

항공라이다 자료를 활용한 수목의 개체수 및 수고 추출

Extracting Individual Number and Height of Tree
using Airborne LiDAR Data

김두용* · 최연웅** · 이근상*** · 조기성****

Kim, Doo-Yong · Choi, Yun-Woong · Lee, Geun-Sang · Cho, Gi-Sung

초 록

산림자원 관련 정보 취득을 위한 산림자료의 조사 및 측정은 방대한 면적, 불리한 접근성 등의 요인에 의하여 많은 시간과 노력이 요구되는 항공사진 분석이나 부분적인 표본조사에 의존하여 왔다. 따라서 정확한 산림자원정보 취득을 위해서는 산림의 수평적 분포에 대한 정보만을 제공하는 광학 원격탐사 기술 및 다중분광영상 보다는 밀도가 높은 산림에서도 산림지형 및 임목의 특성에 관련된 정보의 직접 취득이 가능한 항공라이다와 같은 기술적 접근이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 항공라이다 자료를 이용하여 수목의 개체수 및 높이와 같은 산림정보를 자동으로 추출하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 특히 불규칙 점군자료에서 식생점을 추출하기 위한 방법으로 영역확장법을 적용하였고 수목의 수관 모양에 대한 형태학적 특징을 이용하여 수목의 개체수 및 높이를 추출하였다.

주요어 항공라이다자료, 산림자원정보, 수고, 수목 개체수, 지면점

ABSTRACT

The acquisition of the forest resource information has depended on a partial sampling method or aerial photographs which demand a lot of effort and time because of the vast

* 해양수산부 목포지방해양수산청 (전자우편: kdy0707@korea.kr), 주저자.

** 조선이공대학교 토목건설과 부교수(전자우편: ywchoi@cst.ac.kr), 교신저자.

*** 전주비전대학교 지적토목학과 조교수(전자우편: gslee@jvision.ac.kr), 공동저자.

**** 전북대학교 토목공학과 교수(전자우편: gscho@jbnu.ac.kr), 공동저자.

areas and the difficult approach. For the acquisition of the forest resource information, there have been the optical remote-sensing and the multi-spectrum image to offer only horizontal distributions of trees, but a new technological approach, such as Airborne LiDAR, is more necessary to acquire directly three dimensional information related to the forest terrains and trees' features. This paper proposes an algorithm for the forest information extraction such as trees' individual numbers and the heights of trees by using LiDAR data. Especially, this proposed algorithm adopts a region growing method for the extraction of the vegetation-point and extracts the forest information using morphological features of trees.

KEYWORDS Airborne LiDAR data, Forest Resource Information, Hight of Tree, Number of Tree, Ground Point.

1. 서론

최근 교토의정서와 같은 지구환경협약에 따라 이산화탄소 등 지구온실 가스의 배출 및 감축에 관한 국가적인 의무이행이 강조되고 있으며, 이와 관련하여 임목자원의 생장과 축적에 대한 정보의 체계적인 획득 및 관리의 중요성이 높아지고 있다(고신영 등, 2013). 특히 우리나라의 경우에는 전 국토의 65% 이상을 산림이 차지하고 있어 임목의 축적과 생장 파악을 위한 산림자원정보의 정확한 측정 기술은 환경보전 측면뿐만 아니라 국가의 경제적 이익과 관련된 중요한 기술이라 할 수 있다.

그러나 지금까지 산림자원정보 획득을 위한 산림 조사 및 측정은 방대한 면적과 접근의 어려움 때문에 많은 시간과 노력이 요구되는 항공사진이나 부분적인 표본조사에 의존하여 왔다. 이에 따라 보다 정확한 산림자원정보를

취득하기 위해 산림의 수평적 분포에 대한 정보만을 제공하는 다중분광영상 및 광학 원격 탐사 기술보다는 수관밀도가 높은 산림에서도 임목의 특성 및 산림지형에 관련된 3차원 정보의 직접적인 취득이 가능한 항공 LiDAR와 같은 새로운 기술적 접근이 필요한 실정이다(김두용, 2010).

이와 관련하여 해외에서는 개체목 판별, 흉고직경, 지하고, 수목의 높이 등과 같은 산림의 생장요소들을 직접 측정하는 기존의 현장 조사방법을 대체할 수 있는 추정 방식으로 이미 항공 LiDAR의 연구가 활성화되어 있으며, 특히 이러한 방식은 넓은 면적을 대상으로 하는 정보획득의 경우에 필수적이라 할 수 있다(Shivers 와 Borders, 1996). 따라서 미국 산림청에서는 LiDAR를 임업 분야에 활용하기 위한 여러 가지 분야에 대한 시범연구가 수행되었으며, 캐나다 산림청에서도 1980년대 초

반부터 수목의 높이와 수관울폐도 등을 추정하는 시범적 연구를 통하여 항공 LiDAR 시스템의 활용 가능성을 제시하였다(Renslow 등, 2000).

