

고밀도 LiDAR 자료를 이용한 산림자원 추출에 관한 연구

Extraction of Forest Resources Using High Density LiDAR Data

최영락¹⁾ · 이종신²⁾ · 윤희천³⁾

Choi, Young Rak · Lee, Jong Sin · Yun, Hee Cheon

Abstract

The objective of this study is in investigating the research for more accurately quantify the information on mountain forest by using the data on high density LiDAR. For the quantitative analysis of mountain forest resources, we investigated the method to acquire the data on high density LiDAR and extract mountain forest resources. Consequently, the height and girth of a tree each mountain forest resources could be extracted by using the data on high density LiDAR. When using the data on low density LiDAR of 2.5points/m² in average used to produce digital map, it was difficult to extract the exact height and girth of mountain forest resources. If using the data on high density LiDAR of 7points/m² by considering topography, the property of mountain forest resources, data capacity and process velocity, etc, it was found that multitudinous entities could be extracted. It was found that mountain topography and mixed topography were generally denser than plane topography and multitudinous mountain forest resources could be extracted. Furthermore, it was also found that the entity at the border could not be extracted, when each partition was individually processed and the area should be subdivided and extracted by considering the process time and property of target area rather than processing wide area at once. We expect to be studied more profoundly the absorption quantity of greenhouse gas later by using information on mountain forest resources in the future.

Keywords : High Density LiDAR Data, Forest Resource, Climate Change, Carbon Absorption, Forest Biomass

초 록

이 연구의 목적은 고밀도의 LiDAR 자료를 이용하여 산림에 대한 정보를 보다 정확하게 정량화하기 위한 방법을 연구하는데 있다. 기후변화와 관련하여 온실가스 흡수량 확보를 위한 산림자원의 정량적 분석을 위해 고밀도의 LiDAR 자료 획득방법과 산림자원의 추출방안을 연구하였다. 그 결과, 고밀도의 LiDAR 자료를 이용하여 산림자원의 객체별 수고 및 수관을 추출 할 수 있었다. 산림자원의 수고 및 수관의 추출은 수치지형도 제작에 사용되는 평균 2.5points/m²의 저밀도 LiDAR 자료를 사용할 경우 정확한 추출이 어려웠다. 지형, 산림자원의 특성, 데이터 용량 및 처리속도 등을 고려하여 7points/m²의 고밀도 LiDAR 자료를 이용할 경우 다수의 개체를 추출할 수 있었다. 산악지형과 혼합지형이 대체적으로 평탄지형보다 점밀도가 높고 다수의 산림자원이 추출되었다. 또한 도엽별로 처리할 경우 경계지역에서의 개체를 추출 할 수 없었으며, 넓은 지역을 한번에 처리하기 보다는 처리시간과 대상지역의 특성을 고려하여 지역을 세분화하여 추출하여야 함을 알 수 있었다. 향후 산림자원 정보를 이용한 온실가스 흡수량에 대한 심도있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

핵심어 : 고밀도 라이다 자료, 산림자원, 기후변화, 탄소흡수량, 산림 바이오매스

Received 2015. 01. 30, Revised 2015. 02. 12, Accepted 2015. 04. 27

1) Member, Department of Civil Engineering, Chungnam National University(E-mail: yrchoi@lx.or.kr)

2) Member, Department of Civil Engineering, Chungnam National University(E-mail: merrysc@lycos.co.kr)

3) Corresponding Author, Member, Department of Civil Engineering, Chungnam National University(E-mail: hcyoon@cnu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

1.1 연구 목적 및 배경

본 논문은 고밀도의 LiDAR(Light Detection and Ranging ; 레이저측량) 자료를 이용하여 산림에 대한 정보를 정확하게 정량화하기 위한 방법을 연구하는데 목적이 있다. 기후변화와 관련하여 지구의 탄소량을 저감하기 위한 많은 정책과 노력들이 진행 중에 있으며, 이의 일환으로 탄소배출 저감 방안 외에 발생한 탄소의 흡수원을 확보하기 위한 방안 또한 필요하게 됨으로써, 조림사업 등이 진행되고 있다. 특히, 산림 바이오매스는 기후변화와 산림 생산성에 영향을 미치는 중요한 인자로 탄소 저장량과 탄소순환에 대한 산림의 기여도를 평가하는데 사용되고 있다. 국가단위의 산림 바이오매스는 국가 산림자원조사에 의해 측정되는 임목측적을 기반으로 추정되며, 산림의 탄소흡수량은 산림의 수종별 면적과 탄소배출 계수를 적용하여 산정 된다. 그러나 아직까지 현장조사에 의해서 산림 바이오매스를 추정하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 산림 바이오매스 측정에서는 현장조사에 의해 이루어지고 있으며, 산림 전체를 조사하기 보다는 표본추출 방법에 의해 산림 바이오매스를 추정하고 있다. 따라서 현장조사 업무를 최소화할 수 있도록 산림전수 측량방법을 연구함으로써 정확한 바이오매스를 측정하기 위한 방안을 제시할 필요가 있다.

