

도시림 내 토지이용에 따른 열린공간(Gap)의 구조적 변화 추정 및 비교*

- 항공 라이다의 반복관측 자료를 활용하여 -

최희준* · 송영근**

*서울대학교 협동과정조경학 · **서울대학교 환경대학원 환경조경학과

I. 서론

자연적·인위적 교란으로 숲에 개방공간 또는 열린공간(gap)이 형성되며, 이러한 공간은 숲의 수관 내 빛의 투과율, 온도, 습도 등 미소기후(microclimate)에 영향을 끼쳐 주변 환경의 변화를 야기한다(Whitmore, 1989). 따라서 열린공간을 탐지하고 모니터링하는 것은 숲의 관리에 있어 중요하다. 수관구조를 추정하는 방법으로 1990년대 중반 이래 항공 LiDAR 데이터를 이용한 스캐닝 방법이 주목받고 있다. 항공 LiDAR 센서를 활용할 경우 넓은 공간 범위의 대상을 효과적으로 스캐닝하여 데이터를 취득할 수 있으며, 위성영상이나 항공사진 등 수동형 센서에 의해 탐지되기 어려운 수관 하부 영역까지 탐지할 수 있다는 장점이 있다. 더불어, 대상의 3차원 형상을 취득할 수 있기에 수관의 구조적인 분석에 매우 유용하며, 정확도 또한 현장실측과 근사하게 나타난다(Lefsky *et al.*, 2002; Song *et al.*, 2016). 본 연구의 목적은 항공 LiDAR 데이터를 활용하여 도시림 내 열린공간을 탐지하고, 토지이용에 따른 열린 공간의 구조적 변화양상을 추정하고 비교하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지

연구 대상지는 충청남도 천안시에 위치한 봉서산(36.817228°N, 127.124222°E, altitude: 158 m, area: 124 ha)으로, 상수리나무(44.8%), 리기다소나무(29.7%), 낙엽송(7.43%) 등이 1970년대 조림되어 현재까지 우세하게 분포하고 있는 도시림이다. 전체적인 도시림을 이루는 수목의 평균 영급이 3.8 영급으로 나타났다(산림청, 2015).

2. 항공 LiDAR 데이터

본 연구에서는 (주)삼아항업으로부터 천안시 서쪽의 항공 LiDAR 데이터를 제공받아 분석에 사용하였다. 2012년부터 2015년도까지 대상지인 봉서산을 중심으로 매년 10개의 비행항로를 설정하여 비행한 뒤 대상지의 점군 데이터를 취득하였다(각 연도별 8.5 pts/m² 이상). LiDAR 데이터를 기반으로 한 2012년도 수치지형도(Digital Terrain Model: DTM)를 국가 기준점(국토지리정보원, www.ngii.go.kr) 등을 활용하여 위치보정을 진행한 뒤, 연도별 데이터의 평균 높이를 이에 맞춰 보정하였다. 분석을 위한 지면분류, 식생분류, 에러 포인트 제거 등 항공 LiDAR 데이터의 전처리는 TerraSolid(www.terrasolid.com/home)의 TerraScan 소프트웨어를 사용하였다(Soininen, 2004).

3. 숲 내 열린공간 탐지 및 분류

숲 내 열린공간의 탐지는 수관높이모델(Canopy Height Model, CHM, 그리드 사이즈: 0.25×0.25 m²) 상에서 높이 값이 5m 미만 이면서 평균면적이 10m² 이상(모바일 LiDAR 측정을 통해 추정)인 지역을 열린공간으로 탐지하였다. 그 뒤, 항공사진 및 산림청 임상도(산림청, 2015)를 활용하여 토지이용을 시민활동지역과 조림지로 분류하였다.

4. 수관구조 추정

숲 내 열린공간의 면적인 변화를 추정하기 위하여 연도별 CHM에서 탐지된 면적을 계산하였다. 또한, 수관의 수직분포 변화를 추정하기 위하여 한 변의 길이가 2.5m(넓이: 16.24m²)인 헥사곤 격자를 생성한 뒤, 각 격자 내 엽면적밀도(Leaf Area Density, LAD, m²/m³)를 계산하였다. 분석은 ArcGIS 10.2.2(ESRI, Redlands, CA, USA)와 R 프로그램(R Core Team 2017) 상에서 'lidR package(Bouvier *et al.*, 2015)'를 활용하였다.

*: 본 연구는 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2016R1D1A1B03933179)의 지원을 받아 수행되었습니다.

