

선릉과 정릉 역사경관림의 i-Tree Eco 기반 탄소중립 효과 분석*

이재영* · 한정훈* · 손영혜* · 김태한**

*상명대학교 일반대학원 그린스마트학과 박사과정 · **상명대학교 그린스마트시티학과 교수

Analysis of the Carbon Neutrality Effects of the Joseon Royal Tombs Historical Landscape Forests Based on i-Tree Eco

Lee, Jae-Young* · Han, Jung-Hoon* · Son, Young-Hye* · Kim, Tae-Han**

*Ph.D Course, Dept. of Green Smart, Graduate School of Sangmyung University

**Professor, Dept. of Green Smart City, Sangmyung University

ABSTRACT

As climate change issues intensify, the importance of green spaces, a Nature-based Solution (NbS), is being emphasized for urban climate change adaptation. This study analyzes the carbon neutrality effects of the historical landscape forests of Seolleung and Jeongneung, large green spaces in urban areas, using the i-Tree Eco simulation. By doing so, the study underscores the significance of maintenance and management from a climate change adaptation perspective. For the simulation analysis, an inventory was established based on field-measured tree monitoring data of 10,643 trees within the study area, linked with climate data from nearby weather observation stations. The analysis results showed that the trees within the study area annually reduced air pollutants by 5,400 kg, stored 1,260 tons of carbon, and sequestered 98.23 tons of carbon. Additionally, since the study area primarily consists of forest species, it was found that it can secure relatively higher biomass accumulation compared to trees applied to street trees and park green spaces. This emphasizes the need for maintenance and management of historical landscape forests as urban resources that can contribute to national carbon neutrality due to their high forest structure integrity, in addition to their heritage preservation value.

Key words: Carbon emission mitigation, Carbon simulation, Climate change adaptation, Urban green space

국문초록

기후변화 문제가 심화되는 가운데, 자연기반해법(Nature based Solution, NbS)인 녹지공간의 중요성이 도심 내 기후변화 대응 측면에서 강조되고 있다. 본 연구는 i-Tree Eco 시뮬레이션을 기반으로 도심 대면적 녹지공간에 해당하는 선릉·정릉의 역사경관림에 대한 탄소중립 효과를 분석하여, 기후변화 대응 측면에서 유지·관리의 중요성을 강조하였다. 시뮬레이션 분석을 위해 대상지 내, 10,643주에 대한 현장 실측 수목 모니터링 자료를 기반으로 인벤토리를 구축하여, 주변 기상관측소의 기후자료를 연계하였다. 분석 결과, 대상지 내 수목에 의해 연간 대기오염물질 저감량 5,400kg, 탄소 저장량 1,260ton, 탄소격리량 98.23ton이 집계되었다. 또한, 대상지는 주로 산림 수종으로 이루어져 있어, 가로수, 공원녹지 등에 적용되는 수목에 비해 상대적으로 많은 바이오매스 축적량을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 이를 통해, 역사경관림의 유산적 보존가치 외에도 높은 산림구조의 건전성으로 인해 국가 탄소중립에 기여할 수 있는 도시자원으로 유지·관리의 필요성을 강조할 수 있었다.

주제어: 기후변화 대응, 도심 녹지, 탄소 시뮬레이션, 탄소배출 저감

* 본 연구는 2023년도 환경부(MOE)의 재원으로 한국환경산업기술원(KEITI)의 (녹색복원 특성화대학원 전문인력 양성사업)의 지원과 농촌진흥청연구사업(세부과제번호 PJ0170712022)의 지원으로 수행되었습니다.

† **Corresponding Author** : Kim, Tae-Han, Professor, Dept. of Green Smartcity, Graduate School of Green Smart, Sangmyung University, 31 Sangmyungdae-gil, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, South Korea. Tel.: +82-41-550-5303, E-mail : taehankim@smu.ac.kr

I. 배경 및 목적

지속적인 화석에너지의 사용에 따른 온실가스 배출로 인해 국제사회는 지구온난화에 기인한 기후변화 문제가 심화되고 있다. 우리 정부도 이에 대응하여 2022년 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 공포하여 기후위기 적응 대책 강화를 위해 녹색기술 및 녹색산업을 촉진하고 있다. 자연기반해법(Nature based Solution, NbS)측면에서 도심 내 녹지공간 확충은 온실가스 감축과 기후변화 적응 효과를 기대할 수 있다. 녹지는 도심 내 다양한 대기오염물질 제거와 탄소 저장 및 격리, 수질 개선, 토양 보존 등 다양한 생태계 서비스를 제공한다[1]. 도심 내 여러 녹지공간 중 역사문화유적인 역사경관림은 대면적 녹지공간이며, 과거 자연적으로 형성되었지만 생태적 천이와 인간의 간섭으로 변화되고 있는 숲이다(Lee et al., 2009). 최근 도시화로 인한 능역 경관의 왜곡 및 녹지 훼손이 발생하고 있어[3], 도심 내 대면적 녹지 공간에 해당하는 역사경관림은 국가유산으로서의 경관적 가치와 더불어 기후변화 대응 차원에서 체계적인 보존이 시급한 상황이다.

