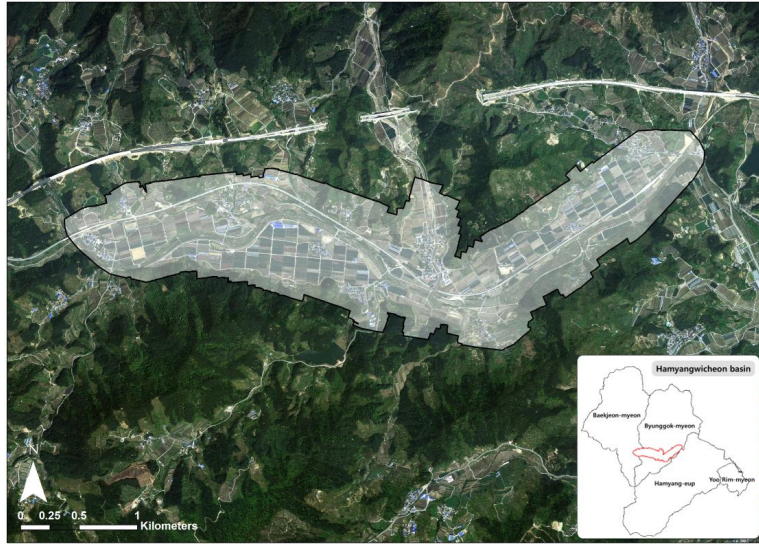


FIGURE 2. Study sites

DSM을 제작하였으며, 정사영상을 통해서 야적퇴비의 관리상태를 확인하였고, DSM을 통해 각 시기별로 야적퇴비의 적재량을 산출하고 변화를 분석하였다.

본 연구의 대상지는 남강댐 중권역에 위치한 함양위천 소권역 중 약 4.9km² 면적의 함양군 병곡면 일부 지역(그림 2)이며, 축사시설과 광범위한 농경지가 넓게 분포하여 비점오염원에 대한 영향이 많은 지역이다. 따라서 본 연구의 대상지는 비점오염 저감을 위해 야적퇴비의 관리가 필요한 지역이라 판단된다.

2. 자료 수집 및 DSM 생성

1) UAV

본 연구에서는 강우 전·후에 따른 야적퇴비 적재량 변화를 파악하기 위해 강우시기를 고려하여 총 4차례(2018년 8월 21일, 9월 5일, 10월 13일, 10월 15일)에 걸쳐 UAV 촬영을 실시하였다. 사용 장비는 DJI사의 Phantom 4 pro를 활용하였으며, 이 기체는 쿼드콥터(Quadcopter)로 호버링이 가능하여 고정익 UAV에 비해 이륙지점을 선정하기 쉽고 3차원 영상을 제작하는데 편리하다(표 1). 야적퇴비의 탐색 및 촬영을 효율적으로 진행하기 위해 촬영 방법은 수동조종

TABLE 1. Detail of Phantom 4 Pro

Item	Detail
	
Max Flight time	Approx 30 minutes
GNSS	GPS / GLONASS
FOV(Field of View)	84°
Max image size	5472 x 3648
Max Transmission Distance	7 km

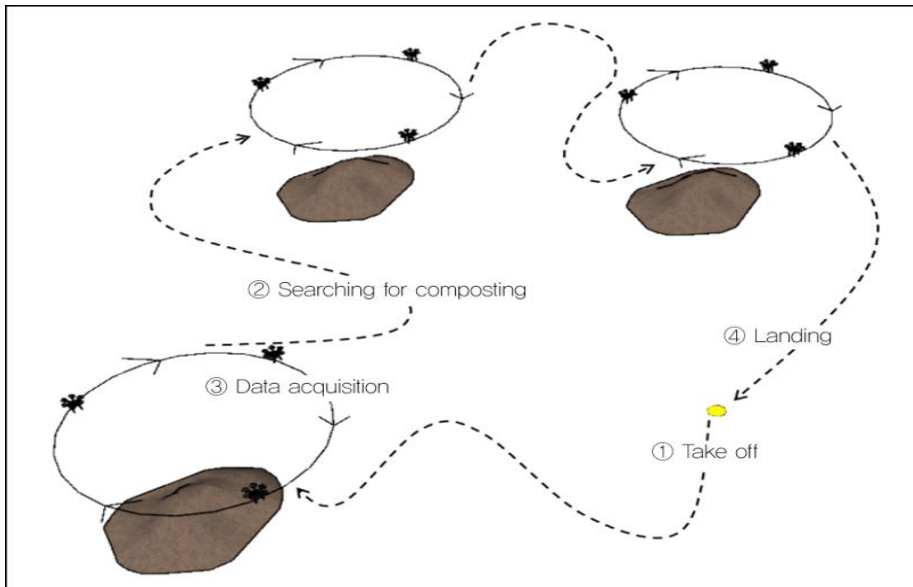


FIGURE 3. UAV manual photography method

방식으로 운용하였다. 이륙 지점에서 최대 1km 반경의 범위로 수동조종 비행을 하여 야적퇴비의 존재를 실시간으로 확인한 후, 20~40m 고도에서 야적퇴비를 중심으로 원형 비행을 실시하여 최소 30장 이상의 영상을 취득하였다(그림 3).