최초 항공 LiDAR 기술의 산림지역 적용은 산악지형에서의 정밀한 3차원 지형정보 획득을 목표로 하였으나(Haugerud와 Huarding, 2001; 윤정숙 등, 2006), 산림의 표층을 덮고 있는 임목의 특성이 명확하게 규명되어야만 정밀한 지형자료의 취득이 가능하다는 점에 착안하여 지형자료보다는 임목측정의 수단으로 발전하게 되었다(Clark, 2004; Sorin, 2004; Juan 등, 2005; 곽두안 등, 2005; 장안진 등, 2006). 특히 도로 또는 내대지와 달리 산림지역이 수목의 종류, 하층식생, 수목의 높이, 수관밀도 등에 따라 다양한 레이저 펄스 신호가 나타날 수 있다는 특징 때문에, LiDAR 기술은 수목의 높이, 임목의 축적 및 생체량(biomass), 임목의 울폐도 추정 등 다양한 산림정보 추출에 활용될 수 있다(Persson 등, 2002; Hyypä 등, 2006; 송영선, 2006; 우충식 등, 2007; 장안진과 김형태, 2008).

따라서 최근에는 보다 정확한 산림정보를 취득하기 위한 다양한 형태의 선행 연구들이 수행되고 있으며, 다수의 선행 연구에서 LiDAR의 다중반사(multi-return) 특성을 이용함으로써 수목의 높이를 측정하고 있다. 그러나 최초 반사신호(first-return)와 마지막 반사신호(last-return)가 반드시 수관부와 지표면에 해당하는 것은 아니므로, 이러한 연구들에는 다양한 형태의 오류가 포함되어 있으며 이

를 제거하기 위한 추가적인 자료 처리가 수행되어야 하는 한계가 있다.

또한 LiDAR 자료로 생성한 수치표면모델(DSM: Digital Surface Model)과 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)의 차이를 바탕으로 제작된 수관고모델(CHM: Canopy Height Model)을 통하여 수목의 높이를 추출하는 다수의 연구들이 수행되었으나, 벡터 형식 자료인 LiDAR 자료를 래스터 형태로 변형하는 과정에서 보간법(interpolation) 등을 적용하면서 자료의 변형 및 왜곡이 발생하게 되는 문제점이 있다(최연웅, 2005; Choi 등, 2008).

따라서 본 논문은 김두용(2010)을 재편집한 내용으로써 LiDAR 자료를 이용하여 수목의 개체수 및 높이와 같은 수목의 기하학적 정보를 자동으로 추출하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 특히 불규칙한 분포를 갖는 점군자료(point cloud data)에서 지면점과 식생점을 분류하는 방법으로 영역확장법을 적용한 경사도 기반알고리즘을 적용하였고, 추출한 식생점으로부터 수목의 높이 및 개체수 등 수목의 기하학적 정보를 자동추출하였다.

2. 산림 측정

산림측정이란 임업경영이나 산림관리를 위해 개체목 또는 이의 집단인 임분의 축적과 생산량 및 수확량을 파악하고, 또한 매각할 임목의 재적을 확정하는 기초적인 측정기술이다(손영모, 2004). 산림측정의 목적은 다양하다. 이를 크게 대별하면 세 가지로 나눌 수 있는

데, 첫째는 영림계획을 수립하기 위한 기초 자료의 정립이다. 개인, 회사, 지방자치단체, 국가 등이 보유한 산림을 경영하기 위해서는 산림축적이나 성장량 등의 기초 자료가 필요하기 때문이다. 둘째는 원목이나 임목의 판매와 같은 상거래를 진행하기 위해서이다. 마지막으로 셋째는 전국산림자원조사와 같이 국가의 중요한 자원으로서 국민경제적 관점에서 국내 산림자원량을 파악하고 이것의 향후 추이 등을 전망하며, 재적표 혹은 수확표의 작성이나 산림을 대상으로 하는 각종 생태적 연구를 지원하기 위한 것이다(신영섭, 2014). 측정의 대상은 수목과 임분의 연령, 높이, 직경, 단면적, 재적, 중량, 성장량, 성장율, 지조량 등이 있다(최영락, 2015).

