

ORIGINAL ARTICLE

# 진주성 역사경관림의 생태계서비스에 기반한 공간 분포 특성

조서영 · 김명성<sup>1)</sup> · 문현식<sup>2)\*</sup>

경상국립대학교 산림자원학과, <sup>1)</sup>경상국립대학교 산림환경자원학과, <sup>2)</sup>경상국립대학교 농업생명과학연구원

## Spatial Analysis of Ecosystem Service Distribution in the Historic Landscape Forest of Jinju Fortress

Seo-Yeong Jo, Myung-Sung Kim<sup>1)</sup>, Hyun-Shik Moon<sup>2)\*</sup>

Department of Forest Resources, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>1)</sup>Department of Forest Environmental Resources, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>2)</sup>Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

### ABSTRACT

This study analyzed the tree structure, total ecosystem services, and spatial distribution patterns of the historical forest within the Jinju Fortress. A total of 822 trees were recorded in the study area, with a canopy cover of 1.272 ha. *Pinus densiflora* (17.8%) and *Zelkova serrata* (17.2%) accounted for the largest proportion of individuals. However, when the leaf area ratio and importance values were considered, *Z. serrata* had the highest values (leaf area, 40.7%; IV, 57.8). This indicates a difference between the dominance based on tree number and the actual functional contribution. The estimated ecosystem services included annual air pollutant removal of 123.1 kg/yr (KRW 8.31 million/yr), carbon storage of 200.7 t (KRW 138 million), annual carbon sequestration of 8.834 t/yr (KRW 6.09 million/yr), oxygen production of 23.56 t/yr. They avoided a runoff reduction of 10.41 m<sup>3</sup>/yr (KRW 29,000/yr). The spatial analysis results showed that air pollutant removal was concentrated in the front area of the National Jinju Museum. In contrast, carbon storage was distributed around the major city gates and Yeongnampojeongsa. Carbon sequestration was concentrated locally around the Yeongnampojeongsa gatehouse, oxygen production was linearly distributed along the northern ridge, and runoff reduction was highest along the fortress wall slopes and ridges. This study confirms that the ecosystem services of historic landscape forests form distinct spatial structures based on their functions.

**Key words** : i-Tree Eco, Ecosystem services, Grid-based analysis, Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation

### 1. 서 론

기후변화의 가속화와 함께 폭염, 집중호우, 미세먼지 등 환경 오염 문제가 심화되면서 도시 환경의 회복력 증진이 중요한 과제로 대두되고 있다(IPCC, 2021). 특히 IPCC 제6차 평가보고서 완화부문은 온실가스 배출의

지속적 증가가 극한기상 현상의 빈도와 강도를 증폭시키고 있으며, 에너지 부문의 구조적 전환과 도시 차원의 감축 노력이 필수적임을 강조하고 있다(Son et al., 2022). 산업화 이후 기후변화와 대기오염 등 환경문제가 심화되면서 기존 기술 중심의 문제 해결 방식의 한계가 지적되고 있으며, 이에 대한 대안으로 자연기반해법

Received 16 March, 2026; Revised 14 April, 2026;

Accepted 15 April, 2026

\*Corresponding author : Hyun-Shik Moon, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea  
Phone : +82-55-772-1855  
E-mail : hsmoon@gnu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(nature-based solutions)이 강조되고 있다(Myung and Oh, 2021).

도시숲이 제공하는 기능은 생태계서비스(ecosystem services)의 개념을 통해 설명된다(Millennium Ecosystem Assessment, 2005). 생태계서비스는 기후변화 대응의 두 축인 완화와 적응 전략에서 중요한 역할을 수행하며, 특히 조절서비스는 온실가스 흡수 및 기후 조절 기능을 통해 기후변화 완화와 적응에 기여한다(Locatelli, 2016). 생태계서비스를 수치화하여 정량적으로 제시하면 기후변화 대응 정책의 방향 설정에 구체적인 자료를 바탕으로 근거를 마련할 수 있다.

