

무인항공사진측량 기법을 적용한 수고 산정 연구*

방대식¹ · 이동국¹ · 양승룡² · 이현직^{3*}

Study on the Tree Height Using Unmanned Aerial Photogrammetry Method*

Dea-Sick BANG¹ · Dong-Gook LEE¹ · Sung-Ryong YANG² · Hyun-Jik LEE^{3*}

요 약

수고는 산림과 관련된 다양한 업무에서 매개변수로 사용되는 정보이다. 특히 맞춤형 조림지도 제작과 같은 산림관련 주제도 제작에 이용된다. 이러한 수고 정보를 산정하기 위해서 기존에는 현장조사나 항공사진의 도화방식으로 수행하였다. 그러나 많은 시간과 비용이 투자된다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 2년 주기로 촬영되는 항공사진을 이용한 수목의 수고를 산정하는 방안을 제시하고자 하였다. 이에 무인항공사진측량을 통한 수고 산정 방안을 검증하고, 무인항공사진 및 항공사진 DB에 무인항공사진측량 기법을 적용하여 생성된 산출물을 이용해 수고를 산정하였다. 산정된 수고를 비교한 결과 본 연구에서 제시한 수고 산정 방안이 효율적인 것으로 판단되며, 항공사진 DB의 활용성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 무인항공사진측량 기법, 항공사진 DB, 수고, 산정

ABSTRACT

Tree height is information that is used as a parameter for variety of tasks related to forests. Specifically, customized topics related to forests such as afforestation map are also used for production. In order to calculate tree height information, a field survey or drawing was using aerial photographs. However, there is a problem that is costing a lot of time and money. Therefore, it was suggested to calculate tree height using aerial photographs taken every two years. Thus, the method for calculating tree heights was validated by unmanned aerial photogrammetry, and tree heights were calculated using

2018년 08월 01일 접수 Received on August 1, 2018 / 2018년 08월 28일 수정 Revised on August 28, 2018 /
2018년 8월 28일 심사완료 Accepted on August 28, 2018

* 본 연구는 2017년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2017R1D1A1B03028195) 및 국토교통부 위성정보 활용센터 설립운영 사업의 연구비지원(18SIUE-B148326-01)에 의해 수행되었습니다.

1 상지대학교 토목공학과 Dept. of Civil Eng, Sangji University

2 여주대학교 도시공간디자인과 Dept. of institute of technology, Yeosu University

3 상지대학교 건설시스템공학과 Dept. of Civil Eng, Sangji University

※ Corresponding Author E-mail : hjiklee@sangji.ac.kr

outputs generated by unmanned aerial photogrammetry applied to the unmanned aerial photograph and Aerial photograph DB. The comparison of calculated tree heights shows that the measures proposed in this study are efficient. and We expect to improve the usability of aerial photographs DB.

KEYWORDS : *Unmanned Aerial Photogrammetry Method, Aerial Photograph DB, Tree Height, Calculate*

서 론

산림정보는 수종, 임상과 같은 수평적 정보와 수고, 흉고직경과 같은 수직적 정보로 구성되며, 기존의 산림정보가 임상도와 같이 수평적 정보에 국한되어 있어 이를 고도화하기 위해 최근에는 수고 정보 등의 수직적 정보를 구축하고 있다.(Lee *et al.*, 2017)

임상도, 맞춤형조림지도와 같은 산림과 관련된 주제도는 수직적 정보와 수평적 정보 모두를 포함하고 있으며, 특히 맞춤형조림지도는 지역별 토양, 기후, 지형 조건을 종합 분석하여 지역에 알맞은 조림수종을 상세하게 알려주는 산림지도로서 다양한 수종분포와 소면적의 구획으로 현장 자료로 활용이 가능하다(Forest Geospatial Information Service, 2017). 이러한 산림과 관련된 주제도 제작에는 현장 조사와 항공사진의 도화방식으로 진행되고 있다.

그러나 수고 등의 수직적 산림정보의 구축을 위해서는 현장조사나 항공사진의 도화방식으로 수행하여 자료의 품질이 낮고, 많은 시간과 비용이 투자된다는 문제점이 있다.(Lee *et al.*, 2017)

이와 같은 산림의 수평적, 수직적 정보들 중 수직적 정보를 산정하기 위해 제시되었던 방법이 항공 LiDAR를 이용하는 방법이다. 항공 LiDAR를 이용한 산림정보 산정 연구사례를 살펴보면, Kim *et al.*(2009)은 LiDAR 자료의 벡터형식 자료에 경사도를 이용한 영역확장법(region growing)을 적용하여 지면점을 분류하고 지면점이 아닌 점들로부터 표고분석을 통하여 수목의 개체수를 파악하였으며, 지면점으로

부터 보간한 지면표고와 수목정점간의 표고차를 통하여 수고를 선정하였고, Lee *et al.*(2012)은 항공 LiDAR를 이용하여 포인트 필터링 기법을 이용한 지면점을 분류하고, 분류된 기준점을 수관 형태에 따른 산림 분류 후, 분류된 식생점에 영역확장 기법을 이용하여 수고를 산정하였다.