특히 측정 인자 중 수목의 높이 즉, 수고(樹高, tree height)는 흉고직경, 임분 재적, 바이오매스의 추정 및 토지의 비옥도를 판단할 수 있는 중요한 인자로서 일반적으로 임목이 위치한 지상부에서부터 수간(stem)의 최상 초두부까지의 길이를 말한다. 수고측정은 수간의 굵음 또는 지상부의 요철 등에 따라 다소의 측정치 오차가 발생할 수 있으므로 주의를 요하는 측정 인자이다(손영모, 2004). 또한 수고의 종류는 다양하게 구분할 수 있는데 전체 수고란 최고 성장지점까지의 길이이고, 지하고(clear length)는 살아 있는 가지까지의 수간 길이, 주로 활엽수에서 발견되는 근주고(stump height)는 지상부에서 근주 끝까지의 길이이다. 이밖에도 이용수고(merchantable height)는 용재로써 이용이 가능한 곳까지의 수고이고, 수관고(crown height)는 수관의 길이, 수

관목질수고(crown wood height)는 수관부위에서의 가지(또는 목질부)가 차지한 수고이다.

수목의 높이 측정 방법에는 줄자나 측고봉을 활용하는 직접측정방법과 수학의 삼각법을 이용한 측고기(hypsometer)를 사용하거나 또는 사진측량의 시차를 이용하여 측정하는 간접측정방법이 있다(신영섭, 2014; 최영락, 2015). 본 연구에서는 알고리즘 적용 결과에 대한 정확도 분석을 위해 현지 실측정보 취득을 위한 수목 높이자료 취득 방법으로 삼각법에 의한 간접수고측정 방법을 이용하였다. 이에 따라 수목까지의 거리 및 수목의 정점과 하단부를 시준한 각을 측정함으로써 수목의 높이를 측정하였다. 측정 장비는 기존의 수고기가 정확도가 떨어지고 측정거리가 일률적으로 고정되어 있다는 단점을 보완하기 위하여 Total-Station을 사용하였다.

산림지역의 수목의 개체수를 파악하는 방법으로는 항공사진을 이용하는 방법과 산림지역 중 표준지를 선택하여 파악하는 방법이 대표적이다. 산지전용 허가기준(고시 2009-78호)에서는 10,000㎡ 이하의 면적에서는 전수조사를 원칙으로 하고 있으며, 10,000㎡ 이상의 경우 1개의 표준지 면적을 400㎡ 이상으로 하고 <표 1>과 같은 개소 수만큼의 전체 산림을 대표할 만한 표준지를 선택하여 산림조사를 실시한다(고신영, 2011).

항공사진을 이용하여 수목의 개체수를 추정하는 방법은 항공사진을 입체시할 때 나타나는 수관을 직접 세는 방법으로서 수목의 밀도가 높은 지역에서는 일반적으로 수고가 높은 수목만이 관측되므로 대부분의 경우 과소치

〈표 1〉 산림 면적에 따른 표준지 개체수

산림 면적	표준지 개체수
50,000㎡ 이하	5개소 이상
50,000㎡ 이상 - 100,000㎡ 미만	10개소 이상
10,000㎡ 이상 - 20,000㎡ 미만	15개소 이상
20,000㎡ 이상	20개소 이상

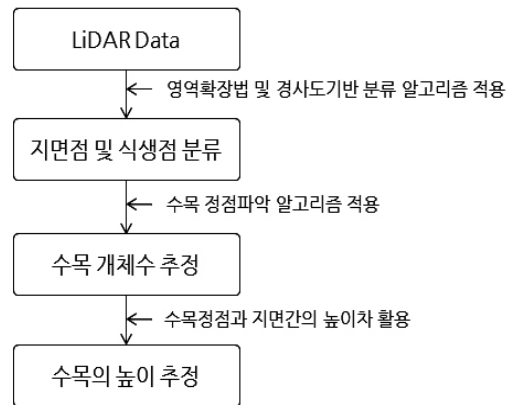
를 얻게 된다. 이 방법은 일반적으로 대축척사진(1:10,000이상)에서 많이 쓰이는데, 밀생림(密生林)에서는 측정치가 과소치를 가져오기 때문에 측정치와 실제밀도와의 상관관계를 찾아 그 계수를 사진상의 측정치에다 곱해 주어야 한다. 또한 수관직경은 수관직경측정정규로 사진상의 수관직경을 측정 후, 측정지의 사진축척을 곱하고 실제직경을 계산하여 구한다(최영락 등, 2015).

본 연구에서는 표준지 측정방법을 적용하여 수목 개체수를 측정함으로써 적용알고리즘의 정확도 분석을 실시하였다. 그리고 알고리즘 적용 표준지는 항공사진을 이용하여 선택하였다. 또한 표준지 경계를 확인할 수 있도록 현지에 100×100m, 80×80m 및 50×50m의 경계를 표시한 후, 표본지 내 수목에 대한 전수 조사를 통하여 개체수를 조사하였다.

