

지상라이다를 활용한 수목 입체규격 측정의 신뢰성과 한계성[†]

- 곱슬을 대상으로 -

심민석*, 조현길**, 박혜미***, 최성경****

*강원대학교 조경학과 석사과정, **강원대학교 생태조경디자인학과 교수, ***강원대학교 조경학과 박사, ****강원대학교 조경학과 석사

1. 서론

산업화에 따른 화석연료 소비와 녹지훼손은 지구의 평균 CO₂ 농도를 지속적으로 증가시키고 있다(WMO, 2022). 현재 우리나라를 비롯한 전 세계 대부분의 국가들은 탄소중립을 주요 정책기조로 설정하고, 2050-2060년까지 탄소배출을 제로화하기 위해 총력을 다하고 있다(청와대, 2020). 도시수목 식재는 IPCC 가이드라인을 비롯한 전 세계의 탄소중립 프로그램에서도 인정한 도시의 주요 탄소흡수원이다(IPCC, 2006). 국가 및 도시스케일에서 도시수목에 의한 탄소저감을 파악하기 위해서는, 도시에 분포하는 수목의 식재주수, 수종, 규격 등의 인벤토리와 수종별 탄소저감 계량 모델이 요구된다. 도시수목의 인벤토리를 구축하는 가장 일반적인 방법은 개별수목의 규격을 일일이 측정하는 현장조사이나, 이는 상당한 인력, 시간 및 비용을 요구한다. 이에 최근 지상라이다(Terrestrial LiDAR)를 활용하여, 도시수목의 입체규격을 간편하게 취득하려는 노력들이 시도되고 있다. 지상라이다는 수회의 촬영을 통해 해당 공간에 분포하는 수목의 입체규격을 한 번에 취득할 수 있기 때문에, 개별수목을 조사하는 현장조사 대비 그 작업이 더 편리할 수 있다. 따라서, 본 연구는 지상라이다 및 현장실측을 통해 곱슬의 규격정보를 취득한 후, 이를 탄소저감 계량모델에 적용하여 인벤토리 측정 방법에 따른 규격 및 탄소저장 차이를 비교분석하였다. 그리고, 이 결과를 토대로 지상라이다를 활용한 수목입체 규격측정의 신뢰성과 한계성을 고찰하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상 곱슬 선정 및 규격 측정

본 연구는 동해안, 서해안 및 남해안 식재지에서 연구목표에 부합하는 개방 성장한 곱슬을 각각 3개, 4개 및 3개체씩 선정하였다. 즉, 유목에서 성목에 이르는 직경크기를 고려하고, 곱슬 고유의 수형을 유지하면서 수관이 정상 성장한 개체를 연구대상 수목으로 선정하였다. 연구대상 수목들은 지상라이다(Leica, BLK360)와 현장실측 도구를 활용하여 흉고직경, 수고, 수관폭 등의 규격을 측정하였다. 즉, 지상라이다의 경우 단목별 4개 등간격 방향에서 촬영한 후, Leica Cyclone REGISTER 360을 활용하여 촬영 데이터들을 정합하였다. 정합된 데이터는 오픈소스 소프트웨어인 CloudCompare(v2.12.4)에서 SOR(Statistical Outlier Removal) Filter를 이용하여 데이터 노이즈를 제거한 후 수동으로 수목만을 추출하였다. 상기 과정을 통해 가공된 수목의 입체 데이터에는 인접 수목까지 함께 포함되어 있기 때문에, 오픈소스 코드인 Treeciso를 활용하여 연구대상 수목만을 분리하였다(https://github.com/truebelief/artemis_treeciso). 그리고, TreeQSM을 활용하여 대상 수목의 흉고직경, 수고, 수관폭 및 줄기 재적을 자동 산출하였다(<https://github.com/InverseTampere/TreeQSM>). 현장조사의 경우 흉고직경은 직경줄자로 지상 1.2m 높이에서, 수관폭은 50m 줄자로 직각방향 2회 0.1m 단위까지, 수고는 측고기로 0.1m 단위까지 각각 실측하였다. 한편, 줄기의 재적은 구분구적법과 원추형 재적공식을 이용하여 산정하였다.

2.2 입체규격의 신뢰성 분석

본 연구는 지상라이다로 확보한 입체규격의 신뢰성을 분석하기 위해, 지상라이다 및 현장조사의 단목별 흉고직경, 수고, 수관폭 및 줄기 재적데이터를 쌍체비교하여 통계적 신뢰성을 분석하였다. 그리고, 이 측정 데이터를 흉고직경 기반의 상대생장식(조현길 등, 2013)과 줄기 재적 기반의 재적식(국립산림과학원, 2014)에 각각 대입하여, 측정 방법에 따른 탄소저장량을 비교 분석하였다. 이 분석은 Microsoft Office Excel 2016과 SPSS 26.0 for Windows 통계 프로그램을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 입체규격 측정의 신뢰성 분석

현장실측 기준 연구대상 곱슬의 흉고직경, 수고, 수관폭 및 줄기재적은 각각 13.5-38.6cm, 6.4-13.0m, 1.6-7.1m 및 0.057-0.687m³ 범위이었으며, 지

[†]본 연구는 한국수자원공사(K-Water)의 연구개발사업(C5202319792)과 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2022R1I1A1A01071990).