Zimble *et al.*(2003)은 수목이 포함된 LiDAR DSM을 지표면 포인트만 추출된 LiDAR DEM을 차분하여 수고를 선정하였다. Lee *et al.*(2014)은 항공 LiDAR를 이용하여 DSM과 DEM을 추출하였고, 이를 이용하여 수목을 추출하였다.

이와 같이 LiDAR를 이용한 산림의 수직적 정보를 산정하는 다양한 연구가 진행된 것을 알 수 있었다.

또한 연구 사례를 분석한 결과 수평적 정보를 산정하기 위한 방법으로 위성영상, 항공정사영상을 활용하는 방법이 제시되었다. 위성영상 및 항공정사영상을 활용한 산림의 수평적 정보 산정 사례를 살펴보면, Wulder *et al.*(2003) 등은 Lansat의 위성영상을 이용하여 산림지역에서 수목의 수관형상을 추출하였다. Pascual *et al.*(2008)은 수관형상을 추출하기 위해 k-means 알고리즘을 이용하여 영상 분할을 수행하였다.

Kim(2013)은 항공정사영상에 객체기반 영상 분류법을 적용하여 영상 수목영역을 추출하였다.

이와 같이 산림의 수평적 정보인 수관형상을 추출하기 위해서는 위성영상 및 항공정사영상의 영상분할을 통해 가능함을 알 수 있었다. 연구 사례 조사·분석을 통해 LiDAR와 위성영상 또는 항공정사영상을 이용하여 산림의 수평적 정보

및 수직적 정보의 산정이 가능함을 확인하였다.

그러나 항공사진에 무인항공사진측량 기법을 적용하여 생성된 point cloud, DSM(Digital Surface Model), 정사영상을 이용해 산림의 수평적 정보 및 수직적 정보를 산정한 사례는 미비한 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 2년 주기로 전국 수치지도 및 정사영상 제작을 위해 구축되는 항공사진 DB를 활용하여 산림의 수관형상 및 수고를 산정할 수 있는 방안으로 무인항공사진측량 기법을 적용하고자 하였다. 이를 위하여 우선적으로 무인항공사진측량을 통해 수관 및 수고 산정 방법론을 검증하고, 항공사진 DB에 무인항공사진측량 기법을 적용하여 생성된 산출물을 활용하여 수관을 추출하고, 수목별 수고를 산정할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

연구 내용 및 범위

본 연구는 국가차원에서 구축하는 항공사진 DB에 무인항공사진측량 기법을 적용하여 생성된 산출물을 활용하여 산림공간정보를 생성하는 방안을 제시하고자 그림 1과 같은 흐름으로 연구를 수행하였다.

무인항공사진 및 항공사진 DB에 무인항공사

진측량 기법을 적용하면 point cloud, DSM, 정사영상, 3D mesh가 생성된다.

본 연구에서 제시하는 수관 및 수고를 산정하는 방법은 무인항공사진측량 기법으로 생성되는 point cloud 또는 DSM, 정사영상을 활용하는 방법이다.

수관을 추출하기 위해서는 정사영상을 활용하는데, 이때 영상분할을 통하여 수관의 형상을 추출한다. 추출된 수관은 각각의 수목 객체를 의미하며, 수목 객체별 수고 산정에 활용한다.

수고를 산정하기 위해서는 무인항공사진측량 기법으로 생성된 point cloud 또는 DSM을 이용하며, 이때 수치지도 등고선을 이용해 생성된 DEM을 차분하여 산림지역에서의 수고 정보를 산정하고, 정사영상을 이용해 추출된 수관 형상과 융합하여 수목 객체별 수고를 산정한다.

이와 같은 방법의 신뢰성을 확보하기 위하여 연구 대상지역 내에 일부 지역을 선정해 무타겟 Total station을 이용하여 수고를 관측하고, 무인항공사진측량을 이용한 수고 산정 결과와 비교분석을 우선 수행 후 대상지역 전체에 대하여 수고를 산정하였다.