3. 수목의 기하학적 정보 추출 알고리즘 개요

본 연구에서는 LiDAR 자료를 이용하여 산림정보를 추출하기 위하여 [그림 1]과 같은 과

정을 수행하였다. 불규칙한 LiDAR 점군자료로부터 산림정보를 추출하기 위해서는 자료 분류가 선행되어야 하므로 영역확장법과 경사도 기반 분류기법(이근상 등, 2015)을 적용하여 지면점과 식생점의 자료 분류를 수행한다. 그리고 식생점으로 분류된 점들로부터 수목의 정점으로 추정되는 점을 추출하여 수목의 개체수를 추정하고, 추출된 정점과 지표면과의 높이차를 이용하여 수목의 높이를 추정하였다.

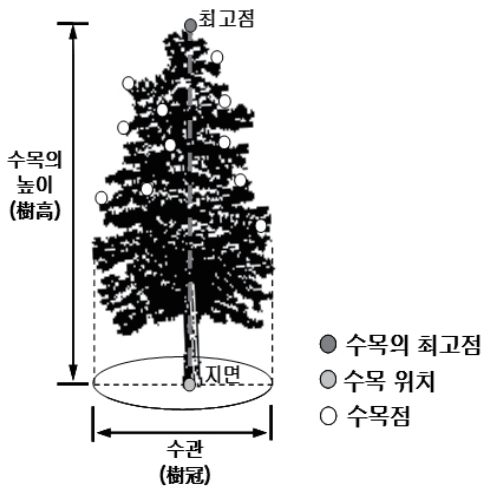


[그림 1] 산림의 기하학적 정보 추출 과정

3.1. 수목의 기하학적 정보 추출

수목의 구조는 일반적으로 원추형 수관의 형상을 형성하고 있으며 [그림 2]와 같이 수관의 최고점이 수목의 위치와 일치한다. 즉 지면이 아닌 점으로 분류된 점들로부터 개체수목의 수관 정점 추출을 통하여 산림 내의 수목의 개체수와 수목의 정점 표고를 추출할 수 있다(Felix 등, 2004).

따라서 본 연구에서는 다음과 같이 수목의



[그림 2] 개체목의 구조

정점을 추출하는 알고리즘을 제시하였다.

- ① 수관의 폭을 고려한 검색 반경을 설정한다.
- ② 식생점으로 분류된 점들 중 임의의 한 점을 기준으로 선정하고, 앞서 설정된 검색 반경 내의 점 자료를 검색한다.
- ③ 기준으로 선정된 점과 검색된 식생점들을 대상으로 표고를 비교한다.
- ④ 기준으로 선정된 점이 반경 내 식생점들의 표고보다 높을 경우 이를 수목의 정점으로 설정한다.
- ⑤ 반경 내에 검색되는 식생점이 검색 기준으로 선정된 점의 표고보다 높은 값으로 검색되면, 이 점을 검색 기준점으로 하여 다시 표고 비교를 수행한다.
- ⑥ 모든 점들에 대하여 ②~⑤ 과정을 반복한다.

또한 수목의 높이를 파악하기 위하여 다음과 같은 과정을 수행하였다.

① 앞서 지면점으로 분류된 점들로부터 IDW(Inverse Distance Weighting) 보간법을 통하여 지면 표고(z_g)를 추정한다.

② 수목 정점의 위치(x_t, y_t, z_t)를 파악한 후 수목 정점의 수평위치(x_t, y_t)에 해당하는 지면 표고(z_g)를 파악한다.

③ 지면표고(z_g)와 수목 정점의 높이차(z_t)를 계산함으로써 수목의 높이(H)를 추정한다.

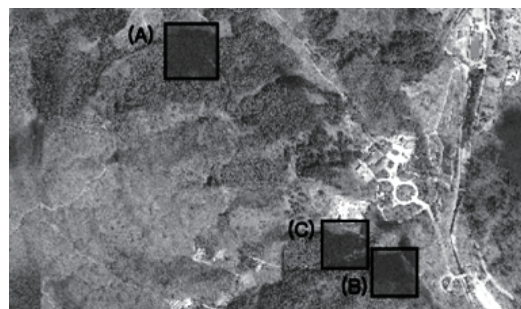
④ 수목의 정점으로 분석된 모든 점들에 대하여 ②~③의 과정을 반복한다.

4. 적용 및 고찰

4.1. 연구대상지역 선정

본 연구는 연구대상지역으로 경기도 포천군 소흘읍과 내촌면, 남양주시 진천읍 일대에 위치하고 있는 광릉숲을 선정하였다. 그리고 광릉숲 일대에서 [그림 3]과 같이 세 표본지역을 추출하였으며, 이 지역을 대상으로 알고리즘을 적용하였다.

