

## LiDAR의 높이 및 밀도 정보를 이용한 도시지역의 3D기반 분류

정 성 은\* · 이 우 균\*\* · 광 두 안\*\*\* · 최 현 아\*\*\*\*

### 3D based Classification of Urban Area using Height and Density Information of LiDAR

Sung-Eun Jung\* · Woo-Kyun Lee\*\* · Doo-Ahn Kwak\*\*\* · Hyun-Ah Choi\*\*\*\*

#### 요 약

지표면에 대한 정보를 취득하는 기법 중 지금까지 주로 사용되어온 기법은 항공사진 및 위성영상과 같이 평면적인 정보 수집에 중점을 두고 있는 반면, 본 논문에서 다루는 LiDAR (Light Detection And Ranging)는 레이저 측량기술을 이용하여 지표면에 대한 고해상도의 비정규분포 Point 형태의 3차원 정보의 획득이 가능하다. GPS(Global Positioning System) 수신기와 INS(Inertial Navigation System)의 결합을 통해 좌표 값을 제공하게 된다. 이러한 LiDAR의 3차원 Point 정보와 좌표 값을 활용하여 보다 정밀한 3차원 모델링 수행이 가능하다.

본 연구에서는 LiDAR의 반사강도와 기하/지형 자료를 이용하여 도시지역을 대상으로 정밀한 3차원 공간정보자료를 취득하고, 그 자료를 분석하여 도시지역을 높이와 밀도를 기반으로 하여 3차원으로 분류하였다. LiDAR를 통해 획득된 원시자료로부터 지표면에서 반사되는 Point Data의 개수를 지면과 비지면요소의 비율로 추정하여 지형과 공간적 특성을 파악하고 이에 따라 3차원 토지피복분류도를 작성하였다. 신호의 강약을 구분하는 기준은 통계적 방법(Jenks's Natural Break)을 통해 추정된 값을 사용하였으며, 지표면 반사비율에 따라 세부 지역으로 구분하여 크게 고밀도·저밀도 식생지역과 비식생지역으로 구분하였다.

주요어 : 라이다, 토지피복분류, GRR, 원격탐사, 생태도시계획, 3D

**ABSTRACT** : LiDAR, unlike satellite imagery and aerial photographs, which provides irregularly distributed three-dimensional coordinates of ground surface, enables three-dimensional modeling. In this study, urban area was classified based on 3D information collected by LiDAR.

\*고려대학교 환경생태공학과 석사과정(truthse@gmail.com)

\*\*고려대학교 환경생태공학과 교수(leewk@korea.ac.kr), 교신저자

\*\*\*고려대학교 환경생태공학과 박사과정(kwak.dooahn@gmail.com)

\*\*\*\*고려대학교 기후환경학과 석사과정(sosobut@korea.ac.kr)

Morphological and spatial properties are determined by the ratio of ground and non-ground point that are estimated with the number of ground reflected point data of LiDAR raw data. With this information, the residential and forest area could be classified in terms of height and density of trees. The intensity of the signal is distinguished by a statistical method, Jenk's Natural Break. Vegetative area (high or low density) and non-vegetative area (high or low density) are classified with reflective ratio of ground surface.

**Keywords** : LiDAR, Land Cover Classification, GRR, Remote Sensing, Ecological Urban Plan, 3D

## 1. 서 론

최근 생태도시 조성의 필요성이 대두되면서 자연적인 형태를 보존하여 환경의 교란을 최소화하는 개발이 중요시됨에 따라 기존의 도시 시설물과 더불어 지형 및 주변 식생에 대한 정확한 현황 파악이 중요하게 인식되고 있다. 항공사진과 위성영상, 현장조사를 통해 작성되는 비오펍지도가 도시의 생태적 관리에 많이 활용되고 있다(조용현과 송인주, 2005). 그러나 기존의 비오펍지도가 2차원 지도에 속성을 표시하는 방식을 취하기 때문에 지형의 정보를 제외한 식생정보의 경우 입체적인 형태 및 정확한 밀도에 대한 고려가 부족하다는 한계를 가지고 있다.

