

연구논문

LiDAR 데이터를 이용한 산림구조 분석

- 오산시 남촌동의 산림을 대상으로 -

이동근 · 류지은* · 김은영* · 전성우**

서울대학교 조경 · 지역시스템공학부, 서울대학교 대학원*, 한국환경정책 · 평가연구원**

(2008년 6월 3일 접수, 2008년 9월 1일 승인)

Analysis of Forest Structure Using LiDAR Data

- A Case Study of Forest in Namchon-Dong, Osan -

Dong-Kun Lee · Ji-Eun Ryu* · Eun-Young Kim* · Seong-Woo Jeon**

Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,
Graduate School, Seoul national University*, Korea Environment Institute**

(Manuscript received 3 June 2008; accepted 1 September 2008)

Abstract

Vertical forest distribution is one of the important factors to understand various ecological mechanism such as succession, disturbance and environmental effects. LiDAR data provide information, both the horizontal and vertical distribution of forest structure. The laser scanner survey provided a point cloud, in which the x, y, and z coordinates of the points are known. The objectives of this study were 1) to analyze factors of forest structure such as individual tree isolation, tree height, canopy closure and tree density using LiDAR data and 2) to compare the forest structure between outer and interior forest. The paper conducted to extract the individual tree using watershed algorithm and to interpolate using the first return of LiDAR data for yielding digital surface model (DSM). The results of the study show characters of edge such as more isolated individual trees, higher density, lower canopy closure, and lower tree height than those of interior forest. LiDAR data is to be useful for analyzing of forest structure. Further study should be undertaken with species for more accurate results.

Keywords : Individual tree isolation, tree height, canopy closure, tree density, edge effects

I. 서론

산림의 수직적 분포는 산림구조를 결정하는 주요 요인으로 천이, 교란, 환경적 요인 등의 다양한 생태적 메카니즘을 이해하는데 중요한 역할을 한다(Dorren *et al.*, 2004; Zimble *et al.*, 2003). 산림구조는 산림 내부요소간의 강한 상호작용을 통해 결정되며, 수목의 위치, 수평적 구조 및 수직적 구조 등에 의해서 나타난다.

이러한 산림구조에 관한 연구는 위성영상을 이용한 분석과 현장조사를 통해 이루어졌다(Herold and Ulmer, 2001). 위성영상을 활용한 연구는 수평적 산림구조의 분석은 용이하지만 실제 수목의 높이를 측정할 수 없기 때문에 산림의 수직적 구조를 파악하는데 한계가 있다(Maltamo *et al.*, 2004). 현장조사를 기반으로 한 연구는 소규모의 지역에서 보다 정확한 데이터를 수집할 수 있지만, 시간과 비용이 많이 들고 상황에 따라서는 조사를 위한 현장 접근이 어려운 경우가 있을 뿐 아니라(Clawges *et al.*, 2008), 넓은 지역의 정밀 조사가 어렵다는 단점이 있다(Zimble *et al.*, 2003). 최근 이러한 한계점을 해결하기 위한 방법으로 레이저 반사 신호를 이용한 LiDAR 데이터의 활용이 증가하고 있다.

LiDAR 데이터는 3차원의 정보를 포함하고 있어서 대규모 산림의 수직적 구조분석에 유용하게 사용되고 있으며(Popescu *et al.*, 2002), 고밀도의 식생이 존재하는 지역에서도 정보 획득이 가능하여 활용가치가 높다(윤정숙 등, 2006). 특히, 항공기에서 고밀도로 주사되는 신호는 수목의 가지, 하층식생 등 다양한 높이에서 반사되므로 공간적 분포와 수직적 구조의 파악이 가능하다(우충식 등, 2007). 이러한 LiDAR 데이터의 특성을 이용한 산림의 수직적 구조의 분석을 통해 부분적으로 산림의 생태계를 정량화 하는 것이 가능하므로(Zimble *et al.*, 2003) LiDAR 데이터를 이용한 분석을 통해 주변의 산림 구조의 다양성과 식생대에 미치는 영향을 분석할 수 있다(Maltamo *et al.*, 2005).