산림지역은 일반적으로 경사가 있는 지역에 주로 분포한다. 따라서 이 지역의 자료 분류



[그림 3] 대상지역 내 표본 지역

정확도를 분석하기 위해 지면 경사가 서로 다른 세 지역을 표본지역으로 선택하였다. <표 2>는 표본지역의 지형적 특징을 나타낸다.

<표 2> 표본지역 지형 특징

표본	면적 (가로×세로)	경사도	
		평균	최대
(a)지역	100×100(m)	23.5%	48.5%
(b)지역	80×80(m)	6.67%	13.2%
(c)지역	50×50(m)	17.7%	38.9%

4.2. 자료 취득

4.2.1. LiDAR 자료 취득

본 연구에 사용된 LiDAR 자료는 하나의 펄스로 최대 4회의 반사파 자료를 취득할 수 있어 산림지역 투과성이 우수한 것으로 알려져 있는 Optech사(캐나다)의 ALTM 3070 레이저 스캐너를 이용하여 3point/m²의 점밀도로 취득되었다.

<표 3> 파악된 개체수

표본	면적	개체수(본)
(a)지역	10,000m ² (100m×100m)	288
(b)지역	6,400m ² (80m×80m)	183
(c)지역	2,500m ² (50m×50m)	105

4.2.2. 표본지역 수목정보 취득

제안한 알고리즘 적용 결과의 정확도를 분석하기 위하여 현지조사를 실시하였다. 수목의 개체수는 Total-Station과 항공사진을 이용하여 미리 선정된 표본지역을 찾아 영역을 표시한 후, 현지조사를 통하여 파악하였다. <표 3>은 수목의 현지조사 결과이다.

<표 4> 수목 높이의 현지조사 결과

구분	표본지역 수고(m)		
	(a)지역	(b)지역	(c)지역
1	25.1	21.0	17.4
2	24.8	23.7	16.8
3	23.1	21.3	17.8
4	25.2	21.6	15.7
5	25.1	19.5	16.6
6	23.9	21.1	14.8
7	23.5	22.8	16.1
8	25.0	21.2	
9	23.5	22.4	
10	20.9	23.9	
11	23.9		
12	23.2		
13	25.1		
14	23.7		
15	22.9		
16	20.4		
17	22.7		
18	25.4		
19	25.3		
평균	23.8	21.9	16.5

〈표 5〉 cross-matrix

	지면	비지면	합계	오차(%)	오차 형식
지면	①	②	①+②	② / (①+②)	형식I
비지면	③	④	③+④	③ / (③+④)	형식II
합계	①+③	②+④	①+②+③+④	(②+③)/(①+②+③+④)	총오차

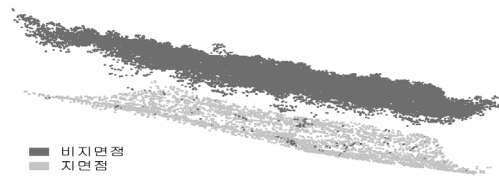
수목의 높이는 대상지역 내 관측이 용이한 수목을 선정하여 관측하였으며 면적을 고려하여 지역별로 각각 19본, 10본, 7본의 표본수목을 선택하였다. 높이 측정 방법은 Total-Station을 이용하여 오프셋(off-set)측량으로 관측하였다.

4.3. 지면점 분류 적용 결과

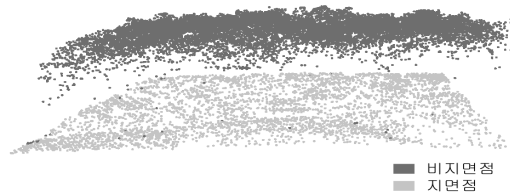
[그림 4]는 영역확장법과 경사도 기반 분류기법(이근상 등, 2015)을 적용하여 LiDAR 자료로부터 지면점을 분류한 결과를 나타낸다.

항공사진으로부터 측정한 대상지역 수목의 평균 수관폭은 (a), (b)지역 5m, (c)지역 4m로 확인되었다. 이에 따라 대상지 수목의 평균 수관폭을 고려하여 LiDAR 자료를 격자형식으로 분할하기 위한 격자 크기를 설정하였다. 또한 경사도 임계값은 대상지역 최대 경사를 고려하여 (a), (c)지역 50%, (b)지역 30%로 설정하였다. 그리고 분류정확도 평가를 위한 기준 자료는 LiDAR 원시 자료로부터 LiAR 자료의 표고정보 및 대상지 항공사진을 참고하였으며, 수작업으로 분류하여 사용하였다.