LiDAR(Light Detection And Ranging)는 항공기에 지상 측정 레이저를 부착하고 대상지를 스캐닝하여 고도를 측정하는 신기술로, 3차원 측정 및 자동화가 가능하여 단시간내 광범위한 자료를 획득할 수 있다(전성우 등, 2007). 그러므로 접근이 어렵거나 광범위한 지역의 정보 획득시 시간과 정확도 측면에서 효과적이다. 이러한 LiDAR의 특성을 이용한다면 3차원 Point 정보를 활용하여 입체적인

속성을 갖는 비오펍지도를 작성함으로써 전술한 2차원 영상과 현장조사의 비효율성을 상당부분 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

위성영상을 이용한 토지피복 분류는 주로 대상체의 분광특성을 이용해서 이루어진다. 환경부에서는 1998년부터 2005년까지 토지피복구축사업을 실시하여 토지피복지도를 제작하였는데, 이때 다중분광 위성영상인 Landsat 과 SPOT영상을 이용하였다(박정재 등, 2007). 하지만 분광특성만을 이용하여 대상체를 분류할 경우 콘크리트 건물과 콘크리트 도로 또는 아스팔트 성글을 사용한 지붕의 건물과 아스팔트 도로, 목초지와 산림의 경우와 같이 분광특성이 유사한 대상체의 분류가 불가능한 경우가 있다. 건물과 도로의 경우나 초지와 산림의 가장 큰 차이점은 고도 차이로써, LiDAR 자료를 활용할 경우 위성영상의 대상체의 분광특성과 함께 대상체의 정확한 고도정보를 활용하여 분광특성만으로 구분이 불가능하였던 대상체의 분류가 가능하게 된다(우현욱, 2004).

LiDAR의 주된 연구 및 활용분야는 정확한 3차원 좌표를 획득하는데 초점이 맞춰져 있으며, 넓은 지역에 대해 정밀한 3차원 좌표의 획득이 용이하다는 LiDAR의 장점으로

인해 정밀한 DSM이나 DTM을 구축하거나 건물추출 및 3차원 도시모델 구축 등이 주된 관심사였다(신정일, 2007). LiDAR를 이용한 토지의 피복 분류에 관한 연구로 Haala와 Bremer(1999)는 DSM과 CIR(Color Infra Red)을 이용하여 분류를 수행하였고, 한수희 등(2003)은 LiDAR의 반사강도와 고도자료를 이용한 토지피복분류에 관한 연구를 실시하였다. 우현욱(2004)은 위성영상과 LiDAR를 이용하여 토지피복분류를 실시하였다. 이근상 등(2003)은 시가지의 건축 밀도를 평가하는 기법을 연구하였으며, 송철철 등(2008)은 LiDAR 데이터를 이용하여 다양한 토지피복에 대해 3차원으로 복원하는 연구를 수행하였다. 전성우 등(2007)은 LiDAR를 활용하여 식생에 대한 정보를 간접적으로 구축하고 국토환경성평가지도의 산림부문 신규 평가항목으로서 Biomass의 활용 가능성을 평가하였다. Kwak 등(2007)은 개체목 및 임분조사를 위해 LiDAR를 활용한바 있다. 이와 같

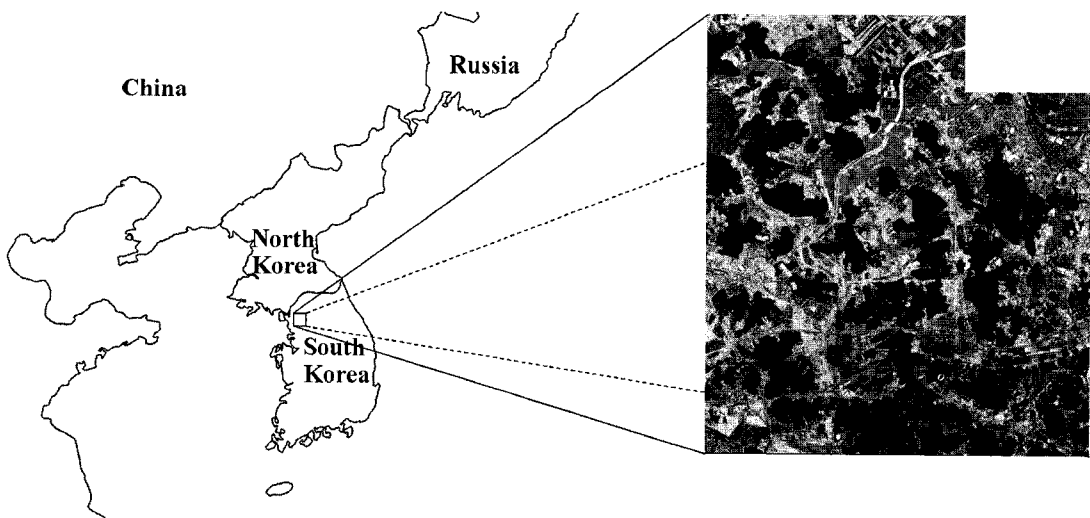
이 LiDAR에 관한 연구에도 불구하고 정확도나 도시지역에 대한 연구에 비해 식생의 구조나 밀도의 속성정보를 갖는 분류에 대한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구의 목적은 LiDAR 수집 정보를 활용하여 도시지역 현황을 3차원 Point 정보로 파악하고 통계적 기법을 활용하여 13개 세부 지역으로 분류함으로써 3D기반의 구조/밀도 지수를 파악하고 바이오톱 지도로 작성하는 프로세스를 개발하는 것에 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상지