최근 LiDAR 데이터를 이용한 연구는 점차 다양

한 분야에서 활용 범위가 증가하고 있으며, 국외에서는 LiDAR 데이터를 이용한 산림의 구조 분석이 다양한 측면에서 수행되고 있지만 국내에서는 수목 개체의 추출, 수고의 추정 등 미시적 측면으로 국한되어 있어(장안진 등, 2005; 장안진 등 2006; 광두안 등, 2005; 우충식 등, 2007) 거시적 측면에서의 산림 구조분석 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 기존의 데이터에 비하여 높은 정확도의 정보를 나타내는 LiDAR 데이터를 이용해 도시 주변 산림을 대상으로 산림 수목지역 및 수목 개체를 추출하여 수목밀도, 수고, 울폐도 분석 등 산림구조 분석을 수행하는 것이다. 또한 산림의 구조적 특성을 분석하기 위하여 산림 외부와 내부를 구분하여 비교분석함으로써 국내에서 아직 연구가 미흡한 분야인 거시적인 산림생태계의 생태적 특성을 분석하고자 한다. LiDAR 데이터의 활용은 구체적이고 정량적으로 산림 구조분석이 가능하며 인위적 교란에 의한 산림 생태계의 변화를 파악하여 교란에 의한 생태계 훼손의 저감대책 마련 등 산림의 이용 및 관리가 효율적으로 진행될 수 있도록 한다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구대상지는 경기도 오산시 남촌동 오산역 인근 감투봉 일대이며, 주택개발 및 도로 공사로 인한 교란 및 파편화가 심각한 지역으로 면적은 약 80,488m²이다(그림 1). 대상지 내 식생은 리기다소 나무림과 활엽수림으로 구성되어 있다. 산림 구조 분석을 위해 산림측정 인자 중 수목의 개체수, 밀도, 평균 수고, 울폐도를 분석하였다.

2. 연구의 방법

LiDAR 데이터를 이용한 산림의 구조 분석의 진행은 그림 2와 같다.

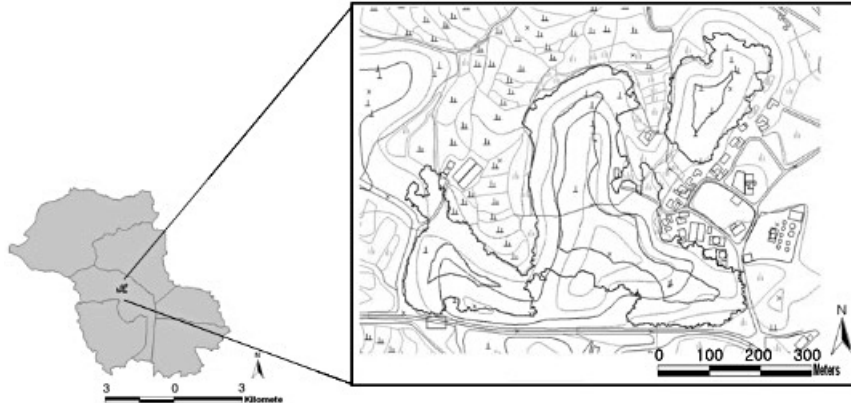


그림 1. 연구 대상지: 경기도 오산시 남촌동 일대

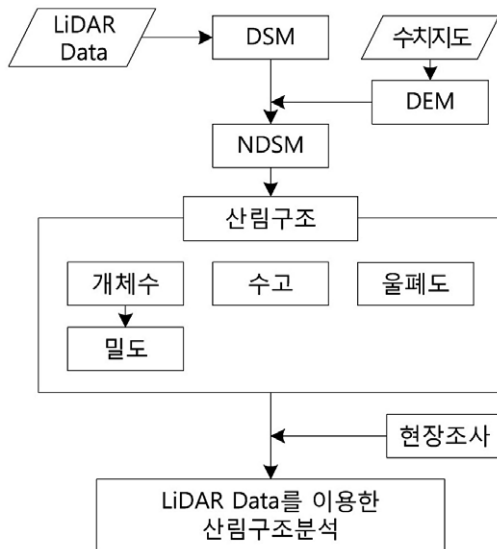


그림 2. 연구의 흐름도

표 1. 사용된 LiDAR 데이터 정보

항 목	LiDAR
촬영 센서	Leica사의 ALS50-II
촬영 날짜	2008년 2월 1일
촬영 고도	1,100m
운항 속도	130Kts
초당 스캔 횟수	42.46Hz
평균 점 밀도	1.44Pts/m ²
평균 점 간격	0.83m

라서, 수목 개체 및 구조를 분석하기 위하여 수목의 높이를 포함하고 있는 LiDAR 데이터를 이용하여 DSM(Digital Surface model)을 생성하였으며 1:5,000 지형도를 이용하여 지면의 높이를 나타내는 DEM을 생성하였다. 자료의 한계로 인하여 데이터의 오차가 발생할 가능성이 있지만, 정밀한 정보를 포함하고 있는 LiDAR 데이터의 장점을 분석에 이용하기 위하여 0.1m 격자의 레스터형식으로 변환하여 NDSM(Normalized Digital surface model)을 도출하였다.

1) LiDAR 데이터의 원시 자료 처리

연구에 사용된 LiDAR 데이터는 Leica사의 ALS50-II을 이용하여 2008년 2월 1일 오전 10시부터 오후 1시까지 촬영된 자료이다. LiDAR 데이터 정보는 다음 표 1과 같다.

