

항공레이저측량을 이용한 산림조사 방법에 관한 연구

A Study for Forest Research using Airborne Laser Scanning

김은영¹⁾ · 위광재²⁾ · 조흥묵³⁾ · 양인태⁴⁾

Kim, Eun-Young · Wie, Gwang-Jae · Cho, Heung-Muk · Yang, In-Tae

Abstract

Depending on the progress of the surveying and information processing technology, the rapidly developing field of spatial information and the 3D real world spatial information for a variety of content on the computer was able to easily access. In this research, to study on the spot or to use aerial photographs to measure trees of the acquired data, calculate the trees height, forest area and capacity, determine the distribution of the density of acquired points in the forest and analyze accurate and objective information was acquired. The United States, Canada and so on through the capacity of trees biomass, forest resource analysis, time series monitoring, wildfire behavior modeling and applied research and has been declared. During worldwide is increasing interest in forest resources. In nationally, extensive research and analysis of the forest consists of the correct management and protection of forest resources to be effective.

Keywords : LiDAR, Forest, capacity, density

초 록

측량 및 정보처리기술의 진보에 따라 공간정보 분야는 급속히 발전되고 있으며, 다양한 공간정보 콘텐츠와 3차원 현실세계를 컴퓨터상에서 쉽게 접할 수 있게 되었다. 이는 국내에 항공레이저측량과 고해상도 디지털카메라의 보급이 최근 몇 년 동안 빠르게 진행되었기 때문이다. 그러나 항공레이저측량의 적용이 지도제작 및 지형분석 등에 국한되어있어 다양한 활용이 아직 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 기존 현지조사나 항공사진측량으로 이루어졌던 산림조사를 항공 라이다데이터를 이용하여 수목의 표고분포, 면적 및 용량산출, 수목밀도분포도를 3차원적으로 분석하여 산림지역에 대한 과학적인 정보를 제작해 보았다. 이미 미국, 캐나다 등에서는 항공레이저측량을 이용한 수목의 용량을 통하여 생체량(biomass), 산림자원분석, 시계열 모니터링, 산불거동모델링 등 다양한 연구와 적용이 이루어지고 있다. 전 세계적으로 산림자원에 대한 관심이 증대하고 있는 가운데 이제 국내에서도 광범위한 산림의 과학적 조사와 분석이 이루어져 산림자원관리 및 보호가 체계적으로 이루어져야 하겠다.

핵심어 : 항공레이저측량, 산림조사, 수목용량, 수목밀도

1. 연구배경

최근 급격한 집중호우와 자연 재해, 국토개발에 따른 벌목으로 인한 산림훼손으로 산림의 보존과 관리에 대한 중요성이 커지면서 객관적이고 과학적인 데이터의 구축 및 관리가 요구되어지고 있다. 정확한 산림자원조사를 통해 산림자원의 분포, 현존량 등의 실태를 과학적

으로 수집, 평가하여 이를 체계적으로 관리, 활용할 수 있어야 한다.

그러나 기존에 사용하던 위성영상 및 항공사진은 복잡하고 다양한 공간정보를 표현하기 위해 필요한 추출되는 정보의 양이 비교적 적고 간접영상에 의한 정확도의 한계를 가지고 있다. 특히 방대한 면적의 산림지역에 대한 정보획득은 현지조사나 항공사진측량 방법은 많은

1) 정희원 · 한진정보통신(주) 공간영상개발팀(eykim00@hist.co.kr)

2) 교신저자 · 정희원 · 성균관대학교 토목환경시스템공학과 박사수로 · 한진정보통신(주) 공간영상개발팀(gjwe@hist.co.kr)

3) 정희원 · 강원대학교 토목환경공학과 박사과정 수료 · 국토지리정보원 공간영상과 사무관(gpsngis@korer.kr)

4) 정희원 · 강원대학교 토목환경공학과 교수(intae@kangwon.ac.kr)

시간과 비용이 소요되며, 간접측정방식으로 정확한 산림정보 획득에 한계를 가지고 있었다.