조선왕조실록에 의하면 능역 주변 수목의 중요성을 강조하며 임금이 직접 소나무와 전나무의 식재를 명한 사실을 확인할 수 있었다[5]. 또한, 능역 주변 수목의 관리를 위해 능참봉이라는 직책을 두어 수목의 현황 및 이상 유무를 보고하게 하였고, 훼손 시 그 책임을 물었다[4]. 2009년 조선왕릉 유네스코 세계유산 등재 후, 문화재청을 중심으로 '세계유산 조선왕릉 보존·관리·활용 중장기계획 수립 연구'가 진행되었으며, 조선왕릉 내 식생구조 변화와 역사경관림 현황을 분석하여, 보존·관리·정비 계획 수립 등 왕릉 주변 녹지 보존을 위한 체계적인 관리가 이루어지고 있다[6].

한편, 유네스코는 세계유산 산림의 정량화된 기후변화 대응 효과를 규명하기 위해, 2001~2020년 동안 산림 탄소 흡수량을 집계하여 미래 탄소 흡수원으로써 수목의 중요성과 보호 필요성을 강조하였다[7]. 이를 위해 유네스코는 등재된 대면적 산림지의 통합 화재 관리 프로그램을 시행하고, 산림 보호가 상대적으로 미흡한 경계 지역에 완충지대를 조성할 수 있도록 권고하고 있다.

UNESCO는 도심 내 세계유산의 보존 관리를 위해 온실가스 배출 감소에 의한 탄소 중립을 실현할 수 있는 기후변화 대응 방안을 요구하고 있다. 이를 위해 유산 관리의 지속가능성에 기여할 수 있도록 기후변화 대응 방안 관련 정책에 주변 수역 및 녹지 지역의 계획 관리를 통합하는 권고사항과 'CULTURE 2030'과 같은 국제 협약이 마련되어 있다[8]. 따라서, 도심 경관자원 중 대면적 녹지공간으로 해석할 수 있는

도심에 소재한 조선왕릉도 역사경관림의 역할 외에 기후변화 대응 측면에서 지속적인 탄소중립 기여를 위해 보다 체계적인 관리가 요구된다.

반면, 도심에 소재한 역사경관림에 대한 생태학적 이점과 탄소중립 효과에 대한 연구는 미비한 상황이다. 도시림의 탄소저장 및 격리량은 토지이용현황에 따라 매우 상이하여 통계적으로 제공되는 온실가스 인벤토리로 추정하기 어렵다. 미국 산림청(US Forest Service, USFS)은 도시림이 제공하는 생태적 서비스와 가치 평가 및 환경 영향을 단계적으로 정량화하는 i-Tree Tools를 제공하여, 도시림 정책 수립에 활용하고 있다[9]. 이는 타 국가도 활용할 수 있는 의사결정 지원을 위한 공간정보 플랫폼으로 수목의 바이오매스 추정을 통해 현실적인 탄소중립 효과를 모의할 수 있다. 다만, 바이오매스 산정에 요구되는 단위 수목의 실측 자료가 요구되어 토지이용변화 및 수목 성장에 따른 지속적인 모니터링이 요구된다.

본 연구는 USFS의 i-Tree Tools 중 단위 수목 모니터링 자료를 기반으로 탄소저장량과 격리량을 추정할 수 있는 Eco 사용하여, 도심 내 조선왕릉의 기후변화 대응 효과를 제시하려 한다. 이를 통해 역사경관림의 유산적 가치 외에 기후변화 대응 측면의 관리 중요성을 도출하여, 해당 유산의 다원적 기능에 부합하는 정책적 의사결정을 지원할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 대상지 현황

본 연구의 대상지는 서울 강남구 삼성동에 소재한 선릉·정릉으로 2009년 UNESCO 세계문화유산에 등재된 조선 제9대 왕과 왕비의 능(선릉), 제11대 왕의 능(정릉)이 조성된 사적 제199호이다(그림 1). 총면적은 약 24ha로 주요 식생은 갈참나무 군락, 소나무 군락, 소나무 조림지, 오리나무 군락 등으로 이루어져 있으며, 갈참나무와 소나무가 우점종이다[6]. 선릉·정릉의 녹지 면적은 전체 면적의 85.42%로 역사경관림 72.31%, 능역공간 13.11%로 이루어져 있다[6]. 왕릉 일대는 지속적인 관리와 보존으로 다양한 수종에 의해 높은 생태적 가치를 지니고 있다[8]. 또한, 선릉·정릉은 도심 속 주거 및 상업 공간으로 둘러싸인 산림 형태로 도시의 경관적 가치도 높게 평가되고 있다[2]. 선릉·정릉은 서울시 소재 공원의 평균 면적 5.5ha 대비 4배 이상인 행정 경계상 가장 큰 단일 녹지 공간으로 도심 내 오염물질 저감과 기후변화 대응 측면에서 가치가 높을 것으로 판단된다[10].