본 연구에서 사용된 LiDAR 데이터는 포인트 형태로 FR(First return)의 정보만 포함하고 있다. 센서는 시간차를 두고 관측되는 다중에코에 의해 동일 지상점에서 높이의 차이가 있는 두 개 이상의 표고점을 취득할 수 있지만, 본 연구에서 사용된 LiDAR 데이터는 FR 정보만을 포함하고 있다. 따

2) LiDAR 데이터를 이용한 산림구조 분석

산림의 산림 외부와 내부를 구성하는 종들은 일사량 등 선호하는 환경 조건에 차이가 있기 때문에 산림 내부와 외부의 식생 구조에서 차이가 발생한다(Matlack, 1993). 본 연구에서는 LiDAR 데이터를 분석하여 수목의 개체수를 파악하고, 수고와 울폐도, 밀도를 측정하여 산림의 외부와 내부의 구조적

차이를 파악하였다. 일반적으로 식생의 구조에 의한 외부의 경계는 약 20~40m로 조사되었다(Williams-Linera, 1990; Matlack, 1993). 또한, Aune *et al.*(2005)은 파편화된 도시 내 자연 산림의 종 다양성을 유지하기 위해서 산림의 경계로부터 25m까지를 외부 교란이 영향을 미치는 지역으로 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 산림의 경계로부터 산림의 구조의 차이가 크게 관찰되는 30m까지를 산림 가장자리로 가정하고, 도시 내 인위적으로 교란된 산림을 대상으로 산림 구조를 분석하였다.

LiDAR의 NDSM데이터를 이용하여 추출한 수목 예상지역에서 3m 이상의 수목을 대상으로(Maier *et al.*, 2006) ArcView 3.2 프로그램을 이용하여 유역분할 알고리즘을 적용해 수목개체를 추출하고 수목밀도를 산출하였다. 유역분할 알고리즘은 지리학의 유역 개념을 Gray-scale의 영상에 적용한 것으로 집수지역과 능선을 찾아 각 지역을 분할하는 것을 의미한다(장안진 등, 2006). 기존의 선행 연구에서 이러한 알고리즘을 이용하여 LiDAR 데이터를 분석하였으며, 가장 널리 사용되는 방법이기도 하

다(표 2). 본 논문에서는 각 수목에 빗방울이 떨어질 때 수관폭 중 가장 낮은 곳에 모일 것이라는 유역분할 알고리즘을 응용하여, FR에 음수를 곱하여 수목의 최고 지점을 추출하였다. 또한, NDSM 데이터를 이용하여 수목의 높이 및 산림외부-내부간의 단면도를 분석함으로써 산림의 구조적 특성을 파악하였다. 수고에 따른 산림의 구조분석은 Maier *et al.*(2006)이 제시한 기준을 근거로 실시하였다. 수목에 의한 울폐도는 LiDAR 데이터를 높이별로 class를 나누고 그 중 8m 이상 높이에서 임관으로 추출된 폴리곤의 면적을 산출하여 계산하였다.

3) 현장 조사

현장 조사는 LiDAR 데이터의 분석 결과를 확인하기 위하여 2008년 4월 24일과 2008년 4월 28일에 실시하였다. 대상지 내 대표수종인 리기다소나무림과 활엽수림을 대상으로 대표되는 지역을 선정하여 쿼드라트 방법(10×10m)을 이용하여 식생조사를 실시하였다. 각 조사구에서 개체목의 수종, 위치 및 수고, 개체수를 파악하였으며, 흉고직경, 울

표 2. 선행 연구 분석

저 자	분석 내용	분석 방법
장안진 등 (2005)	• LiDAR 데이터와 컬러항공 사진을 이용하여 수목의 개체추출 및 높이를 분석	• 3차원 높이데이터와 반사강도 데이터를 이용 • 높이 정보에 유역분할(Watershed Segmentation) 알고리즘을 적용하여 개체목 분류 • 국부적 최대값 필터를 이용하여 수관 모델링
우충식 등 (2007)	• 개체목의 위치를 자동 식별하고 개체목의 수고를 추출	• LiDAR 펄스의 초기반사자료와 말기반사자료를 이용하여 수관고모형(CHM)을 생성. • 필터링 과정을 통해 개체목을 추출
곽두안 등 (2005)	• 개체목의 위치, 수고, 지하고 등은 직접 분석으로, 흉고직경은 간접적으로 측정 가능	• 임분의 수고는 High vegetation Pulse와 Ground Pulse의 표고 차이로 산출. • 조사임분의 수고 및 흉고직경을 이용하여 비선형회귀분석을 이용한 함수를 추정. • 최대우도법에 의한 디지털항공사진의 수종분류 • 개체목의 흉고직경과 수고를 이용하여 단목 Biomass추정식과 임분 Biomass 추정식에 대입
Daniel A.Z. <i>et al.</i> (2003)	• small-footprint LiDAR data를 산림 수직 구조에 대하여 경관스케일에서 두 클래스로 구분하여(단층, 다층)수목의 다양성 측정 • 현장조사와 LiDAR 데이터 분석을 통한 수고 측정	• LiDAR 데이터는 선형 보간법을 이용하여 canopy와 지상 DEMs를 생성 • LiDAR canopy 표면에서 국부적 최대값 필터를 이용하여 수목 개체와 수고 모델을 수행. • 현장 조사를 통하여 획득한 임분의 최소 반경을 이용하여 수고를 분석. • 최고 수고와 위치는 LiDAR canopy와 지상 DEMs의 차이에 의하여 분석.
Maltamo, M. <i>et al.</i> (2005)	• 다층의 산림에서 하층과 우세한 층으로 구분하여 수목 canopy의 수직적 구조 분석.	• Lloyed(1982)의 HistMod algorithm을 이용하여 우세한 수목층과 하층 수목을 구분 • 하층식생의 모델을 만들기 위해 독립적인 변수로 logarithmic Lorey's mean height of understory trees를 사용