따라서 넓은 지역을 단 시간에 최신의 3차원 공간정보로 획득하는 항공레이저측량이 각광을 받고 있으며 지형표고자료 구축은 물론 수목의 상단을 수많은 점 데이터로 획득하여 정확한 표고정보를 산출할 수 있다. 이러한 항공레이저측량 기술을 이용한 산림정보 추출 및 분석에 대한 연구 결과가 국내외적으로 활발히 발표되고 있다.

이동근 등(2008)은 거시적인 산림 생태계의 생태적 특성을 분석하였고, 송철철 등(2008)은 항공레이저측량의 자료취득모델을 구현하여 그에 따른 산림생장특성을 추정하고 자료취득조건을 규명하였다.

Turner(2008)는 라이다데이터에서 산림자원분석, 지형분석, 수목 모니터링 등의 가능성을 분석하였고, Danilin(2008)은 수목의 종(種), 구조, 밀도, 교란각 등의 인자를 통하여 산림의 생체량(biomass)을 정량적으로 평가하였다. C.Y.Lo 등(2008)은 산림지역의 라이다데이터를 이용하여 Canopy를 분류하고, 개체목의 Crown boundary를 자동으로 추출하여 용적을 산출하였다. Andersen, H-E 등(2005)은 라이다데이터의 수목을 이용하여 산림의 연료측정인자를 산출하여 산불거동모델을 연구하였다.

전국토의 70%이상을 산림이 차지하고 있는 우리나라는 산림자원 축적에 대한 정확한 정보가 요구되며 최근 전 세계적으로 환경에 대한 관심이 증가하면서 녹색그린도시 및 CO₂배출량 등 항공레이저측량을 활용한 친환경적인 연구가 날로 증가하고 있다. 이는 항공레이저측량 기술이 산림측정에 적용될 수 있는 기반기술임을 증명하고 있는 셈이다.

기존에 사용된 항공사진이나 부분적인 현장 표본조사에 의한 방법은 많은 시간과 노력이 요구되었다. 이에 효율적인 산림자원정보를 획득하기 위하여 본 연구에서는 항공레이저측량 기술을 이용한 수목데이터를 통하여 수목의 수직적인 분포인 표고분포도를 제작하고 수목이 차지하는 면적과 용량을 산출하여 레이저로 획득된 점 데이터의 밀도분포도를 객관적이고 정량적으로 분석하여 더 빠르고 효율적이며 정확한 결과를 얻고자 하였다.

2. 연구 범위 및 사용 데이터

2.1 대상지역

그림 1은 본 연구의 대상지역으로 경기도 시흥시 군자동에 위치한 산림지역이며 영역은 8km × 4km이다.



그림 1. 연구 대상지역

2.2 라이다데이터

대상지역의 라이다데이터는 2006년 10월 Optech사의 ALTM3070 장비에 의해 획득하였으며 비행고도 약 1,200m에서 초당 70kHz의 주사율로 한 개 pulse당 최대 4회까지 3차원 점 데이터가 획득되며 단면으로 확인하면 그림 2와 같다. 항공기에서 레이저빔이 주사될 때, 수목의 최상단에서 첫 번째 pulse가 가장 먼저 반사되고, 수관의 가지나 잎에서 2~3번째 pulse가 반사되며, 가장 낮은 지형에서 4번째 pulse가 반사되었다. 점밀도는 m²당 3.5점으로 대상지역 전체에서 first pulse가 26.27%, last