취득된 영상은 영상처리 소프트웨어인 PIX4D사의 PIX4D mapper version 4.3.31.을 사용하여 야적퇴비의 정사영상과 DSM을 제작하였다. 세부적으로는 초기처리를 통해 키포인트를 생성 후 외부 표점요소로 MTP(Manual Tie Point)를 생성하여 카메라에 의한 왜곡을 보정

하였고, 포인트 클라우드(point cloud) 및 메쉬(mesh)를 생성 후 최종적으로 정사영상 및 DSM을 생성하였다.

2) 지상 LiDAR

지상 LiDAR는 관측 대상물의 표면에 조밀한 간격으로 무수히 많은 레이저 광선을 통해 얻은 3차원 좌표 값을 이용하여 대상물의 형태를 측정하기에 효과적인 장비(Park *et al.*, 2010; Lee and cho, 2017)로 야적퇴비의 형태를 정밀하게 측정할 수 있으며, 적재량을 파악하는데 유용하다. 이용된 지상 LiDAR 장비는 RIEGL

TABLE 2. The specification of RIEGL VZ-400i

Image	Item	Detail
	High laser pulse repetition rate	1200 kHz
	Range and accuracy	800 m ± 5 mm
	Minimum range	0.5 m
	Wide field of view	100° × 360°
	High speed data acquisition	500,000 measurement/sec

사의 RIEGL VZ 400i이다. 측정 거리는 800m 이내로 오차가 5mm로 매우 정밀하다. 지상 LiDAR 장비에 대한 세부적인 내용은 표 2와 같다.

지상 LiDAR 운용은 2019년 10월 15일 한 차례 실시하였으며, 1개소의 야적퇴비에 대하여 데이터를 취득하였다. 측정방법은 우선 야적퇴비를 중심으로 5방향에 대해 포인트 클라우드를 취득하였다. 그리고 RIEGL사의 Riscan pro 프로그램을 이용하여 자료를 정합 후 데이터를 추출하였다. 마지막으로 Esri사의 ArcGIS 10.6 프로그램 상에서 DSM 및 정사영상을 최종적으로 생성하였다.

3. 야적퇴비 관리상태 파악 및 적재 변화 분석 방법

UAV 영상 데이터로 적재량을 산출하기에 앞서 UAV 영상으로 제작한 DSM의 정확도를 확인하였다. 확인방법은 1개소의 야적퇴비에 대하여 UAV와 지상 LiDAR 데이터를 Profile과 적재량을 통하여 비교하였다. 비교 분석을 실시하기 이전에 지상 LiDAR에서 생성된 야적퇴비에 대한 DSM 자료가 동일한 좌표 위치 설정이 필요하여 그림 4와 같이 UAV 영상을 기준으로 LiDAR 영상을 기하보정 하였다. 다음으로 UAV 정사영상으로부터 비교할 야적퇴비 영역을 벡터라이징하여 UAV와 지상 LiDAR DSM에서 야적퇴비 영역을 추출하였다. 또한, 야적퇴비 영역에서 UAV DSM의 가장 낮은 지점을 기준으로 동일한 위치의 지상 LiDAR DSM의 높이를 조정하였다. 동일한 기준과 위치로 맞추어 각 야적퇴비 영역의 DSM에 대하여 ArcGIS 10.6 프로그램을 이용하여 그림 5와 같이 일정 구간에 대한 polyline을 설정한 후 Profile 분석을 하였다. 구체적으로 각 라인의 구간에 대해 지상 LiDAR의 DSM을 기준으로 UAV DSM을 비교하고 잔차를 분석하였다. 또한, DSM을 활용하여 야적퇴비의 적재량을 산출한 뒤 지상 LiDAR 데이터를 기준으로 UAV를 활용한 야적퇴비 적재량의 정확도를 확인하였다.