본 연구는 인천광역시 서구 검단신도시(37°38'N 126°39'E - 37°34'N 126°44'E)를 대상으로 하였다(Figure 1). 이 지역은 산림지역과 시가지지역에 고층, 중층, 저층의 구조



[Figure 1] Geographic location of the study area

가 복합적으로 분포되어 있는 특성을 지니고 있다. 역을 분류하였다.

## 2.2 연구자료

본 연구에 사용된 LiDAR 자료는 항공기를 이용하여 1,000m의 상공에서 2.8 points/m<sup>2</sup>의 점밀도로 촬영되었다. 레이저스캔을 위해 사용된 장비는 Optech 社의 ALTM(Airborne Laser Terrain Mapper) 3070 모델로 2007년 8월경에 취득한 자료를 사용하였다.

또한, 취득된 LiDAR 데이터는 GRR(Ground Returns Ratio)을 산정 및 전처리를 수행하기 위해 TerraSolid 社의 TerraScan 프로그램과 ESRI 社의 ArcGIS 프로그램을 이용하였다.

## 2.3 연구방법

### 2.3.1 식생지역과 비식생지역의 분류

LiDAR 센서에서 송출된 레이저 Pulse는 지표면에서 반사되어 오는 신호를 시간차에 따라 구분되어 기록되는데 가장 먼저 발사된 신호를 First Return, 가장 나중에 수신된 신호를 Last Return이라 한다. Singular Return은 주사된 레이저 Pulse가 나지 등의 2차원 형태를 갖는 지표면에서 반사되어 센서에 도착한 신호가 센서의 기록방식으로 인해 First와 Last Return으로 중복 기록된 것이다. 따라서 Singular Return은 First와 Last Return에서 3차원 좌표와 반사강도가 모두 동일하게 기록되어 있으며, 산림과 건물지붕의 모서리 부분을 제외한 대부분의 피복에서 주로 발생한다(Moffiet 등, 2005; 신정일, 2007). 이러한 특성을 이용하여 식생지역과 비식생 지

### 2.3.2 Ground Returns Ratio(GRR)의 생성

항공기에서 발사된 레이저 Pulse는 표면 속성에 따라 반사되거나, 투과하는 특징을 가지고 있다. 이러한 관점에서 레이저 Pulse는 태양으로부터 발산된 빛과 같은 특징을 가지고 있다고 볼 수 있다(Kwak 등, 2007). 산림지역에 조사된 레이저 Pulse의 경우 햇빛이 임관을 투과하거나 반사되어 그들이 생성되는 것과 같은 형태를 보인다. 임관을 구성하고 있는 잎의 양이 많은 지역은 적은 지역보다 임관을 투과하여 지면에서 반사되는 LiDAR 포인트 데이터의 양이 상대적으로 적다. 이러한 레이저의 특성을 활용하여 한 임분 내에서 반사된 모든 LiDAR 포인트 데이터에 대한 임관을 투과하여 지면에서 반사된 LiDAR 포인트 데이터의 비율을 통해 임분의 식생밀도의 판단이 가능하다(식 1).

$$GRR = \frac{\text{No. of ground returns}}{\text{No. of all returns}} \quad (1)$$

최종적으로 GRR 데이터는 래스터 데이터로 변환하여 분석에 사용하였다. pixel의 크기 판정은 Pulse의 Last return의 유효성과 해상도를 고려하여 판단하였다. 본 연구에서는 최종적으로 5m × 5m 크기의 pixel을 이용하였다. 5m × 5m pixel 이하의 GRR 데이터는 임관에서 투과 및 반사된 LiDAR 포인트 데이터가 충분하지 않아 Pulse의 유효성이 낮아 래스터데이터로 표현하는데 부적합하다고 판단되어 pixel의 크기를 위와 같이 결정하였다.

