

# 3차원 LiDAR 데이터를 활용한 도시생태계 모니터링\*

최희준\* · 송영근\*\*

\*서울대학교 대학원 협동과정조경학 박사과정생 · \*\*서울대학교 환경대학원 환경조경학과 부교수

## 1. 서론

LiDAR란 Light Detection and Ranging의 약어로, LiDAR 센서를 통해 발사된 레이저가 대상이 되는 물체에 반사되어 돌아오는 레이저의 세기와 시간을 기록하여 대상의 위치 정보를 점군데이터 형태(x, y, z 포맷)로 변환해주는 원격탐사 도구이다. LiDAR 원격탐사 도구의 등장으로 산림과 도시의 3차원 정보를 취득할 수 있게 되었으며, 특히 생태적 측면에서 서식지의 3차원 공간정보와 생물 종 사이의 관계를 도출하거나 시계열 데이터를 활용한 녹지의 성장량 분석 등이 가능해졌다(Lefsky *et al.*, 2002). 더욱이, 기존 항공 LiDAR 플랫폼과 더불어 지상 LiDAR, 핸드헬드(모바일) LiDAR 등 다양한 LiDAR 플랫폼의 개발로 공간 스케일별 적절한 시공간 해상도의 3차원 공간정보를 취득할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 도시녹지를 대상으로 LiDAR 원격탐사 도구의 적용 측면에서 1) 도시녹지의 연결성 분석, 2) 시계열 분석을 통한 도시녹지 동태 정량화, 3) 항공, 지상, 핸드헬드(모바일)의 서로 다른 LiDAR 플랫폼 사이 수목 구조 관련 지수를 비교해 보고자 한다.

### 1. 3차원 데이터 기반 도시녹지 연결성 분석

연결성이란 연결성 분석의 타깃이 되는 특정 종이나 생물이 경관 내에서 패치와 통로 사이에서의 이동 정도를 확률적으로 정량화한 지표이다. 따라서 연결성 분석의 결과는 그 공간의 생태적 기능 정도를 공간데이터로 제공해 주며, 정책결정자나 도시계획 전문가들이 보전지역 우선순위를 선정하는 데 도움을 줄 수 있다(Tian *et al.*, 2017). 도시 내에서 생태적 연결성 도출과 관련한 연구들은 도시와 녹지의 형태 등을 주요 변수로 하여 진행이 되고 있다. 그러나 3차원적인 특성인 도시 건물의 부피, 수목의 수직적인 구조 등을 고려한 연결성 분석은 더 많은 이해가 필요한 시점이다(Casalegno *et al.*, 2017).

### 2. 시계열 LiDAR 데이터 기반 숲틈 동태 추정

자연적·인위적으로 발생한 교란으로 숲 내 개방공간인 숲틈(forest gap)이 형성되며, 이러한 숲틈은 숲 내부에 빛의 투과율,

온도, 습도 등에 영향을 끼쳐 주변 환경의 변화를 야기한다. 따라서 숲틈을 탐지하고 모니터링하는 것은 숲의 관리에 있어 중요하다. 항공 LiDAR 센서를 활용할 경우, 위성영상이나 항공사진 등 수동형 센서에 의해 탐지되기 어려운 수관 하부의 탐지와 수관의 3차원 형상을 취득이 가능하여 수관의 구조 분석에 매우 유용하다(Lefsky *et al.*, 2002). 이 파트에서는 2012년도 2015년도 항공 LiDAR를 활용하여 자연형 도시공원(봉서산) 내 숲틈을 탐지하고 시계열적 변화양상을 추정하였다.