폐도를 측정하여 동일한 지점을 대상으로 LiDAR 데이터의 분석결과와 비교하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. LiDAR 데이터의 원시 자료 처리

생성된 NDSM은 LiDAR 포인트 데이터로 생성한 DSM과 수치지도를 이용한 DEM의 높이 차이를 이용하여 지면 높이가 제거된 수목의 높이를 나타낸다. 생성된 NDSM을 이용하여 산림지역을 도출하였다.

2. 산림 구조의 분석

1) 수목 개체수 및 밀도

LiDAR 데이터를 이용하여 유역분할 알고리즘을 적용한 결과 총 44,619개체의 수목이 분석되었으며, 수목밀도는 단위면적당(m^2) 약 0.55개체로 분석되었다(그림 3). 수목의 개체를 산림 외부와 내부로 구분하여 비교한 결과, 산림 외부에서는 단위면적당(m^2) 약 0.59개체이고, 산림 내부에서는 단위면적당(m^2) 약 0.46개체로 나타났다(표 3). 산림 외부지역이 내부에 비하여 상대적으로 많은 개체가 분포하는 것으로 조사되었다. 이는 산림의 내부와 외부는 물리적 환경에 상이하게 다르며, 산림 외부는 인근 지역에 많이 노출되어 바람과 일사량 등 미기 후조건에 차이가 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

표 3. 수목 개체수 분석 결과

	외부	내부
수목의 개체(수)	35,676	8,943
전체 면적(m^2)	60,893	19,595
수목의 밀도(개체수/ m^2)	0.59	0.46

2) 수고

산림 내부는 일반적으로 외부에 비하여 안정적인 상태를 유지하기 때문에 산림의 외부에서 멀리 떨어질수록 수고는 일정하게 유지된다(Matlack, 1993). 대상지내 평균 수고는 산림 외부지역이 $3.36m(\pm 2.6)$, 산림 내부지역이 $6.7m(\pm 3.6)$ 로 나타나서 산림 외부가 내부에 비하여 3.4m 낮게 조사되었다. 본 연구 결과, 산림 외부에 비하여 산림 내부의 평균 수고가 높게 나타났으며, 표준편차도 높게 나타났다. 전체적으로 산림 내부는 수고가 높고, 규칙적인 경향을 보였다.

산림의 외부-내부 단면도를 살펴본 결과, 산림의 경계부분에서부터 약 30m를 기준으로 산림의 전체적인 구조가 변화한 것을 알 수 있다(그림 4). 이는 기존의 연구에서 산림의 가장자리의 폭을 20~40m로 제시한 것과 일치하는 것으로 나타났다. 또한, 산림 외부지역은 2~6m 미만의 관목 출현 빈도수가 전체 수목 중 68.6%의 비율을 보였으며, 산림 내부는 10m 이상의 수고의 출현 빈도수가 전체 수목 중 48.3%의 비율을 보였다(그림 5, 6). 분석 결과는 산림 외부지