FIGURE 4. Position of tie points

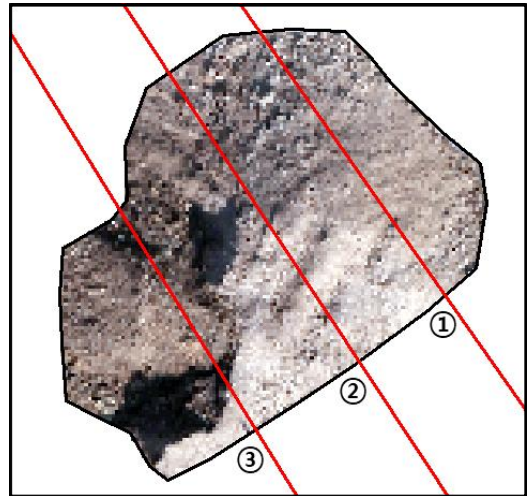


FIGURE 5. Comparison area and location of checkline

야적퇴비 관리상태 파악 및 적재 변화를 파악하기 위해 UAV 정사영상을 통해 야적퇴비 관리 상태를 확인하였으며, UAV DSM 자료를 활용하여 강우 전·후 및 농경지에 퇴비를 살포하는 시기에 따른 야적퇴비의 적재 변화를 분석하였다. 야적퇴비의 적재량 산출은 Esri사의 ArcGIS 10.6 프로그램을 사용하였다. UAV 영상으로 제작된 RGB 정사영상을 참조하여 야적퇴비의 범위를 설정하고 DSM으로부터 야적퇴비 영역만을 추출 후 Surface Volume tool을 이용하여 각 시기별 야적퇴비의 적재량을 산정

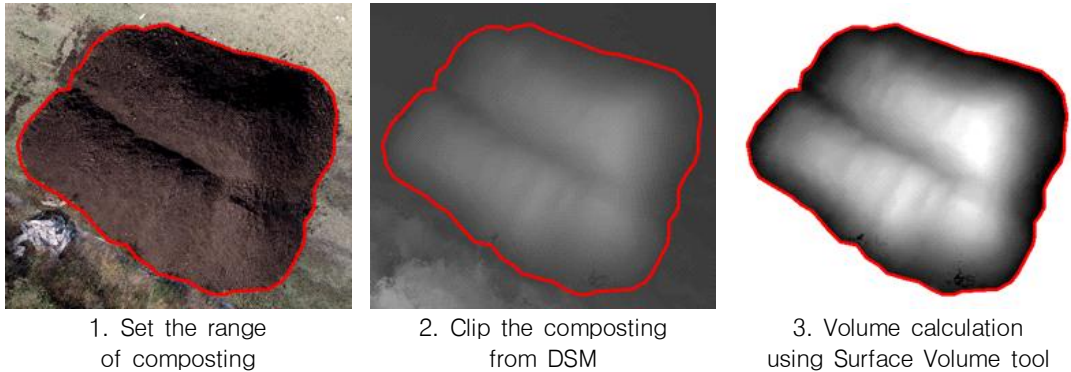


FIGURE 6. Volume calculation method of composting

하였으며(그림 6), 산정된 야적퇴비 적재량을 바탕으로 적재 변화를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. UAV와 지상 LiDAR의 DSM 및 적재량 비교 결과

1개소의 야적퇴비에 대하여 촬영된 UAV 영상이 DSM을 제작하는데 사용되었으며, 지상 LiDAR의 경우 수작업으로 노이즈를 제거하고 필요한 영역만 잘라내어 2,402,775개의 포인트 클라우드가 DSM을 생성하는데 사용되었다(그림 7). Profile 분석을 위하여 UAV 및 지상 LiDAR의 RGB 정사영상을 기반으로 기하 보정한 결과는 표 3과 같이 평면위치 오차(dL) RMSE가 $\pm 0.054\text{m}$ 로 나타났다.

UAV로 제작한 DSM의 정확도를 평가하기

위하여 Profile 분석을 실시하였다. 그 결과, 그림 8과 같이 UAV와 지상 LiDAR의 형상이 비슷함을 확인할 수 있었으나, 야적퇴비의 하단보다는 상단에서 차이가 큰 것을 확인할 수 있다. UAV와 지상 LiDAR의 잔차의 RMSE가 0.123m로 나타났고, 약 0.21m 이내의 범위로 차이가 확인되었다. 선행연구 결과와 같이 지상 LiDAR와 UAV DSM의 차이가 30cm 범위내로 차이가 나는 것으로 나타났다(Park *et al.*, 2018). ‘항공레이저측량 작업규정’ 과 ‘무인비행장치 이용 공공측량 작업지침’ 에 의하면 수직위치 RMSE의 한계를 0.25m로 규정하고 있다(Yu *et al.* 2016). 본 연구의 분석결과는 RMSE 규정을 만족하고 있으며, 추가적인 연구를 통해 GNSS 측량 좌표와 비교하여 정확도를 개선한다면 보다 정밀한 DSM을 생성이 가능할 것이다.