2.3.3 Ground Returns Ratio의 등급화

GRR 데이터는 임관밀도에 따라 고밀도, 중밀도, 저밀도의 세 개의 등급으로 분류하였다. 분류를 위한 여러 가지 클러스터링 기법을 비교한 결과, 각각의 값 중 가장 유사한 값을 가지는 값들을 같은 등급으로 분류하는데 Jenk's Natural Break 알고리즘이 가장 적합하다고 판단되었다(식 2). Jenk's Natural Break법은 데이터를 분류할 때 임의의 분류군의 평균값과 해당 분류군에 포함되는 실제 데이터들 간의 차이를 가장 작게 함으로써 분류군 안의 데이터 변이를 가장 작게 하는 분류 방법이다(Murray와 Shyy, 2000). 이 방법을 이용함으로써 GRR을 데이터간의 변이가 가장 작은 세 개의 분류군으로 분류하였다(Table 1).

$$SSDi..j = \sum_{k=i}^j (A[k] - mean_{i..j})^2 \quad (2)$$

SSD: Sum of Squared Deviations

A: set of values

k: number of class

mean<sub>i..j</sub>: mean of class bounded by i and j

2.3.4 높이에 따른 구조의 분류

LiDAR 자료에서 건물과 나무 등의 대상체를 구분하기 위해서는 대상체의 고도정보를 이용하게 된다. 하지만 대상체의 고도는 지형에 의해 실제로 같은 고도라 하더라도 분류 결과의 차이가 나타나게 된다.

DSM(Digital Surface Model)은 자연지물과 인공지물을 포함하는 지형으로 이루어지며, DTM(Digital Terrain Model)은 자연지물과 인공지물을 제외한 순수한 지형만으로 표현된다. 본 연구에서는 IDW보간과 필터링 과정을 통하여 DSM을 생성하였다. 다음 단계로 자연지물과 인공지물을 제거하여 순수한 지형으로 지면점을 분리한 DTM을 생성하였다(윤정숙 등, 2006). 구조물의 분류를 위해 DSM에서 DTM을 제거하여 자연지물과 인공지물

<Table 1> Classification category by Density

GRR density classification	Non-vegetation area	Vegetation area
1	High density	High density
2	Medium density	Medium density
3	Low density or Bare ground	Low density or Grassland

<Table 2> Classification category by height

Height	Non-vegetation area	Vegetation area
1 High	High building (Over 30m(10th floor))	Tall tree (Over 9m)
2 Medium	Medium building (9~30m(3rd~10th floor))	Medium tree (3~9m)
3 Low	Low building or Bare ground (Under 9m(3rd floor))	Shrub or Grassland (Under 3m)

들이 평평한 지표면에 있는 것으로 표현하는 정규화된 DSM(nDSM: normalized Digital Surface Model)을 작성하였다(식 3).

$$nDSM = DSM - DTM \quad (3)$$

이를 비식생지역과 식생지역으로 각각의 기준을 적용하여 높이에 따라 각각 세 개의 등급으로 분류를 세분화하였다. 비식생 지역에서는 고층건물군(10층 이상), 중층건물군(3~10층), 저층건물군(3층 이하)으로 분류하였고 식생지역에서는 교목층(9m 이상), 아교목층(3~9m), 관목층(3m 이하)로 분류하였다.

### 2.3.5 GRR(Ground Returns Ratio)과 지물의 밀도와 높이를 고려한 등급화

GRR과 높이와 밀도 따라 비식생지역과 식생지역을 분류하여 등급화 하였다. 각 등급에 따른 세부 기준은 다음의 <Table 3>과 같다.

## 3. 결과 및 고찰

LiDAR 자료를 통해 식생/비식생, 높이, 밀도의 속성을 갖는 3D기반의 구조/밀도 지도를 작성하였다(Figure 2). 대상지역은 총 14개의 지역으로 분류되었다. 대상지역의 면적비는 <Table 4>와 같이 나타났으며, 식생지