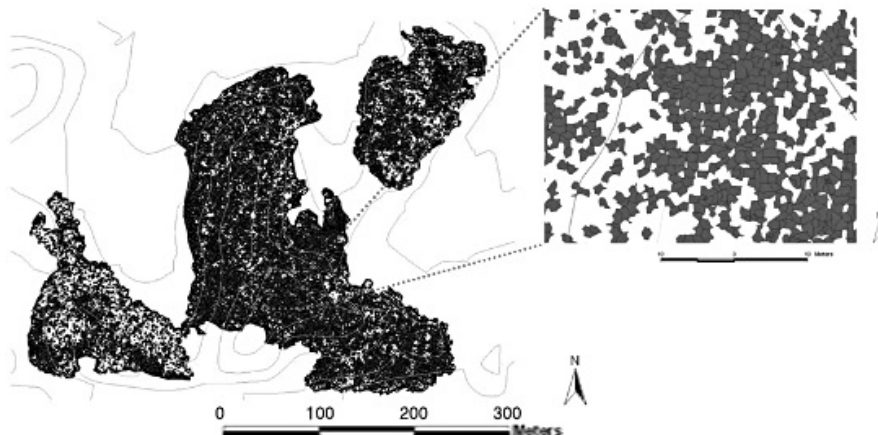


그림 3. 추출된 수목 개체

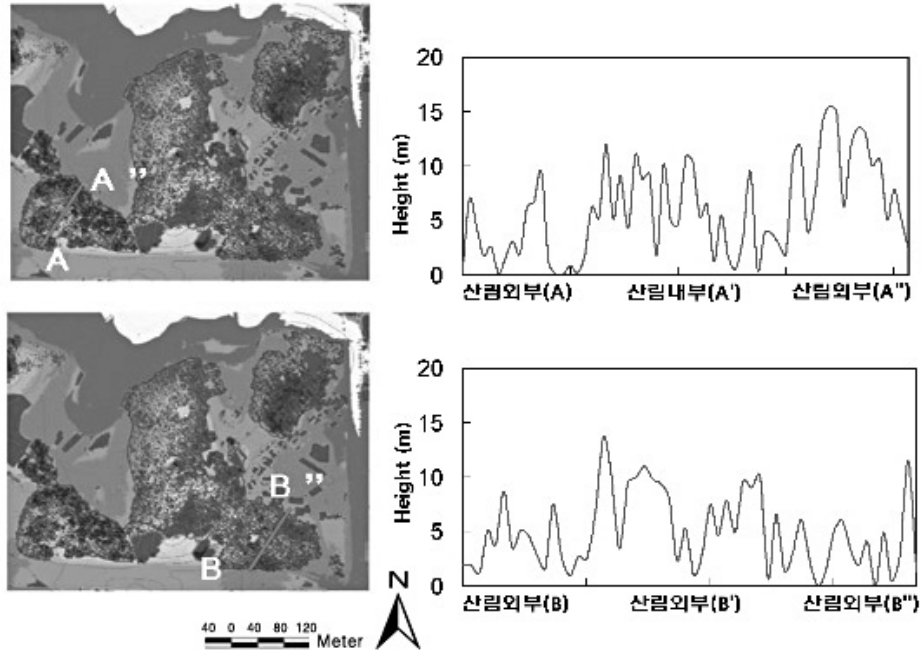


그림 4. 산림의 단면도

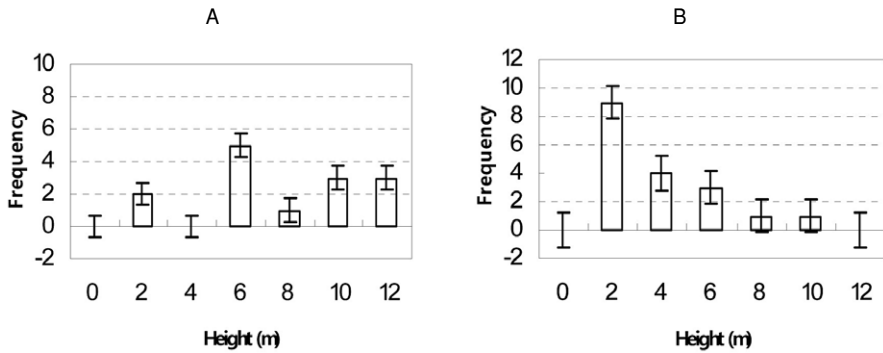


그림 5. A의 단면도(A: 산림 외부, B: 산림 내부)

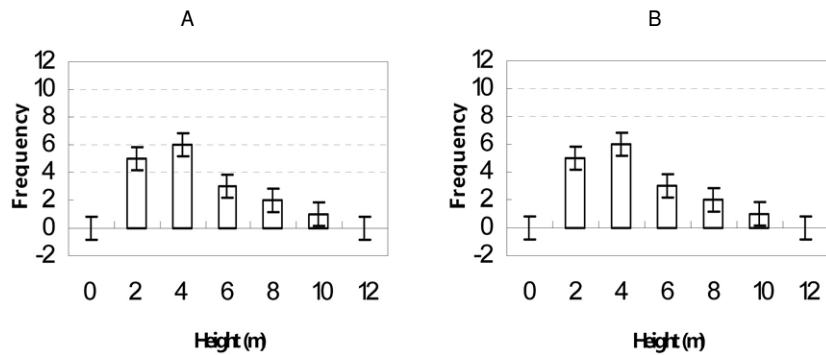


그림 6. B의 단면도(A: 산림 외부, B: 산림 내부)

역이 산림 내부지역에 비하여 많은 관목 및 초본층을 형성하는 가장자리 지역의 산림생태를 나타냈다.

3) 울폐도

산림 외부지역은 내부에 비하여 성숙한 교목의 개체수가 적고, 관목 및 아교목이 상대적으로 많이 분포하기 때문에, 다양한 높이의 수목이 분포하고 있다. 따라서 산림 외부에서 산림 내부로 갈수록 점차 울폐도가 크게 증가한다(Williams-Linera, 1990)(그림 7). 본 연구에서 LiDAR 데이터를 이용하여 울폐도를 분석할 결과, 산림 외부지역이 내부 지역에 비해 울폐도가 약 33% 낮게 나타났다(표 4). 교란을 많이 받고 있는 산림 외부지역은 내부 지역에 비하여 상대적으로 수고가 낮은 관목 및 아교목 층이 많이 분포하지만, 안정된 산림 내부지역은 수고가 높은 교목이 주로 분포하여 산림 내부에서는 울폐도가 높게 나타난 것으로 사료된다. 수목으로 분리된 한 개체의 수관폭은 약 2~3m로 다양하게 조사되었다.

