라이다 자료와 정사영상을 이용한 산림지역의 수목영역추출

Extraction of the Tree Regions in Forest Areas Using LIDAR Data and Ortho-image

김의명*

Kim, Eui Myoung

要 旨

지구온난화에 대한 관심이 증가함에 따라 온실가스를 저감할 수 있는 산림자원에 대한 관심도가 증가되고 있다. 이러한 산림자원에 대한 정보는 대부분 항공사진 또는 위성영상을 이용한 도화에 의해 구축되었다. 그러나 영상정보만을 이용한 경우 수목이 울창한 산림지역의 수고정보를 정확하게 구축하지 못하는 단점이 발생하였다. 이에 본 연구에서는 라이다 자료와 정사영상을 이용하여 산림지역에서 개별 수목을 분리하고 수고정보를 효율적으로 획득할 수 있는 자료처리 방법을 제안하였다. 라이다를 이용한 자료처리는 정규화된 수치표면모형을 생성한 후 국지적 최대값 필터링을 통하여 수목점을 추출하였다. 또한 정사영상을 이용한 자료처리는 수목영역을 추출하기 위하여 객체기반 영상분류법을 적용하였다. 그리고 라이다 및 정사영상의 결과를 조합하여 최종 수목점을 추출하였다. 용인지역에 대한 실험을 통하여 라이다 자료와 정사영상을 각각 이용하는 방법에 대한 장단점을 분석하고 두 자료를 융합하여 산림지역에서 개별 수목에 대한 정보를 획득할 수 있었다. 이를 통해 제안한 방법의 효율성을 검증할 수 있었다.

핵심용어 : 수목추출, 산림지역, 라이다, 정사영상, 객체기반 영상분류, 지구온난화, 온실가스

Abstract

Due to the increased interest in global warming, interest in forest resources aimed towards reducing greenhouse gases have subsequently increased. Thus far, data related to forest resources have been obtained, through the employment of aerial photographs or satellite images, by means of plotting. However, the use of imaging data is disadvantageous; merely, due to the fact that recorded measurements such as the height of trees, in dense forest areas, lack accuracy. Within such context, the authors of this study have presented a method of data processing in which an individual tree is isolated within forested areas through the use of LIDAR data and ortho-images. Such isolation resulted in the provision of more efficient and accurate data in regards to the height of trees. As for the data processing of LIDAR, the authors have generated a normalized digital surface model to extract tree points via local maxima filtering, and have additionally, with motives to extract forest areas, applied object oriented image classifications to the processing of data using ortho-images. The final tree point was then given a figure derived from the combination of LIDAR and ortho-images results. Based from an experiment conducted in the Yongin area, the authors have analyzed the merits and demerits of methods that either employ LIDAR data or ortho-images and have thereby obtained information of individual trees within forested areas by combining the two data; thus verifying the efficiency of the above presented method.

Keywords : Tree Extraction, Forest Area, LIDAR, Ortho-image, Object Oriented Image Classification, Global Warming, Greenhouse Gas

1. 서 론

지구온난화에 대한 세계적인 관심도가 증가함에 따라 산림자원을 효율적으로 유지·관리하는 것이 중요한 이슈로 떠오르고 있다.

기존의 산림자원에 대한 정보의 구축방법은 주로 항공사진을 촬영하거나 위성영상을 이용하여 산림정보를 구축하였다.

또한 수목의 영역 추출 및 수고정보를 획득하기 위해서 기존에는 주로 위성영상 또는 항공사진을 이용하여

도화사가 직접 디지털 도화를 하여 자료를 획득하였다. 그러나 산림지역에서 수목이 울창한 지역의 경우 도화사가 영상에서 지면과 수목을 정확하게 구분하고 수고 정보를 획득하기에는 한계가 있다.

산림의 3차원 정보를 구축하고 수목의 정량적인 정보를 효율적으로 구축할 수 있는 방법 중 최근에 가장 많이 활용되고 있는 자료취득방법중의 하나가 라이다(LIDAR : Light Detection And Ranging)를 이용하는 것이다.

Kwak et al.(2005)은 라이다 자료를 이용하여 수고와 지하고를 추정하고, 현장조사와 항공영상을 이용하여 흉고직경 및 단면적, 임분체적, 바이오매스 등의 산림정보를 추출하는 연구를 수행하였다.