1.2 연구동향

국내에서는 산림자원의 정보를 추출하기 위한 연구들로, Yoon *et al.*(2006)은 LiDAR 자료를 이용하여 지면점을 분리하여 수치고도 모델을 제작하였으며, 이를 기반으로 산림의 중요한 정보가 되는 나무의 높이, 산림울폐도 등 임목의 생물학적 인자를 보다 정확하게 추출하였다. Chang and Kim(2008)은 LiDAR 자료와 디지털항공사진을 이용하여 산림지역의 바이오매스를 추정하고, 현장실측자료와 비교를 통해 정확도 평가를 수행하였다. Woo(2006)은 LiDAR 자료를 이용하여 산림의 지형고도자료제작과 국부적인 대상지내의 각 임목에 대한 수고 추출 방법을 개발하여 지형기복이 심한 우리나라의 산림을 좀 더 정확하고 효율적으로 관리할 수 있는 가능성을 제시하였다. 하지만 다양한 수종과 수령으로 이루어진 혼효림에서는 이 방법으로 정확한 수고를 추출하기 어려운 한계를 보였으며 수목의 실제 최고지점을 측량할 수 없는 항공 LiDAR측량의 한계를 지적하였다.

Chang *et al.*(2006)은 항공 LiDAR 자료와 디지털항공사진을 이용하여 기존의 단일 데이터만을 이용한 경우보다 수고, 개체 수 등과 같은 정보를 보다 정확하고 효율적으로 추

출할 수 있다는 가능성을 보여주었다. 또한 항공 LiDAR 자료와 디지털항공사진으로부터 추정된 수목의 개체 및 수고를 추정하고 이를 현지조사에서 측정된 흉고직경을 바탕으로 산림의 바이오매스 추정 방법을 제시함으로써 산림이 가지고 있는 바이오매스 및 탄소흡수원의 정량적 평가의 가능성을 보여주었다.

Wie *et al.*(2011)은 항공 LiDAR 자료를 이용하여 대상지역에서 수목이 분포하는 지역을 분류하고 대상지역의 면적과 산림의 울폐도를 추정하여, 마라케쉬 합의문에서 정의하는 기준에 따라 산림에서의 흡수량을 추정하는 방법을 제시하였으나 저밀도의 LiDAR 자료를 사용함으로써 정확한 정량화에는 한계점을 가지고 있다.

Lee and Ru(2012)은 LiDAR 자료와 고해상도 위성영상을 활용하여 산림 바이오매스를 산정하였으며, Kim(2013)은 LiDAR 자료와 정사영상을 이용하여 수목영역을 추출하였으며, Go *et al.*(2013)은 LiDAR 자료를 활용하여 이산화탄소량을 산정하였다.

국외의 경우 Popescu *et al.*(2007)은 레이저 광선의 수신 영역 크기변화에 따른 산림의 바이오매스 추정결과의 정확성을 평가하였으며, Brauer *et al.*(2002)은 규칙적으로 배치된 개체목들로 구성된 가상 산림모델의 개체목의 수고 및 임관울폐 추출과 스캔각의 효과를 모의 실험하였다. Clark *et al.*(2004)은 LiDAR 자료를 기반으로 수치표면모델과 수치지형모델을 제작하고 두 데이터의 높이차를 이용하여 수고를 측정하였다. LiDAR 자료로부터 추정된 수고와 현지조사로부터 얻어진 흉고직경의 관계식을 이용하여 기존의 LiDAR 자료만으로는 한계가 있었던 흉고직경을 추정하였다.

Persson *et al.*(2002)은 LiDAR 자료를 이용하여 DSM(Digital Surface Model ; 수치표면모델)을 제작하고 가우시안 필터를 이용하여 수관을 유연화한 후 수관의 폭을 측정하였으며, 수고, 흉고직경, 지하고 등을 추정하여 개체목의 부피를 추정하였다.

LiDAR를 이용한 탄소흡수량 산정기술 개발을 위해서 관련 연구동향을 종합해보면 LiDAR 자료를 이용한 산림 바이오매스 측정이 이루어지고 있으나 그 정확도 및 최신성에 문제점을 가지고 있으며, LiDAR 이용한 정확한 산림자원을 파악하는 연구들이 시도되고 있으나, 고밀도 LiDAR 자료를 이용한 보다 정확한 산림 바이오매스의 측정방법에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 고밀도의 LiDAR 자료를 이용하여 정확한 수고 및 수관을 추출하여 정확한 산림 바이오매스를 측정하기 위한 방법을 연구할 필요가 있다.

1.3 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 기후변화에 따른 탄소흡수량 확보를 위한 정확한 산림 바이오매스를 추정하기 위해 고밀도의 LiDAR 자료를 이용한 산림자료의 추출방법을 연구하고자 한다. 즉, 기존의 현지조사, 저밀도의 LiDAR 자료, 디지털항공사진 영상, 위성영상 등을 이용한 방법보다 고밀도의 LiDAR 자료를 이용하여 좀 더 정확한 산림 바이오매스를 추정하기 위한 방법을 연구하고자 한다. 이를 위해 우선 고밀도 LiDAR 자료의 획득방안을 수립하고, 탄소흡수량으로 등록하기 위한 산림의 조건 및 범위를 설정하여 고밀도의 LiDAR 자료를 이용한 산림 바이오매스 추정방법을 연구한다.