4) LiDAR 데이터를 통한 산림구조 분석

산림지역에서의 가장자리는 햇빛, 바람 등 다른 주변 환경에 노출되어 있어서 내부 지역과 다른 구조와 기능을 보인다(Forman and Godron, 1981).

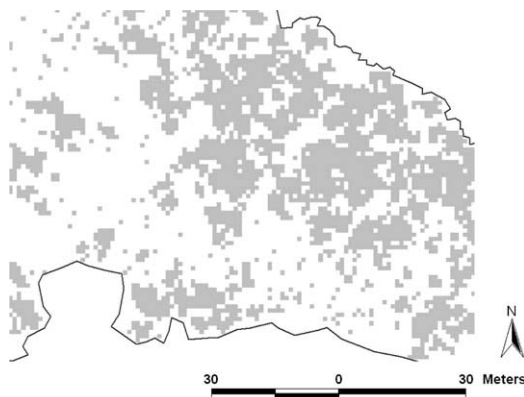


그림 7. 대상지의 울폐도

표 4. 울폐도 분석

	외부	내부
울폐도(%)	12	45

수목의 개체수 및 밀도, 수고, 울폐도를 통해 산림의 외부와 내부를 비교 분석해본 결과 그 구조적 차이를 확인할 수 있었다.





산림 외부는 내부에 비하여 외부로부터 영향을 많이 받아 초본 및 관목, 아교목층이 발달하였으며 수목의 개체수가 많아서 밀도가 높으며, 울폐도는 낮게 나타났다. 반면, 산림 내부는 산림 외부와 달리 관목 및 아교목층이 발달하지 않았으며 수목의 개체수와 밀도가 낮고 울폐도가 높으며 높은 평균 수고를 나타나는 것으로 확인되었다. LiDAR 데이터를 이용한 산림의 구조분석 결과는 산림의 가장자리의 특성을 잘 나타내었다.

3. 현장조사 분석

현장조사 분석은 대상지 전지역을 대상으로 하여 수종, 수고, 흉고직경, 수관폭, 가장자리의 폭 등을 조사하였다. LiDAR 데이터 분석을 통해 도출한 가장자리 폭(30m)을 기준으로 현장조사를 통해 검증한 결과 초본 및 관목층의 출현여부와 수고 등이 차이가 있는 것으로 나타났다(그림8, 9).

본 연구에서는 대상지 내 우점종인 리기다소나무와 졸참나무를 대상으로 지역을 대표할 수 있는 지점을 산림 외부와 내부로 구분하여 조사하였다. 현장조사 결과, 산림 외부지역의 교목층에서는 우점종을 제외하고 가중나무와 아까시나무와 같은 외래수종이 다수 출현하는 것으로 나타났으며, 초본 및 관목층에서는 진달래, 짚레꽃, 청미래덩굴, 노린재나무, 쇠뜨기, 담쟁이덩굴 등이 다수 출현하는 것으로 나타났다. 이러한 관목층은 리기다소나무보다 활엽수림에서 출현정도가 높게 나타났다. 산림 내부지역의 경우, 졸참나무, 가중나무, 상수리나무, 갈참나무, 아까시나무 등이 출현하였다. 특히, 산림 내부지역은 산림 외부지역에 비해 외래수종의 출현 비율이 낮게 나타났다. 현장조사를 통해 수고를 조사한 결과, 리기다소나무림은 산림 외부임에도 불구하고 평균수고가 내부보다 높은 것으로 나타났다. 이는 주변 도로건설로 인해 산림 내부지역이 가장자리화 된 것으로 판단되었다(표 5).

그림 8. 현장 조사에 의한 산림 구조의 분석(교목)

	산림 외부		산림 내부	
	Plot1(리기다소나무림)	Plot2(활엽수림)	Plot3(리기다소나무림)	Plot4(활엽수림)
현장 사진				
평균 수고(m)	6.5	5.8	4.9	5.5
표준 편차	16.5	8.3	10.9	10.1
개체(수)	37	24	24	20
면적(m ²)	100	100	100	100
교목	리기다소나무(9), 벚나무(3), 밤나무(2), 가중나무(17), 신갈나무(6)	졸참나무(18), 아까시나무(5), 가중나무(1), 밤나무(1)	졸참나무(5), 리기다소나무(2), 가중나무(10), 상수리나무(7)	졸참나무(9), 갈참나무(5), 밤나무(1), 아까시나무(3), 벚나무(2), 음나무(1)
관목 및 초본류	• 관목: 진달래	• 관목: 짚레나무, 청미래 덩굴, 노린재나무 • 초본: 쇠뜨기, 뽕나무, 담쟁이덩굴	• 초본: 고사리	• 초본: 담쟁이덩굴

(2008. 4. 28 조사)

그림 9. 현장 조사에 의한 산림 구조의 분석(교목)