Chang et al.(2008)은 RGB 컬러항공사진에 K-Means 알고리즘을 적용하여 수목예상지역을 추출하고 라이다 자료를 이용하여 DSM(Digital Surface Model)과 DTM(Digital Terrain Model)을 생성하여 수목의 개체와 높이를 추정하였다.

Yoon et al.(2006)은 라이다 레이저빔이 산림이나 수목에서 20-40%의 투과성을 지닌다는 점을 이용하여 접근하기 어려운 지역의 산림에서 라이다 자료와 수관 점유율에 대한 관계를 연구하였다.

Pascual et al. (2008), Zhao et al. (2009), Sexton et al. (2009) 등은 라이다 자료를 이용하여 수목영역의 DSM과 DTM을 생성하고 이를 차분하여 CHM(Canopy Height Model)을 생성함으로써 수목의 높이와 영역을 추정하였다.

Taguchi et al. (2006)는 라이다 자료에서 점기반의 국지적 최대값 필터링(local maxima filtering)을 적용하여 개별 나무를 식별하였다. Kao et al.(2004)는 공간상에서 수목영역의 라이다 자료의 분포를 해석하고 특징을 가시화를 하기 위해 Density estimation, Mode finding, Distribution matching을 이용하는 알고리즘 및 가시화 도구를 개발하였다. Demir et al.(2008)은 라이다 자료와 항공사진에서 추출한 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)를 이용하여 수목을 추출하였다. 또한 Cho et al.(2012)는 근적외선 파장대 영역의 다양한 위성영상과 라이다 자료를 이용하여 남아프리카 사바나 지역의 수종을 분류하는 연구를 수행하였다.

국내외 연구사례에서 알 수 있듯이 산림지역에서 수목영역을 추출하기 위해서 다양한 방법이 사용되고 있으며 라이다 점자료를 기반으로 한 연구와 영상을 융합한 연구 등이 이루어지고 있다. 라이다를 이용한 연구는 CHM을 생성한 후 국지적 필터링을 이용하는 방법

이 대부분이다. 라이다와 영상을 융합한 연구는 CHM에 NDVI를 이용하여 영상분류를 통해 수목을 추출하는 연구가 대부분이다. 또한 영상을 이용할 경우 주로 식생지수를 추출할 수 있는 근적외선 파장대 영역의 정보가 있는 자료를 이용하였다.

본 연구에서는 라이다 자료와 RGB 컬러영상자료를 이용하여 객체기반 영상분류법을 적용하여 산림지역에서 수목정보를 찾는 기법에 대해서 연구를 수행하였다. 기존의 연구와의 차이점은 영상분류를 수행할 때 선행 연구에서는 주로 근적외선 파장의 정보를 이용하는 식생지수를 이용한 반면 본 연구에서는 RGB 영상을 이용하였다. 또한 기존의 연구방법은 주로 일반적인 감독분류 또는 무감독분류에 의한 영상분류법을 적용하였으나 본 연구에서는 객체기반 영상분류법을 적용하였다.

2. 라이다 및 정사영상

라이다는 주로 항공기에 탑재하여 스캐닝 거울에 의해 비행경로를 따라 지상을 향해서 발사되는 레이저를 사용하기 때문에 항공레이저스캐너(ALS : Airborne Laser Scanner)로도 부른다. 라이다의 구성은 거리를 관측하기 위해서 빛 즉, 레이저를 이용하는 능동센서체계로서 항공기의 위치를 결정하는 GPS(Global Positioning System), 항공기의 자세를 결정하는 INS(Inertial Navigation System) 또는 IMU(Inertial Measurement Unit), 그리고 지표면을 스캐닝 할 수 있는 레이저스캐너로 구성되어 있다(Kim, 2009).

라이다는 지상을 향해서 발사되는 레이저 빔을 통해서 대상물에 반사된 모든 3차원 좌표를 취득할 수 있는 장비로서 밤과 낮의 구분 없이 관측이 가능할 뿐만 아니라 수직위치정확도가 항공사진측량에 의한 방법보다 상대적으로 높은 장점이 있다.

항공사진측량에 의해 촬영된 중심투영의 영상은 지형의 경사와 기복에 따른 변위가 포함되어 있다. 이러한 변위를 제거하여 지도와 같은 정사투영의 기하학적 특징을 갖는 영상을 정사영상이라고 한다. 정사영상은 영상이 갖고 있는 장점과 지도의 장점을 가지고 있기 때문에 영상에 포함된 모든 지도·지물의 상호위치관계가 지형도와 동일함에 따라 영상을 통해서 직접적으로 거리, 각도, 평면좌표 및 면적 등의 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다(Yeu and Schenk, 2001). 또한 정사영상은 칼라정보를 통해서 대상물에 대한 시각적인 이해도를 높일 뿐만 아니라 시멘틱 정보가 풍부한 장점이 있다.