1. 대상지역 선정

본 연구의 대상지역은 그림 2와 같이 위치해

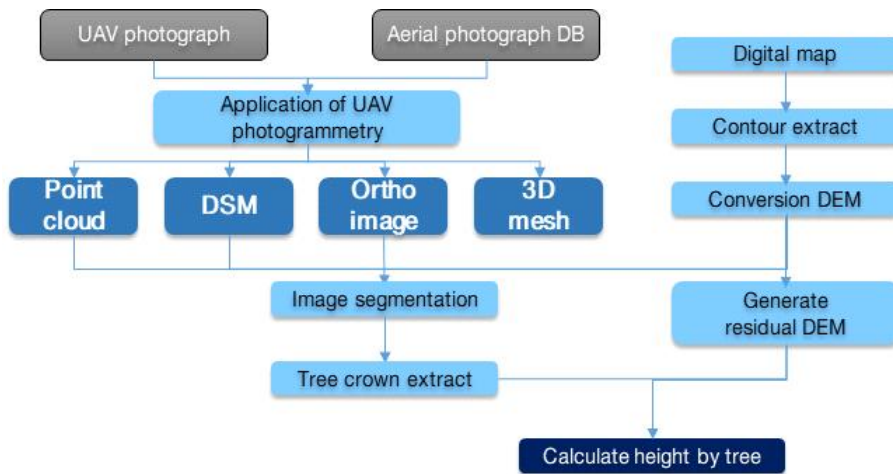


FIGURE 1. Study flow



FIGURE 2. Study area

있는 상지대학교 일원으로 선정하였다. 수고 산정은 상지대학교 교내에 있는 수목을 대상으로 하였으며, 상지대학교 교내 일부 지역에 대해서 무인항공사진측량을 통한 수고 산정 방법의 검증에 우선 수행 후 연구를 진행하였다.

2. 기초자료 취득 및 수집

본 연구를 위하여 취득된 자료는 2018년에

촬영한 회전익 무인항공사진과 무타겟 Total station으로 관측한 수고 정보이며, 2016년에 촬영한 고정익 무인항공사진 및 Network-RTK 방식의 VRS를 이용하여 취득된 지상기준점이다. 또한 연구 수행을 위해 수집된 자료는 2016년에 촬영된 Frame type 항공사진과 통합기준점 점의조서 및 기준점 좌표이다(표 1).

무인항공사진 및 항공사진 DB의 무인항공사

TABLE 1. Data list

Division	Contents	note
Acquisition	○ UAV image - GSD : 3cm - 103 sheet for image	DJI Inspire 1 V2 (Rotary-wing)
	○ Ground control point - 4 unit of GCP using VRS	
Acquisition	○ UAV image - GSD : 6cm - 234 sheet for image	SenseFly eBee (Fixed-wing)
	○ Ground control point - 17 unit of GCP using VRS	
Collection	○ Aerial image - GSD : 25cm - 120 sheet for image	Intergraph DMC 1 (Frame type)
	○ Ground control point - 10 unit of GCP (Unified control point)	

진측량 기법 적용을 위해서 사용된 SW는 Bentley 사의 Context Capture를 이용하였으며, 영상 분할에 사용된 SW는 Trimble 사의 eCognition을 이용하였고, 수고 산정을 위한 잔차 DEM 생성 및 수목 객체별 수고 산정에 사용된 SW는 Esri 사의 Arcmap을 이용하였다.

무인항공사진측량을 이용한 수고 산정 방법 제시

1. 수고산정 방법 검증 대상지역

수고 산정 방법을 제시하기 위하여 DJI 사의 Inspire 1 V2 모델을 이용하여 연구를 수행하였다. 수고 산정 방법 도출 대상지역은 연구 대상지역 내에 일부 구역에 존재하는 수목에 대하여 수행하였다(그림 3).

2. 수고산정 방법 검증을 위한 무인항공사진측량

무인항공사진측량은 무인항공사진과 지상기준점을 이용하여 무인항공사진측량 기법을 적용하여 수행된다. 무인항공사진측량 기법을 적용한 영상처리 과정은 그림 4와 같이 영상입력 후 초기자료 처리, Keypoint 추출, 영상 매칭, 광속 조정, Point cloud 추출, 3D mesh 생성, 3D

mesh 필터링, DSM, 생성, 정사영상 생성 순으로 진행된다.