이와 같은 평가에는 i-Tree Eco가 평가 도구로 이용되고 있다. i-Tree Eco는 개체목 단위의 생체량과 엽면적을 기반으로 생태계서비스 가치를 산정하는 대표적인 도시림 평가 도구로, 해외에서는 Kyoto 가로수를 대상으로 i-Tree Eco를 적용하여 생태계서비스를 정량화하고 도시 정책의 근거 자료로 활용한 연구가 수행되었다(Tan et al., 2021). 국내에서도 한국형 i-Tree Eco를 활용하여 도시숲의 대기오염물질 제거량, 탄소 저장 및 흡수량 등을 평가하고 모형의 적용 가능성을 검토한 연구가 보고되었다(Choi et al., 2023). 또한 선릉·정릉 역사경관림을 대상으로 한 연구에서는 i-Tree Eco 시뮬레이션을 통해 탄소중립 효과를 분석하고, 역사경관림의 유지·관리 필요성을 기후변화 대응 관점에서 제시하였다(Lee et al., 2024). 선행연구들은 도시 녹지가 문화적·경관적 자산을 넘어 기후변화에 대응하는 자원으로서의 가치에 주목하였으나, 대상지 전체의 생태계서비스 총량 제시에 머물러 있다. 즉, 수종별 기여 양상이나 기능이 공간 내에서 어떻게 배치되고 집중되는지에 대한 연구는 아주 적다. 최근에는 i-Tree Eco 결과에 공간보간기법을 결합하여 도시림 생태계서비스의 공간 패턴을 분석하려는 시도가 이루어지고 있으며(Xie et al., 2023), 이러한 시도들은 공간 단위의 정보를 바탕으로 관리 전략을 구체화할 수 있다는 것을 통해 실질적인 활용 가능성을 보여준다. 따라서 개체목에 기반한 i-Tree Eco 산출 결과를 활용하여 역사경관림의 생태계서비스를 격자 단위로 재구성하고, 기능별 공간 분포 특성을 비교·분석한 연구가 필요하다.

역사경관림은 문화유산적 가치와 생태적 기능이 함께 존재하는 공간이다. 따라서 전체 총량을 제시하는 것이 그치지 않고, 기능이 집중되는 구역과 상대적으로 낮

은 구역을 구분하는 공간적 해석이 필요하다. 이에 본 연구는 진주성 역사경관림을 대상으로 i-Tree Eco 분석 결과를 격자 단위로 재정리하고, 기능별 공간 분포 특성을 분석하여 생태계서비스의 공간적 차이를 밝히고자 한다. 이를 통해 총량 중심 연구의 범위를 확장하고, 역사경관림의 관리 방향과 기후변화 대응 정책 수립에 활용될 수 있는 기초 자료를 제시하고자 한다.

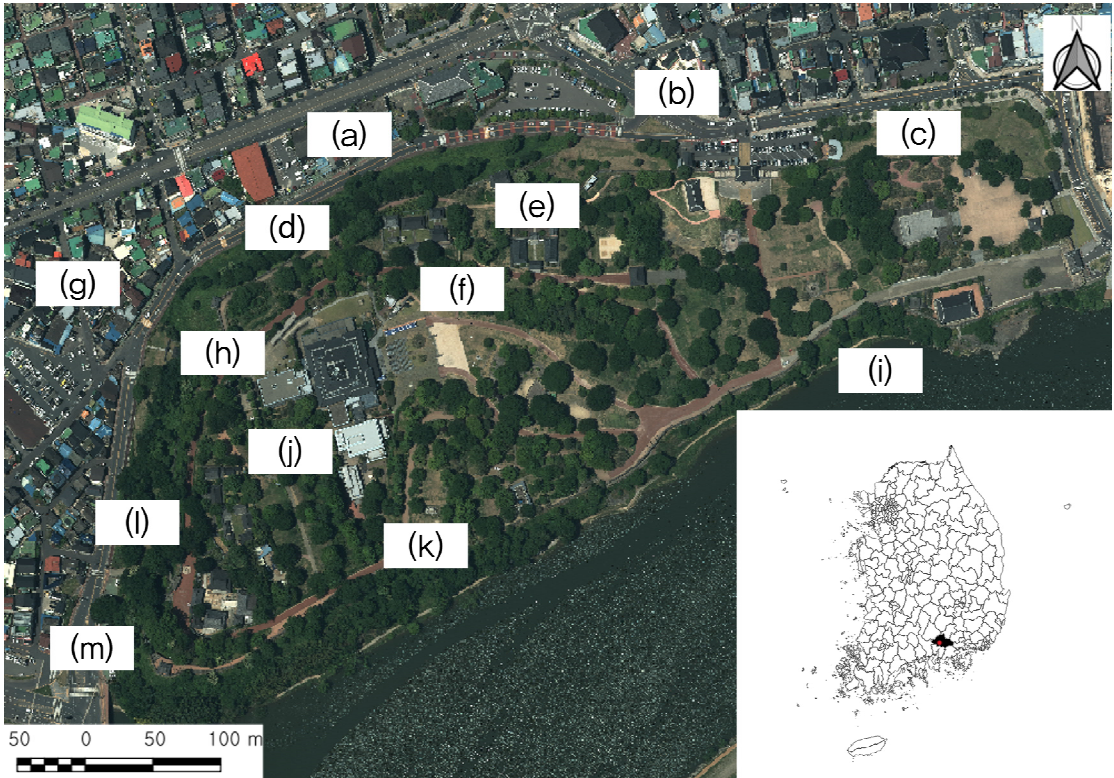
## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구 대상지