고밀도 LiDAR 자료를 이용한 산림자료의 추출 방안을 적용하여, 점밀도에 따른 객체 추출결과를 비교 분석하고, 지형 유형에 따른 객체 추출과정을 비교 분석한다. 최종적으로 고해상도의 디지털항공사진 영상을 활용한 육안검사를 통해 객체 추출결과를 검증한다.

2. 고밀도 LiDAR 자료를 이용한 산림자원 추출

2.1 고밀도 LiDAR 측량시 고려사항

항공 LiDAR 측량은 광범위한 지역을 짧은 시간에 레이저 광선을 주사하여 광선이 도달한 각 지점의 3차원 좌표를 얻을 수 있는 측량시스템이다. 취득되는 LiDAR 자료는 주사된 지역의 x, y, z 좌표와 레이저광선의 신호강도 자료가 있다. 대상 지역에 대한 LiDAR의 촬영은 항공레이저스캐너에 의해 대상지역을 스캐닝하게 되며, 이 때 주사되는 점의 밀도는 축척 1:1,000 수치지도의 점밀도 규정인 지상 1m²당 2.5점 이상이 되도록 작업을 수행하게 되지만, 고밀도 자료 획득을 위해 점밀도가 8점 이상 되도록 고도를 낮춰 촬영하거나 중복 촬영해야 한다.

LiDAR 측량을 위한 비행시 고려사항으로는 측량계획 단계에서 설계된 내용들을 반영하는 것과 GPS 위성 상태 및 비행자세 등을 고려하는 것 등이다. 또한 기상기준국은 상공시계가 확보된 장소에 거치하고 비행 개시 30분 전부터 LiDAR 자료를 취득하여 비행이 끝날 때까지 유지하여야 한다. 이와 함께 레이저펄스가 지표면까지 도달하는 비율이 높은 계절을 택해 비행하는 것이 이상적이지만 산림자료의 흡수량 산정을 위해서는 수풀이 울창한 즉, 레이저펄스가 지표면까지 도달하는 비율이 가장 낮은 계절에 촬영되어야 한다. 항공 LiDAR 측량 직후의 저장자료는 디지털영상과 마찬가지로 항공기에서 작업실로 이동하게 된다. 또한 전용처리 시스템의 처리사양에 맞도록 데이터 변환 작업을 수행한다. 3차원 점 좌표인

원시자료를 우선 처리하게 되며 초기 점의 자료에서 오류정보를 통계적으로 처리하여 과대오차를 제거하는 작업을 거친다. 이후 지표면의 형상을 가진 자료와 수목과 건물 등 지물이 제거된 수치표고모델을 가진 자료로 나누어 작업을 수행한다.

2.2 산림자원의 정의와 기준

교토의정서에서 합의된 산림은 성숙시 최소 나무의 높이가 2~5m에 도달하는 수목들로 이루어졌고, 수관울폐도가 10~30% 이상이며, 최소 면적이 0.05~1ha인 토지를 의미한다. 산림청의 국가산림자원조사 업무지침에서 제시하는 기준은 성숙시 나무의 높이가 5m이상이고, 산림울폐도가 10%이상이며, 최소면적이 0.5ha 이상인 토지를 말한다(Wie *et al.*, 2011).

산림자료인 온실가스 흡수원으로 인정받게 된 역사적 근거를 살펴보면 1992년 기후변화협약에서는 대기중의 온실가스 농도를 안정화하기 위한 목적으로 국제적 협약이 체결되었으며, 이후 기후변화협약의 이행을 촉진하기 위해 선진국의 의무강화를 위한 구체적 방안을 논의한 끝에 1997년 제3차 당사국 총회(COP3)에서 2012년 까지 선진국의 구속력 있는 양적 감축의무를 명문화한 교토의정서를 채택하였다. 특히 교토의정서 운영체제를 확정하기 위한 부속서 발간을 위해 열린 2001년 모로코에서 개최된 제7차 당사국 총회(COP7)에서 산림 및 산림활동의 인정수준 범위 등 구체적인 내용이 포함된 마라케시 합의문이 채택되었다(Shin, 2014).

온실가스 인벤토리 구축을 위한 온실가스 배출량 및 흡수량 통계는 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC ; Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 마련한 산정지침의 산정방법과 절차, 계수적용 방법에 따라 수행 되어야 한다. 따라서 온실가스 감축활동으로 인정받기 위해서는 마라케시 합의문의 조건과 산림청에서 제시하고 있는 조건에 만족하는 Table 1과 같은 조건의 임목만을 대상으로 탄소흡수량을 산정되어야 한다.