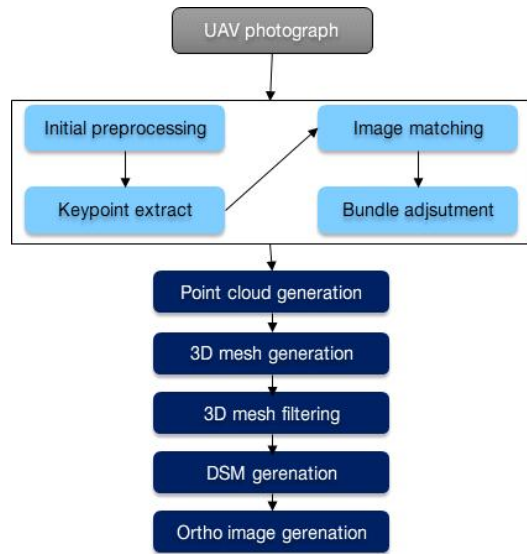


FIGURE 4. UAV photogrammetry process

Inspire 1 V2 모델을 이용한 무인항공사진측량을 위하여 2018년에 교차촬영으로 GSD 3cm 급으로 총 103매의 영상을 촬영하였으며,

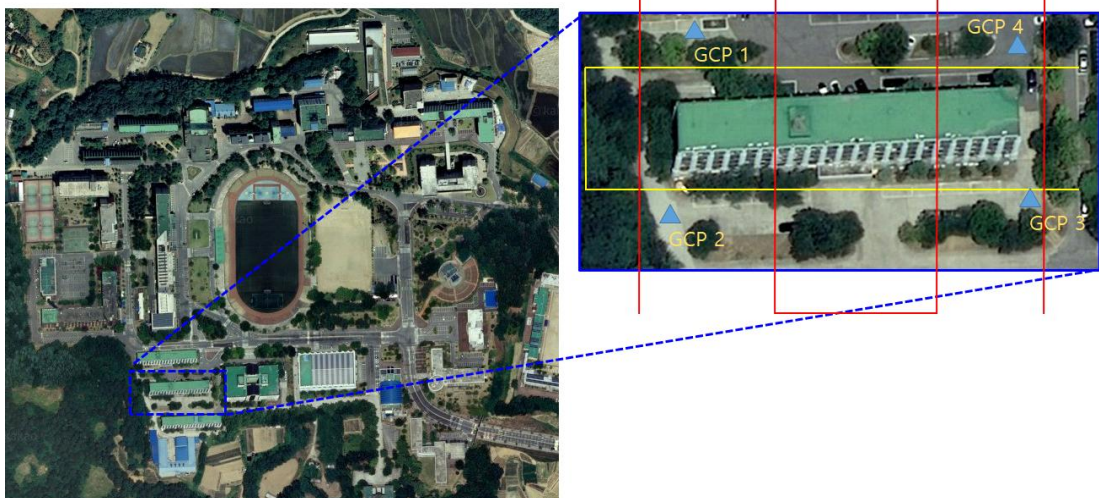


FIGURE 3. Area to derive method for calculate tree height, Shooting course and GCP placement



FIGURE 5. Ortho image(Inspire 1 V2)

영상처리를 위하여 Netwrok-RTK 방식의 VRS 장비를 이용해 4개의 지상기준점 측량을 수행하였다(그림 3).

무인항공사진측량을 통해 생성되는 정사영상 및 DSM의 GSD는 3cm이다. 그러나 일반적으로 우리나라에서 항공사진 촬영 시 GSD 25cm 급으로 촬영된다. 따라서 본 연구에서 생성한 정사영상 및 DSM은 GSD 25cm로 다운샘플링 하였다. 그 결과 그림 5와 같이 정사영상을 생성하였으며, 그림 6과 같은 DSM을 생성하였다.

3. 무인항공사진측량 산출물을 이용한 수고 산정

수고를 산정하기 위해서는 수관형상 추출이 우선 수행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 정사

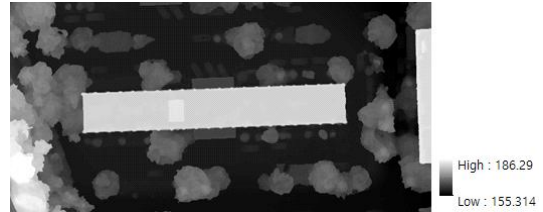


FIGURE 6. DSM(Inspire 1 V2)

영상을 이용하여 그림 7과 같이 영상분할을 수행하고, 영상 분류를 수행하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 정사영상은 Nir 밴드가 없는 RGB 영상이므로 NDVI(Normalized Difference Vestation Index)의 제작이 불가능하여 그림 8과 같이 영상분류에 오류가 있었다. 그러나 추후 Nir 밴드를 포함하는 영상 처리를 수행하면 보다 명확한 수관을 추출할 수 있을 것으로 판단된다.

수고를 산정하는 방법은 DSM과 DEM을 차분하는 잔차 DEM을 생성하여 영상분류를 통해 추출된 수관에서 잔차 값이 가장 큰 값을 지정하는 것이다. 이를 위하여 1:1,000 수치지도 등고선을 이용하여 DEM을 생성하였다(그림 9).

무인항공사진측량으로 생성된 DSM과 1:1,000

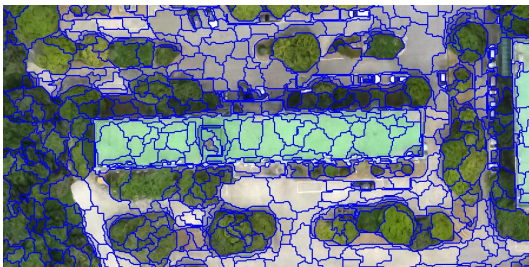


FIGURE 7. Result of image segmentation of ortho image(Inspire 1 V2)

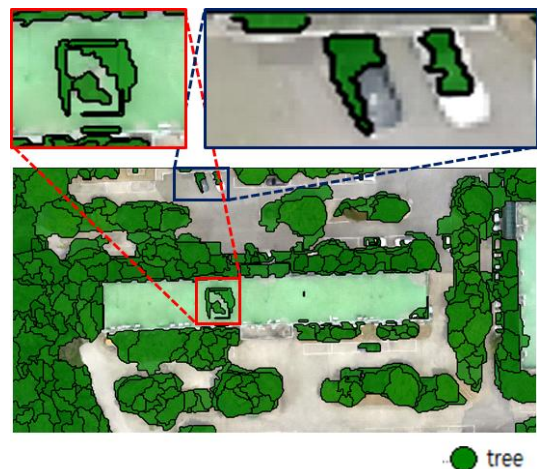


FIGURE 8. Result of image classification(Inspire 1 V2)



FIGURE 9. DEM(1:1,000 digital map)