상라이다의 경우는 13.4-41.6cm, 5.6-12.5m, 3.4-9.7m 및 0.055-0.710m³으로 분석되었다. 지상라이다와 현장실측한 규격을 비교분석한 결과, 지상라이다로 측정한 흉고직경 및 줄기재적은 현장실측 결과와 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 다만, 수고와 수관폭은 현장실측 결과와 각각 최대 1.4배 및 3.7배의 차이를 나타냈다($p < 0.05$). 상대생장식을 적용한 단목의 탄소저장량은 측정 방법에 따라 각각 지상라이다 25.2-400.9kg/주 및 현장실측 25.7-333.9kg/주이었으며, 재적식을 적용한 경우에는 지상라이다 25.9-335.7kg/주 및 현장실측 26.9-325.0kg/주로 분석되었다. 지상라이다와 현장실측에 따른 단목의 탄소저장량은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 이는 상대생장식과 재적식의 주요 독립변수인 흉고직경 및 줄기재적 역시 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 지상라이다의 한계와 향후 연구방향

지상라이다는 해당 물체와 측정 거리가 인접할수록 고도화된 데이터를 취득할 수 있다. 수고의 경우 그 규격이 커질수록 지상라이다로부터의 측정거리가 멀어져 수집할 수 있는 데이터의 범위가 제한되기 때문에, 현장실측과 통계적으로 유의한 차이를 보인 것으로 판단된다. 지상라이다로 취득한 수관폭의 경우 인접 수목과 수관 및 가지가 겹치게 되면, 연구대상 수목의 수관이 아닌 것까지 포함시켜 현장실측 대비 과도하게 측정되는 경향이였다. 흉고직경은 수고나 수관폭 대비 비교적 인접하게 지상라이다 촬영이 가능했기 때문에, 정밀한 데이터를 확보할 수 있었던 것으로 판단된다. 줄기재적 역시 수고나 수관폭 대비 상대적으로 외부 요인에 의한 영향을 적게 받아, 데이터 정합 시 그 형태가 뚜렷하게 나타났기 때문에 실측값과 큰 차이가 나타나지 않았다.

이와 같이 지상라이다는 그 대상물체와 측정거리가 멀어지거나 여러 수목의 수관이 겹쳐있을 때 측정 규격의 통계적 신뢰성이 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서, 중형 및 대형수목이나 수관이 겹쳐있는 수목의 입체규격을 측정할 경우에는 드론 라이다의 촬영을 병행하여 그 데이터의 신뢰성을 제고할 필요가 있다. 한편, 지상라이다는 현장실측 대비 그 측정시간이 적게 소요되더라도, 수목뿐만 아니라 주변 경관까지 함께 촬영되기 때문에 데이터의 용량이 매우 커져 데이터를 가공 및 처리하는 시간이 상당히 요구되었다. 추후 도시수목의 인벤토리 구축 시 지상라이다의 활용성을 증진하기 위해서는 데이터의 용량과 처리시간을 최소화할 수 있는 기술이 개발될 필요가 있다.

4. 결론

본 연구는 지상라이다를 활용하여 수목의 입체규격을 측정하고, 현장실측과의 비교를 통해 그 신뢰성과 한계성을 분석하였다. 지상라이다로 측정한 흉고직경 및 줄기재적은 현장실측과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않은 반면($p > 0.05$), 수고 및 수관폭은 현장실측과 최대 3.7배의 차이를 보였다($p < 0.05$). 지상라이다는 그 측정거리가 멀어지거나 인접수목과 수관이 겹쳐 있을 때 데이터의 신뢰성이 감소하는 경향을 보였다. 또한, 지상라이다의 상당한 데이터 용량은 데이터의 처리 및 가공작업을 가중시켜 결과적으로 현장실측보다 더 많은 시간을 요구하였다. 지상라이다의 활용성을 증진하기 위해서는 드론을 부착한 라이다를 함께 병행하여 데이터의 품질을 증진하거나, 데이터의 용량 및 처리시간을 최소화할 수 있는 방법을 고도화할 필요가 있다.

참고문헌

1. 국립산림과학원(2014) 한국 주요 수종별 탄소배출계수 및 바이오매스 상대생장식.
2. 조현길, 김진영, 박혜미(2013) 도시 상록 조경수의 탄소저장 및 흡수-소나무와 잣나무를 대상으로. 한국환경생태학회지 27(5): 571-578.
3. 청와대(2020) 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략.
4. IPCC(2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas. Institute for Global Environmental Strategies.
5. WMO(World Meteorological Organization)(2022) State of the Global Climate. Report.
6. <https://github.com/InverseTampere/TreeQSM>
7. https://github.com/truebelief/artemis_treeiso