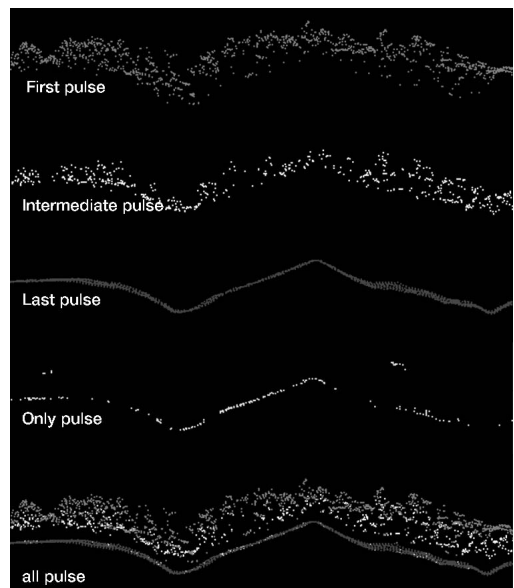


그림 2. 펄스(echo)에 의한 분류 데이터

pulse가 26.26%, 2~3(intermediate) pulse가 8.18%이며, 단독으로 반사된 only pulse가 39.29%로 나타났다. 촬영시기와 수목의 종류 및 상태에 따라 차이가 있기 때문에 모든 수관에서 2~3번째 pulse가 반사되지는 않는다. 또한 동시에 획득된 영상데이터는 Rollie digital camera에 의해 촬영한 해상도 25cm의 디지털 영상이다.

먼저 라이다데이터에서 지형, 수목, 건물 데이터를 차례로 자동 분류하고 정확한 수목 데이터 분류를 위하여 그림 3과 같이 영상을 중첩하여 비닐하우스, 인공구조물들을 상세히 재분류하였다. 수목의 정확한 면적과 용량 산출을 위하여 수목 데이터를 명확히 분류해야 한다.

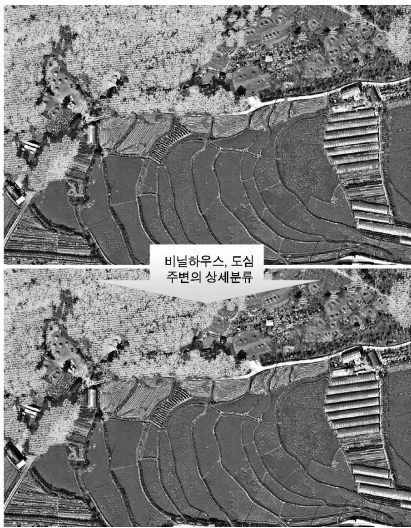


그림 3. 수목 데이터 상세 분류

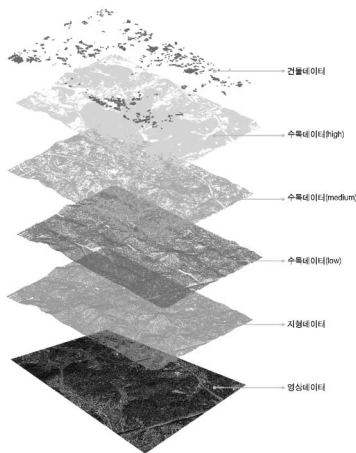


그림 4. 특성(class)에 의한 분류 데이터

3. 연구내용

본 연구의 흐름은 그림 5와 같다. 분류된 수목데이터를 이용하여 표고, 면적, 용량 및 밀도를 정량적으로 산출하였다.