본 연구의 대상지는 경상남도 진주시 남강로 626에 위치한 진주성(Jinju Fortress)으로, 사적 제118호로 지정된 국가 문화유산이다(Fig. 1). 진주성의 면적은 약 176,804 m<sup>2</sup>(약 17.6 ha)이며, 성곽의 둘레는 약 1.7 km에 달한다. 진주성은 진주시 도심부에 위치하면서 남강과 인접한 입지 조건을 지니고 있어, 도시화된 환경 속에서도 비교적 연속적인 녹지 공간을 유지하고 있는 것이 특징이다.

진주성은 남강의 곡류 과정에서 형성된 독립 구릉 위에 입지한 성곽으로, 남측은 남강을 따라 급경사의 절벽 지형이 발달하고 북측은 상대적으로 완만한 지형이 형성되어 있다. 이러한 지형적 조건은 자연 지형을 적극적으로 활용한 방어적 입지 형성에 기여하였으며, 성곽과 하천, 구릉이 유기적으로 결합된 전통 성곽 공간 구조를 이루고 있는 것으로 해석된다(Cho, 2016). 또한 진주성 내부에는 축석루, 창렬사, 의기사 등 주요 문화재가 분포해 있으며, 이들 시설을 중심으로 역사적·의례적·행정적 기능이 반영된 공간 구성이 형성되어 왔다. 근대 이후에는 공원화 과정이 진행되면서 기존의 역사적 공간 구조 위에 수목 식재와 개방 공간이 더해져, 현재의 진주성은 문화유산 공간이자 시민 이용을 고려한 공원형 녹지 공간의 성격을 동시에 지니는 복합적 공간으로 인식되고 있다(Jung et al., 2009).

본 연구에서는 이러한 공간적·지형적 특성을 지닌 진주성 성곽 내부와 성곽을 따라 조성된 주변 완충 녹지에 분포한 수목을 조사 대상으로 설정하였다. 이를 통해 역사문화공간인 진주성이 제공하는 탄소 저장을 포함한 생태계서비스를 정량적으로 평가하고, 전통적 유산 공간이 현대 도시 환경에서 수행하는 생태적 기능을 분석하고자 하였다.



**Fig. 1.** The location map of study area. (a) Bukjangdae, (b) Gongbungmun, (c) Chokseongmun, (d) Poru, (e) Statue of General Kim Si-min, (f) Yeongnampojeongsa, (g) Seomun, (h) Changnyeolsa, (i) Chokseongnu, (j) National Jinju Museum, (k) Performance Stage, (l) Hoguksa, (m) Seojangdae.

**2.2. 현장조사 및 자료 수집**

i-Tree Eco (i-Tree Eco v6.0) 분석을 위한 현장 조사는 수목의 생육이 안정적이며 낙엽이 시작되기 이전 시기인 2025년 6월부터 10월까지 실시하였다. 진주성 내 흉고직경 6 cm 이상의 교목을 대상으로 전수 조사하여 자료를 수집하였다. 개별 수목의 공간 위치 정보는 국토지리정보원에서 제공하는 항공사진을 기반으로 확인하였으며, QGIS (ver. 3.4) 환경에서 수목 위치를 포인트 형태로 입력하여 수목 인벤토리 지도를 구축하였다. 수목 조사 항목과 측정 방법은 i-Tree Eco v6.0 현장 조사 가이드라인에 따라 수행하였다.