<Table 3> Detailed classification category by height and density

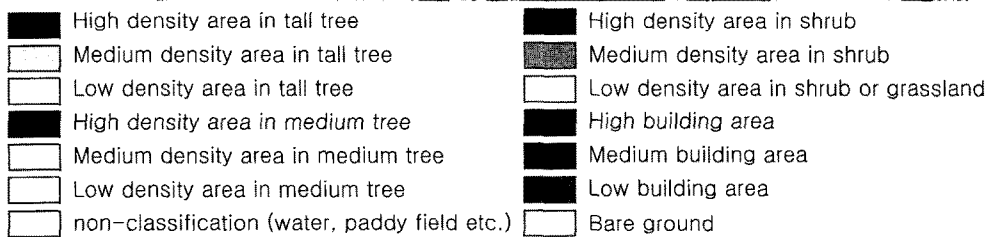
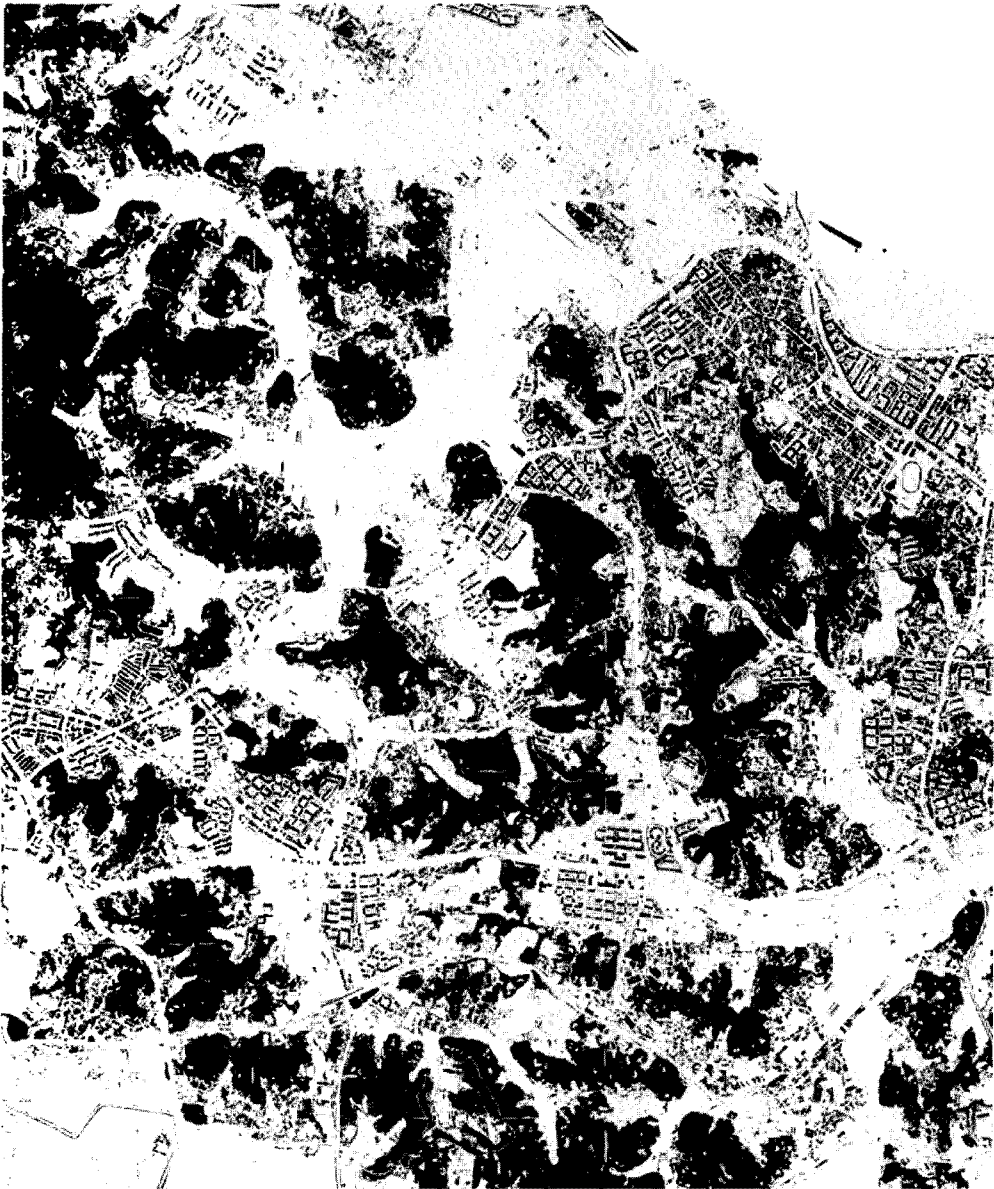
Height	Density	Non-vegetation area	Vegetation area
1 High	1-1	High density area in high building	High density area in tall tree
	1-2	Medium density area in high building	Medium density area in tall tree
	1-3	Low density area in high building	Low density area in tall tree
2 Medium	2-1	High density area in medium building	High density area in medium tree
	2-2	Medium density area in medium building	Medium density area in medium tree
	2-3	Low density area in medium building	Low density area in medium tree
3 Low	3-1	High density area in low building	High density area in shrub
	3-2	Medium density area in low building	Medium density area in shrub
	3-3	Low density area in low building or bare ground	Low density area in shrub or grassland