표 1. i-Tree Eco 내 대상지 정보 입력

Category 1	Category 2	Inputs
Location	Nation	Republic of Korea
	County	Gangnam-gu/Samseong-dong
	Population	40,425
	Wether and Pollution	station ID: 2020(471105-99999)

Ⅲ. 분석 방법

1. i-Tree Eco, USFS

USFS의 i-Tree Eco는 도시공간 유형별 식재 및 녹화 정책 수립을 위한 의사결정 지원에 활용할 수 있는 시뮬레이션 도구이다. 지역별 대기오염 및 기상데이터를 연계하여 수목에 의한 대기오염 저감량, 탄소저장 및 격리량, 산소 발생량 등을



그림 1. 선릉·정릉(카카오맵)



그림 2. 대상지 토지이용



그림 3. 대상지 주변 기상 및 대기오염 관측소

도출하여, 도시립 구조 및 환경 영향을 정량화할 수 있는 데이터를 제공한다. 시뮬레이션의 신뢰성 확보를 위해 수목의 개별 실측에 의한 현장조사 지침을 수록한 수목 모니터링 가이드라인(Field Data Collection Manual)을 준용하고 있다.

i-Tree Eco 시뮬레이션 프로세스와 산정 모델은 기술서(i-Tree Eco Field Guide v6.0, 2019)를 통해 특정하고 있다. NRS(Northern Research Station)에서 개발된 UFORE(Urban Forest Effects)모델은 Model A~E까지 총 5가지로 각 도시립 구조(Model A), 생체 휘발성유기화합물 배출(Model B), 탄소저장 및 격리(C), 대기오염 물질 저감(D), 에너지 보존(E)으로 분류된다. 각 모델은 현장 실측기반 수목 모니터링과 대상지 주변 기상데이터를 연계하여 종합적인 도시립 구조와 수목 관련 환경 영향을 정량화한다[11]. 단위 수목의 탄소저장량 및 격리량, 대기오염물질 저감량 추정은 Model A, C, D이 적용된다.

Model A는 단위 수목의 엽면적지수(Leaf Area Index, LAI)를 산정하여 엽면적을 유추하고, 단위 수목의 건조중량을 반영하여 바이오매스를 추정하는 모델로서 현장 모니터링을 기반으로 대상지 수목의 종 구성, 수목 밀도, 수목 건강과 일반 정보가 요구된다. 엽면적은 개별 수목의 수집된 일사면(Crown Light Exposure, CLE) 값에 따라 개방형 또는 폐쇄형 캐노피 방정식을 적용한다.

Model C는 산출된 개별 수목의 건조중량 바이오매스와 수목 상태에 따른 평균 성장 모델을 활용하여 연간 탄소 저장 및 격리량을 추정하는 모델이다. 수목이 고사할 경우, 성장으로 조직에 축적된 지상부 및 지하부 탄소가 대기 중으로 방출되는데, 해당 탄소 배출량을 탄소 저장량으로 추정한다. 토지 이용 변화에 따른 수목의 바이오매스 편차 보정을 위해 건조중량 바이오매스를 기준으로 0.5배의 보정계수가 적용된다. 탄소격리량은 수목이 흡수하는 이산화탄소량을 의미하며, 수목의 성장률을 반영한 연간 순 탄소저장량을 연간 탄소격리량으로 추정한다. 수목 성장률은 미국 미네소타 표준을 적용한 0.83cm/yr이 준용[11]되었으며, 수목의 성장환경 조건 설정을 위해 CLE이 반영되었다.

Model D는 실측 모니터링으로 단위 수목의 오존(O₃), 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 미세먼지(PM_{2.5-10}) 저감효과를 추정한다. O₃, SO₂, NO₂ 등의 가스상 오염물질은 HBMCMD(Hybrid of Big-leaf and Multi-layer Canopy Deposition Models)을 준용하여 엽면적 대비 증산작용과 시간당 캐노피 저장값으로 산정된다[12]. 반면, 잎의 증산과 직접적인 관련이 없는 CO와 PM_{2.5-10}의 경우, 대기 모니터링 데이터를 기반으로 비강수 기간 동안 개별 수목의 건조 퇴적량을 추적하고, 건식침적 모델을 적용하여 오염물질 제거량이 산출된다[13].

공통적으로 UFORE 모델은 단위 수목의 실측 모니터링이 요구되며, 측정항목은 흉고직경(Diameter at Breast Height, DBH), 수고(Total Height), 수관폭(Crown Width), 고사지(Dieback), 일사면(Crown Light Exposure, CLE), 수관건강(Crown Missing) 등으로 모델 유형에 따른 산정 체계에 반영되도록 인벤토리로 구축된다.