수중은 현장에서 식물도감을 참고하여 동정하였으며, 흉고직경은 지면으로부터 약 1.2 m 높이에서 직경 테이프를 이용해 측정하였다. 수고와 지하고, 수관폭은 측고기(haglof vertex hypsometer, Vertex 5-BT-

360)를 사용하여 측정하였다. 또한 모델 산출 결과의 신뢰도를 높이기 위해 수관의 생육 상태를 반영하는 지표로서 수관 고사율과 광합성 효율에 영향을 미치는 광투과율을 함께 조사하였다. 이들 항목은 제8차 국가산림자원조사 및 산림의 건강·활력도 조사(2022) 지침에서 제시한 5점 척도 기준에 따라 평가하였다. 수관 고사율 및 광투과율은 i-Tree Eco 모델의 입력 변수로 활용되었으며, 수고 및 흉고직경 등의 수목 구조 변수와 함께 모델의 산출 정확도 향상을 위한 보조 입력 데이터로 사용되었다.

**2.3. 생태계서비스 분석**

본 연구에서는 i-Tree Eco 분석을 통해 개목 단위로 산출된 생태계서비스 결과를 바탕으로 진주성 내 수목이 제공하는 환경적 기능을 정량적으로 분석하였다.

**Table 1.** i-Tree Eco ecosystem service analysis: formulas, parameters, and references

Analysis item	Key formula	Key parameters	References
Pollution removal	$F = C \times Vd$ $Vd = 1/(Ra+Rb+Rc)$ $1/Rc = 1/(rs+rm) + 1/rt$	CO canopy resistance (Rc): 50,000 s/m (with leaf), 1,000,000 s/m (without leaf)	Baldocchi et al.(1987)
		Leaf resistance (rm): SO <sub>2</sub> =0, O <sub>3</sub> =10, NO <sub>2</sub> =100 s/m	Baldocchi(1988)
		Cuticular resistance (rt): SO <sub>2</sub> =8,000, O <sub>3</sub> =10,000, NO <sub>2</sub> =20,000 s/m	Wesely(1989)
		PM <sub>10</sub> deposition velocity: 0.064 m/s (resuspension rate 50%)	Hosker and Lindberg(1982)
		PM <sub>2.5</sub> deposition velocity: wind speed 0.00~2.11 cm/s	Lovett(1994) Bidwell and Fraser(1972) Nowak et al.(2013)
Carbon storage	$Biomass = A \cdot X^B$ $Cs = Biomass \times 0.5$ Open-grown: $(Biomass \times 0.8) \times 0.5$	Carbon content: 50% of dry weight (0.5)	Nowak and Crane(2000)
		Open-grown tree correction factor: 0.8	Nowak(1994)
			Nowak et al.(2013)
Carbon sequestration	$Cseq = C(t+1) - C(t)$ (DBH(t+1) recalculated after applying annual growth rate)	Growth rate: standard growth rate applied by species, diameter class, and tree condition	Lin et al.(2020)
		Corrected by light exposure (CLE) and crown health condition	Nowak et al.(2008)
Oxygen production	$O_2(kg/yr)$ $= Cseq(kg/yr) \times 32/12$	O <sub>2</sub> molecular weight: 32 C atomic weight: 12 → Approximately 2.67 kg of oxygen released per 1 kg of carbon sequestered	Choi et al.(2025)
Oxygen production	$I_{max} = SL \times LAI$ $\Delta R = R(no\_veg) - R(veg)$	Water storage capacity per unit leaf area (SL): 0.2 mm	Hirabayashi(2012) Wang et al.(2008) McPherson et al.(1999~2010)
Replacement value	$V = P \times A \times S \times C \times L$	P: Basic unit price per cross-sectional area (₩/cm <sup>2</sup> ) A: Basal area (cm <sup>2</sup> ) S: Species factor (0~1) C: Condition factor (0~1) L: Location factor (0~1)	CTLA(1992) Nowak et al.(2002) Choi et al.(2025)

분석 대상 생태계서비스 항목은 탄소 저장, 탄소 격리, 산소 생산, 대기오염물질 제거, 구조자산가치, 우수 유출 저감량으로 설정하였다(Nowak and Crane, 2000; Choi et al., 2025; Table 1).

탄소 저장량은 수목의 지상 및 지하 바이오매스를 기반으로 하여 수종별 상대성장식으로 추정된 총 건중량에 탄소 전환계수 0.5를 적용하여 계산된다. 이는 식물 바이오매스의 평균 탄소 함량을 반영한 것으로, 도시 수목과 산림 수목의 탄소 저장량 산정에 널리 활용되어 온 방식이다(Chow and Rolfe, 1989; Nowak and Crane, 2002). 연간 탄소 격리량은 현재 연도의 탄소 저장량과 다음 연도의 예측 저장량 간 차이를 통해 산출되며, 이 과정에서 수목의 생장률과 건강 상태, 고사율

이 함께 고려된다(Nowak, 1994; Choi et al., 2025).