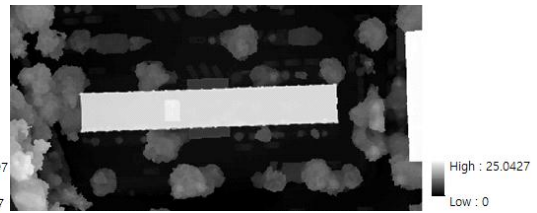


FIGURE 10. Residual DEM

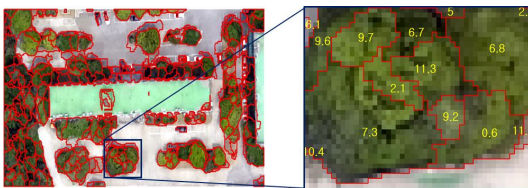


FIGURE 11. Calculate of tree crown and height



FIGURE 12. Tree height observation using total station

수치지도 등고선으로 생성된 DEM을 차분하는 잔차 DEM을 생성하였다(그림 10). 생성된 잔차 DEM과 앞서 추출한 수관을 이용하여 수목별 수고를 산정하였다(그림 11).

무인항공사진측량을 통한 수고 산정 결과의 검증에 위하여 무타겟 Total station을 이용하여 수고를 관측하였다(그림 12). 실측된 수고

값과 무인항공사진측량을 통해 산정된 수고 값은 표 2와 같이 나타났으며, 실측된 수고 값과의 차이를 계산한 결과 평균 0.5m의 차이를 나타내 무인항공사진측량을 통한 수고 산정 결과가 신뢰성 있음을 알 수 있었다.

TABLE 2. Result of tree height comparative analysis

Division	Total station tree height(m)	UAV tree height(m)	tree height gap(m)	Division	Total station tree height(m)	UAV tree height(m)	tree height gap(m)
1	7.7	7.5	0.2	15	6.8	7.5	0.7
2	6.5	6.9	0.4	16	5.0	5.4	0.4
3	11.8	12.8	1.0	17	7.8	7.9	0.1
4	6.8	7.8	1.0	18	8.5	8.8	0.3
5	7.7	7.9	0.2	19	8.2	8.4	0.2
6	9.3	9.9	0.6	20	12.6	13.6	1.0
7	8.8	9.9	1.1	21	5.1	5.5	0.4
8	10.8	12.0	1.2	22	7.5	8.0	0.5
9	8.4	8.8	0.4	23	9.8	10.3	0.5
10	5.2	5.2	0.0	24	7.7	7.6	0.1
11	5.5	5.8	0.3	25	11.5	12.6	1.1
12	9.3	10.2	0.9	26	11.3	11.5	0.2
13	14.7	15.3	0.6	27	6.1	7.1	1.0
14	14.3	13.9	0.4	Average	8.7	9.2	0.5

무인항공사진 및 항공사진 DB를 이용한 수고 산정 비교

앞서 무인항공사진측량을 이용한 수관 및 수고 산정이 가능함을 확인하였다. 따라서 앞서 이용한 방법과 동일한 방법으로 연구대상지역에 대하여 무인항공사진측량 및 항공사진 DB의 무인항공사진측량 기법 적용에 따라 생성되는 산출물을 활용하여 그림 13과 같은 흐름으로 수고 산정 비교를 수행하였다.

1. 무인항공사진을 이용한 수고 산정

대상지역의 무인항공사진측량에 이용된 항공사진은 2016년 SenseFly 사의 eBee 모델을 이용하여 촬영된 GSD 6cm 급 항공사진이며, 항공사진 DB는 2016년에 Intergraph 사의 DMC 1 카메라로 촬영된 GSD 25cm 급 항공사진이다.

무인항공사진측량을 수행하기 위한 지상기준

점은 Network-RTK 방식의 VRS 장비를 이용하여 측량한 좌표를 이용하였고, 영상처리 후 연구 대상지역에 해당하는 정사영상 및 DSM을 추출하였다.

무인항공사진측량으로 생성된 정사영상 및 DSM은 GSD 25cm로 다운샘플링 하였다. 다운샘플링된 정사영상 및 DSM은 그림 14와 같으며, 정사영상의 영상분할을 통해 수목을 분류한 결과 그림 15와 같이 나타났다. 영상분할에는 Scale, Shape, Compactness의 매개변수를 이용하여 영상분할을 수행하며, 각각의 매개변수의 임계값은 Scale을 25, Shape을 01 Compactness를 0.5로 설정하고 수행하였다.

무인항공사진측량으로 생성된 DSM과 1:1,000 수치지도 등고선을 이용해 생성된 DEM을 차분하는 잔차 DEM을 이용하여 수고를 산정하였고, 영상분류를 통해 추출된 수관을 이용하여 수목별 수고를 산정하였다(그림 16).