Table 1. Forest criteria to reduce GHG emissions

Content	Marrakesh Accordance	Forest Resources Survey in Korea
minimum height	2~5m	5m over
degree of closure	10~30%	10% over
minimum area	0.05ha~1ha	0.5ha over
etc	-	minimum width : 30m over

2.3 산림자원 추출 방법

LiDAR는 레이저 스캐너와 GPS/IMU로 구성되어 있으며 움직이는 항공기의 초기 위치값은 GPS/IMU로부터 제공받고, 레이저 펄스를 지표면에 주사하여 반사된 레이저파의 도달 시간을 이용하여 대상물의 3차원 위치좌표를 계산하게 된다. LiDAR 측정자료는 디지털항공사진, 수치지형도 등의 GIS데이터와 연계된 3차원공간정보의 기초자료로 활용되며, 특히 산림분야의 활용에 있어서는 반사위치 및 LiDAR 신호 강도 자료를 이용하여 산림의 위치 및 높이, 밀도, 체적, 바이오매스 등 정량적, 정성적 해석이 가능하게 하고 있다.

LiDAR를 이용할 경우 대상물의 특성에 따라 반사되는 시간이 모두 다르기 때문에 건물 및 지형지물의 정확한 수치표고모델 생성이 가능하다. 또한 고해상도 영상과 융합되어 건물 레이어의 자동 추출, 광학영상에서 획득이 어려운 정보의 획득이 가능하다. 취득된 고정밀 수치표고모델은 지형의 수치표고모델과 건물 및 구조물의 수치표고모델로 구분 생성이 가능하기 때문에 신속하고 효율적으로 3차원 공간정보를 구축할 수 있다.

LiDAR를 이용한 산림자원의 정량화를 위해 수목의 위치와 수고를 측정하여야 한다. 수목의 구조를 살펴보면 수관은 대체적으로 원추형을 형성하고 있으며, 수관에서 최고 높이 점이 수목의 위치와 일치한다. 즉, 지면이 아닌 점으로 분류된 점들로부터 개체 수목의 수관 정점 추출을 통하여 산림내의 수목의 개체수와 수목의 수고를 추출할 수 있다. 일반적으로 Fig. 1과 같은 과정을 통하여 수목의 수고를 추출할 수 있다(Shin, 2014).

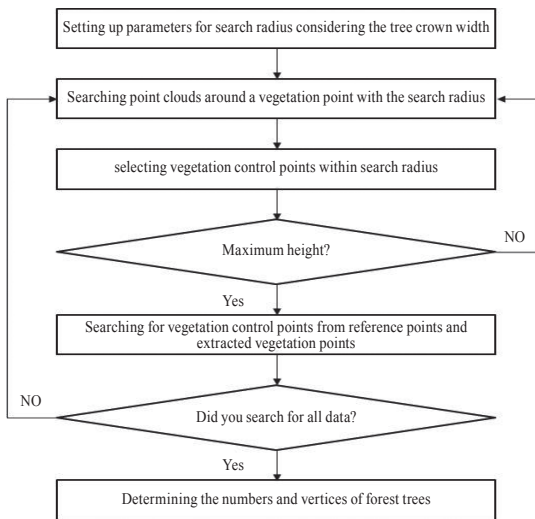


Fig. 1. Extraction of tree using LiDAR data

먼저 수관의 폭을 고려한 검색 반경을 설정하고 분류된 임의의 식생점을 기준으로 설정된 검색 반경내의 점자료를 검색한다. 그리고 검색 기준점과 검색된 식생점들을 대상으로 표고를 비교하여 검색 기준점이 반경내 식생점들의 표고보다 높을 경우 이를 수목 정점으로 설정한다. 그러나 검색 기준점의 표고가 반경내 식생점 표고보다 낮은 경우는 다음 임의의 식생점을 검색 기준점으로 하여 다시 표고를 비교한다. 이와 같은 모든 점에 대하여 비교한 후 추출된 수목 정점의 개수와 개체수를 파악할 수 있다.

3. 산림자원 추출 결과 및 분석

3.1 대상지역 선정 및 자료획득

본 연구에서 제시하고 있는 산림자원 추출방법을 적용하기 위해 경상남도 거제시 지역을 대상으로 선정하였다. Fig. 2와 같이 이 연구대상지는 현지조사를 위한 접근이 용이하고, 비교적 산림이 울창하지 않으며, 다양한 지형이 혼재되어 있어 실험 및 분석에 적합한 지역이다. 대상지역은 면적이 약 41.31 km²이며, 축척 1/5,000 지형도의 15도엽에 해당한다.

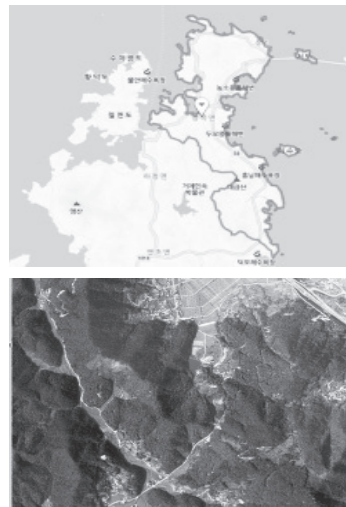


Fig. 2. Study area

LiDAR자료의 획득 및 처리에 사용된 장비는 항공기의 경우 저속비행이 가능하여 항공레이저측량에 유리한 Cessna TU 208-G, 항공LiDAR 장비로는 Leica사의 ALS60 시스템이, 지상 GPS 장비로는 Trimble사의 5700 GPS수신기 등이 사용되었다. 획득된 LiDAR 자료는 Fig. 3과 같이 평균 점밀도가 11.2points/m²로 국토지리정보원의 「항공레이저측량 작

업규정」 제10조의 축척 1:1,000 수치지형도 제작을 위한 격자 간격 1m일 때 점밀도인 2.5points/m²보다 높은 점밀도의 자료를 취득하였다.