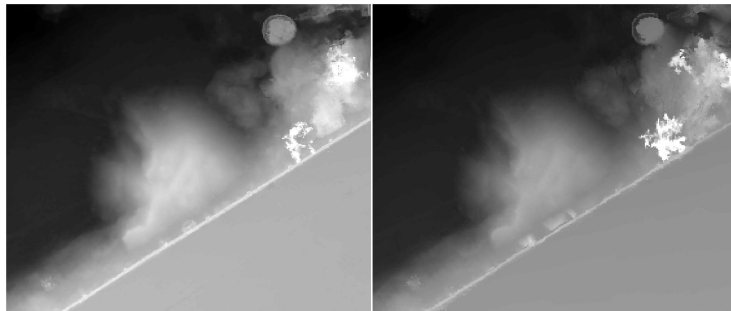


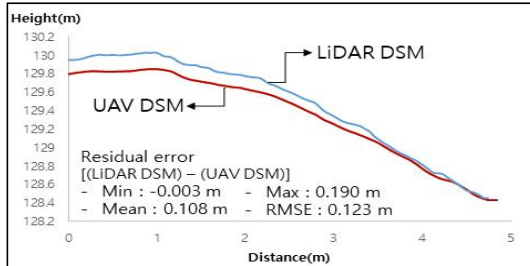
FIGURE 7. UAV DSM (left) and Terrestrial LiDAR DSM (right)

TABLE 3. Result of geometrical treatment

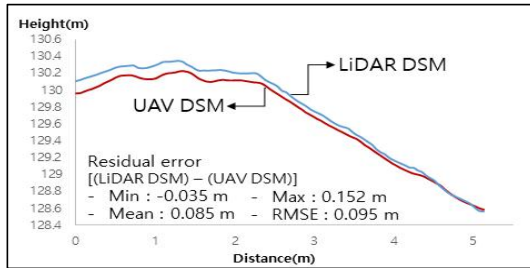
Tie point	dX	dY	dL
1	0.041m	0.015m	0.044m
2	-0.003m	0.020m	0.020m
3	0.004m	-0.010m	0.011m
4	-0.065m	-0.042m	0.077m
5	0.066m	0.045m	0.080m
6	-0.043m	-0.029m	0.052m
RMSE	$\pm 0.045m$	$\pm 0.030m$	$\pm 0.054m$

TABLE 4. Result of volume analysis

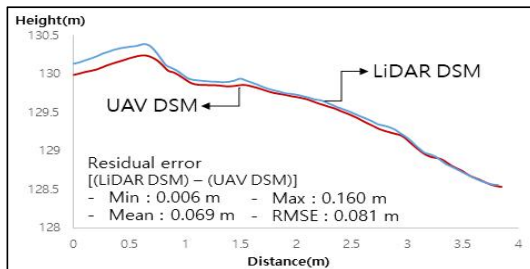
	LiDAR	UAV
Volume	28.731m ³	26.790m ³
Volume ratio (UAV/LiDAR)	93.24%	



(a) Profile of line 1



(b) Profile of line 2



(c) Profile of line3

FIGURE 8. Profile comparison result of DSM of UAV and LiDAR

UAV DSM을 활용하여 적재량을 산출하고 변화를 파악해야하므로, 동일한 야적퇴비 경계 라인을 사용하여 야적퇴비 부분만 DSM을 추출한 후 Surface Volume tool을 활용하여 야적퇴비의 적재량을 비교하였다. 표 4와 같이 UAV 데이터를 통하여 산출한 적재량의 정확도는 93.24%로 나타났다. 선행연구인 Son *et al.* (2016)과 같이 UAV와 지상 LiDAR를 활용하여 도출한 적재량에는 크게 차이나지 않았다.

UAV 및 수동조종 비행을 기반으로 생성한 DSM이 Profile과 적재량 산출 정확도 분석에 사용되었으며, 이를 통해 도출된 결과는 UAV를 수동조종 비행으로 야적퇴비의 적재량을 산출하고 활용하기에 충분하다고 판단된다.

2. 야적퇴비 관리상태 확인 결과

UAV를 활용하여 수동조종 비행으로 탐색과 영상촬영을 병행한 결과 대상지에서 총 15개소의 야적퇴비가 탐지되었다(그림 9). 2018년 8월 21일에 촬영된 영상으로부터 총 11개의 데이터가 제작되고, 2018년 9월 5일에는 새로운 야적퇴비가 하나 더 탐색되어 12개의 데이터가 제작되었으며, 2018년 10월 13일에는 2개소의 야적퇴비가 사라지고 3개소의 야적퇴비가 추가되어 13개소의 야적퇴비가 탐색되었다.