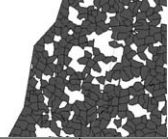
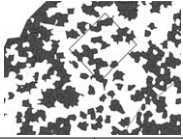
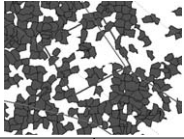
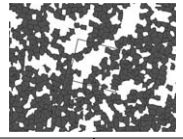
	산림 외부				산림 내부			
	Plot1(리기다소나무림)		Plot2(활엽수림)		Plot3(리기다소나무림)		Plot4(활엽수림)	
분석 결과								
	현장조사	LiDAR	현장조사	LiDAR	현장조사	LiDAR	현장조사	LiDAR
개체(수)	37	38	24	24	24	31	20	23

표 5. 조사된 수종

	산림 외부		산림 내부	
	종	개체수	종	개체수
교목	가중나무(<i>Ailanthus altissima</i>)	24	졸참나무(<i>Quercus serrata</i>)	27
	리기다소나무(<i>Pinus rigida</i>)	11	아까시나무(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	8
	상수리나무(<i>Quercus acutissima</i>)	7	갈참나무(<i>Quercus serrata</i>)	5
	신갈나무(<i>Quercus mongolica</i>)	6	밤나무(<i>Castanea crenata</i>)	2
	졸참나무(<i>Quercus serrata</i>)	5	벚나무(<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>)	2
	벚나무(<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>)	3	가중나무(<i>Ailanthus altissima</i>)	1
	밤나무(<i>Castanea crenata</i>)	2	음나무(<i>Kalopanax pictus</i>)	1
관목	진달래(<i>Rhododendron mucronulatum</i>)	6	짚레꽃(<i>Rosa multiflora</i>)	33
			청미래덩굴(<i>Smilax china</i>)	14
			노린재나무(<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>)	3
			진달래(<i>Rhododendron mucronulatum</i>)	1
초본	고사리(<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>)		담쟁이덩굴(<i>Parthenocissus tricuspidata</i>)	
			쇠뜨기(<i>Equisetum arvense</i>)	
			뽕나무(<i>Morus</i>)	

연구지역을 동일한 분석 단위에서 LiDAR 데이터를 이용한 분석과 현장 조사를 통해 획득한 데이터를 비교하였을 때, LiDAR 데이터는 현장조사결과에 비하여 보다 많은 개체수가 추출되었다. LiDAR 데이터의 분석 결과에 의한 개체수 추정을 우점 수종별로 비교하였을 때, 활엽수림이 리기다 소나무림에 비하여 보다 높은 정확도를 보였다.

이는 LiDAR 데이터가 식생을 투과하는 특성을 지니고 있는데, 침엽수의 경우는 수관모양이 원뿔 형태이므로, 수고 측정 시 작게 측정될 가능성이 있으며(이규성과 이창환, 2005), 신호가 투과하여 포인트 데이터가 많이 찍혀 오분류 될 가능성이 크기 때문이다(윤정숙 등, 2006). 따라서 LiDAR 데이터를 이용한 산림구조분석의 정확도를 높이기 위해서는 산림에서 우점하는 수종의 특성 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 활엽수의 경우 수관을 형성하는 잎이 나오는 시기 및 성장 정도에 따라 계절적인 영향을 받게 되므로(윤정숙 등, 2006) 각 산림의 우점 수종과 지형에 따라 오차 발생 가능성도 있기 때문에 같은 계절의 자료를 통하여 연구하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 본 연구에서 사용된 LiDAR 데이터는 2월에 찍은 영상으로 졸참나무가 우점하는 활엽수림의 경우, 2월 영상에서는 낙엽이 떨어져서 현장조사 데이터와 차이가 나기 때문에 LiDAR 데이터의 분석결과와 현장조사 데이터를 비교하였을 때 차이가 발생하였다고 사료된다. 외부 개발의 압력이 적게 나타나는 전형적인 산림을 대상으로 선정하고, 현장 조사와 영상의 촬영 시기를 일치시킨다면 분류 정확도가 보다 증가할 것으로 기대된다.

IV. 결론

산림의 구조는 수목의 크기와 연령에 따라 매우 다양하게 나타나며, 물리적, 생태적 영향에 의하여 산림 생태계의 특성을 보여준다. 산림의 3차원적인 복합적 구조는 다양한 시공간을 통하여 다르게 나타나는 수목의 성장, 외부의 교란과 깊은 관련이 있다. 산림 구조를 이해하기 위해 본 논문에서는 수목

의 개체수, 수고, 울폐도, 밀도를 분석하여 산림의 구조를 파악하였으며 오산시 남촌동 내 산림을 대상으로 도심에서 볼 수 있는 산림의 유형인 도로건설과 택지개발 등의 인위적 교란의 영향을 많이 받은 산림의 구조를 분석하였다. 산림 경계에서 30m를 기준으로 외부 교란의 영향을 직접적으로 받는 산림 외부와 안정한 구조를 보이는 산림 내부로 구분하여 분석하였다. 연구 결과, 산림의 외부지역은 가장자리의 환경을 잘 나타내고 있었다. 산림 내부에 비하여 수목 개체수가 많이 추출되어 높은 밀도를 보였지만, 울폐도 및 수고는 산림 내부에 비하여 낮게 분석되었다.