III. 연구결과 및 고찰

조림지역 내 열린공간의 패치수는 2012년 925개 대비 2015년 601개로 324개의 열린공간이 연구 기간 내 닫혔음을 확인할 수 있으며, 그에 따라 전체적인 조림지 내 열린공간의 면적도 30% 이상 감소하였다. 시민활동지역 내 열린공간의 패치수는 2012년 607개 대비, 2015년 548개로 59개의 열린공간이 닫혔음을 확인할 수 있으며, 전체 총면적 또한 약 6% 감소하였으나, 조림지역에 비해 변화폭이 작음을 알 수 있다. LAD의 연간변화를 비교한 결과, 시민활동지역에서는 지속적인 시민활동(경작, 벌초 등)에 따라 연간 변화가 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 보이며 (Figure 1-c 참조), 기존의 닫힌공간과 조림지 내 열린공간에서는 높이별 LAD 값이 수직 방향으로 증가하는 경향을 보였다 (Figure 1-a, b, d 참조). 특히, 조림지 내 열린공간 중 연구 기간 내 닫힌공간의 경우, 높이 5-8 m 이상에서 LAD의 변화가 가장 뚜렷하게 나타났다(Figure 1-a, b 참조).

Table 1 Changes of the area in afforestation and civic usage area

Land-use type	Afforestation			
Year	2012	2013	2014	2015
No. of	925	792	542	601
Mean(m ²)	36.04±96.9	42.31±106.7	37.01±83.5	35.54±70.12
Maximum(m ²)	2,250.5	2,212.1	1,293.5	906.0
Sum(m ²)	33,334.5	33,512.1	20,057.5	21,360.5
Land-use type	Civic usage			
Year	2012	2013	2014	2015
No. of	607	531	540	548
Mean(m ²)	236.9±750.3	280.0±1024.7	226.4±628.1	246.2±671.0
Maximum(m ²)	10,693.5	187,59.5	7,713.3	7,736.0
Sum(m ²)	143,816.5	148,665.8	12,2240.8	134,934.5

IV. 결론

본 연구에서는 LiDAR 센서가 가지는 특성(레이저 투과)을 활용하여 도시림 내 열린공간을 탐지하고, 경년 데이터 분석을 통해 숲 내 열린공간의 구조적 변화양상을 추정하였다. 조림지 내 열린공간의 경우 주로 자연적으로 형성된 숲틈이거나, 생산량 등을 위해 관리되는 지역으로, 연간 엽면적지수의 변화량 (0.12m²/m²)이 닫힌공간(0.07m²/m²)보다 크게 나타났으며, 생장 역시 빠르게 진행되었기에(조림지 내 열린공간: 28.3cm/year,

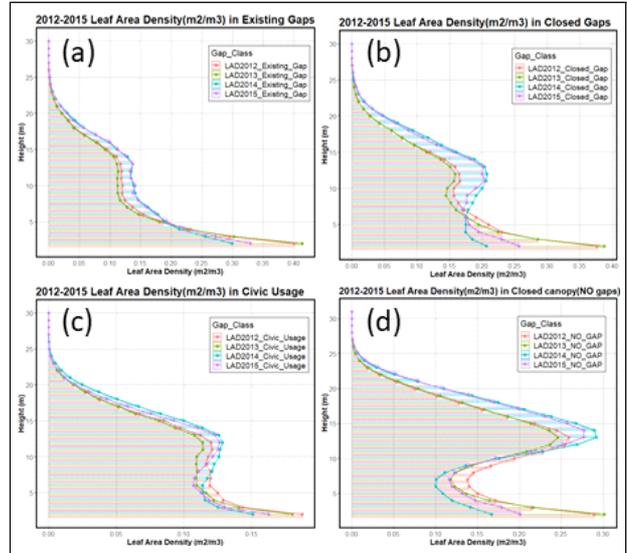


Figure 1. Differences in leaf area density(m²/m³) (a: natural gaps (existing), b: natural gaps(closed), c: opening area (civic usage, d: no opening)

닫힌공간: 26.3cm/year), 열린공간에서 숲의 동태가 보다 빠르게 축진되는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 시민활동지역 내 열린공간의 경우, 지속적인 시민활동에 따른 교란으로 주변 식생생장이 더디며, 평균적인 면적 또한 확장되는 경향을 보이기에 지속적인 도시림 활용을 위한 적절한 대처가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

1. Bouvier, M., S. Durrieu, R. A. Fournier and J.-P. Renaud(2015) Generalizing predictive models of forest inventory attributes using an area-based approach with airborne LiDAR data. Remote Sensing of Environment 156: 322-334.
2. Lefsky, M. A., W. B. Cohen, G. G. Parker and D. J. Harding(2002) Lidar remote sensing for ecosystem studieslidar, 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.
3. R Core Team(2017) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
4. Sojinin, A.(2004) Terrascan User's Guide. Terrasolid: Helsinki, Finland.
5. Song, Y., J. Imanishi, T. Sasaki, K. Ioki and Y. Morimoto(2016) Estimation of broad-leaved canopy growth in the urban forested area using multi-temporal airborne LiDAR datasets. Urban Forestry & Urban Greening 16: 142-149.
6. Whitmore, T. C.(1989) Canopy gaps and the two major groups of forest trees. Ecology 70(3): 536-538.