야적퇴비를 촬영함에 따라 촬영시기 당시의 야적퇴비 덮개 유무를 확인할 수 있어 적재량 산정뿐만 아니라 표 6와 같이 야적퇴비의 관리상태도 확인할 수 있었다. 야적퇴비의 덮개가 미설치된 것은 X로 표기하였으며, 덮개가 있으나 부분적으로 설치된 것은 △로 표기하였고, 덮개가 완전히 설치된 것은 ○로 표기하였다. 2018년 8월 12일에는 11개의 야적퇴비 중 7개의 야적퇴비가 덮개가 잘 설치되어 있었으며, 2018년 9월 5일에는 12개의 야적퇴비 중 9개가 잘 설치되어 있어 대부분의 야적퇴비가 잘 관리되고 있음을 확인하였다. 2018년 10월 13일에는 13개의 야적퇴비 중 단 3개의 야적퇴비만 덮개가 잘 설치되어 있었으나, 추수가 끝나고 퇴비를 농경지에 살포하는 시기이므로 덮개

가 잘 덮여져 있지 않은 것으로 판단된다.

3. 야적퇴비 적재 변화 분석 결과

탐지된 15개소의 야적퇴비로부터 총 36번의 적재량이 계산되었고, 지형에 의한 영향, 식생에 의한 영향, 바람에 의한 영향 등 다양한 조건 속에서 야적퇴비의 적재량이 산출되었다(표 7). 사면 위에 위치한 1, 2, 4, 7, 10, 12번 야적퇴비의 경우 야적퇴비가 적재되지 않을 때의 지형자료가 없기 때문에 야적퇴비 아래의 지면이 어

떠한 형상인지 파악하기 어려움이 있어 사면 지형까지 포함하여 적재량을 산출하였다. 이는 야적퇴비의 실제 적재량을 파악하기에 어려움이 있으나, 적재 변화를 보기에는 충분하다고 판단된다. 나머지 야적퇴비는 평지에 위치하여 지면을 포함하지 않는 적재량이 계산되었다. 2, 4, 6번 등의 야적퇴비에서 시간의 흐름에 따라 다음 촬영 시에 야적퇴비에 식생이 자라나거나, 덮개가 바람에 부풀어 오르는 현상이 있어 적재량 계산에서 오차가 발생하였다. 각 시기별 총