산림지역에서 수목정보를 추출하기 위해서 라이다

자료와 정사영상의 장점을 이용하면 수목영역에 대한 정보 뿐만 아니라 개별 수목에 대한 정보를 추출할 수 있다.

3. 제안한 연구방법

본 연구에서는 라이다 자료와 정사영상을 이용하여 산림지역에서 수목정보를 추출하는 방법론을 개발하였다.

3.1 라이다를 이용한 자료처리

3.1.1 지면점 및 비지면점 분류

라이다 자료에서 지면점과 비지면점을 분류하고 지면점을 공간보간하여 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하고 비지면점을 공간보간하여 DSM을 생성한다(Kim and Cho, 2011).

3.1.2 NDSM의 생성

DSM에서 지면점에 해당하는 높이값인 DEM을 빼주어 동일한 기준면에서 비지면점의 높이값을 알 수 있도록 NDSM(Normalized Digital Surface Model)을 생성한다.

3.1.3 수목점의 추정

NDSM에서 원형의 국지적 최대값 필터링을 적용하여 수목점을 추정한다(Cho and Kim, 2010). 국지적 최대값 필터링은 소구역 내에서 가장 큰 높이값을 찾고 그 높이값을 소구역에 할당하는 기법이다. NDSM에서 수목점의 수평적인 위치를 추정하고 나서 수고의 부여는 비지면점에서 수목추정점의 수평위치와 가장 가까운 점을 이용하여 결정한다.

3.2 영상을 이용한 자료처리

영상을 이용한 자료처리에는 객체기반 영상분석법을 적용하여 수목영역을 추출하였다. 객체기반 영상분석법은 분광정보와 공간정보를 조합하여 자료처리를 수행하는 방법이다. 이 방법은 영상소의 밝기값, 질감, 분광정보 등을 이용하여 영상 내에서 배경과 객체를 분할(segmentation)한다. 또한 객체의 모양, 크기, 방향 등의 공간적인 특성을 이용하는 방법이다. 객체기반 영상분석법의 기초는 퍼지이론에 기반을 두고 있다(Chepkochei, 2011). 정사영상을 이용하여 수목영역을 추출하는 과정은 다음과 같다.

3.2.1 트레이닝 셋을 이용한 감독분류

RGB 정사영상에서 식생 또는 수목지역에 해당하는

(a) LIDAR data

(b) Ortho image

Figure 1. Study area

트레이닝 셋을 이용하여 해당 영역을 추출한다.

3.2.2 객체기반 영상분류

수목을 추출하기 위한 최소 크기, 원형의 기하특성을 고려하여 객체기반 분류를 수행한다. 그리고 나서 일반 화기법을 적용하여 벡터형태의 수목영역을 추출한다.

이제 남아 있는 과정은 라이다자료를 이용하여 추출한 수목점과 정사영상에서 추출한 수목영역을 중첩하여 최종 수목점을 추출하는 것이다.

4. 실험

4.1 대상지역

연구대상지역은 용인시 주변의 산림지역으로 2009년 10월 항공촬영된 자료를 이용하였다. 라이다 자료와 항공사진은 Leica사에서 만든 ALS50와 ADS40 디지털 카메라를 각각 이용하였다. 연구대상지역의 라이다 자료와 정사영상은 Fig. 1과 같다.

라이다 자료의 점밀도는 4.4점/㎡이고 영역의 크기는 약 535m×544m(가로×세로)이다. 정사영상은 ADS40 디지털카메라에 의해서 촬영된 RGB 칼라영상을 이용하여 10cm 공간해상도를 갖는 정사영상으로 생성한 것이다.

4.2 자료처리 흐름

Fig. 2는 라이다 및 정사영상을 이용하여 산림영역과 그 지역내에 있는 수목점을 추출하는 자료처리 과정을 나타낸 것이다. 라이다 자료처리는 ArcGIS Desktop 10.1 소프트웨어를 이용하였고 정사영상을 이용하여 객체기반분류를 수행하는 과정은 Erdas Imagine 2010 Objective 소프트웨어를 이용하였다.