<Table 4> Classification of the area

Classification of non-vegetation area	Area ratio	Classification of vegetation area	Area ratio
High building area	0.81%	High density area in tall tree	15.29%
		Medium density area in tall tree	0.80%
		Low density area in tall tree	0.46%
Medium building area	1.33%	High density area in medium tree	9.81%
		Medium density area in medium tree	1.12%
		Low density area in medium tree	0.88%
Low building area	4.87%	High density area in shrub	2.95%
		Medium density area in shrub	0.75%
Bare ground	46.09%	Grassland	1.33%
Total	53.1%	Total	33.39%
		Miss classification	13.53%

역의 면적은 33.39% 비식생지역의 면적은 53.1%로 나타났다. 고층건물의 비율은 0.81%로 중층건물 1.33%와 저층건물 4.87%와 비교했을 때 낮은 비율을 구성하고 있다. 교목층의 비율은 16.55%로 아교목층 11.81%, 관목층 4.98%와 비교했을 때 높은 비율을 나타냈다. 고밀도 식생지의 비율은 28.05%로 중밀도 식생지 2.67%, 저밀도 식생지 2.67%와 비교했을 때 높은 비율을 나타냈다. 미분류된 지역은 물이나 눈과 같이 반사값을 획득하는데 실패하거나 오분류된 지역으로 13.53%로 나타났다. 식생지역에 존재하는 임도나 공터, 임목 사이의 틈, 묘지, 저층의 인공구조물 등이 비식생지의 나지로 분류되거나 오분류된 지역으로 나타났다. 몇몇의 초지는

나지로 분류되기도 하였는데, 이는 식생과 비식생지역을 구분한 방법으로 Singular Return을 사용하였기 때문인 것으로 사료된다. Singular Return으로 나타난 일부 초지가 나지의 속성과 유사하게 나타났기 때문에 비식생지역으로 분류한 결과와 밀도, 높이를 연산할 때 분류의 기준에서 벗어난 지역이 발생하여 오분류된 것으로 판단된다. 분석단계에서 비식생지역에 대해서도 밀도에 따른 분류를 적용하였으나 분류결과 비식생지역에서는 대부분이 Singular Return으로 반사값이 동일하게 나타나기 때문에 밀도에 따른 분류의 차이가 거의 발생하지 않았다. 본 연구의 목적은 LiDAR 데이터의 높이 및 밀도정보를 통해 도시지역을 구획화하는 것으로, 구획의 유용