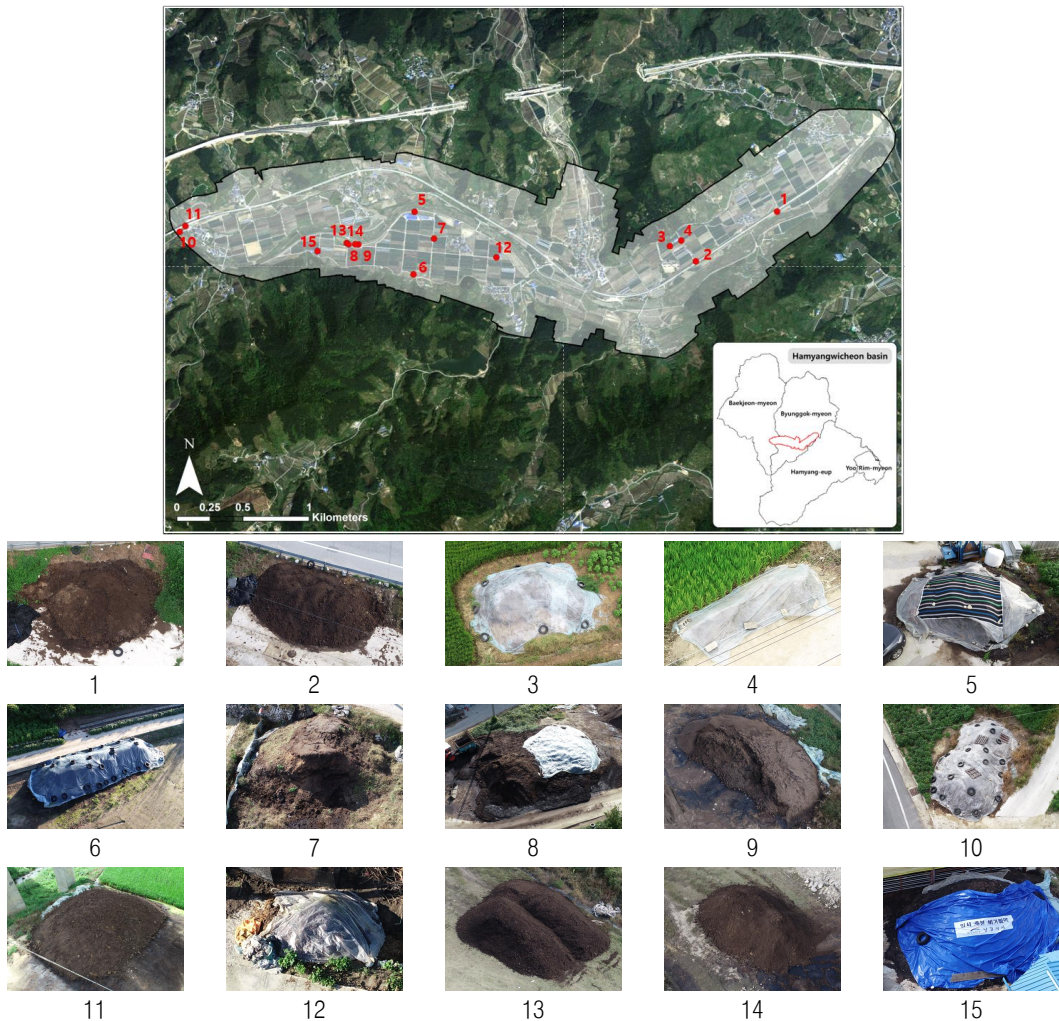


FIGURE 9. the location of composting

TABLE 6. Presence or absence of covers by photography shooting time

Number of composting	Presence or absence of covers		
	2018.08.21.	2018.09.05.	2018.10.13.
1	X	○	X
2	○	○	X
3	○	○	○
4	○	○	-
5	△	△	△
6	○	○	○
7	○	○	X
8	△	△	△
9	○	○	X
10	○	○	○
11	X	○	△
12	-	△	-
13	-	-	X
14	-	-	X
15	-	-	△



X = The cover was not present. △ = The cover was present but not completely covered. ○ = The cover completely covered the composting.

야적퇴비 적재량은 1,172.16m³, 1,461.66m³, 1,350.53m³로 나타났다.

적재 변화를 파악하기 위하여 적재 변화 패턴 별로 야적퇴비를 구분하여 분석하였다. 총 야적퇴비의 적재량 변화 패턴은 증가 후 감소하는 경향을 보였으며, 1, 3, 8, 9, 11, 12번 야적퇴비도 같은 경향을 보였다. 2, 4, 6번 야적퇴비의 패턴은 적재량이 변하지 않다가 감소하였으며, 13, 14, 15번 야적퇴비는 2, 4, 6번 야적퇴비와 반대로 적재량이 변하지 않다가 증가하는 경향을 보였다. 7, 10번 야적퇴비는 계속 증가하는 경향을 보였으며, 5번 야적퇴비와 같이 적재량이 감소 후 변하지 않는 야적퇴비도 존재하였다. 이를 보아 약 4.9km² 면적의 작은 대상지 내에서도 야적퇴비의 적재 변화는 다양한 패턴을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

다양한 적재 변화 패턴을 가지는 야적퇴비는 주로 농작업에 의해 영향이 큰 것으로 판단된다. 강우 하루 전 촬영시기인 2018년 8월 21일 이후부터 강우가 2018년 9월 4일까지 지속되었고, 다음날 2018년 9월 5일에 촬영을 하여 강우에 의한 야적퇴비의 유실을 확인할 수 있는 시기이다. 그러나 강우에 의해 유실되는 경향보다 적재량이 증가하는 경향을 크게 보이고 있어 농작업이 이루어진 것으로 보인다. 이는 강우 중에 야적퇴비 적재 작업이 진행되었을 가능성이 높아 야적퇴비에서 침출수가 발생하여 수계로 유입되었을 가능성이 있다고 판단된다. 10월은 농경지에 퇴비를 살포하기 위해서 대상지 내 반수 이상의 야적퇴비가 적재량이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 덮개가 대부분 잘 설치되어 있지 않아 이 시기에 강우가 올 경우 야적퇴

TABLE 7. DSM volume of composting

(단위 : m³)

Number of composting	DSM volume of composting		
	2018.08.21.	2018.09.05.	2018.10.13.
1	47.84	87.30	39.54
2	77.99	78.58	67.05
3	28.64	71.18	30.78
4	2.78	2.85	-
5	58.58	42.65	43.12
6	113.83	112.66	105.00
7	73.77	75.26	77.66
8	341.02	376.19	314.96
9	280.35	292.84	207.89
10	46.77	56.10	66.00
11	100.59	258.29	148.68
12	-	7.76	-
13	-	-	96.07
14	-	-	99.67
15	-	-	54.11
Sum	1,172.16	1,461.66	1,350.53

비와 농경지에 살포된 퇴비가 비점오염원으로 함께 작용할 가능성이 높다고 판단된다.

결론

본 연구는 농촌지역에서 비점오염원으로 작용하고 있는 야적퇴비에 대하여 UAV를 활용하여 야적퇴비 영상을 획득하고, 야적퇴비의 관리상태 확인 및 적재량을 산출하여 각 시기별 적재변화를 파악하였다. 대상지 내에서 야적퇴비 탐색 및 영상을 획득하기 위하여 UAV 영상을 수동조종 비행을 통해 획득하였으며, UAV 영상 데이터로부터 산출한 적재량의 정확도를 확인하기 위해 지상 LiDAR를 활용하여 검증 실시하였다. 그 후 UAV를 통해 획득된 영상으로 정사영상과 DSM을 제작하여 야적퇴비의 관리상태, 적재량 산출 및 적재 변화를 확인하였다.