라이다 자료로부터 지면점과 비지면점을 분리한 후 NDSM을 생성한다. NDSM은 수목점 추출을 위해서 국지적 최대값 필터링을 통해서 수목점을 추출한 결과

Figure 2. Flowchart of data process

와 비지면점중에서 필터크기내에 있는 가장 가까운점을 수목의 꼭대기점으로 추정한다. 정사영상은 객체기반 분류를 위하여 트레이닝 데이터셋을 수집하고 분류한 후 Raster Object Creators 기능을 이용하여 gray scale 영상을 생성한다. 수리형태학적인 연산은 Raster Object Operators 기능을 이용하여 수행하고 그 결과를 벡터화한다. 산림영역으로 간주하기 어려운 작은 지역은 Vector Object Operators 기능을 이용하여 제거하고 일정한 면적을 갖고 원형의 특성을 갖는 산림영역을 Vector Object Processor를 이용하여 추출한다. 라이다 자료처리를 통해서 추출한 결과와 정사영상을 이용하여 추출한 결과를 중첩하여 산림영역에서 수목점을 추출한다.

4.3 라이다를 이용한 수목추출

라이다 자료에서 지면점과 비지면점을 분류한 후 평균점간거리가 0.48m인 것을 고려하여 약 0.5m의 격자 보간을 통해 생성한 DEM과 DSM은 Fig. 3과 같다.

Figure 3. Classification of LIDAR data

Fig. 3의 DSM에서 DEM을 빼서 동일한 기준면에서 자료처리가 가능한 NDSM을 Fig. 6의 (a)와 같이 생성하였다.

NDSM에서 수목점을 추정하기 위해서 국지적 최대값 필터링 연산을 수행하면 된다. 이를 위해 ArcGIS Desktop에서 래스터자료에서 주변 값들의 통계값에 대한 처리가 가능한 Focal Statistics 툴과 지도대수(Map algebra)를 이용하여 래스터 자료에 대한 처리를 수행할 수 있는 Raster Calculator 툴을 이용하였다. 국지적 최대값 필터링의 자료처리 과정은 Fig. 4와 같이 이루어지며 실제 기능은 Fig. 5의 지도대수를 이용하여 처리하였다.

국지적 최대값 필터링을 수행할 때 구조요소는 수목의 형상과 유사한 원형형태를 사용하였으며 구조요소의 크기는 Fig. 4와 같이 직경 3m를 이용하였다. 또한 높이가 임계값은 1.3m 이상으로 설정하고 임계값 이하인 영역에 대해서는 1값이 할당되도록 하고 임계값 이상인 지역에 대해서는 NDSM의 높이값이 할당되도록 한 후 국지적 최대값 필터링을 수행하였다.

Fig. 6(a)의 NDSM에 대해 국지적 최대값 필터링을 수행하면 결과파일로 수목점으로 추정되는 점은 래스터값이 1로 설정되고 그렇지 않은 경우 래스터값이 0으로 설정된다. 이러한 래스터자료를 ArcGIS Desktop의 Raster to Point 툴을 이용하여 벡터형태로 변환하였으며 그 결과는 Fig. 6(b)와 같다.

Figure 4. Local Maxima

Figure 5. Map algebra expression for local maxima

Figure 6. Extracted trees from LIDAR data

Figure 7. Errors of extracted tree-tops

높이임계값의 설정은 대상지역마다 다를 수 있으며 본 연구에서는 다소 완만한 경사가 있는 지역에서 수목 점들이 분포하기 때문에 높이값을 1.3m로 설정하여 국지적 최대값 필터링 연산을 수행하고 그 이상인 점을 수목점으로 자료처리하였다.

Fig. 6(b)에서 수목점에서 수고를 부여하기 위해서 수목점의 수평위치에서 가장 가까운 높이값을 Fig. 3(b)의 DSM에서 얻고 지표면의 높이값인 Fig. 3(a)의 DEM 높이값을 뺀 값으로 부여하였다.

라이다 자료만을 이용하여 수목점을 추출한 결과 Fig. 7과 같이 높이가 낮은 건물 모서리면 주변에서 오류가 발생하였다. 이러한 이유는 국지적 최대값 필터링을 수행할 때 낮은 수목점을 추출하기 위해서 설정한 높이임계값 때문이다. 오분류된 건물의 모서리 점들은 정사영상을 이용한 객체기반 분류를 통해서 제거될 수 있다.