2. 시뮬레이션 설계

본 연구는 선릉·정릉의 역사경관림의 탄소중립 효과와 대기오염물질 저감량을 추정하기 위해 UFORE Model A, C, D를 적용하여 결과를 도출하였다. 대상지의 기상 현황과 대기오염 농도 정보는 i-Tree Eco 플랫폼과 연동된 권역 기상관측소 데이터가 적용되었다. 수목 모니터링 정보는 문화재청 '조선왕릉 수목 실측 조사 자료'[6]와 '조선왕릉 역사문화 경관림 자원조사'[14]를 참고하였으며, 해당 해석모델이 교목에만 한정되어 관목, 초화류, 지피류는 제외하였다. 기존 모니터링이 단위 수목의 바이오매스 추정을 고려하지 않아 흉고직경, 수고만 실측값을 적용하였고, 고사지, 일사면, 수관 건강은 i-Tree Eco 초기설정값을 준용하였다. 수관 폭은 '주요 조경수 품질기분 및 평가방법'[15]에서 정의된 수고와 수관의 비율에 따른 품질 기준 중 A등급에 해당하는 비율을 반영하였다. 구축된 수목 인벤토리는 시뮬레이션을 위해 측정 항목별 단위를 매칭하고, 최종 Mapping 과정을 거쳐 분석을 수행하였다.

IV. 분석 결과

1. 역사경관림 내 수목 특성

선릉·정릉의 역사경관림 중 교목 10,643주를 대상으로 i-Tree Eco 시뮬레이션한 결과, 수목 중 가장 많은 개체는 소나무(35.2%), 오리나무(18.9%), 갈참나무(17.2%) 순으로 집계되었으며, 이는 모두 산림 수종[10]으로 전체 수목의 약 71.3%로 집계되었다. 수목은 식생 환경과 생육상태에 따라 바이오매스 축적량이 상이하며, 주로 산림 수종이 조경수에 비해 높은 바이오매스 축적량을 가진다고 보고되고 있다[17]. 이를 통해, 도심 내에 위치한 대상지의 수목 구성은 상대적으로 높은 바이오매스 축적량을 예측할 수 있다. 흉고직경은 0~7.6cm에서 45.7~61cm까지 다양하게 분포하였으며, 전체 수목 중 흉고직경 15.2~61cm에 해당하는 수목은 67.8%로 집계되었다(그림 4). 수목에 의한 환경개선 효과는 흉고직경 20cm 이상부터 유의미한 것으로 보고된 바 있어[17], 대상지

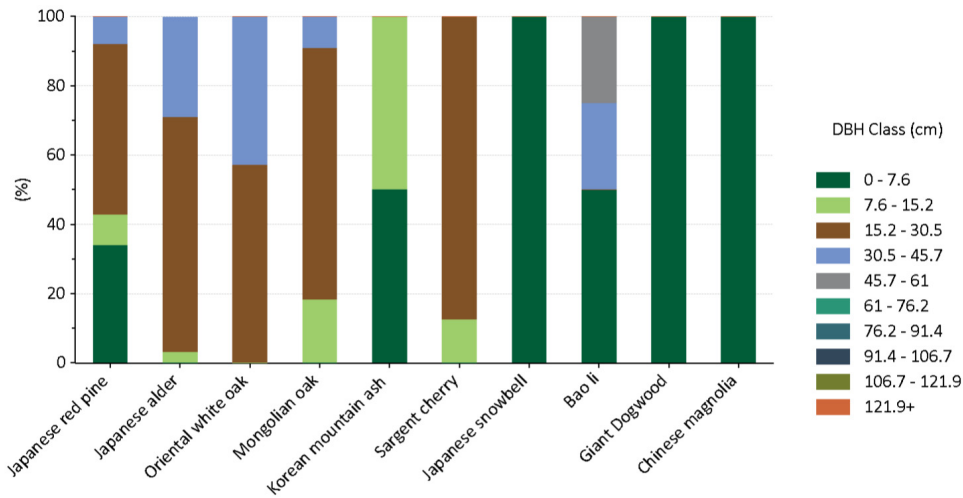


그림 4. 수종별 흉고직경 분포

표 2. 수종별 개체수 및 엽면적

Species	Tree Numbers	Population (%)	Leaf Area (%)
Japanese red pine	3,745	35.2	19.3
Japanese Alder	2,015	18.9	29.9
Oriental white oak	1,828	17.2	29.0
Monglian oak	715	6.7	10.0
Sargent cherry	520	4.9	6.6
Korean mountain ash	650	6.1	1.1
Japanese snowbell	520	4.9	0.2
Bao li	260	2.4	2.3
Sawtooth oak	65	0.6	1.2
Giant Dogwood	130	1.2	0.1
Chinese magnolia	65	0.1	-
Quercus crispula	65	0.1	-
Asiatic sweetleaf	65	0.1	-

내 대부분의 수목이 탄소 저장·격리 및 대기 오염물질 저감에 기여하는 것으로 볼 수 있다. 엽면적의 경우, 오리나무(29.9%), 갈참나무(29%), 소나무(19.3%) 순으로 산정되었다(표 2). 수목 측정항목이 동일한 경우, 엽면적이 대기오염물질 저감효과와 탄소포집 효과에 직접 비례하는 선행연구[18]가 보고된 바 있어, 환경개선 효과에 중요하게 작용할 것으로 예상된다.