UAV 데이터의 정확도를 검증하기 위해 Profile과 야적퇴비 적재량으로 지상 LiDAR 데이터와 비교분석을 실시하였다. Profile 비교 분석을 한 결과 UAV와 지상 LiDAR의 형상이 비슷함을 확인할 수 있었으며, RMSE는 0.123m, 범위는 약 0.21m 이내의 차이를 나타내는 것으

로 나타났다. UAV 데이터를 통하여 산출하는 적재량의 정확도는 지상 LiDAR 데이터와 비교하여 93.24%로 나타났다. 이를 통해 UAV를 수동조종 방식으로 데이터를 취득하여 야적퇴비의 적재량을 산정하고 활용하기에 충분하다고 판단된다.

강우 전·후로 2018년 8월 21일과 2018년 9월 5일에 촬영을 실시하였으며, 추수 후 농경지에 퇴비를 살포하는 시기인 2018년 10월 13일에 촬영을 실시하여 총 15개소의 야적퇴비를 탐색하였다. 대상지 내의 야적퇴비의 관리상태는 대부분 덮개가 잘 설치되어 있었으나, 10월 13일에는 퇴비를 농경지에 살포하는 시기로 덮개가 미설치되어 있는 경우가 많아 강우 시 수계로 유출될 가능성이 높다. 야적퇴비 적재량은 1,172.16m³, 1,461.66m³, 1,350.53m³로 변화하였으며, 강우 전·후로 농작업에 의해 적재량이 크게 증가하여 강우에 의한 야적퇴비의 유실을 파악하기 어려웠으나, 강우 중에 야적퇴비 적재작업이 진행되었을 가능성이 높아 야적퇴비의 침출수가 수계로 유입되었을 가능성이 있다고 판단된다.

위와 같은 결과를 통해 UAV는 야적퇴비의

관리 상태와 적재변화를 파악하는데 활용이 가능한 것으로 확인되었다. 이는 비점오염의 주요 오염원으로 작용하는 야적퇴비에 대해 효과적인 관리방안을 제시하는데 기초적인 자료로 이용할 수 있다. 예를 들어, 장마철 강우에 의해 야적퇴비의 하천 유입을 방지하기 위해 관리상태가 미비한 야적퇴비의 위치를 파악할 수 있으며, 또한, 야적퇴비가 하천에 유입되는 양을 산출할 수 있어 비점오염에 대한 영향 파악과 이를 개선하기 위한 다양한 정책 방안을 도출하는데 활용이 가능할 것으로 판단된다. 향후에는 보다 정밀한 야적퇴비 적재량 산출을 위하여 UAV와 지상 LiDAR를 활용하여 적재량 정확도를 증가시키는 연구가 수행될 필요가 있다. 또한, 수동 조종 방식을 통한 탐색의 경우 야적퇴비와 같이 단일 대상물에 대한 데이터만 취득이 가능하므로, 스마트폰 어플리케이션을 활용하여 자동비행 방식으로 영상을 취득하고, 야적퇴비를 포함하는 농촌지역의 비점오염원 데이터를 함께 수집하여 자동탐지 및 정량화 할 수 있는 연구가 필요하다.

본 연구의 결과는 UAV를 활용하여 야적퇴비가 비점오염원으로서 수계에 미치는 영향을 판단할 기초자료로 활용될 것이며, UAV기술의 적용을 통해 효율적인 비점오염원 관리에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Ahn, J.H., I.H. Song and M.S. Kang. 2013. Correlation between raw materials and chemical contents of livestock compost. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(2):37-45 (안지현, 송인호, 강문성. 2013. 축분종류에 따른 가축분퇴비의 화학성분 특성분석. *한국농공학회지* 55(2):37-45).
- Choi, J.K., J.G. Son., H.J. Lee and Y.J. Kim. 2012a. Runoff characteristics of total-N and total-P in upland surface runoff treated with livestock manure compost. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(6):29-37 (최진규, 손재권, 이현정, 김영주. 2012a. 가축분뇨 퇴비가 시비된 밭 표면유출수의 총질소와 총인의 유출 특성. *한국농공학회지* 54(6):29-37).
- Choi, J.K., J.G. Son., K.S. Yoon., H.J. Lee and Y.J. Kim. 2012b. Runoff characteristics in paddy field using cow manure compost fertilizer. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(3):29-36 (최진규, 손재권, 윤광식, 이현정, 김영주. 2012b. 우분 퇴비를 사용한 논에서의 유출수 특성. *한국농공학회지* 54(3):29-36).
- Choi, Y.W., J.H. Ho and G.S. Cho. 2015. Accuracy analysis of UAV data processing using DPW. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science* 23(4):3-10 (최연웅, 유지호, 조기성. 2015. DPW를 이용한 UAV 자료 처리의 정확도 분석. *한국지형공간정보학회지* 23(4):3-10).
- Gyeongsangnam-do. 2015. Phase 3 Basic plan for Total Pollution Loads Management System in Gyeongsangnam-do (경상남도. 2015. 제3단계 경상남도 오염총량관리 기본계획)
- Hong, S.G. and J.T. Kim. 2001. Assessment of leachate characteristics of manure compost under rainfall simulation. *Journal of Korean Society of Rural Planning* 7(2):65-73 (홍성구, 김진태. 2001. 인공강우를 이용한 축종별 축분퇴비침출수의 수질특성 조사. *농촌계획* 7(2):65-73).
- Konkuk University. 2016. Nonpoint source pollution monitoring and control measure