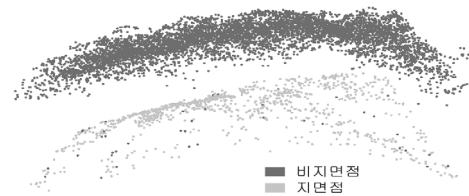
LiDAR 점군자료에 대한 오분류 유형은 지면



(a)지역



(b)지역



(c)지역

[그림 4] 지면점 분류결과

〈표 6〉 cross-matrix에 의한 정확도 분석 결과

대상지역	분류	지면	비지면	합계	오차(%)	오차 형식
(a)지역	지면	4,531	0	4,531	0	형식I
	비지면	160	27,659	27,819	0.6	형식II
	합계	4,691	27,659	32,350	0.5	총 오차
(b)지역	지면	4,165	8	4,173	0.2	형식I
	비지면	30	13,309	13,339	0.2	형식II
	합계	4,195	13,317	17,512	0.2	총 오차
(c)지역	지면	1,015	0	1,015	0	형식I
	비지면	43	6,318	6,361	0.7	형식II
	합계	1,058	6,318	7,376	0.6	총 오차

점이 비지면점으로 오분류된 경우와 비지면점이 지면점으로 오분류되는 경우로 구분된다. 이 두 가지 경우의 정확도를 분석하기 위하여 〈표 5〉의 Cross-Matrix(Sithole et al, 2003)를 이용하였다. ①과 ④는 지면점과 비지면점이 정확하게 분류된 점의 개수이고, ②는 지면점이지만 비지면점으로 분류된 점의 개수이며, ③은 비지면점이나 지면점으로 분류된 점의 개수이다.

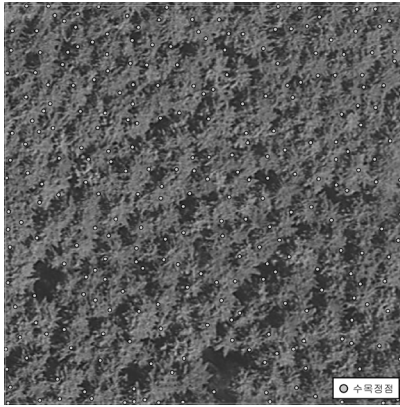
〈표 6〉은 지면 추출 결과를 Cross-Matrix에 적용한 결과이다. 지면이 비지면점으로 오분류된 경우는 (a), (c)지역에는 발견되지 않았으며, (b)지역에서만 8점(0.2%)의 오분류가 발견되었다. 전체적으로 (b)지역에서 99.8%의 가장 정확한 결과를 얻었으며, (a), (c)지역에서도 각각 99.5%, 99.4%의 높은 정확도를 얻을 수 있었다.

4.4. 수목정보 기하학적 정보 추출 결과

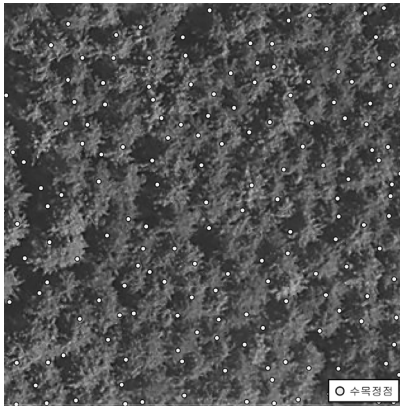
[그림 5], [그림 6] 및 [그림 7]은 앞서 3장 1절에서 언급된 수목의 정점 추출 알고리즘을 적용한 결과를 항공사진과 중첩하여 나타낸 것이다. 추출된 수목 정점과 사진상의 수관이 일부 일치하지 않는 부분이 발견되었으나, 이는 항공사진 촬영 시 연직점을 중심으로 생기

〈표 7〉 수목 개체수 파악 결과

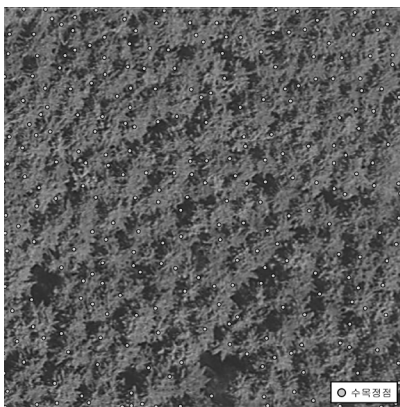
적용 지역	알고리즘 적용 결과 (본)	현장 조사결과 (본)	정확도 (%)
(a)	272	288	94.4
(b)	174	183	95.1
(c)	96	105	91.4



[그림 5] (a)지역 수목 정점 추출결과



[그림 6] (b)지역 수목 정점 추출결과



[그림 7] (c)지역 수목 정점 추출결과

는 기복변위의 영향으로 판단된다.