### 3. 항공, 지상, 핸드헬드(모바일) LiDAR 플랫폼 사이 수목 구조 관련 지수의 비교

2000년대 이후로 항공 LiDAR 센서(ALS)와 더불어 다양한 플랫폼의 LiDAR 센서들이 개발되었다. 항공 LiDAR는 경비행기 등 항공기에 LiDAR 센서를 탑재하여 비행을 통해 지상의 넓은 범위를 스캐닝하기 위한 목적으로 개발되었다. 항공 LiDAR 스캐닝을 통해 숲, 도시 등 넓은 공간 범위의 3차원 데이터를 취득할 수 있다는 장점이 있다. 지상 LiDAR는 고정형 지상 LiDAR(TLS)와 핸드헬드 LiDAR(MLS)로 크게 나눌 수 있다. 고정형 지상 LiDAR를 활용하여 비교적 가까운 대상의 3차원 영상을 mm 단위의 초고해상도로 취득할 수 있으나, 스캐너를 들고 이동할 수 없기에 대상이 다른 물체에 의해 가려지는 부분을 최소화할 필요가 있다. 본 연구에서 사용한 핸드헬드 LiDAR의 경우는 ±3cm 정도의 정확도를 가져 고정형 지상 LiDAR 보다 해상도는 낮다. 그러나 지상 LiDAR 장비와는 다르게 동시적 위치추정 및 지도작성 기술의 적용으로 사용자가 센서를 가지고 이동하며 대상을 스캐닝할 수 있어 가림막효과를 쉽게 최소화할 수 있다. 여러 LiDAR 플랫폼의 등장과 이를 활용한 생태계 모니터링 연구들이 증가하면서 플랫폼의 효율적인 운용과 데이터의 보완 방법들이 요구되고 있다. 이를 위해 수목구조와 관련해서는 각 LiDAR 플랫폼으로부터 도출된 수목 구조 관련 지수를 비교하고, 플랫폼 간 지수의 유사성과 차이점을 살펴볼 필요가 있다. 따라서 이 파트에서는 항공 LiDAR, 지상 LiDAR, 핸드헬드 LiDAR를 통해 도출된 수목구조관련 지수들을 서로 비교해 보고, 플랫폼 사이 지수들 값의 차이를 살펴보고자 한다.

\*: 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시 생태계 건강성 증진 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020002770002).

## II. 연구방법

### 1. 연구대상지

천안시 서쪽 1)4km×4km의 시가지지역(도시녹지 연결성 분석) 2)중심의 봉서산(도시녹지 동태 분석), 3)어린이 공원 등 도시공원 9개소(LiDAR 플랫폼 별 수목구조 지수 비교)에서 진행되었다.

### 2. LiDAR 데이터 취득과 전처리

천안시의 항공 LiDAR 데이터는 ㈜삼아항공으로부터 연구목적적으로 제공받아 분석에 사용하였다. 2012년 10월, 2015년 10월, 2017년 5월에 대상지 내 봉서산을 중심으로 고도 1,000m에서 10개의 비행항로(50% 횡중복)를 설정하여 대상지의 점군 데이터를 취득하였다(각 연도별 5 pts/m<sup>2</sup> 이상).

LiDAR 플랫폼별 수목구조와 관련된 지수를 비교하기 위하여, 천안시 내 어린이공원 9개소를 선정한 뒤 FARO Focus 350 laser scanner를 활용하여 2017년도 5월에 공원 내 수목의 3차원 데이터를 취득하였다. 스캐너의 위치에 따른 수목의 가림막 현상(occlusion effect)을 최소화하기 위해 공원 내 여러 위치에서 스캐닝을 진행하였다. 핸드헬드 LiDAR의 경우 2018년 3월 봉서산에서, 2020년 4월 21일부터 25일 사이 어린이공원 9개소에서 수목 데이터를 취득하였다.

### 3. 3차원 데이터 기반 도시녹지 연결성 분석

항공 LiDAR 데이터와 조류종 조사 데이터(송원경, 2015) 사이 관계를 도출한 뒤, 이를 도시 연결성 분석에 적용하였다. 이를 위해 조류종 관측 데이터와 항공 LiDAR 데이터를 산출된 3차원 구조변수와의 관계를 살펴보고, 조류종과 관련된 구조변수를 입력자료로 한 연결성 분석을 시도하였다. 연결성 분석을 위해 전류흐름기반 매개중심성(Current Flow Betweenness Centrality) 분석(McRae *et al.*, 2008)을 진행하였다. 랜덤워크 이론을 기반으로 분석이 진행되기에 생물의 이동에 있어 구체적인 생태학적 해석과 예측을 가능케 해 주는 것으로 알려져 있다.