- for agricultural and livestock areas. Ministry of Agriculture (건국대학교. 2016. 농업(경종 축산) 비점오염원 특성 모니터링 및 축산 비점오염원의 영향 분석 관리정책 개발).
- Lee, Y.S., H.J. Lee, S.C. Hong and D.M. Oh. 2009. Effect of non-point sources from Livestock composted land - A case of cows manure. *Journal of Korea Wetlands Society* 11(3):81-88 (이영신, 이희집, 홍성철, 오대민. 2009. 축산퇴비의 농지환원시 비점오염원으로서 수계에 미치는 영향 -우분을 중심으로. *한국습지학회지* 11(3):81-88).
- Lee, J.H. 2018. <http://www.anews.com/detail.php?number=1289962&thread=09r06> (이재화. 2018. 진주 진양호 상류 오염원 특별 지도점검. *아시아뉴스통신*).
- Lee, D.G., Y.G. Yu., J.H. Ru and 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 (이동국, 유영걸, 유지호, 이현직. 2016. 드론사진 측량을 이용한 노천광산 생태복원지역의 변화 모니터링. *한국지형공간정보학회지* 24(4):97-104).
- Lee, H.J. and G.S. Cho. 2017. Comparative accuracy of terrestrial LiDAR and unmanned aerial vehicles for 3D modeling of cultural properties. *Journal of Cadastre & Land InformatiX* 47(1):179-190 (이호진, 조기성. 2017. 문화재 3차원 모델링을 위한 지상 LiDAR와 UAV 정확도 비교 연구. *지적과 국토정보* 47(1):179-190).
- Nakdong river environment research center. 2012. Management methods and runoff survey of non-point pollutants in upstream Nam-river dam (낙동강물환경연구소. 2012. 남강댐 상류지역 비점오염원 파악 및 대책수립).
- Oh, K.Y., J.S. Kim and J.W. Cho. 2007. Characteristics of pollutant concentrations in runoff water from a small rural watershed. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 49(2): 99-108 (오광영, 김진수, 조재원. 2007. 농촌 소유역 유출수의 오염물질 농도 특성. *한국농공학회지* 49(2):99-108).
- Park, J.K. and D.Y. Um. 2018. Utilization evaluation of digital surface model by UAV for reconnaissance survey of construction project. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* 19(3):155-160 (박준규, 엄대용. 2018. 건설공사 현황측량을 위한 UAV DSM의 활용성 평가. *한국산학기술학회 논문지* 19(3):155-160).
- Park, J.K., S.Y. Lee., I.T. Yang and D.M. Kim. 2010. Monitoring of the natural terrain behavior using the terrestrial LiDAR. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers* 30(2):191-198 (박재국, 이상윤, 양인태, 김동문. 2010. 지상라이다 자료를 이용한 자연사면의 변위 모니터링. *대한토목학회논문집* 30(2):191-198).
- Son, S.W., J.H. Yoon., J.H. Jo., T.H. Kim and H.J. Jeon. 2016. Analysis of disaster response technologies that use drones and trend of research pp.63-68 (손승우, 윤정호, 조지혜, 김태현, 전형진. 2016. 드론을 이용한 환경재난 사후대응 기술 및 연구향 분석 연구 63-68쪽).
- Won, C.H., Y.H. Choi., M.H. Shin., J.Y. Seo and J.D. Choi. 2011. Analysis of livestock resources on NPS pollution

- characteristics by rainfall simulation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(2):67-74 (원철희, 최용훈, 신민환, 서지연, 최중대. 2011. 인공강우를 이용한 축산 자원화물의 비점오염 배출 특성 분석. *한국농공학회지* 53(2):67-74).
- Yu, J.J., H.S. Park., Y.J. Yang and D.H. Jang. 2016. Assessing the Applicability of UAS for detecting geomorphological changes in coastal areas: A case study in the Baramarae Beach in Anmyeondo. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 23(4):113-126 (유재진, 박현수, 양윤정, 장동호. 2016. 해안지역의 시계열 지형변화 분석을 위한 UAS 활용 가능성 평가: 안면도 바람아래해변을 대상으로. *한국지형학회지* 23(4):113-126. **KAGIS**)