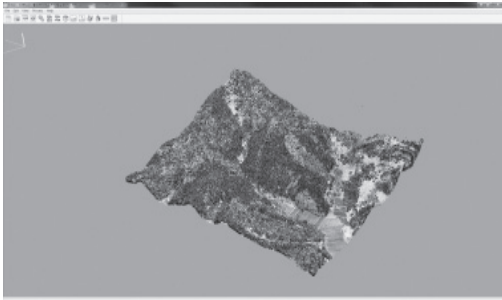


Fig. 3. LiDAR data of study area

Fig. 4는 LiDAR 자료와 디지털항공사진을 이용해 대상지역의 3차원 모델링 결과를 나타내고 있다.



Fig. 4. 3D terrain modeling of study area

3.2 산림자원 추출 결과

본 논문에서는 신호강도자료를 이용하여 지형, 산림, 건물 등의 추출이 가능하고, 나무 1그루에 대한 위치정보와 수고 및 수관 정보의 추출이 가능한 상용프로그램인 EXELIS사의 E3De 3.0을 이용하여 LiDAR 자료를 처리하였다. 특히 지형 및 산림자원 추출을 위한 솔루션의 설정인자로 용량 및 처리속도를 고려하여, 대상지역의 산림이 분포되어 있는 구역 중에서 Fig. 5와 같이 500m×500m를 표본구역으로 선정하였다.

일정한 표본구역에 대하여 최대 점밀도를 Table 2와 같이 2points/m²부터 20points/m²까지로 변경하여 수목개체수를 분석하였다. 단위면적당 사용되는 LiDAR자료의 개수에 따라 수목 개체의 추출 개수를 분석하면, 점밀도가 5points/m² 일

때 8분 21.4초로 가장 적은 처리 시간이 소요되었으며, 점밀도가 7points/m² 일 때 3,585개로 가장 많은 수목 개체를 추출할 수 있었다. 이를 통해 최대 추출 개수를 기준으로 연구 대상지역 전체에 대한 수목 개체를 추출하기 위해 LiDAR 자료의 최대 점밀도를 7points/m² 선정하였다.

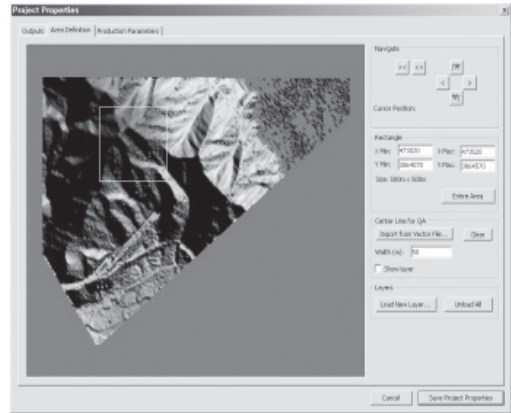


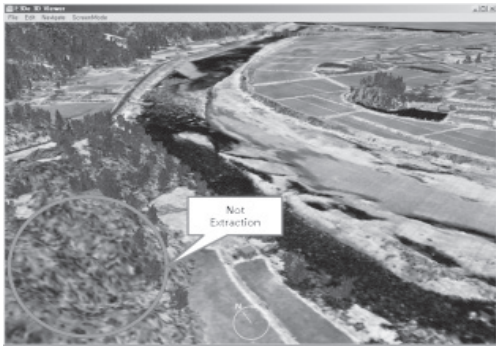
Fig. 5. Range of sample area

Table 2. Tree point extraction results according to the point density values

Maximum (points/m ²)	Average (points/m ²)	Processing time	Tree number
2	1.9	8m 29.9s	1
2.5	2.3	8m 32.3s	7
3	2.7	8m 40.7s	14
4	3.5	8m 40.5s	74
5	4.3	8m 21.4s	2,417
6	5.1	8m 30.4s	3,411
7	6.0	8m 22.5s	3,585
8	6.9	8m 26.6s	3,564
9	7.9	8m 29.9s	3,543
10	8.8	8m 38.6s	3,482
11	9.7	8m 42.3s	3,472
12	10.7	8m 48.6s	3,466
13	11.5	8m 50.7s	3,458
14	12.3	8m 56.3s	3,443
15	13.0	8m 58.4s	3,403
16	13.5	8m 58.2s	3,397
17	14.0	8m 58.1s	3,388
18	14.3	8m 58.1s	3,371
19	14.6	8m 57.6s	3,367
20	14.8	8m 57.7s	3,362

표본구역에서 「항공레이저측량 작업규정」 제10조의 축척 1:1,000 수치지형도 제작을 위한 격자간격 1m일 때 점밀도인 2.5points/m²의 경우 7개의 객체가 추출되어 일반적으로 수치지도 제작용으로 취득되는 LiDAR 자료를 이용하여 산림자원 추출에 활용할 수 없을 것으로 판단된다.