수목 정점 추출 알고리즘을 적용하기 위하여 검색 반경으로는 대상지역 내 수목의 평균

<표 8> (a)지역의 수목 높이 추출 결과 분석

구분	알고리즘 적용결과(m)	현장조사 결과(m)	오차 (m)
1	24.4	25.1	0.7
2	24.3	24.8	0.5
3	22.8	23.1	0.3
4	24.6	25.2	0.6
5	24.9	25.1	0.2
6	23.5	23.9	0.4
7	23.2	23.5	0.3
8	24.6	25.0	0.4
9	23.1	23.5	0.4
10	20.5	20.9	0.4
11	23.4	23.9	0.5
12	22.9	23.2	0.3
13	24.8	25.1	0.3
14	23.3	23.7	0.4
15	22.0	22.9	0.9
16	20.0	20.4	0.4
17	22.2	22.7	0.5
18	24.8	25.4	0.6
19	24.8	25.3	0.5
평균	23.4	23.8	0.5

〈표 9〉 (b)지역의 수목 높이 추출 결과 분석

구분	알고리즘 적용 결과(m)	현장조사 결과(m)	오차 (m)
1	20.1	21.0	0.9
2	23.2	23.7	0.5
3	20.8	21.3	0.5
4	20.9	21.6	0.7
5	19.1	19.5	0.4
6	20.6	21.1	0.5
7	22.4	22.8	0.4
8	20.8	21.2	0.4
9	21.8	22.4	0.6
10	23.2	23.9	0.7
평균	21.3	21.9	0.6

〈표 10〉 (c)지역의 수목 높이 추출 결과 분석

구분	알고리즘 적용결과(m)	현장조사 결과(m)	오차 (m)
1	16.5	17.4	0.9
2	16.2	16.8	0.6
3	17.1	17.8	0.7
4	15.2	15.7	0.5
5	16.2	16.6	0.4
6	14.3	14.8	0.5
7	15.9	16.1	0.2
평균	15.9	16.5	0.5

수관폭을 고려하여 (a), (b)지역 2.5m, (c)지역 2m로 설정하였으며, 수목 정점 추출 알고리즘을 통하여 추출된 수목 정점의 개수를 계산함으로써 최종적으로 대상지역 내 수목의 개체수를 파악하였다.

〈표 7〉은 수목 정점 추출 알고리즘을 통하여 추출된 수목의 개체수와 현장조사를 통하여 측정한 수목의 개체수를 비교한 결과로서, 알고리즘 적용 결과가 평균 93.6%의 정확도를 나타내었다.

또한 〈표 8〉, 〈표 9〉 및 〈표 10〉은 알고리즘 수행 결과와 현지조사 자료를 정량적으로 분석한 결과이다.

적용 대상지의 평균 정확도는 (a), (b), (c) 지역에서 각각 97.9%, 97.3%, 97.0%로 모두 97% 이상의 정확도를 나타냈다. 평균 오차량은 (a), (c)지역에서 0.5m, (b)지역에서 0.6m로 현지 측정값보다 낮게 추출되었으나, 산림의 임분재적 측정 방법 중 표본조사법(산림청, 2000)에서는 수고측정 오차를 ±1m 내로 규정하고 있어 제안된 알고리즘 적용 결과가 양호함을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구는 항공라이다 자료를 활용하여 산림지역에서 수목의 개체수 및 높이와 같은 수목의 기하학적 정보를 자동으로 추출하는 알고리즘 개발에 관한 연구이며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 영역확장법과 경사도를 기반으로 하는 지면점 분류기법을 적용하여 산림지역 LiDAR

자료로부터 지면점과 비지면점을 분류하였으며, Cross-Matrix를 이용한 정확도 분석결과 99% 이상의 정확도를 얻을 수 있었다.

둘째, 수목의 정점 추출 알고리즘을 제시함으로써 수목의 최고점 추출을 통하여 수목의 개체수를 파악할 수 있었으며 현장조사를 통한 실측값과 비교할 때 평균 93.6%의 정확도를 나타냈다.

셋째, 수목의 정점 추출 알고리즘을 바탕으로 추정된 수목의 최고점과 지면점의 높이차를 이용하여 수목의 높이를 추정할 수 있었다. 또한 제안된 알고리즘 적용 결과와 현지조사를 통하여 실측된 결과의 오차가 0.5~0.6m 이므로 임분재적 측정의 수고측정 오차한계 또한 만족시키고 있음을 알 수 있었다.