4.4 영상을 이용한 수목추출

정사영상에서 트레이닝 셋을 이용하여 영상소의 개연성(probability)의 임계값을 95%로 설정하여 Fig. 8(a)와 같이 수목(흰색)과 비수목영역(검정색)을 분류하였다.

Figure 8. Raster object operation

Figure 9. Vector object operation

분류된 수목영역에서 수리형태학적인 연산과 최소 객체의 크기를 약 30m^2 로 설정하여 영상기반의 수목영역을 추출하였으며 그 결과는 Fig. 8(b)와 같다.

영상기반의 수목영역에 대해 폴리곤 트레이싱을 통해서 Fig. 9(a)와 같이 벡터화하였다.

수목으로 추정되는 작은 영역들을 기하학적인 특성을 고려하여 그룹화할 수 있다. 수목은 그 특성이 대체로 원형으로 이루어져 있기 때문에 Fig. 8(a)의 벡터화된 자료에서 원형성을 고려하면서 최소면적 기준 $1,500\text{m}^2$ 을 적용하여 그룹화하였으며 그 결과는 Fig. 9(b)와 같다.

영상기반의 수목추출결과 RGB칼라 영상의 분광특성으로 인하여 Fig. 10과 같이 인조잔디구장과 주차장 주변의 낮은 초지 그리고 탁한 색의 도랑 등이 수목영역

Figure 10. Errors of extracted tree regions

으로 오분류되었다. 또한 영상에서 자색의 단풍나무와 회색에 가까운 나무는 수목으로 분류하기가 어려웠다.

4밴드(R,G,B, NIR)영상에 비하여 RGB밴드의 한계는 분명히 있으나, NIR밴드의 영상을 구할 수 없을 때 활용의 가치를 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

4.5 자료 융합에 의한 수목추출

라이다 기반의 수목점 추출결과와 영상기반의 수목영역 자료를 중첩하여 비지면이면서 수목영역에 해당하는 최종적인 개별 수목점을 추출하였으며 그 결과는 Fig. 11과 같다.

Fig. 11의 개별 수목점에 대한 수고정보에 대한 통계값은 Table 1과 같다. Table 1에서 알 수 있듯이 수고의 최소값과 최대값은 각각 0.02m와 20.48m로 나타났다. 또한 연구대상지역의 평균 수고는 3.43m로 나타났으며 표준편차는 2.41m로 나타났다.

4.6 결과분석

용인지역의 수목추출결과에 대한 검증을 위하여 연구대상지역의 산림지역을 정사영상에서 직접 수작업으

Figure 11. Refined tree-tops

Table 1. Statistics of tree-tops

Statistics	Value
Min	0.02m
Max	20.48m
Mean	3.43m
Standard Deviation	2.41m

Figure 12. Manually digitized forest areas

(a) Dilation (b) Erosion

Figure 13. Closing operation

로 디지털타이징하여 Fig. 12와 같이 생성하였다. 생성된 산림지역의 면적은 88,958.67m²로 나타났다.

본 연구의 방법론이 적용된 Fig. 11의 결과에서 수목영역에 대한 면적을 산출하기 위해서 폴리곤화 작업을 수행하였다. 이를 위해 Fig. 11의 수목점을 래스터 자료로 변환한 후 Fig. 13과 같이 팽창(dilation)과 침식(erosion)을 연산을 수행하였다. ArcGIS Desktop에서 팽창과 침식연산은 각각 Expand와 Shrink 툴을 이용하였다.

Fig. 13(b)의 결과는 다시 Raster to Polygon 기능을 이용하여 Fig. 14와 같이 폴리곤으로 변환하였으며 생성된 폴리곤의 면적은 113,239m²로 나타났다.

산림지역의 면적비교 결과 약 27%의 면적이 수작업에 의해서 추출한 산림지역보다 많은 결과를 보였다. 이러한 이유는 포인트 형태로 추출된 산림지역의 수목을 폴리곤화하기 위하여 팽창과 침식연산을 수행하면

Figure 14. Polygonization of forest areas

서 영역이 다소 과장되는 현상이 발생한 것으로 나타났다.

Fig. 14에서 등글게 표시된 영역은 수작업으로 추출한 산림영역의 결과인 Fig. 12와 비교했을 때 영역이 과장된 주요 부분을 표시한 것을 나타낸다.