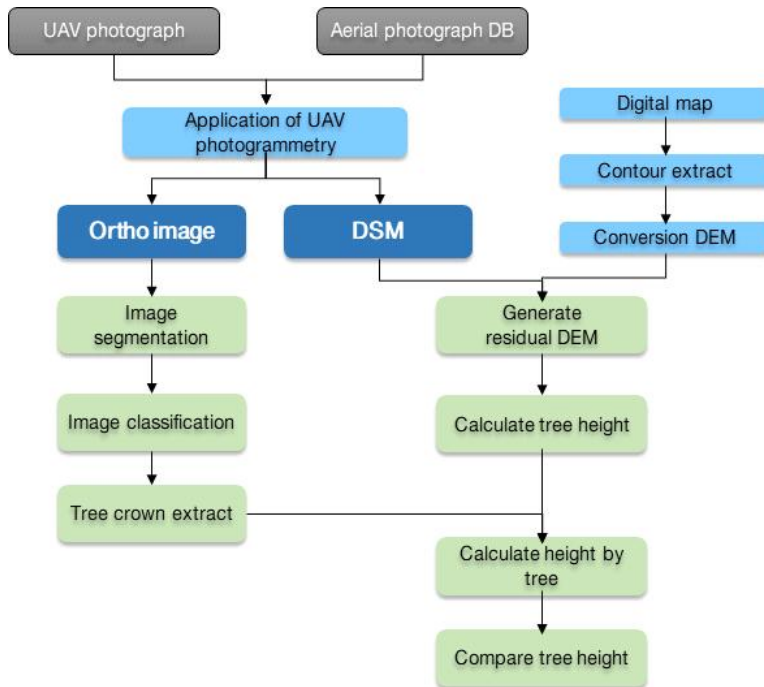


FIGURE 13. Tree height calculate and comparison process



FIGURE 14. Production of UAV photogrammetry using UAV image



FIGURE 15. Result of image classification(eBee)

2. 항공사진 DB를 이용한 수고 산정

항공사진 DB에 무인항공사진측량 기법을 도입하기 위해 항공사진과 지상기준점을 이용해 영상처리를 수행하였다. 지상기준점은 통합기준점 좌표를 이용하여 영상처리 후 연구 대상지역에 해당하는 정사영상 및 DSM을 추출하였다

(그림 17).

항공사진 DB 기반으로 생성된 정사영상 및 DSM은 GSD 25cm이므로 다운샘플링을 수행하지 않았으며, 영상분할을 통해 수목을 분류한 결과 그림 18과 같이 나타났다.

무인항공사진측량으로 수고를 산정한 것과 마찬가지로 항공사진 DB를 기반으로 생성된

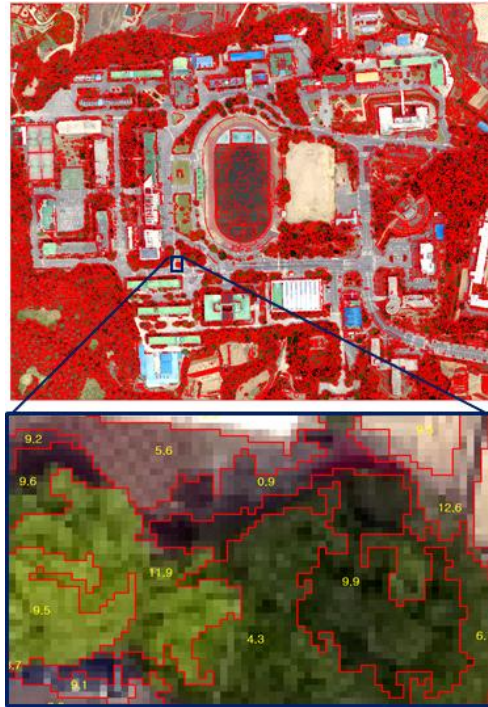


FIGURE 16. Calculate of tree height(eBee)

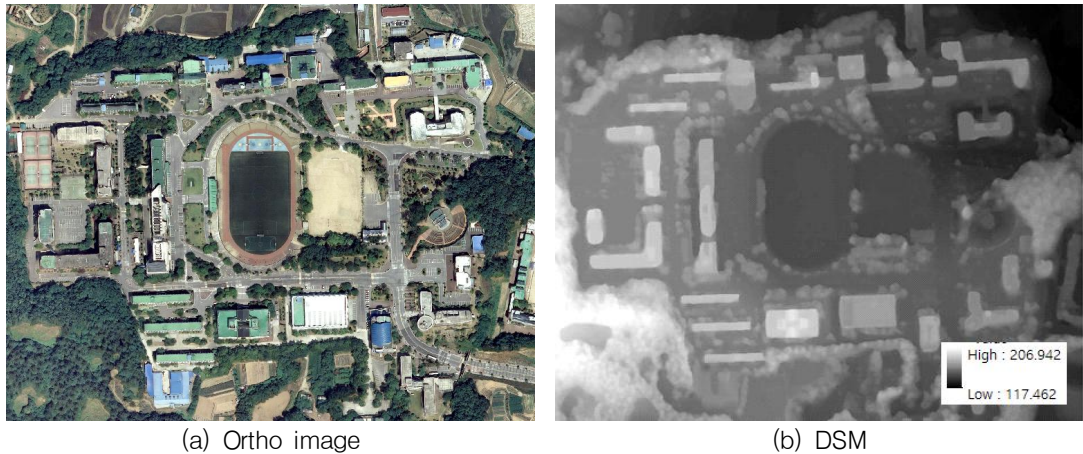


FIGURE 17. Production of UAV photogrammetry method using aerial image

DSM과 1:1,000 수치지도 등고선을 이용해 생성된 DEM을 차분하는 잔차 DEM을 이용하여 수고를 산정하였고, 영상분류를 통해 추출된 수관을 이용하여 수목별 수고를 산정하였다(그림

19).