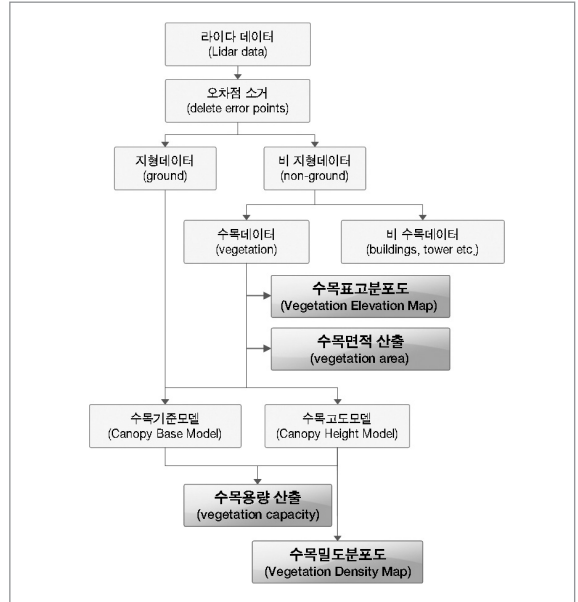


그림 5. 연구 흐름도

3.1 수목표고분포도

산림측정을 위하여 획득된 라이다데이터는 특성에 따라 분류하는 과정을 거쳐야 한다. 원시 라이다데이터는 X, Y, Z의 3차원 점 데이터로서, 먼저 지형과 비지형데이터를 분류하고 비지형데이터로부터 상대적인 높이에 따라 수목데이터를 분류한다. 지형으로부터의 높이에 따라 0~0.25m, 0.25m~2m, 2m이상으로 분류하였다. 이는 2m이상의 데이터에 대부분의 건물과 인공구조물 등에 대한 정보가 포함되어 있기 때문에 정확한 수목데이터만 남기고 제거하기 위함이다. 점 데이터에서 판단이 어려운 지역과 건물이 밀접하게 연결된 지역은 동일지역의 정사영상을 중첩하여 수목데이터만 상세히 분류하였다. 이렇게 분류된 수목데이터와 지형데이터의 값(value)의 차이를 계산하여 그림 6과 같이 수목의 표고분포도를 제작하였다. 본 연구 대상지역에서 수목의 최대 표고는 약 32m로 나타났으며, 10m이상의 수목은 전체의 약 40%를 차지하였다.

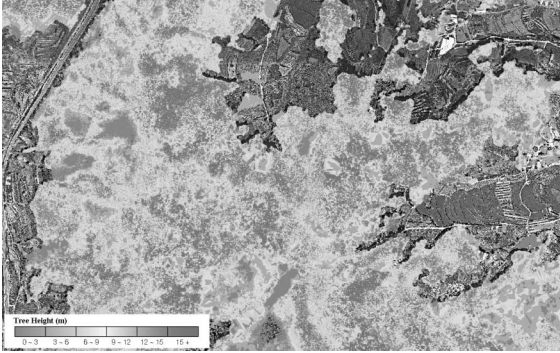


그림 6. 수목표고분포도

3.2 수목경계추출 및 면적산출

산림지역에 분포한 수목의 면적을 정확하게 산출하기 위해서는 항공사진을 육안으로 보고 직접 디지털라이징을 하는 방법이 전부였다. 본 연구에서는 라이다데이터를 이용하여 광범위한 지역의 수목면적을 자동으로 추출하는 방법을 연구하였다. 그 결과, 수목 점 데이터를 TIN surface로 구성하고 surface의 가장자리 선을 자동으로 추출할 수 있었다. 이때, 고려할 사항은 수목 점 데이터의

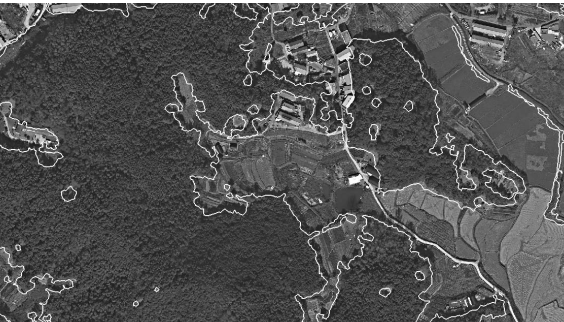


그림 7. 수목 경계 추출

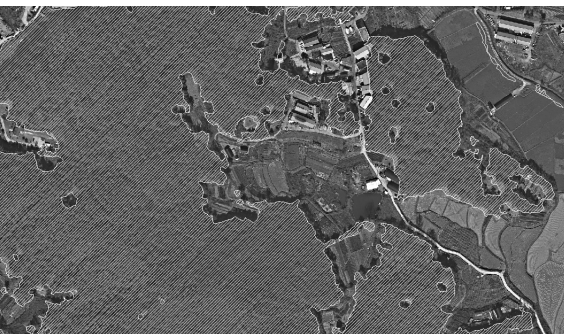


그림 8. 수목 면적 산출

분포가 비격자의 불규칙한 형태이기 때문에 TIN surface를 구성하는 한계치를 대상지역에 맞게 생성하여야 한다. 수목영역만 해당하는 TIN의 edge 길이를 정량적으로 주고 최적의 surface를 구성하여야 정확한 수목경계를 추출하고 면적을 산출할 수 있게 된다.

