

지속가능한 탄소 흡수 공원을 위한 적응적 녹지 관리 전략[†]

문태현*, 전진형**

*고려대학교 일반대학원 환경생태공학과 석사, **고려대학교 환경생태공학부 교수

1. 서론

도시공원은 사회 생태 시스템으로 복잡한 탄소 순환 동태성을 가진다. 탄소 흡수 공원은 시간의 흐름에 따라 유동적인 탄소 순환 동태성을 고려했을 때 탄소를 순 흡수하는 공원을 의미한다. 그러나 기후변화와 같은 교란은 탄소 순환 동태성에 영향을 미쳐 탄소 흡수 공원이 지속가능하지 않게 만들며 이에 대한 해결이 요구된다(McPherson et al., 2015; Kim et al., 2019). 녹지 관리는 식생에 직접적인 영향을 끼치는 행위로 기후변화로 인한 탄소 순환 동태성의 변화에 적응하는 전략이 될 수 있다. 하지만 기존의 녹지 관리는 탄소 순환 동태성과 같은 시스템 변화를 반영하기 어렵기에(Millward and Sabir, 2010; Aly and Dimitrijevic, 2022) 적응적 녹지 관리 전략과 같은 시스템의 유동적 변화를 모니터링하며 그에 적용할 수 있는 관리 전략이 필요하다. 시스템 다이내믹스는 시스템의 구조를 정량적으로 분석할 수 있어(Dyson and Chang, 2005; Marzouk and Azab, 2014) 적응적 녹지 관리 전략의 효과를 검증하는 데 이용할 수 있다. 따라서 본 연구는 시스템 다이내믹스 접근 방식을 통해 도시 공원의 탄소 순환 동태성을 분석하여 지속가능한 탄소 흡수 공원을 위한 적응적 녹지 관리 전략을 제안하는 것이다.

2. 연구방법

2.1 시스템 다이내믹스 모델 구축

도시 공원의 탄소 순환 동태성 구조는 선행연구 고찰을 통해 수립했다. 탄소 순환 동태성의 생태 시스템은 식생의 기능과 구조, 사회 시스템은 식재 관리와 유지관리로 분류되었다. 각 하위 시스템들은 서로 영향을 주고받는 복잡한 구조를 형성했으며 이를 기반으로 관련 변수와 수식을 수집하고 시스템 다이내믹스 모델을 구축했다. 시스템 다이내믹스 모델의 시간적 범위는 RCP 4.5 시나리오에 맞춰 2015년부터 2100년으로 설정했으며 의정부시 전체 공원들의 교목 및 잔디를 대상으로 진행했다.

2.2 적응적 녹지 관리 프로그램 및 시나리오 설정

적응적 녹지 관리 시나리오를 수립하기 이전에 적응적 녹지 관리 프로그램을 설정했다. 적응적 녹지 관리 프로그램은 1) 활엽수종 비율 변화 프로그램, 2) 잔디 면적 변화 프로그램, 3) 잔디 관리 강도 변화 프로그램, 4) 사회 참여 교목 관리 변화 프로그램으로 구성되었다. 시나리오는 생태적, 사회적, 경제적 가치를 증진할 수 있는 적응적 녹지 관리 프로그램을 조합하여 설정했다. 각 적응적 녹지 관리 프로그램은 생태적, 사회적, 경제적 가치를 비교하여 알맞은 시나리오에 배분되었다.

3. 연구결과

탄소 순환 동태성은 시간의 흐름에 따른 누적 순 탄소 흡수 양과 누적되지 않은 순 탄소 흡수량을 통해 분석되었다. 먼저 적응적 녹지 관리 전략을 도입하지 않은 기본 상태일 때 탄소 순환 동태성을 파악했다. 도시공원은 현재는 탄소 흡수 공원으로 기능하고 있지만 시간이 지나 2030년 이후부터는 탄소가 누적되지 않고 오히려 배출하는 것을 알 수 있었다. 각 시스템별로 살펴보면, 교목 시스템은 탄소 흡수원으로, 잔디 시스템은 탄소 배출원으로 작용하고 있었다(Jo et al., 2019; Park and Jo, 2021). 기후변화의 영향으로 인해 탄소 순환 동태성은 유동적인 형태를 보였으며 탄소 흡수는 감소하는 반면 탄소 배출은 증가하는 것으로 확인되었다.

3.1 적응적 녹지 관리 전략 프로그램의 효과

모든 적응적 녹지 관리 프로그램은 누적되지 않은 순 탄소 흡수 양에 따라 탄소 흡수 공원의 기능을 지속하지 못 함이 확인되었다. 잔디 면적을 감소한 프로그램은 유일하게 누적 탄소 흡수 양을 2100년까지 유지했지만, 누적되지 않은 순 탄소 흡수 양에 따르면 시간이 흐를수록 탄소 배출원으로 작용하는

[†] 이 논문은 2022년도 정부(해양수산부)의 재원으로 해양수산과학기술진흥원-블루카본 기반 기후변화 적응형 해안조성 기술개발 사업 지원을 받아 수행된 연구임 (KIMST-20220526).

것을 확인했다. 각 프로그램을 분석한 결과 탄소 흡수 증가를 위해서는 기후변화에 적응가능한 수종을 식재하는 것이 효과적이며 잔디와 교목 모두 관리 강도 감소보다는 나무를 증가시키거나 잔디를 감소시키는 것이 더 효과적인 것으로 나타났다.