동일 지역의 고밀도 LiDAR 자료를 이용해 최대 점밀도를 저밀도와 고밀도로 설정하여 산림자원을 추출한 결과 Table 2 및 Fig. 6과 같이 저밀도 자료를 사용할 때 보다는 고밀도 자료를 사용할 경우 다수의 수목 개체를 추출이 가능한 것을 알 수 있다.



(a) Low-density



(b) High-density

Fig. 6. Tree extraction results using LiDAR data

국내 산림자원의 특성을 고려하여 고밀도의 LiDAR 자료를 이용할 경우 2장에서 정립한 탄소흡수량으로 인정받을 수 있도록 국제 기준에 맞게 Fig. 7과 같이 DEM(Digital Elevation Model ; 수치표고모델), DSM의 GSD(Ground Sample Distance ; 지상표본거리)는 1m, 수목 개체 추출을 위해서 최대 점밀도를 7points/m²로 설정하고, 수고를 최소 1.2m 이상에서 최대 50m 이하로 설정하였으며, 수관폭을 최소 2m에서 최대20m이하로 설정하였다.

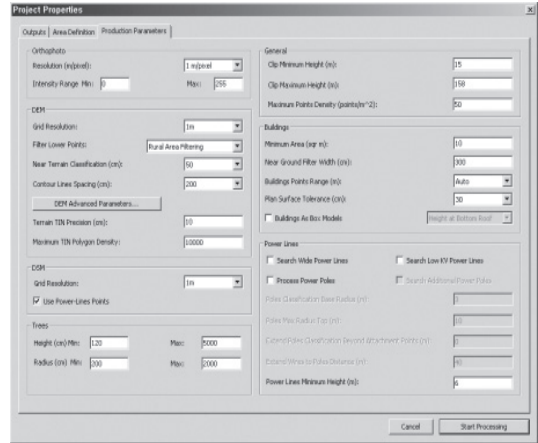
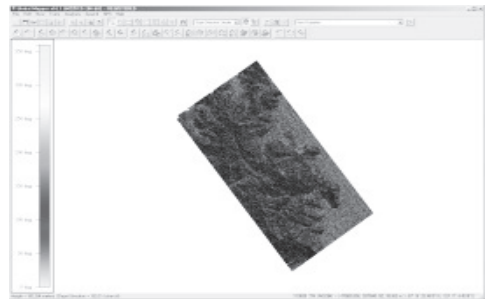
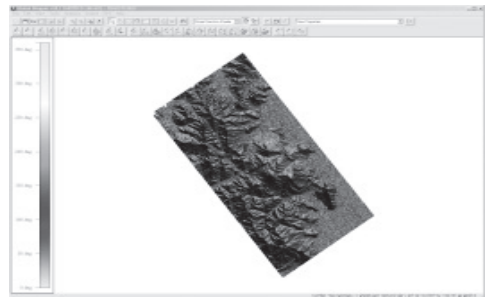


Fig. 7. Parameters setting for tree extraction

Fig. 8은 대상지역 전체에 대한 1m 공간해상도의 수치표면모델과 수치표고모델 결과를 나타내고 있다



(a) DSM



(b) DEM

Fig. 8. DSM and DEM of study area

Fig. 9는 수목 개체의 개별 추출 결과의 속성정보를 나타내고 있다. 3차원 위치정보와 수관의 폭(반경), 수고 값을 나타내고 있다.

	A	B	C	D	E	F	G
1	X	Y	Z	Radius	Height		
2	470310.4	3867258	87.73662	1.6	13.3		
3	470311.2	3867261	90.00277	1.6	14.7		
4	470301.6	3867357	132.6495	1.6	14.4		
5	470304.8	3867338	125.6013	2.8	14.3		
6	470302.8	3867353	130.926	1.2	14.7		
7	470305.2	3867344	126.8489	3.2	14.8		
8	470305.6	3867358	132.4254	1.6	16.2		
9	470310.8	3867352	127.1224	1.2	15.6		
10	470302	3867322	121.508	1.2	16.5		
11	470314	3867355	127.7258	2.4	15.5		
12	470309.6	3867355	129.3209	1.6	15.4		
13	470306.4	3867353	129.3945	2.4	15.6		

Fig. 9. Attributes(location, radius, height) of extracted trees

Table 3은 적용 대상지역의 도엽별 용량, 처리 시간 및 개체 수출 개수를 나타내며, 연구 대상지역의 도엽별로 처리하였을 경우 570,016개의 개체가 추출되었으며, 전체 15개의 도엽을 통합하여 동시에 처리할 경우 약 574,733개의 수목 개체를 추출할 수 있어 약 0.8%의 수목을 추가로 추출할 수 있었다. 이는 도엽별로 처리할 경우 경계지역의 산림자원을 추출할 수 없음을 나타내고 있다.