3.3 수목용량 산출

다중 반사된 수목데이터는 나무의 가지와 잎으로 구성된 수관에서 주로 반사된 결과이며, 수목용량을 산출하는 범위가 된다. 따라서 지형데이터(DEM)가 아닌 수목기준모델(CBM: Canopy Base Model)을 적절히 제작하여 비교하고자한다. CBM은 수목용량 산출의 시작점이며 수관에서 반사된 수목데이터에 해당하는 수목용량의 정확성을 위하여 최적의 기준모델인 CBM을 3가지로 설정하고 각각 용량을 산출하여 비교하였다. 우리나라 수목의 평균흉고인 1.2m와 대상지역 수목데이터 분류기준인 2.0m, 그리고 DEM을 수목용량 산출의 CBM으로 설정하였다. 수목기준모델(CBM)과 수목고도모델(CHM: Canopy Height Model)을 TIN 보간법으로 면을 생성하고 중첩비교를 통하여 용량을 산출하였다. CBM의 면 위에 존재하는 CHM은 분류된 수목데이터를 사용하며 두 모델 사이의 삼각망이 채워지면서 용량이 산출된다. 각각의 CBM에 대하여 산출하였으며, 프로그램은 TerraSolid사의 TerraModeler를 사용하였다.

대상지역의 수목용량 산출결과는 표 1과 같으며 CBM 기준이 지형으로부터 높아지면서 수목용량은 약간의 차이가 있었다. 이는 지역의 수목데이터 분포 및 현황 등을 고려하여 결정되어야한다. 본 연구대상지역은 평균 흉고인 1.2m일 때 전체지역에 분포된 수목의 용량에 가장 가까웠다. 정확한 결과를 위하여 높은 점밀도와 수목데이터의 분류 정확도를 확보하여야 하며, 단위면적당

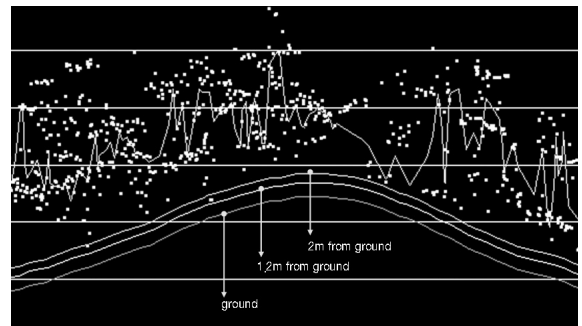


그림 9. CBM 기준

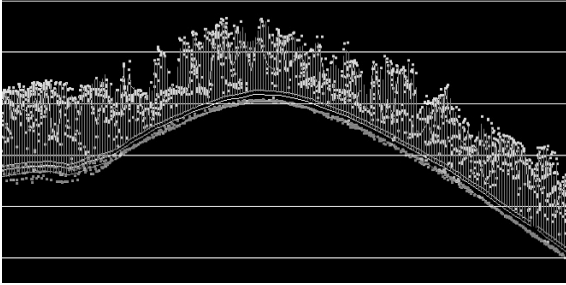


그림 10. 수목용량 산출과정

표 1. 대상지역 수목용량 산출결과

CBM기준	수목용량(m³)	DEM과 용량차이(m³)
DEM	31,937,887	0
평균흉고 = 1.2m	27,242,608	-4,695,279
분류기준 = 2.0m	24,183,192	-7,754,695

점의 수가 현저히 낮은 수목데이터에 대한 포함여부를 결정하여야 한다.

일부 항공레이저측량으로 측정된 수목의 높이값이 실제보다 낮게 나오는 결과가 제시되고 있으나, 이는 현지 측정과정에서의 오류원인과 복잡한 수관형태로 인하여 측정의 오차가 있을 수 있으므로 항공레이저측량에서 측정된 수고가 더 정확할 수 있다는 가능성이 현지조사 결과와 비교하여 더 설득력 있게 제시되고 있다(Lim 등 2003b).

최근 국내에 항공레이저측량 장비의 도입이 증가하고 있으나 산림측정과 관련된 활용은 미비한 형편이다. 미국, 캐나다 등 유럽각국에서는 이미 항공레이저측량 기술을 이용한 임목측정 방법을 개발해 나가고 있어 국내도 정부차원적인 접근이 필요하다고 판단된다. 이밖에도 녹지관리, 산불거동모델링, 생물량, 서식지 지도제작, 탄소순환모델링 등의 활용가능성이 활발히 연구 및 적용되어지고 있다.