【참고문헌】

- 곽두안·이우균·손민호 (2005), 개체목 및 임분조사를 위한 LiDAR 응용에 관한 연구, 한국임학회지, 제94권, 제6호, pp.431-440.
- 고신영 (2011), LiDAR를 이용한 산림 CO2 흡수량 산정 연구, 전북대학교 대학원 석사학위논문.
- 고신영·박정기·조기성 (2013), LiDAR 자료를 이용한 산림 CO2 흡수량 산출 연구, 한국지형공간정보학회지, 제21권, 제4호, pp.29-35.
- 김두용 (2010), 산림정보 추출을 위한 항공 LiDAR 활용 연구, 전북대학교 대학

원 석사학위논문.

- 우충식·윤호중·정용호 (2007), 산지토사재해 발생구간 분석을 위한 항공사진 DEM에서의 수목필터링, 한국지리정보학회지, 제10권, 제3호, pp.22-30.
- 윤정숙·이규성·신정일·우충식 (2006), 산림지역에서의 항공 LiDAR 자료의 특성 및 지면점 분리, 대한원격탐사학회지, 제22권, 제6호, pp. 533-542.
- 이근상·최연웅·유영일 (2015), 지역적경사도 기반 점군자료의 지면점 필터링 기법, 한국지적정보학회지, 제17권, 제2호, pp.161-174.
- 손영모 (2004), 「임목자원분석론」, 국립산림과학원.
- 송영선·손홍규·이석우 (2006), LiDAR 자료 및 SPOT-4 위성영상을 활용한 산불 피해 분석, 대한토목학회논문집, 제26권, 제3D호, pp.527-534.
- 신영섭 (2014), 고밀도 라이다 자료 및 초분광 영상을 이용한 산림지역의 탄소흡수량 산정방법에 관한 연구, 인천대학교 대학원 석사학위논문.
- 장안진·유기운·김용일·이병길 (2006), 컬러항공사진과 LiDAR 데이터를 이용한 수목 개체 및 수고추정, 대한원격탐사학회지, 제22권, 제6호, pp.543-551.
- 장안진·김형태 (2008), 항공사진과 LiDAR 데이터를 이용한 산림지역의 바이오매스 추정에 관한 연구, 한국지리정보학

회지, 제22권, 제3호, pp.166-173.

• 최영락 (2015), 멀티센서 자료를 이용한 고정밀 산림자원 정보 추출, 충남대학교 대학원 석사학위논문.

• 최영락·이종신·윤희천 (2015), 고밀도 LIDAR 자료를 이용한 산림자원 추출에 관한 연구, 한국측량학회지, 제33권, 제2호, pp.73-81.

• Choi Y., Jang Y., Lee H. and Cho G. (2008), Three-Dimensional LiDAR Data Classifying to Extract Road Point in Urban Area, Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, Vol.5, No.4, pp.725-729.

• Clark, M. L., Clark, D., Roberts D. A. (2004), Small-footprint LiDAR estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape, Remote Sensing of Environment, Vol 81(2-3), pp.68-89

• Felix, M., Erich, M., Benjamin, K., Klaus, I. I., Matthias, D. and Britta, A. (2004) LiDAR-based geometric reconstruction of boreal type forest stands at single tree level for forest and wildland fire management, Remote Sensing of Environment, Vol. 92, pp.353-362.

• Haugerud, R. A., and Harding, D. J. (2001), Some algorithm for virtual deforestation (VDF) of LiDAR

topographic survey data, international Archives of Photogrametry and Remote Sensing, XXXIV-3/W4: pp.211-217.

• Hyyppe J., Yu, X., Hyyppe, H. and Maltamo, M. (2006), Method of airborne laser scanning for forest information extraction, EARSeL SIG Forestry International workshop, Vienna, 2006, pp.63-78.

• Juan C. Suarea, Carlos Ontiveros, Steve Smith, and Stewart Snape (2005), Use of Airbone LiDAR and Aerial Photography in th Estimation of Individual Tree Heights in Forestry, Computer & Geosciences, Vol. 31, pp.253-262.

• Persson, A., J. Holmgren, and S·derman, U. (2002), Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner, Photogrammetric Enginnering & Remote Sensing, Vol. 68, No.9, pp.925-932.

• Renslow, M., Greenfield, P. and Guay, T. (2000), Evaluation of multi-return LiDAR for Forestry Applications, USDA Forest Service Remote Sensing Application Center Project Report.

• Shivers, B.D., and Borders, B. E. (1996), Sampling techniques for

forest resource inventory. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.

- Sorin, C. P., and Wynne R. (2004), Seeing the trees in the forest: using lidar and multispectral data fusion with local filtering and variable window size for estimating tree height, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.70, No.5, pp.589-604.

2016년 4월 28일 투고

2016년 5월 25일 1차심사

2016년 6월 24일 게재확정