2. 대기오염물질 저감량

선릉·정릉 역사경관림 내 수목은 대기오염물질을 연간 약 5,400kg/yr 저감하였으며, 물질별로 일산화탄소(CO)169.4kg/yr, 오존(O₃)2771.1kg/yr, 이산화질소(NO₂)1237.2kg/yr,

이산화황(SO₂)300.3kg/yr, PM₁₀ 884.4 kg/yr, PM_{2.5} 53.8kg/yr가 집계되었다(표 3). 대기오염물질에 대한 수목의 저감은 주로 잎 표면의 흡착 기작에 의해 이루어지며, 이로써 공기 흐름에 의한 오염물질의 확산이 제한된다. 흡착된 물질은 일부 수목에 의해 흡수되기도 하지만, 대부분은 대기 중으로 재 현탁 되거나, 비에 씻겨 나가 저감된다[19]. 즉, 넓은 엽면적을 가진 수종일 수록 상대적으로 높은 대기오염물질 저감효과를 기대할 수 있다. 선릉·정릉 역사경관림 내 수종 중 연간 가장 많은 대기오염물질 저감 수종은 오리나무로 1.62ton/yr의 저감량이 확인되었다. 오리나무의 개체수는 우점종인 소나무 대비 16.3%p 적는데 반해, 54.9% 더 넓은 엽면적을 가지고 있어 대상지 내 수목 중 가장 많이 대기오염물질을 저감한 것으로 판단된다. 반면, 단위 수목별 연간 총 저

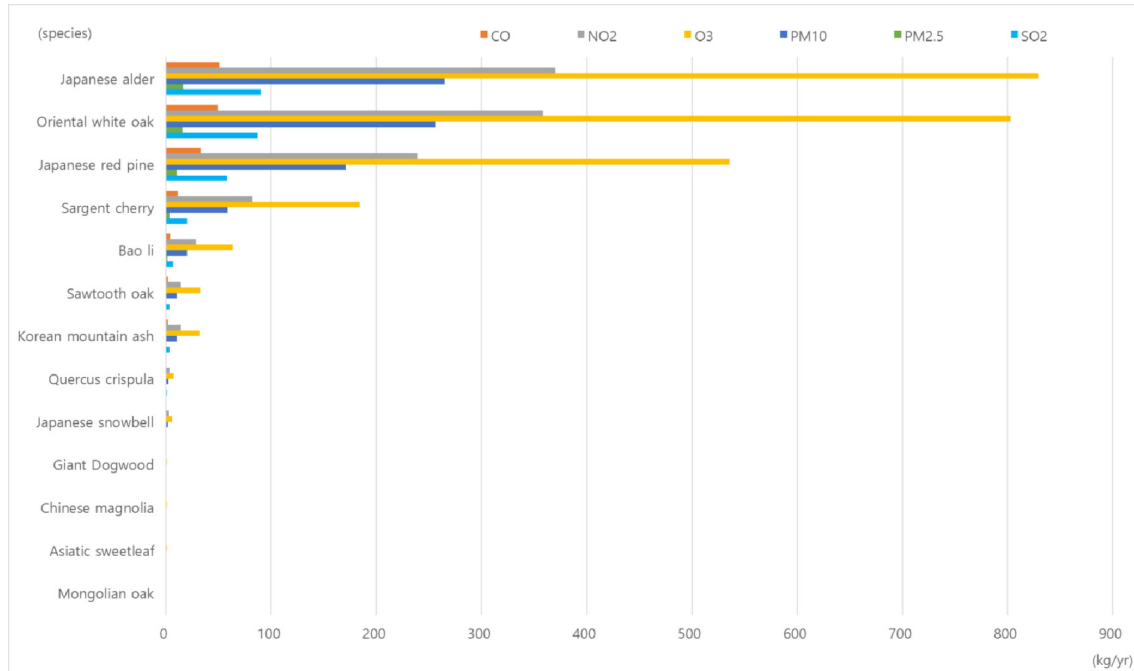


그림 5. 수종별 연간 대기오염물질 저감량

표 3. 수종별 연간 대기오염물질 저감량

Species	Population(%)	Leaf Area(%)	CO(kg)	NO ₂ (kg)	O ₃ (kg)	PM _{2.5} (kg)	PM ₁₀ (kg)	SO ₂ (kg)
Japanese red pine	35.2	19.3	32.7	239.1	535.5	10.4	170.9	58.0
Japanese Alder	18.9	29.9	50.7	370.1	829.0	16.1	264.6	89.8
Oriental white oak	17.2	29.0	49.1	358.5	803.0	15.6	256.3	87.0
Monglian oak	6.7	10.0	16.9	123.4	276.3	5.4	88.2	29.9
Sargent cherry	4.9	6.6	11.2	82.2	184.0	3.6	58.7	19.9
Korean mountain ash	6.1	1.1	1.9	14.2	31.9	0.6	10.2	3.5
Japanese snowbell	4.9	0.2	0.4	2.6	5.9	0.1	1.9	0.6
Bao li	2.4	2.3	3.9	28.2	63.3	1.2	20.2	6.9
Sawtooth oak	0.6	1.2	2.0	14.4	32.2	0.6	10.3	3.5
Giant Dogwood	1.2	0.1	0.1	0.5	1.1	0.0	0.4	0.1

감량은 대기오염물질별로 O₃ 0.26kg/yr, NO₂ 0.11kg/yr, PM₁₀ 0.08kg/yr, CO 0.02kg/yr, SO₂ 0.02kg/yr이 집계되어 O₃가 가장 많았으며, PM_{2.5}는 유의미한 저감량이 확인되지 않았다.