3.4 수목밀도분포도

수목데이터의 수직적인 구조는 산림의 밀도분포를 측정하여 생태계에 영향을 미치는 다양한 요소를 분석하는 기본적인 자료가 될 수 있다. 수목밀도는 생체량(biomass), 벌목량, 산불거동모델링, 시계열 잎면적지수(LAI:leaf area index)등에 영향을 미치며, 정량적인 수목의 분포를 평가할 수 있다. CHM에 의한 수목용량 산출

에서 더 나아가 수목의 밀도분포를 파악하고 산림의 계층적 상태를 분석하도록 한다. 이는 현지조사나 항공사진에서 최고점을 측정하는 것과 달리 산림의 층위구조를 측정하여 산림의 질적 상태를 평가하는 방법이 될 수 있다. 본 연구에서는 수목데이터에 해당하는 점들의 수를 단위면적으로 계산하고 래스터 형태로 변환하는 알고리즘을 개발하고 적용하였다. 그 원리는 수목데이터에서 각 점의 분포를 파악하는 검색 윈도우 r (=search radius)과 구성될 래스터형식의 셀 크기 d (=cell size)를 설정하고 픽셀단위로 수목의 분포도를 산출해 낸다. r은 d 보다 값이 커야 점의 밀도분포를 구할 수 있으며, 본 연구에서는 r=5m, d=1m로 설정하고 결과를 산출하였다.

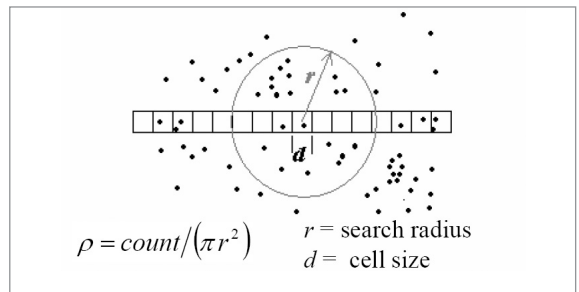


그림 11. 수목밀도분포도 알고리즘

그 결과 1m 픽셀크기의 래스터 이미지를 얻을 수 있었다. 점의 밀도가 높은 곳에서 낮은 곳까지 색상에 따라 표현하였으며, 픽셀크기는 원하는 해상도로 설정할 수 있다.

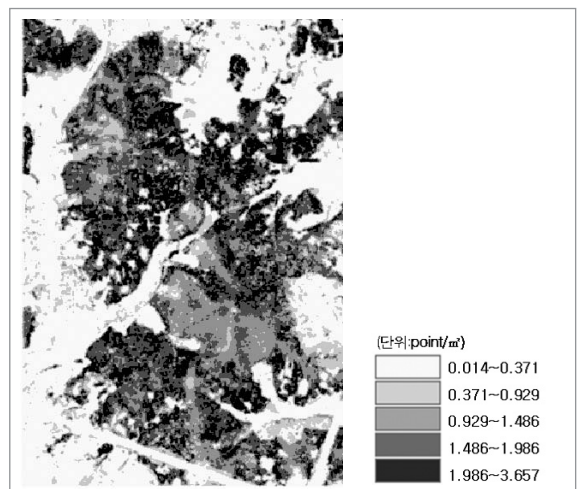


그림 12. 수목밀도분포도

4. 결 론

본 연구에서는 산림지역의 라이다데이터를 활용하여 수목데이터를 분류하고 표고분포도와 면적산출, CBM을 기준으로 한 수목용량, 단위면적의 밀도분포도를 제작해 보았다. 정확한 수목용량 산출을 위하여 영상을 이용한 상세분류를 실시하였고, 용량 산출의 기준이 되는 모델을 제작하여 각각 비교하였다. 그러나 수목데이터 분류 시 비닐하우스와 신호등, 전봇대와 같은 상단 면적이 좁거나 불분명한 인공구조물에 대한 명확한 분류에는 어려움이 있었다. 이는 기존 수치지도의 해당 레이어와 고해상도영상을 이용하여 상세히 분류되어야 하겠다. 또한 현저히 점밀도가 낮은 수목데이터에 대한 용량 산출의 기준이 현재 없으므로, 대상지역의 산림상태에 대한 경험적인 기준을 결정하는 것이 좋다.