본 연구에서는 산림의 특성을 파악하기 위하여 기존의 데이터보다 정밀도가 높은 LiDAR 데이터를 이용하였으며, LiDAR 데이터를 이용한 수목의 개체수, 밀도, 수고, 울폐도 분석을 통하여 산림의 구조를 파악하고 현장조사를 통해 연구결과를 비교하였다. 본 연구결과를 통해 LiDAR 데이터를 활용한 분석은 위성영상 분석 및 현장조사에 의한 산림구조 분석 연구의 한계를 보완할 수 있는 가능성을 발견 하였다는 것에 의의가 있다. 본 연구에서는 산림에서 우점하는 수종의 특성에 대한 고려가 부족하였으며 영상의 촬영시기와 현장조사 시점의 차이가 있다는 한계가 있으며, 향후 수종에 대한 고려 및 LiDAR 데이터 분석 방법에 대한 검증은 보다 보완할 필요가 있다.

참고문헌

- 곽두안, 이우균, 손민호, 2005, 개체목 및 임분조사를 위한 LiDAR 응용에 관한 연구, 한국임학회지, 94(6), 431-440.
- 윤정숙, 이규성, 신정일, 우충식, 2006, 산림지역에서의 항공 Lidar 자료의 특성 및 지면점 분리, 한국원격탐사학회지, 22(6), 533-542.
- 우충식, 윤정숙, 신정일, 이규성, 2007, 항공 LiDAR 데이터를 이용한 산림지역의 개체목 자동 인식 및 수고 추출, 한국임학회지, 96(3), 251-258.
- 이규성, 이창환, 2005, 항공 LiDAR를 이용한 산림

- 측정, 한국과학기술정보연구원 보고서.
- 장안진, 김대성, 김용일, 김경옥, 2005, LiDAR 데이터와 컬러항공사진을 이용한 수목의 개체 추출 및 높이 추정, 한국GIS학회 2005년 추계학술대회, 67-74.
- 장안진, 유기운, 김용일, 이병길, 2006, 컬러항공사진과 LiDAR 데이터를 이용한 수목 개체 및 수고 추정, 대한원격탐사학회지, 22(6), 543-551.
- Aune, K., Jonsson, B. G. and Moen., 2005, Isolation and edge effects among woodland key habitats in Sweden: if forest policy promoting fragmentation? *Biological conservation*, 124, 89-95.
- Clawges, R., Vierling, K., Vierling, L. and Rowell, E., 2008, The use of airborne lidar to assess avian species diversity, density, and occurrence in a pine/aspen forest. *Remote sensing of environment*, 112, 2064-4073.
- Dorren, L. K. A., Beger, F., Imeson, A., Maier, B. and Rey, F., 2004, Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps. *Forest ecology and management*, 195, 165-176.
- Forman, R. T. T. and Godron, M., 1981, Patches an structural components for a landscape ecology. *Bioscience*, 31(10), 733-740.
- Herold, A. and Ulmer, U., 2001, Stand stability in the Swiss national forest inventory: assessment technique, reproductibility and relevance. *Forest ecology and management*, 145, 29-42.
- Maier, B., Tieded, D. and Dorren, L., 2006, Assessing mountain forest structure using airborne laser scanning and landscape metrics. Bridging Remote Sensing and GIS-1st International Conference on Object-based Image Analysis, Salzburg.
- Maltamo, M., Eerikainen, K., Pitkanen, J., Hyypya, J. and Vehmas, M., 2004, Estimation of timber volume and stem density based on scanning laser altimetry and expected tree size distribution functions. *Remote sensing of environment*, 90, 319-330.
- Maltamo, M., Packalen, P., Yu, X., Eerikainen, K., Hyypya, J. and Pitkanen, J., 2005, Identifying and quantifying structural characters characteristics of heterogeneous boreal forests using laser scanner data. *Forest ecology and management*, 216, 41-50.
- Matlack, G. R., 1993, Micro-environment variation within and among forest edge sites in the eastern united states. *Biological conservation*, 66, 185-194.
- Popescu, S. C., Wynne, R. H. and Nelson, R. F., 2002, Estimating plot-level tree heights with LiDAR: Local filtering with a canopy-height based variable window. *Computers and Electronics in agriculture*, 37(1-36), 71-95.
- Valverde, T. and Silvertown, J., 1997, Canopy closure rate and forest structure. *Ecology*, 78(5), 1555-1562.
- Willims-Linera, G., 1990. vegetation structure and environmental conditions of forest edges in Panama. *Journal of ecology*, 78, 356-373.
- Zimble, D. A., Evans, D. L., Carlson, G. C., Parker, R. C., Grado, S. C. and Gerard, P. D., 2003, Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LiDAR. *Remote sensing of environment*, 87, 171-182.