사진측량 기법 적용으로 생성된 산출물을 이용한 연구 대상지역의 수고 산정 시 연구 대상 지역에는 농경지가 포함되어 있어 영상 분류 시

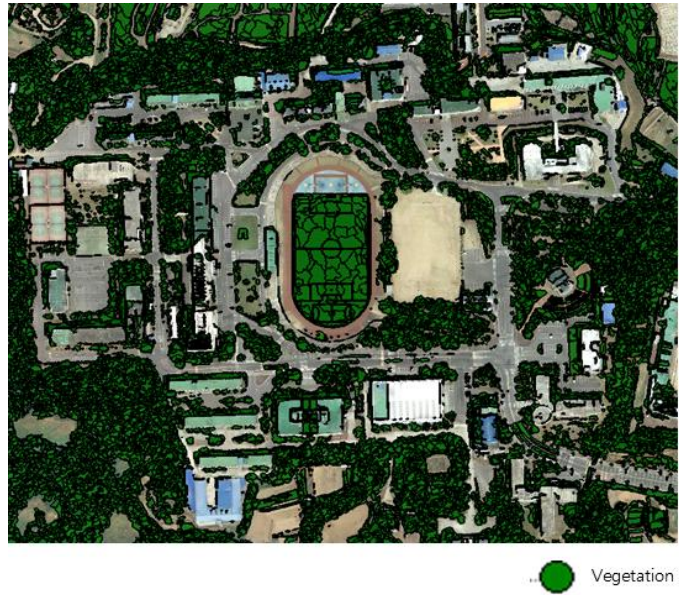


FIGURE 18. Result of image classification(DMC 1)

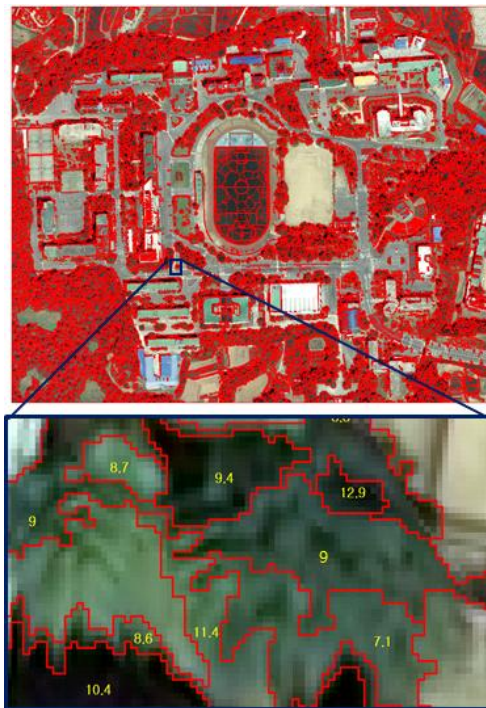


FIGURE 19. Calculate of tree crown and height(DMC 1)

TABLE 3. Result of tree height comparative analysis of using UAV photogrammetry method

Division	Maximum height(m)	Minimum height(m)	Average height(m)	Number of tree
UAV photograph	33.8	1.0	11.3	8,859
Aerial photograph DB	33.6	1.0	10.8	8,777
difference between two values	0.2	0.0	0.5	82

수목 외의 농작물이 포함되어 있을 것을 고려하여 높이가 1m 미만일 경우 수목이 아닌 것으로 간주하였다.

연구 대상지역 내에 존재하는 수목의 수고 산정 시 모든 수목에 대하여 수고 산정 결과를 비교할 수 없어 대상지역 내 수고 중 최대 수고, 최저 수고, 평균 수고를 비교하였다(표 3).

무인항공사진측량과 항공사진 DB의 무인항공사진측량 기법 적용으로 산정된 수고를 분석한 결과 무인항공사진측량으로 생성된 산출물을 이용하여 산정된 최대 수고는 33.8m, 최저 수고는 1.0m, 평균 수고는 11.3m로 나타났다. 항공사진 DB의 무인항공사진측량 기법 적용으로 생성된 산출물을 이용하여 산정된 최대 수고는 33.6m, 최저 수고는 1.0m, 평균 수고는 10.8m로 나타났다.

3. 수고 산정 결과 및 고찰

무인항공사진측량과 항공사진 DB의 무인항공사진측량 기법 적용으로 산정된 수고를 비교한 결과 최대 수고가 0.2m, 최저 수고가 0.0m, 평균 수고가 0.5m 차이 나는 것을 알 수 있었다.

