

도시내 옥상정원의 탄소순환 시스템 연구

- 시스템 다이내믹스를 활용하여 -

유수진* · 송기환* · 전진형**

*고려대학교 일반대학원 환경생태공학과 · **고려대학교 환경생태공학부

I. 서론

기후변화로 인해 나타나는 다양한 사회 환경적 문제로 인해 도시내 녹지 조성을 통한 탄소흡수원 확충의 중요성은 점차 강조되고 있으며, 온실가스를 저감시킬 수 있는 저탄소경관을 창출하기 위한 노력이 증가하고 있다. 저탄소경관은 탄소순환 측면에서 기후변화로 인한 환경변화에 적응할 수 있는 경관으로 저탄소 사회를 실현시키기 위한 수단으로 기대되고 있다(유수진 등, 2015). 저탄소경관의 구성자원은 공간, 시설, 재료, 식재로 구분이 가능하며 구성자원이 가지고 있는 탄소순환 시스템의 유기적 관계에 중점을 두고 있다(유수진 등, 2015). 특히, 저탄소경관은 수목이 생산하는 과정뿐만 아니라 고사하고 그 잔해가 토양에 축적, 분해되는 모든 과정에서 순환하는 탄소 시스템을 가지고 있기 때문에, 수목과 토양간의 탄소순환 시스템의 동태성을 파악하는 것은 저탄소경관의 창출을 위해서 매우 중요하다. 도시 내 옥상정원은 공원녹지공간의 면적 확보가 어려운 도시에서 저탄소경관을 창출할 수 있는 공간으로, 관련 연구들이 활발히 진행 중이다(이상진 등, 2013). 그러나 국내에서 옥상정원 식재의 탄소저감 효과와 관련하여 진행된 연구들은 초본식물을 대상으로 탄소의 흡수량만을 측정된 연구가 주를 이루었으며(안근영 등, 2011) 교목과 토양을 대상으로 탄소순환 시스템의 동태성을 고려하지 못하였다는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 옥상정원 교목의 생장에 따른 동태성을 고려하여 교목과 토양의 탄소순환 시스템 모델을 구축하는 것이다. 본 연구의 결과는 시간변화에 따른 교목과 토양의 탄소저장량의 변화를 파악하고, 저탄소경관 디자인 요소를 도출하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

연구대상지는 2008년 조성된 강남구청 옥상정원으로 선정하였다. 강남구청 본관 옥상정원의 면적은 1,477.0m²으로 때

죽나무, 백송, 산딸나무, 소나무, 자작나무, 청단풍, 홍단풍 총 7종의 교목이 44주 식재되어 있으며, 식재기반층은 펠라이트 232.8m³, 팝소일(피트모스계) 58.2m³의 인공토양으로 구성되어 있다. 강남구청의 옥상정원은 조성 이후 현재까지 7년의 동안 교목이 고사하지 않고 잘 유지하고 있어 시간의 흐름에 따른 옥상정원의 교목과 토양의 탄소순환 시스템을 파악하기 적합하였다.

2. 연구방법

본 연구는 옥상정원 교목과 토양의 탄소순환 시스템 모델을 구축하기 위해 시간에 따른 현상의 동태적 변화를 파악할 수 있는 시스템 다이내믹스(System Dynamics)를 활용하였다(Williams and Richard, 2010). 연구 과정은 첫째, 모델구축을 위한 변수를 수집하고 데이터를 구축하였다. 둘째, 시간적 범위를 설정하고 STELLA 10.0.4를 활용하여 옥상정원 교목의 탄소순환 시스템 모델구조를 정립하였다. 셋째, 교목 수종별 탄소저장량과 전체 토양의 탄소저장량을 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 데이터 구축

강남구청 본관 옥상정원내 교목의 탄소순환 시스템 모델을 구축하기 위해 Yi *et al.*(2013)에 의해 고안된 한국형 산림토양 탄소모델(KFSC Model)을 기반으로 옥상정원의 성격에 맞는 자료를 수집하였다. 옥상정원 교목의 초기 탄소저장량은 2008년 강남구청 본관 옥상정원 준공도면의 식재수량표의 규격을 확인하였고, 토양탄소의 초기값은 2008년 옥상정원 조성에 사용된 인공토양과 같은 제품을 확보하였다. 수목과 토양의 초기값에 대한 자료를 수집한 뒤, 2015년 6월 5일 현장조사를 실시하여 수목 및 토양에 대한 데이터를 수집하였다.

2. 모델구조 정립

모델의 시간적 범위는 「서울특별시 도시 및 주거환경 정비조례」에 따라 2008년부터 2040년까지로 설정하였다. 수집된 변수들을 시스템 다이내믹스 모델에 적용시키기 위해 저장변수(Stock), 유량변수(Flow), 보조변수(Converter)로 구분하였다.