또한 통합으로 처리할 경우 산림자원을 추가적으로 추출할 수 있으나, 약 10시간 이상의 분석 시간이 소요되며, 도엽별로 처리할 경우 동시에 처리가 가능하므로 처리시간이 약 4시간으로, 데이터의 처리시간을 고려하여 대상지역을 세분화하여 처리하는 것이 좀 더 정확한 산림자원을 추출할 수 있을 것으로 판단된다.

지형의 유형에 따라 추출된 개체 수와 평균점밀도를 비교 분석한 결과 Table 4와 같이 산악지형에서의 평균점밀도가 12.4 points/m²로 평균점밀도가 3.1 points/m²인 평탄지형이나 평균점밀도가 10.4 points/m²인 혼합지형보다 높아 산림자원이 많은 지역에서의 평균점밀도가 높으며, 좀 더 많은 개체를 추출하고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 단위면적당 산림자원의 개체수를 분석할 수 있음을 알 수 있다.

산림자원 추출 결과를 정량적으로 분석하기 위해서는 대상지역의 현지조사가 이루어져야 하지만 수목이 울창한 지역에서는 정확한 조사가 불가능하기 때문에 산림자원 추출결과를 정량적인 평가에는 한계를 가지고 있다. 이에 연구 대상지역의 산림자원 추출 결과와 고해상도의 디지털항공사진을 중첩한 결과 Fig. 10과 같이 산림자원의 위치를 시각적으로 판별하였을 경우 비교적 정확히 추출된 것임을 알 수 있다.

Table 3. Tree extraction results between each single map and whole map

No. of map	Size (Mbyte)	Type	Average points density (points/m ²)	Area (km ²)	No. of features	Processing time	
Single map	34803007	969	mountainous	12.7	2.86	40,399	3h 5m 43.9s
	34803008	1,480	compound	10.3	5.55	67,793	4h 25m 16.5s
	34803009	57	plane	3.1	0.69	0	11m 1.5s
	34803017	1,210	mountainous	13.0	3.59	69,952	3h 3m 28.4s
	34803018	2,330	mountainous	14.0	6.41	103,555	1h 2m 16.1s
	34803019	1,090	compound	8.3	5.06	42,641	30m 17.3s
	34803020	16	plane	2.8	0.21	0	2m 2.1s
	34803027	12	plane	4.1	0.11	919	4m 19.5s
	34803028	1,690	mountainous	13.7	4.75	93,735	59m 8.3s
	34803029	2,000	compound	12.0	6.41	95,136	58m 14.3s
	34803030	279	plane	3.6	2.94	3,462	7m 19.0s
	34803038	120	mountainous	8.5	0.53	9,046	5m 0.8s
	34803039	818	compound	11.6	2.64	41,658	26m 46.9s
	34803040	3	plane	2.0	0.05	0	25.8s
	35815098	28	compound	9.9	0.10	1,720	1m 28.9s
Sum				41.90	570,016	4h 25m 16.5s	
Whole map			11.2	41.31	574,733	10h 49m 32.8s	

Table 4. Extraction result of according to terrain type

Contents	Average of points density (points/m ²)	Average of No. of features	Average of Processing time (sec)
compound	10.4	49,789.6	4,584.8
mountainous	12.4	63,337.4	5,947.5
plane	3.1	876.2	301.6

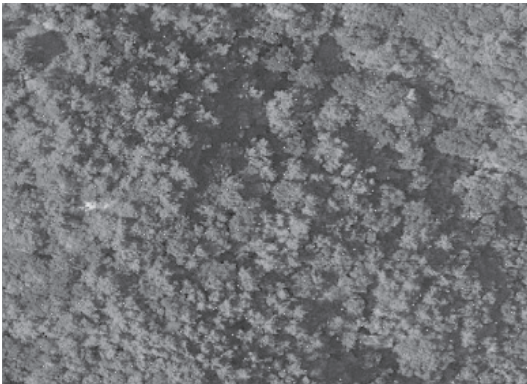


Fig. 10. Location points of extracted trees

대상지역의 추출된 수목 객체의 정보를 GIS의 수관분포도로 작성하고 디지털항공사진과 중첩한 결과 Fig. 11과 같이 산림 바이오매스 산정을 위한 정확한 수관정보를 추출할 수 있음을 알 수 있다.

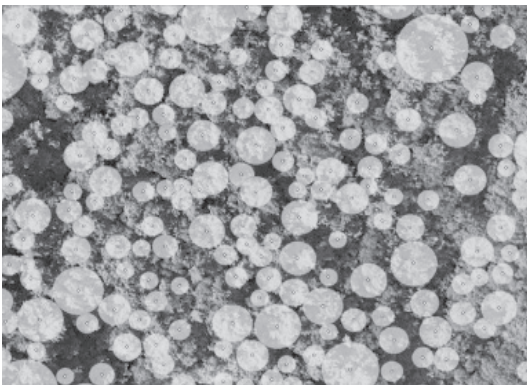


Fig. 11. Tree crown of extracted trees

대상지역에 대한 산림자원의 수고 및 수관 추출 결과를 Fig. 12와 같이 개체별 모델링할 경우 추출된 산림자원을 시각적으로 표현할 수 있음을 알 수 있다.