3.2 적응적 녹지 관리 전략 시나리오의 효과

적응적 녹지 관리 프로그램과 마찬가지로 모든 시나리오는 누적되지 않는 탄소 흡수량의 관점에서 탄소 흡수 공원의 기능을 지속하지 못했다. 누적 순 탄소 흡수량 역시 생태적 가치를 증진한 시나리오만 2100년까지 흡수량을 유지했다. 사회적 가치를 증진한 시나리오는 세 시나리오 중 가장 낮은 탄소 흡수량으로 인해 2020년 이후부터 지속해서 탄소 배출원으로 작용했다.

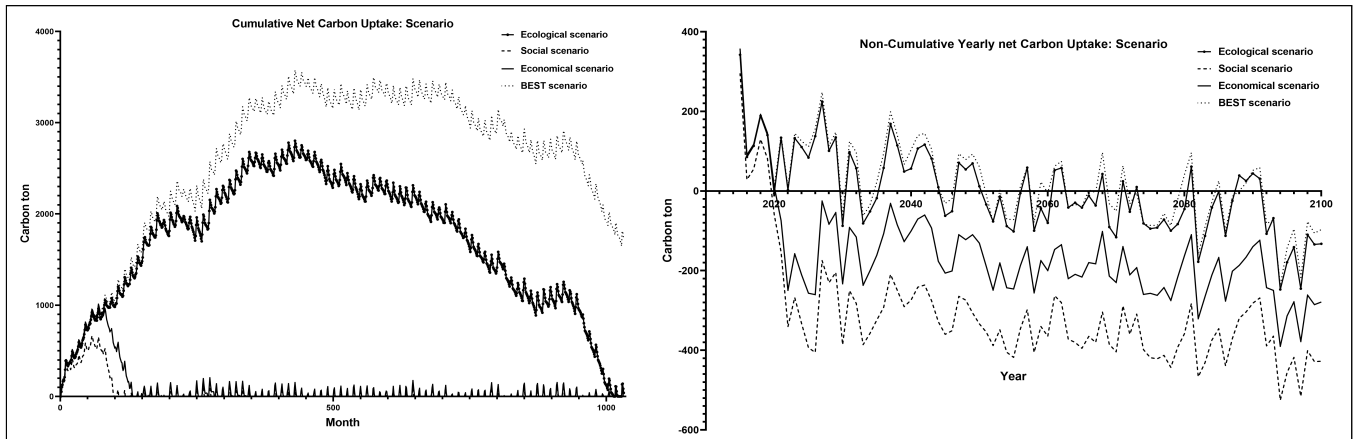


Figure 1. 적응적 녹지 관리 시나리오의 누적 순 탄소 흡수량 그래프(왼), 누적되지 않은 순 탄소 흡수량 그래프(오른)

4. 고찰 및 결론

본 연구는 지속가능한 탄소 흡수 공원을 위해 적응적 녹지 관리 전략의 효과를 탄소 순환 동태성 시스템 다이내믹스 모델을 통해 규명했다. 기후변화로 인한 탄소 순환 동태성의 유동은 프로그램의 효과에도 영향을 미친다. 예를 들어 기후변화로 인해 광합성률이 낮아지기 이전에는 탄소 배출 감소 프로그램(잔디 관리 강도 감소, 사회 참여 관리 비율 증가 프로그램)이 효과적이며 이후에는 탄소 흡수 증가 프로그램(활엽수종 증가, 잔디 면적 감소 프로그램)이 효과적이다. 경제적 시나리오에서 잔디 면적이 증가하는 것은 다른 탄소 흡수 증진 프로그램의 효과를 상쇄하며 잔디 면적의 증감의 중요성을 나타냈다. 본 연구에서 수립한 시나리오는 따라 각 대상지 공원별 추구하는 가치에 따라 시나리오를 선정하는 것에 도움이 될 수 있다. 그러나 각 적응적 녹지 관리 프로그램은 탄소 흡수 기능을 증가시킬수록 도시공원이 제공하는 다른 혜택과 상충하게 된다. 또한 탄소 흡수 공원의 기능을 지속할 수 있는 적응적 녹지 관리 프로그램 및 시나리오가 존재하지 않으므로 세부 프로그램의 변화가 요구된다.

참고문헌

- Aly, D. and B. Dimitrijevic(2022) Systems approach to the sustainable management of urban public parks. *Urban Forestry & Urban Greening* 68: 127482.
- Dyson, B. and N. B. Chang(2005) Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management* 25(7): 669-679.
- Jo, H. K., J. Y. Kim and H. M. Park(2019) Carbon reduction and planning strategies for urban parks in Seoul. *Urban Forestry & Urban Greening* 41: 48-54.
- Kim, Y., C. Park, K. A. Koo, M. K. Lee and D. K. Lee(2019) Evaluating multiple bioclimatic risks using Bayesian belief network to support urban tree management under climate change. *Urban Forestry & Urban Greening* 43: 126354.
- Marzouk, M. and S. Azab(2014) Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. *Resources, Conservation and Recycling* 82: 41-49.
- McPherson, E. G., A. Kendall and S. Albers(2015) Life cycle assessment of carbon dioxide for different arboricultural practices in Los Angeles, CA. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(2): 388-397.
- Millward, A. A. and S. Sabir(2010) Structure of a forested urban park: Implications for strategic management. *Journal of Environmental Management* 91(11): 2215-2224.
- Park, H. M. and H. K. Jo(2021) Ecological design and construction strategies through life cycle assessment of carbon budget for urban parks in Korea. *Forests* 12(10): 1399.