3. 탄소 저장 및 격리량

수목은 매년 성장함에 따라 탄소를 격리하여 대기 중 탄소를 저감하며, 체내에 축적될 수 있는 탄소는 수목의 크기와 건강에 따라 증가하게 된다. 수목이 고사하거나 부패하게 되면 체내에 축적했던 탄소의 대부분이 대기 중으로 재방출되

기 때문에 개체별 탄소 저장량은 수목의 고사 시 방출되는 탄소의 양을 나타낸다[24]. i-Tree Eco 시뮬레이션 결과, 선릉·정릉 역사경관립 내 수목은 연간 98.23ton의 탄소를 격리하며, 1,260ton의 탄소를 저장하는 것으로 집계되었다(표 4). 연간 탄소저장량은 갈참나무(533.7ton/yr), 오리나무(209.6ton/yr), 소나무(195ton/yr) 순으로 산정되었으며, 갈참나무는 총 탄소저장량의 약 42.4%로 기록되었다. 역사경관립에 의한 자치구의 연간 탄소배출 저감률은 2023년 기준 연간 탄소 배출량 (2,113,104ton)[21]의 약 0.06%로 집계되었다. 이는 선행연구[22]에서 집계된 수원시 가로수의 단위 수목별 탄소저감량 0.095ton/주 대비 24.2% 많은

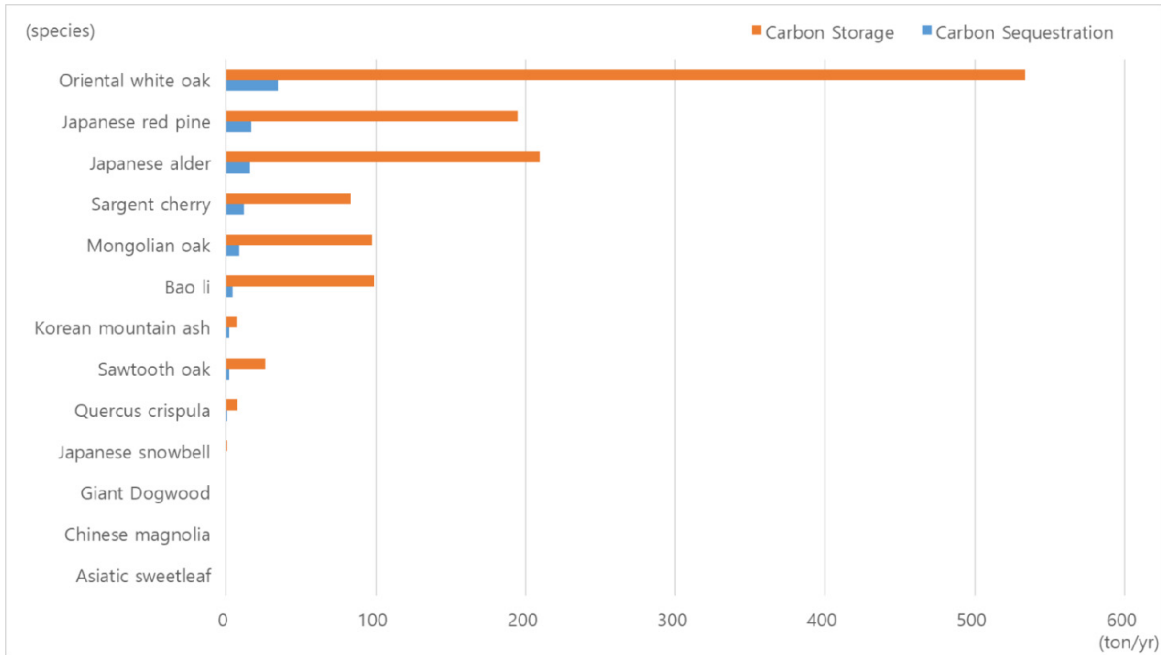


그림 6. 수종별 연간 탄소 저장 및 격리량

0.118ton/주였으며, 단위 수목별 탄소격리량은 0.007ton/주 대비 28.6% 많은 0.009ton/주로 산정되었다. 단위 수목별 탄소 저장량은 대상지 내 활엽수의 경우, 수원시 가로수 대비 41.2% 더 많았으며, 침엽수는 수원시 가로수가 역사경관림과 비교하여 34.62% 더 많았다(그림 7, 8). 탄소격리량은 수원시 가로수 대비 대상지의 활엽수와 침엽수가 각각 42.8%, 20% 더 많은 것으로 확인되었다[22]. 대상지 내 침엽수는 소나무가 우점하지만, 수원시 가로수 침엽수의 경우, 약 57%가 메타세쿼이아로 구성되었다. 메타세쿼이아는 낙엽침엽수로 동일한 수령과 흉고직경 조건일 때 소나무와 같은 기타 침엽수에 비

해 약 2배 높은 탄소 저장량이 확인[23]된 바 있어, 본 연구에서도 선행연구와 유의한 결과가 집계되었다.