본 연구를 통해 추출된 산림지역의 면적과 개별 수목에 대한 정보는 산림청에서 제공하고 있는 임상도와 중첩하여 활용할 경우 임상의 특성을 파악할 수 있다. 연구대상지에는 활엽수(60.29%), 리기다소나무(32.75%), 침활혼효림(6.96%)가 존재하며 이들 정보를 활용하면 산림의 이산화탄소 흡수량을 계산할 수 있다(Kim et al., 2012)

본 연구에서 제안한 라이다 자료와 정사영상 자료처리 결과를 융합한 결과 라이다 자료에서 낮은 건물 모서리가 수목으로 추출되는 문제점과 정사영상에서 낮은 초지가 산림지역으로 오분류되는 문제점을 보완할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 산림지역에 존재하는 수목을 추출하는 것을 목적으로 라이다 자료와 정사영상을 이용하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 라이다 자료와 정사영상을 이용하여 산림지역에서 개별 수목을 분리하고 수고정보를 효율적으로 획득할 수 있는 자료처리 방법을 제안하였다.

둘째, 라이다 자료와 정사영상을 융합하여 개별 수목을 분리한 후 팽창과 침식연산 등을 통해서 산림영역을 추출할 수 있었다.

향후 다양한 산림지역에 대해 본 연구의 방법론을 적용할 필요성과 절대적인 검증을 위한 자료의 확보가 필요한 것으로 나타났다. 또한 산림지역에 존재하는 수목의 수종정보를 이용할 수 있다면 탄소배출량 또는 이산화탄소 저장량을 산출할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

References

1. Chang, A., 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.
2. Chepkoechei, L., 2011, Object-oriented image classification of individual trees using ERDAS Imagine Objective: case study of Wanjohi area, Lake Naivasha basin, Kenya, Proceedings of Kenya Geothermal Conference.
3. Cho, D., Kim, E., 2010, Extraction of spatial information of tree using LIDAR data in urban area, Journal of The Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 18, No. 4, pp.11-20.
4. Cho, M., Mathieu, R., Asner, G., Naidoo, L., Aardt, J., Ramoelo, A., Debba, P., Wessels, K., Main, R., Smit, I., Erasmus, B., 2012, Mapping tree species composition in South African savannas using an integrated airborne spectral and LiDAR system, Remote Sensing of Environment, Vol. 125, pp.214-226.
5. Demir, N., Poli, D., Baltsavias, E., 2008, Extraction of buildings and trees using image and LiDAR data, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IAPRS, Vol. XXXVII, Part B4, pp.313-318.
6. Kao, D. L., Kramer, M. G., Love, A. L., Dungan, J. L., Pang, A. T., 2005, Visualizing distributions from multi-return Lidar data to understand forest structure, Cartographic Journal, vol. 42, no. 1, pp.35-47.
7. Kim, E., 2009, Building boundary extraction of airborne LIDAR data by image-based and point-based data analysis, Journal of The Korean

- Society for Geospatial Information System, Vol. 17, No. 1, pp. 43-52.
8. Kim, E., Cho, D., 2011, Extraction of the Street Trees Information Using LIDAR Data, 2011 Joint Conference of The Korean Society of Cadastre and The Korean Cadastre Information Association, pp. 155-167.
 9. Kim, H., Kim, H., Cho, S., Kang, H., Lee, S., 2012, GIS-RS-based estimation of carbon dioxide absorption and bioenergy supply potential of forest - focused on Muju county, Jeonbuk, Journal of Agriculture and Life Science, Vol. 45, No. 1, pp.21-32.
 10. Kwak, D., Lee, W., Son, M., 2005, Application of LiDAR for measuring individual trees and forest stands, Journal of Korean Forest Society, Vol. 94, No. 6, pp.431-440.
 11. Pascual, C., Garcia-Abril, A., Garcia-Montero, L. G., Martin-Fernandez, S., Bohen, W.B., 2008, Object-based Semi-automatic Approach for Forest Structure Characterization Using Lidar Data in Heterogeneous Pinus Sylvestris Stands, Forest Ecology and Management, vol. 255, no. 11, pp.3677-3685.
 12. Taguchi, H., Endo, T., Setojima, M., Yasuoka, Y., 2006, A New Method for Individual Tree Detection Using Airborne LiDAR Pulse Data, Proc. Asian Conference on Remote Sensing, P-1, p.19.
 13. Yeu, B., Schenk, T., 2001, Modern digital photogrammetry, Munundang.
 14. Yoon, J., Lee, K., Shin, J., 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.