3. 옥상정원 교목의 탄소순환 시스템

1) 교목의 탄소저장량

대상지 내 교목의 탄소저장량을 분석한 결과 시간이 지남에 따라 그 정도는 각각 다르지만, 전체적으로 탄소저장량은 점차 증가하는 것으로 나타났다(그림 1a). 2015년의 탄소저장량은 소나무 36.45(KgC/tree/yr), 백송 16.81(KgC/tree/yr), 자작나무 12.73(KgC/tree/yr), 홍단풍 5.71(KgC/tree/yr), 산딸나무 4.76(KgC/tree/yr), 청단풍 4.72(KgC/tree/yr), 때죽나무 3.81(KgC/tree/yr)만큼 저장하는 것으로 나타났다. 2040년의 탄소저장량은 백송 87.85(KgC/tree/yr), 소나무 85.85(KgC/tree/yr), 자작나무 20.21(KgC/tree/yr), 홍단풍 9.92(KgC/tree/yr), 청단풍 9.71(KgC/tree/yr), 산딸나무 8.32(KgC/tree/yr) 때죽나무 4.23(KgC/tree/yr)까지 증가하는 것으로 나타났다. 2015년과 2040년 교목의 탄소저장량을 비교한 결과 침엽수는 백송이, 활엽수는 자작나무와 홍단풍의 저장량이 높은 것으로 나타났다. 또한 침엽수가 활엽수보다 높은 탄소저장량을 보였는데, 그 이유는 강남구청 본관 옥상정원에 식재된 활엽수가 침엽수에 비해 규격이 작으며, 잦은 전정 및 관리로 인해 탄소저장량이 낮아지기 때문인 것으로 판단되었다.

2) 토양의 탄소저장량

강남구청 본관 옥상정원 교목과 토양의 탄소순환 시스템 모델의 분석 결과 시간의 흐름에 따라 토양 탄소저장량은 증가하는 것으로 확인되었다(그림 1b). 2015년의 탄소 저장량은 384.28(KgC/yr)이며, 2040년에는 1,851.71(KgC/yr)까지 저장되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 인공토양도 일반토양과 마찬가지로 수목 잔해의 영향을 받아 탄소저장량이 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 시간이 지남에 따라 옥상정원 토양의 탄소저장능력은 꾸준히 향상될 것으로 예상되었다.

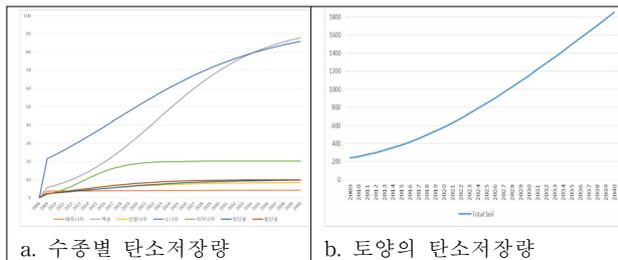


그림 1. 옥상정원 교목의 탄소순환 시스템

IV. 결론

본 연구는 도시내 저탄소경관 창출을 위한 기초연구 단계로, 강남구청 본관 옥상정원의 교목과 토양을 대상으로 탄소순환 시스템 모델을 구축하였다. 단순히 교목의 탄소저장능력뿐만 아니라 교목의 생장에 따른 동태성을 통해 교목의 잔해가 토양에 축적되는 과정까지 함께 분석하여 탄소순환 시스템을 재해석 하였는데 의의가 있다. 분석결과, 교목과 토양의 수종에 따라 차이가 있지만, 탄소저장량은 시간이 지남에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 향후 옥상정원의 저탄소경관 구성자원으로 공간, 시설, 재료, 식재 간의 유기적 관계를 고찰함으로써 저탄소경관 디자인 요소를 도출하는데 기여 할 수 있을 것이다. 본 연구는 교목의 생장에 영향을 미치는 요인 중 옥상정원의 바람, 햇빛, 토양건조 등과 같은 환경요인과 관수, 전정 등의 관리요인을 모델에 적용하지 못하였다는 한계가 있다. 이러한 환경요인과 관리요인은 식생뿐만 아니라 옥상정원의 구성자원들의 탄소순환에도 영향을 주게 된다. 따라서 후속 연구에서는 옥상정원 식재에 영향을 미치는 환경요인과 관리요인을 고찰함으로써 옥상정원의 구성자원인 공간, 시설, 재료, 식재 간의 유기적인 탄소순환 시스템을 정립하여 저탄소경관을 창출해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2015년 환경부 환경정책기반공공기술개발사업(과제번호: 416-111-010)으로부터 지원받아 수행하였습니다. 이에 감사의 글을 전합니다.

참고문헌

1. 안근영, 한승원, 이은희(2011) 옥상녹화용 초본식물의 순간 CO2흡수 및 증발산량 분석. 한국환경생태학회지 25(1): 91-101.
2. 유수진, 송기환, 전진형(2015) 도시내 저탄소경관의 시스템 경계 설정을 위한 사례연구. 한국 시스템다이내믹스학회 하계학술대회. pp. 132-144.
3. 이상진, 박관수, 이동근, 이은희, 장성완, 김명희, 김승호, 이항구, 장관우, 박범환, 윤준영, 권오정(2013) 서울여자대학교 옥상녹화 지역의 식물종 증감 및 토양환경 특성 변화. 한국환경복원 기술학회지 16(6): 109-117.
4. Yi K., C. Park, S. Ryu, K., Lee M, Yi, C. Kim, G. Park, R., Kim and Y. Son(2013) Simulating the soil carbon dynamics of Pinus densiflora forests in central Korea. Scandinavian Journal of Forest Research 29(3): 241-256.
5. Williams, B. and H. Richard(2010) Systems Concepts in Action: A Practitioner's Toolkit. Stanford Business Books: California.