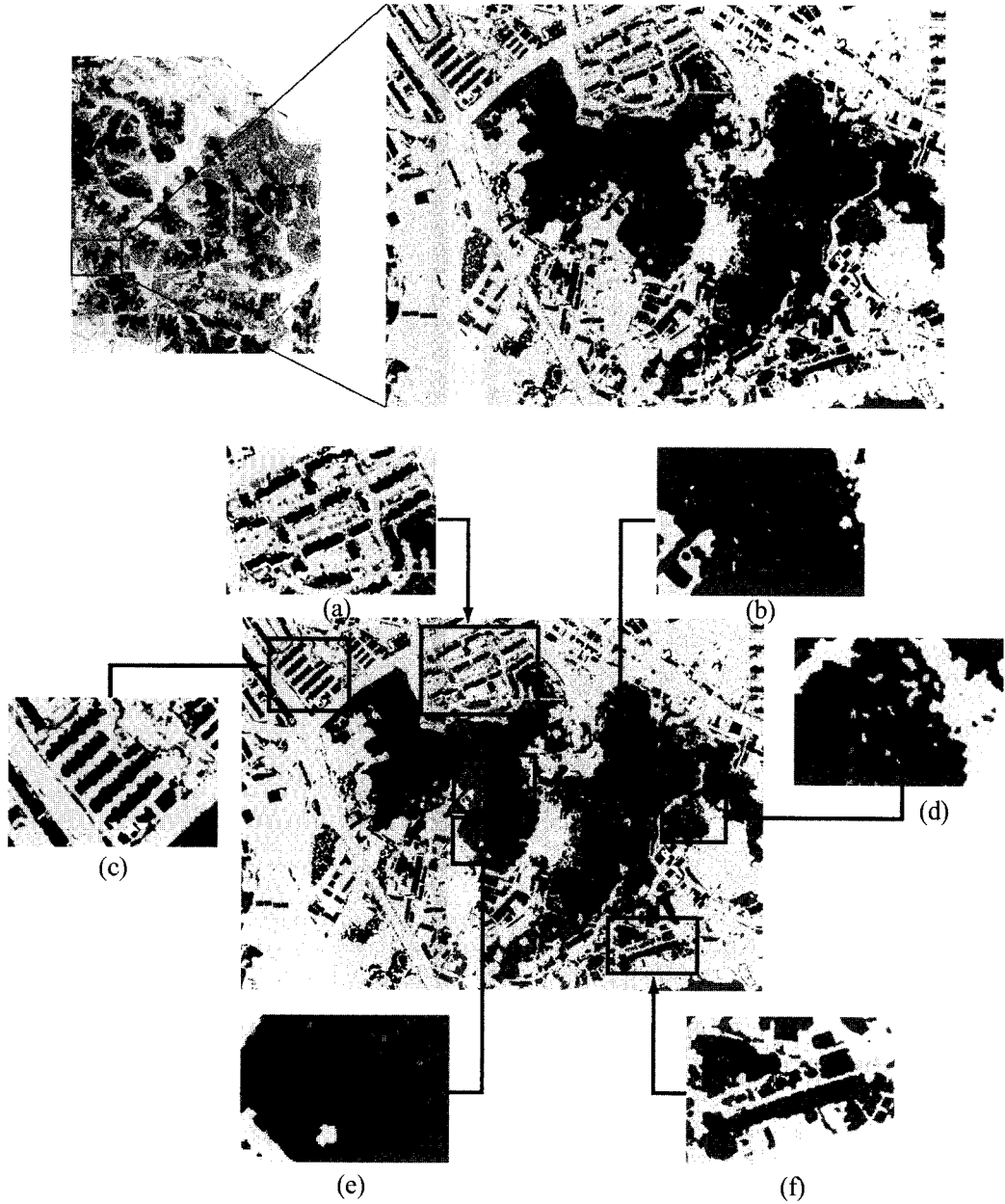


[Figure 2] Structure and density map on non-vegetation and vegetation area



성을 주로 다루었으며 분류정확도 검증은 실시하지 않았다.

Figure 3의 (a)지역은 고층의 아파트나 빌딩 등으로 구성된 지역(10층 이상)이고, (c)



[Figure 3] Classification map. (a) High building area, (b) High density area in tall tree, (c) Medium building area, (d) High density area in shrub, (e) High density area in medium tree, (f) Low building area

는 아파트나 상가 등으로 구성된 지역(3~10층), (f)는 3층 이하의 건물로 대부분 단독주택이나 소규모 공장/상가 등으로 구성되어 있다. (b)지역은 고밀도의 교목층(9m 이상)으로 구성된 지역이고, (e)지역은 고밀도의 아교목층(3~9m)으로, (d)지역은 관목(3m 이하)의 비율이 높게 나타난 지역이다.

LiDAR는 반사체의 특성에 따라 반사강도가 달라지기 때문에 이러한 특성을 이용하여 반사체의 분류가 가능하다(한수희 등, 2003). 그러나 촬영시 조건에 따라 반사값의 차이가 다르게 나타나고 노이즈가 발생하였기 때문에 본 연구에서는 식생과 비식생지역의 분류를 위해 Singular Return을 활용하는 것이 반사값을 이용하여 분류하는 것 보다 적합하다고 판단하였다. 또한 식생지역은 여러 가지 수종이 고밀도로 집적되어 있고, 특히 점밀도가 2.8 point/m<sup>2</sup>로 나타나 한 개의 점이 그 주변을 대표할 수 없다고 판단되어 반사값을 통해 수종을 판별하는 것은 불가능하였다.

식생지역의 경우 LiDAR 자료의 높이 및 밀도에 따라 구획되는 현상을 확인할 수 있으나 아파트, 주택지 등의 건물지역에서는 건물별로 구획되는 경향이 있다. 따라서 건물지역이 보다 큰 단위로 구획될 수 있는 방법이 추후로 개발되어야 한다.

도출된 결과를 활용하여 생태지향적 도시관리를 위해 밀도가 높은 식생지역의 개발보다는 밀도가 낮은 식생지역을 우선으로 개발하여 기존 대상지의 자연적인 형태를 보존하고 환경의 교란을 최소화하는 필요성이 있다. 생태지향적 도시지역관리에 활용하기 위해 추후 분류지역의 그룹화와 구조/밀도의 3차원 정보를 고려한 생태계획 연구가 진행되어야 한다.