V. 결론

본 연구는 i-Tree Eco 시뮬레이션을 통해 선릉·정릉 역사경관림의 대기오염물질 저감량과 더불어 탄소 저장량 및 격리량을 산정하였다. 시뮬레이션 결과, 대상 역사경관림은 연간 5.4ton의 대기오염물질을 제거하고, 1,260ton의 탄소를 저장하며, 98.23ton의 탄소를 격리하는 것으로 모의되었다. 이는 대상지가 서울시 내 가장 큰 단일 녹지공간으로 해당 자치단체의 2023년 기준 연간 탄소 배출량(2,113,104ton) 대비 0.06%를 저감한 것으로 분석되었다.

본 연구의 단위 수목별 탄소 저장량은 선행연구[22] 0.095ton/주 대비 24.2% 많은 0.118ton/주였으며, 단위 수목별 탄소격리량은 0.007ton/주 대비 28.6% 많은 0.009ton/주로 산정되었다. 이는 선행연구의 대상지인 수원시 가로수가 대상지의 식생 환경과 생육상태에 비해 적은 바이오매스 축적량을 보인 것으로 분석할 수 있었다.

연구결과를 참조하여, 도심 내 대면적 녹지공간을 조성할 경우, 탄소중립 및 대기오염물질 저감 측면에서 다음과 같은 고려사항을 검토할 수 있다. 우선, 수목에 의한 탄소저장량은 성장에 의해 조직에 축적된 탄소가 고사 또는 부패하면서 대기 중으로 재방출되는 양으로 정의할 수 있어, 수목 상태를 건

표 4. 수종별 연간 탄소 저장 및 격리량

Species	Carbon Storage (ton)	Carbon Sequestration (ton)
Japanese red pine	32.7	239.1
Japanese Alder	50.7	370.1
Oriental white oak	49.1	358.5
Monglian oak	16.9	123.4
Sargent cherry	11.2	82.2
Korean mountain ash	1.9	14.2
Japanese snowbell	0.4	2.6
Bao li	3.9	28.2
Sawtooth oak	2.0	14.4
Giant Dogwood	0.1	0.5

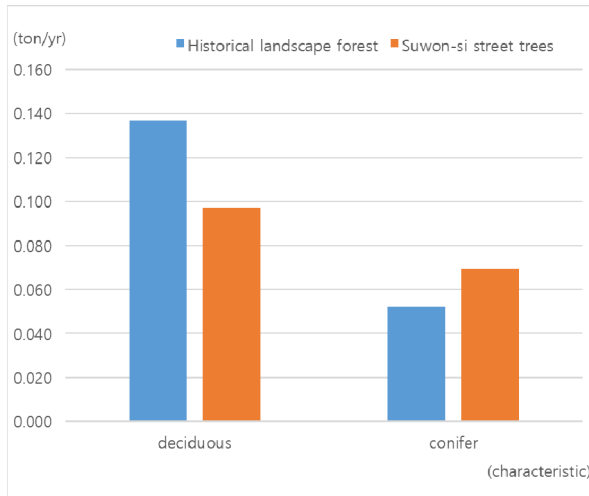


그림 7. 대상지 및 수목 성상별 탄소저장량 비교

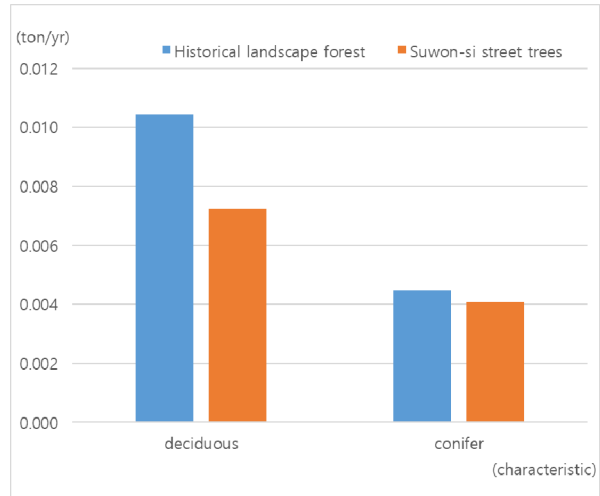


그림 8. 대상지 및 수목 성상별 탄소격리량 비교

전하게 유지하여야 지속적인 탄소 저장이 가능하다[24]. 또한, 수목은 흉고직경이 약 20cm 이상일 때 탄소 흡수 및 대기오염물질 저감효과를 기대할 수 있다[17]. 선릉·정릉의 역사경관림은 흉고직경 15.2cm 이상의 수목이 약 68%로 집계되어, 탄소저장 및 대기오염물질 저감에 효과적인 것으로 판단된다. 마지막으로 선행연구의 가로수 수종대비 대상지의 산림 수종은 상대적으로 높은 바이오매스 축적률을 예상[17]할 수 있어, 탄소 중립 측면에서 역사경관림이 우수한 것으로 평가할 수 있다.