본 연구결과 대상지역의 수목표고분포에서 지형으로부터 최대 높이는 32m이었고, 면적은 9.4km²이었다. 수목용량은 수목기준모델이 DEM일 때 32km³, 평균흥고 기준일 때 27km³, 지형으로부터 2.0m일 때 24km³이었다. 수목데이터의 분포를 단면으로 확인했을 때 흥고높이를 기준으로 할 때 수목용량이 가장 유사하였다.

현지조사나 항공측량에서 어려웠던 수목의 면적 및 용량산출은 이러한 항공 라이다데이터를 활용함으로써 신속하고 정확하게 결과를 얻을 수 있게 되었다. 따라서 수목용량과 밀도는 산림자원조사로서 생체량측정과 CO₂ 배출량, 수목의 수직적 분포 현황 등을 파악하여 객관적이고 과학적인 산림의 관리와 보호가 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

김은영, 김승용, 이강원 (2006), 항공 레이저 측량 데이터를 이용한 지반고 추출 기법에 관한 연구, 한국도로학회 2006년도 학술발표회 논문집, 한국도로학회, pp. 429-438.

김은영, 한성만 (2008), 식생밀도분포 및 등고선의 단계별 필터링에 관한 연구, 공동추계학술대회 논문집, 한국지형공간정보학회, pp. 21-25.

송철철, 이우균 (2008), 산림조사에서의 항공라이다 취득 인자에 따른 영향분석을 위한 시뮬레이션 모델개발, 공동추계학술대회 논문집, 한국GIS학회, pp. 310-317.

이동근, 류지은 (2008), LiDAR 데이터를 이용한 산림구

조 분석, 한국환경영향평가학회지, 한국환경영향평가학회, 제 17권 제 5호, pp. 279-288.

이규성, 이창환 (2005), 항공 LiDAR를 이용한 산림측정, 한국과학기술정보연구원, Tech-Issue Emerging S&T Report.

Andersen, (2004), Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data, Remote Sensing And Environment. Elsevier Science Direct, pp. 441-449.

Arefi, H, Hahn. M. A, (2005), Morphological Reconstruction Algorithm for Separating Off-Terrain Points From Terrain Points in Laser Scanning Data, ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop. pp. 120-125.

CHEN, GUEVARA (1987), Systematic selection of very important points (VIP) from digital terrain model for constructing triangular irregular networks. In Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography - Auto-Carto 8, Baltimore, Maryland, USA, Proceedings, pp. 50-56.

Chen, Liao, Estimating Tree Height and Location Using Airborne Lidar Data in Big Tree Area.

Danilin, Medvedev, (2008), Forest Inventory And Biomass Assessment by the use of Airborne Laser Scanning Method(Example From Siberia), International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-8/W2, pp. 139-144.

Glotzer, Time-dependent, four-point density correlation function description of dynamical heterogeneity and decoupling in supercooled liquids, Journal Of Chemical Physics Volume 112, Number 2.

Turner, (2006), An airborne lidar canopy segmentation approach for estimating above-ground biomass in Coastal Eucalypt forests. PhD thesis. School of Biological, Earth and Environmental Sciences, University of New South Wales, Sydney, NSW, Australia.

Turner, (2007), An overview Airborne LiDAR applications in New South Wales state forests, ANZIF Conference, pp. 1-22

Xiaowei, Yu., (2005), Applicability of first pulse derived digital terrain models for boreal forest studies, ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop, pp. 97-102.

Zhao, Popescu., (2007), Hierarchical Watershed Segmentation of Canopy Height Model for Multi-Scale Forest Inventory, ISPRS Workshop, pp. 438-441.

(접수일 2010. 03. 31, 심사일 2010. 04. 21, 심사완료일 2010. 06. 24)