수목의 개수를 비교한 결과 무인항공사진측량으로 추출된 수목의 개수는 8,859개였으며, 항공사진 DB의 무인항공사진측량 기법 적용으로 추출된 수목의 개수는 8,777개인 것으로 나타나 무인항공사진을 이용하는 경우 82개의 수목이 더 많이 추출되는 것으로 나타났다.

이는 항공사진 촬영 당시의 촬영 조건, 영상 밝기 등의 원인으로 차이가 발생한 것으로 판단되며, 특히 영상 촬영 조건으로 GSD가 서로 상이하게 취득되어 발생한 차이로 판단된다.

그러나 Intergraph 사의 DMC 1 카메라의 경우 GSD 12cm 급의 항공사진 촬영이 가능하

므로 수목 추출 개수는 항공사진 촬영 시 GSD 설정으로 그 차이를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 결과로 볼 때 본 연구에서 제시한 수고 산정 방법이 효율성이 있는 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 항공사진 DB에 무인항공사진측량 기법을 적용하여 생성된 산출물을 이용해 수고를 산정하는 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 무인항공사진측량으로 생성된 산출물로 산정된 수고와 실측으로 취득된 수고 값을 비교하여 본 연구에서 제시한 수고 산정 방법의 신뢰성을 검증하였다. 또한 동일한 시기에 취득된 무인항공사진과 항공사진 DB에 무인항공사진측량 기법을 적용하여 생성된 산출물로 수고를 산정하고 비교분석 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 본 연구에서 제시한 무인항공사진측량 기법 적용으로 생성된 산출물을 이용해 수고를 산정하는 방법은 신뢰성 있는 수고를 산정하는데 유용함을 확인 하였다.

둘째, 무인항공사진과 항공사진 DB에 무인항공사진측량 기법 적용으로 생성된 산출물을 이용하여 수고를 산정하고, 비교한 결과 평균 수고와 실측한 수고의 차이가 0.5m로 나타나 넓은 지역에 대하여 직접 관측이 어려운 수고 관측의 오차가 0.5m인 것은 오차가 작은 것으로 판단되며, 이를 통하여 본 연구에서 제시한 수고 산정 방법이 효율성이 있다고 판단된다.

셋째, 본 연구에서 제시한 방법으로 수고 산정 시 단시간, 저비용으로 수고를 산정할 수 있을 것으로 판단되며, 본 연구의 성과는 산림 관련

사업 수행에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

KAGIS

REFERENCES

- Forest Geospatial Information Service, 2017, http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/fgis/UI_KFS_5002_020400.html&mn=KFS_02_04_03_04_07&orgId=fgis.
- Kim, E.M. 2013. Extraction of the tree regions in forest areas using LIDAR data and Ortho-image. *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, 21(2):27-34.
- Kim, D.Y., Y.W. Jang, Y.W. Choi, D.S. Beai and G.S. Cho. 2009. A study information extraction using airborne LiDAR data. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers seasonal conference*. pp.1575-1578 (김두용, 장영운, 최연웅, 배대섭, 조기성. 2009. 항공 LiDAR 자료를 이용한 산림정보 추출 연구. 대한토목학회 학술대회 논문집 1575-1578쪽).
- Lee, D.G., K.D. Kim, S.R. Yang and H.J. Lee. 2017. Study on the possibility of Forest Geospatial Information Generation using past panchromatic forest aerial photograph scanning database. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science* 24(4):107-116 (이동국, 김경덕, 양승룡, 이현직. 2017. 과거 흑백 산림항공사진 스캐닝 데이터베이스를 이용한 산림공간정보 생성가능성 연구. 한국지형공간정보학회지 24(4):107-116).
- Lee, H.J. and J.H. Ru. 2012. Application of LiDAR data & high-resolution satellite image for calculate forest biomass. *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System* 20(1):53-63 (이현직, 유지호. 2012. 산림바이오매스 산정을 위한 LiDAR 자료와 고해상도 위성영상 활용. 한국지형공간정보학회지 20(1):53-63).
- Lee, S.J., J.Y. Park and E.M. Kim. 2014. Development of automated model of tree extraction Using aerial LIDAR data. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* 15(5):3213-3219 (이수지, 박진이, 김의명. 항공 라이다 자료를 이용한 수목추출의 자동화 모델 개발. 한국산학기술학회 15(5):3213-3219).
- Pascual, C., A. Garcia-Abril, L. G. Garcia-Montero, S. Martin-Fernandez and W. B. Cohen. 2008. Object-based semi-automatic approach for forest structure characterization using LiDAR data in heterogeneous *Pinus sylvestris* stands. *Forest Ecology and Management*. 255:3677-3685.
- Wulder, M.A. and D. Seemann. 2003. Forest inventory height update through the integration of lidar data with segmented Landsat imagery, *Can. J. Remote Sensing*, 29(5):536-543.
- Zimble, D.A., D.L. Evan, G.C. Carlson, R.C. Parker, S.C. Grado and P.D. Gerard. 2003. Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment*. 87:171-182. **KAGIS**