따라서, 도심 내 역사경관림은 문화유산으로의 가치 외에도 일반적인 공원녹지에 비해 탄소 흡수원의 기능이 우수한 산림 구조로 이루어져, 이에 대한 지속적인 관리 및 보존이 더욱 강조될 수 있다. 또한, 능역 주변 수목 중 소나무와 전나무의 식재를 강조한 조선왕조실록의 기록을 고찰하면, 선릉·정릉의 경우, 다수의 소나무가 확인되는 반면, 탄소저장 및 격리 측면에서 우수하지 않아 이에 대한 논의가 요구된다. 다만, 본 연구에 적용된 수목 인벤토리는 측정자료 미비로 인하여 정확한 바이오매스 추정이 제한적이었다. 이를 보완하기 위한 연구가 후속되어야 하며, 국가 탄소중립 정책과 연동된 체계적인 역사경관림 관리방안이 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] Song, Y., Song, X., and Shao, G.(2020). Effects of Green Space Patterns on Urban Thermal Environment at Multiple Spatial-Temporal Scales, *Sustainability*, 12(17): 11-21.

[2] Choi, J. H.(2019). An Actual Condition and Management Plan of Historical Cultural Forest in Joseon Royal Tombs Seolleung and Jeongneung, *Journal of Korean Institute of Traditional Landscape Architecture*, 37(3): 13-21.

[3] Nam, J. H., Kim, H. S., Jo, H. E.(2016). Improvement Methods for the Management System of the Royal Tombs of the Joseon Dynasty located in Gyeonggi Province, *Gyeonggi Research Institute*.

[4] Shin, H. S., Lee, W. H.(2011). A Study on the Landscape Architecture Historical Significance of Reung Chambong in the Joseon Dynasty, *Journal of Korean Institute of Traditional Landscape Architecture*, 29(2): 139-148.

[5] 태종실록 16권, 태종 8년 11월 26일(경오) 1번째 기사

[6] Park, Y. A., Son, J. J., Choi, G. M., Kim, J. W., Go, E. J., Kim, J. S., and Han, S. M.(2021). Research Report on the Survey of Trees in the Central Region of the Royal Tombs of the Joseon Dynasty, *Cultural Heritage Administration*.

[7] UNESCO(2021). World Heritage forests Carbon sinks under pressure.

[8] UNESCO(2023). Urban Heritage for Resilience.

[9] Grant, A., Milward, A. A., Edge, S., Roman, L. A., and Teelucksingh, C.(2022). Where is environmental justice? A review of US urban forest management plans, *ELSEVIER - Urban Forestry & Urban Greening*, 77: 127737

[10] Kim, G. H., Lee, Y. G., Lee, D. G., and Kim, B. J.(2016). Analyzing the Cooling Effect of Urban Green Areas by Using the Multiple Observation Network in the Seonjeongneung Region of Seoul, Korea, *Journal of Environmental Science International*, 25(11): 1475 - 1484.

[11] U-FORE,(2003). U-FORE Methods

[12] Baldocchi, D. D., Hicks, B. B., and Camara, P.(1987). A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces, *Elsevier - Atmospheric Environment*(1967), 21(1): 91-101.

[13] Nowak, D. J., Mchale, P. J., Ibarra, M., Crane, M., Stevens, J. C., and Luley, C. J.(1998). Modeling the Effects of Urban Vegetation on Air Pollution, *SpringerLink - Air Pollution Modeling and Its Application XII*, 22: 399-407.

[14] 2016 Research on the Historical and Cultural Landscape Forest Resources of the Joseon Royal Tomb(2016). *Joseon Royal*

- Tombs Management Office, Cultural Heritage Administration.
- [15] Korea Landscape Tree Association(2014). Quality Standards and Evaluation Methods for Major Landscape Trees.
- [16] Kim, K. M.(2013). Distribution of Major Tree Species in Korea, National Institute of Forest Science.
- [17] Gyeonggi Research Institute(2002). Improvement Plan for the Planting and Management of Street Trees in Gyeonggi Province.
- [18] Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L., and Nowak, D.(2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France, Elsevier - Urban Forestry & Urban Greening, 17(1): 192-201.
- [19] Nowak, D. J., Crane, D. E., and Stevens, J. C.(2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, Elsevier - Urban Forestry & Urban Greening, 4(3-4): 115-123.
- [20] Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., and Ibarra, M.(2002). Brooklyn's urban forest, United States Department of Agriculture.
- [21] Seoul Metropolitan Energy Information, 2023 Greenhouse Gas Emissions Statistics for Gangnam District, Seoul
- [22] Na, Y. R., Lee, D. G., and Kim, T. J.(2022). Application of i-Tree Eco for Ecological Evaluation of Street Trees, Journal of the Korean Society of Hazard mitigation, 22(2): 15-25.
- [23] Park, E. J.(2009). Quantification of CO2 Uptake by Urban Trees and Greenspace Management for C Sequestration, Gyeonggi Research Institute.
- [24] Nowak, D. J., and Crane, D. E.(2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA, Elsevier - Environmental Pollution, 116(3): 381-389.

원 고 접 수 일: 2024년 5월 30일
심 사 일: 2024년 6월 6일 (1차)
게 재 확 정 일: 2024년 6월 27일
3인 익명 심사필, 1인 영문 abstract 교정필