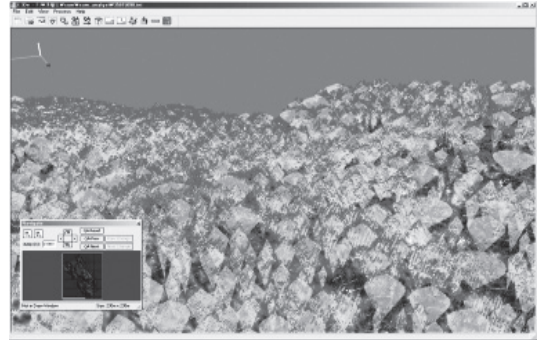


Fig. 12. 3D view of the height and crown of extracted trees

4. 결론

이 연구에서는 기후변화와 관련하여 온실가스 흡수량 확보를 위한 산림자원의 정량적 분석을 위해 고밀도의 LiDAR 자료를 이용한 산림자원의 추출방안을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 고밀도의 LiDAR 자료를 이용하여 산림자원의 객체별 수고 및 수관을 추출할 수 있었다. 이러한 산림자원 추출을 통해 온실가스 흡수량을 위한 산림 바이오매스 추정에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 축척 1:1,000 수치지형도 제작에 사용되는 평균 2.5points/m²의 LiDAR 자료를 사용할 경우 다수의 정확한 산림자원의 추출이 어려우며, 탄소흡수량 산정 대상의 산림자원의 기준과 지형의 형태, 대상지역 산림자원의 특성 등을 고려할 때 최소 7points/m²의 고밀도 자료를 이용할 경우가 좀 더 많이 추출할 수 있었다.

셋째, 산악지형과 혼합지형이 대체적으로 평탄지형보다 점밀도가 높고 다수의 산림자원이 추출되었다. 또한 도엽별로 처리할 경우 경계지역에서의 개체를 추출할 수 없었으며, 넓은 지역을 한번에 처리하기 보다는 처리시간과 대상지역의 특성을 고려하여 지역을 세분화하여 추출하여야 함을 알 수 있었다.

향후 고밀도 LiDAR자료에 의해 추출된 산림 바이오매스를 이용한 정확한 온실가스 흡수량 산정 방법에 대한 심도있는 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구논문은 충남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- Brauer, M., Evans, J., Florig, H., Phonboon, K., Saksena, S., and Song, G. (2002), Policy uses of particulate exposure estimates, *Chemosphere*, Vol. 49. No. 9, pp. 947-959.
- Chang, A. and Kim, H. (2008), Study of biomass estimation in forest by aerial photograph and LiDAR data, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 11, No. 3, pp. 166-173. (in Korean with English abstract)
- Chang, A., Yu, K., Kim, Y., and Lee, B. (2006), Estimation of individual tree and tree height using color aerial photograph and LiDAR data, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 6, pp. 543-551. (in Korean with English abstract)
- Clark, M., Clark, D., and Roberts, D. (2004), Small-footprint LiDAR estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 91. No. 1, pp. 68-89.
- Go, S., Park, J. and Cho, G. (2013), Study of CO₂ absorption in forest by airborne LiDAR data, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21. No. 4, pp. 29-35. (in Korean with English abstract)
- Kim, E. (2013), Extraction of the tree regions in forest areas using LiDAR data and ortho-image, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21. No. 2, pp. 27-34. (in Korean with English abstract)
- Lee, H. and Ru, J. (2012), Application of LiDAR data & high-resolution satellite image for calculate forest biomass, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 20. No. 1, pp. 53-63. (in Korean with English abstract)
- Persson, A., Holmgren, J., and Söderman, U. (2002), Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 68. No. 9, pp. 925-932.
- Popescu, S. (2007), Estimating biomass of individual pine trees using airborne LiDAR, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, No. 9, pp. 646-655.
- Shin, Y. (2014), *Calculation Methods of the Carbon Absorption in Forest Area Using High Point Density Data and Hyperspectral Image*, Master's thesis, Incheon National University, Incheon, 60p. (in Korean with English abstract)
- Wie, G., Lee, H., Lee, D., Cho, J., and Suh, Y. (2011), Estimation of the carbon absorption of a forest using LiDAR data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 29. No. 1, pp. 55-62. (in Korean with English abstract)
- Woo, C. (2006), *DEM Generation and Tree Height Estimation in Forest Area Using Airborne LiDAR data*, Master's thesis, Inha University, Incheon, Korea, 71p. (in Korean with English abstract)
- Yoon, J., Lee, K., Shin, J., and Woo, C. (2006), Characteristics of airborne LiDAR data and ground points separation in forested area, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 6, pp. 533-542. (in Korean with English abstract)