### 4. 시계열 LiDAR 데이터 기반 숲틈 동태 추정

숲틈 탐지를 위해 수관높이모델(Canopy Height Model, CHM) 상에서 높이 값이 5m 미만이면서 평균면적이 10m<sup>2</sup> 이상(핸드헬드 LiDAR 측정을 통해 추정)인 지역을 숲틈으로 탐지하였다. 숲틈의 면적 변화를 추정하기 위하여 연도별 CHM에서 탐지된 면적을 비교하였으며, 수관의 수직분포 변화를 추정하기 위하여 한 변의 길이가 2.5m인 hexagon 격자를 생성한 뒤, 각 격자 내 엽면적밀도의 변화상을 살펴보았다.

### 5. 항공, 지상, 핸드헬드(모바일) LiDAR 플랫폼 사이 수목 구조 관련 지수 비교

수목최대높이(ZMAX), 수관높이모델(CHM), 수관복잡성 등과 같은 수목구조와 관련된 수치(Structural metrics)를 항공, 지상, 모바일 LiDAR 장비별로 각각 도출하고, 각 장비별 도출된 수치들을 평균제곱근 편차(Root Mean Square Error RMSE), 편향(Bias), 피어슨 상관계수(*r*) 등을 활용하여 비교 및 평가하여 진행하였다.

## III. 결과 및 고찰

1) 3차원 데이터 기반 네트워크 연결성 분석 시 저밀 시가지 지역 및 저층건물단지, 수고가 높은 가로수 식재지역 등이 시가지 지역 내에서 연결성에 높은 기여도를 나타냈다. 이는 저층건물 주변에 적절한 식재를 통하여 전반적인 생태적 연결성을 증진시킬 수 있을 보여준다. 반면, 고층 건물 혹은 고밀도 시가지 지역의 경우 근린공원이나 어린이공원 등 녹지가 위치함에도 네트워크상에서 단절지역으로 도출되었다.

2) 조림지 내 형성된 숲틈의 경우, 연간 엽면적지수의 변화량(0.12m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)이 단힌공간(0.07m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)보다 크게 나타났다. 또한 성장 역시 빠르게 진행되었기에(조림지 내 숲틈: 28.3cm/year 단힌공간: 26.3/year), 도시 자연형 공원 내 숲틈에서 동태가 보다 빠르게 촉진되는 것을 확인할 수 있다.

3) ZMAX, CHM 관련 수치들, 그리고 면적이 3개의 LiDAR 플랫폼 사이에서 높은 일치성을 보이는 것으로 나타났다(RMSE% < 15 %, Bias% < 15 %, and *r* > 0.9). 반면 퍼센타일 높이와 높이의 평균값 등은 매우 낮은 일치성을 나타냈다. CHM을 통해 추출된 수치들은 수목의 구조 등에 크게 영향을 받지 않고 3개의 LiDAR 플랫폼 사이에서 일관된 수치를 나타내었다.

## 참고문헌

- Lefsky, M. A., W. B. Cohen, G. G. Parker and D. J. Harding(2002) Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists. *BioScience* 52(1): 19-30.
- Casalegno, S., K. Anderson, D. T. C. Cox, S. Hancock and K. J. Gaston(2017) Ecological connectivity in the three-dimensional urban green volume using waveform airborne lidar. *Scientific Reports* 7: 45571. doi:10.1038/srep45571
- McRae, B. H., B. G. Dickson, T. H. Keitt and V. B. Shah(2008) Using circuit theory to model connectivity in ecology. *Evolution, and Conservation* 89(10): 2712-2724. doi:doi:10.1890/07-1861.1
- Tian, Y., W. Zhou, Y. Qian, Z. Zheng & J. Yan(2019) The effect of urban 2D and 3D morphology on air temperature in residential neighborhoods. *Landscape Ecology* 34(5): 1161-1178. doi:10.1007/s10980-019-00834-7
- 송원경(2015) 도시공원 구조 및 식생 조건에 따른 조류 종다양성 분석 - 천안시 26 개 도시공원을 대상으로 -. *한국환경복원기술학회지(환경복원기술)* 18(3): 65-77.