국토환경성평가지도에서 환경생태 항목 중 산림평가 항목에서 현재의 산림평가 항목의 등급 판단 자료는 현장조사 및 사진측량에 의거한 생태자연도, 녹지자연도, 임상도의 면적 정보로 제한되어 있어 식생구조를 다면적으로 파악할 수 없다(전성우 등, 2007). 그러나 지역차원의 생태도시건설 및 생태도시관리를 위한 계획 수립에 3차원의 속성을 갖는 정밀한 토지피복계획도를 작성하여 활용한다면 대상지의 자연적인 형태를 보존하여 환경의 교란을 최소화하는 개발이 가능할 것이다.

LiDAR의 연구범위를 확대·분류하고 계절별로 LiDAR 촬영을 수행하여, 지역과 시기적 특성에 따른 다양한 DB를 우선적으로 구축하고 지속적인 연구 및 현장조사를 통한 검증 작업이 수반된다면 좀 더 유용한 기법으로 활용 가능하리라 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 LiDAR의 반사강도와 기하/지형 자료를 이용하여 도시지역을 대상으로 정밀한 공간정보자료를 취득하고, 취득된 자료를 분석하여 도시지역을 3D기반으로 분류하였다. 토지피복 등급화에 따라 토지피복분류도를 작성하였고 13개 세부 지역으로 구분하였으며 크게 고밀도·중밀도·저밀도 식생지역과 비식생지역으로 구분하였다.

기존 환경부(2002)의 피복분류는 시가지/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역의 7가지 대분류, 23개 중분류, 52개 세분류로 하여 환경부분에 초점을 두었으나, 생태도시건설이나 관리에 있어서는 각

개발 및 관리에 맞도록 항목들 간의 재분류가 필요하다. 본 연구와 같이 3차원의 구조/밀도의 속성을 포함하는 피복분류를 통해 생태도시의 건설계획뿐만 아니라 생태지향적 도시지역관리에 활용한다면 대상지의 자연적인 형태를 보존하여 환경의 교란을 최소화하는 개발이 가능할 것이다.

### 사사(謝辭)

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 : S10107L0201004)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

### 인용문헌

박정재, 구자용, 김병선. 2007. 위성영상을 이용한 중분류 토지피복도의 제작과정 개선. 한국GIS학회. 한국GIS학회지. 15(1):67-80.

송철철, 이우균, 정희성, 이관규. 2008. 토지피복 및 지형특성을 고려한 항공라이다자료의 3차원 표면모형 복원. 한국GIS학회. 한국GIS학회지. 16(1):19-32.

신정일. 2007. LiDAR 반사강도 자료의 신호특성 분석 및 정규화. 석사학위논문. 인하대학교.

우현욱. 2004. 고해상도 위성영상과 항공레이저 측량자료를 이용한 토지피복분류. 석사학위논문. 전북대학교.

윤정숙, 이규성, 신정일, 우충식. 2006. 산림지역에서의 항공 Lidar자료의 특성 및 지면점 분리. 한국원격탐사학회. 한국원격탐사학회지. 22(6):533-542.

이근상, 고덕구, 조기성. 2003. 항공레이저측량 자료를 이용한 시가지 건축밀도 평가에 관한 연구. 한국지리정보학회. 한국지리정보학

회지. 6(3):95-106.

전성우, 홍현정, 이종수, 이우균, 성현찬. 2007. LiDAR를 활용한 국토환경성평가지도 산림 부문 신규평가항목의 도입 가능성 평가. 한국환경복원녹화기술학회. 한국환경복원녹화기술학회지. 10(5):20-30.

조용현, 송인주. 2005. 서울시 비오톱 지도의 제작과 활용. 서울시정개발연구원.

한수희, 김용일, 유기윤. 2003. LiDAR 반사강도와 DSM을 이용한 토지피복 분류에 관한 연구. 대한토목학회. 대한토목학회논문집. 23(1D):107-114.

환경부. 2002. 인공위성영상자료를 이용한 토지 피복지도 구축. 203-215.

Haala, N., Brenner, C. 1999, Extraction of Building and Trees in Urban Environments, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54:130-137.

Kwak, D.A., Lee, W.K., Lee, J.H., Biging G.S., Gong, P., 2007, Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data, Journal of Forest Research 12(6):425-434.

Moffiet, T., K. Mengersen, C. Witte, R. King and R. Denham, 2005, Airborne laser scanning: Exploratory data analysis indicates potential variables for classification of individual trees or forest stands according to species, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59:289-309.

Murray, A.T., Shyy, T.K. 2000, Integrating attribute and space characteristics in choropleth display and spatial data mining, International Journal of Geographical Information Science, 14:649-667.

---

접수일 (2008년 9월 18일)  
 최종수정일 (2008년 11월 11일)  
 게재확정일 (2008년 11월 13일)