산소 생산량은 순탄소 격리량을 기반으로 탄소와 산소의 분자량 비율을 적용하여 추정된다. 즉, 연간 순탄소 격리량에 32/12의 비율을 곱하여 순산소 생산량을 산출하며, 이는 광합성 과정에서 탄소 고정과 산소 방출의 화학적 관계에 근거한 계산 방식이다(Nowak et al., 2007).

대기오염물질 제거량은 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 오존(O<sub>3</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>)를 대상으로 하며, 대기 중 오염물질 농도와 수관의 침강속도를 곱한 값을 통해 산정된다. 이때 침강속도는 공기역학적 저항, 준층류 경계층 저항, 수관층 저항을 결합한 다층 캐노피 침강 모델을 기반으로

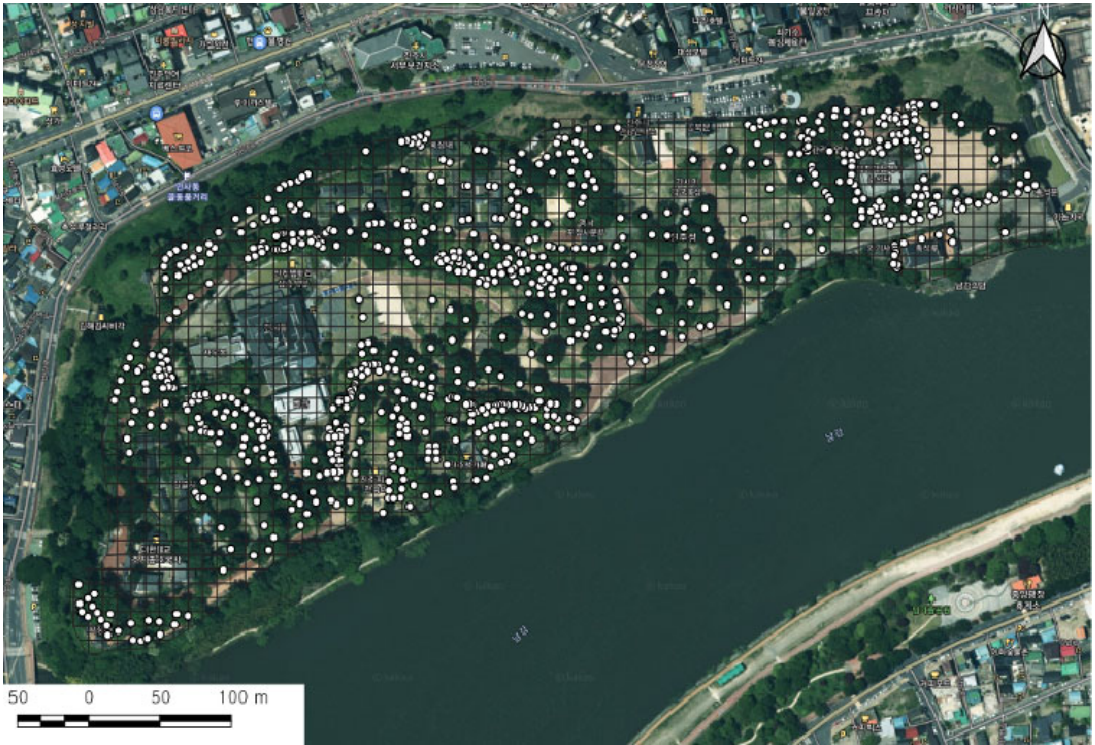


Fig. 2. Overlay of analysis grid and tree locations of the study area.

계산되며, 기상 조건과 수목의 생리적 특성이 함께 반영된다(Baldocchi et al., 1987; Baldocchi, 1988; Nowak et al., 2006). 미세먼지와 일산화탄소의 경우 증산과의 직접적 연관성이 낮아 잎의 존재 여부와 잎면적에 따라 조정된 평균 제거율을 적용하여 추정한다(Bidwell and Fraser, 1972; Nowak et al., 2013).

우수 유출 저감량은 수목의 잎과 수관에 의한 강우 차단 효과를 기반으로 산정되며, 식생이 존재할 경우와 존재하지 않을 경우의 연간 표면 유출량 차이를 통해 계산되며 i-Tree Eco에서는 잎에 의한 강우 차단량을 중심으로 유출 저감 효과를 추정하며, 이는 도시 홍수 완화 및 수문 순환 조절 기능 평가에 활용되어 왔다(McPherson et al., 2001; Nowak et al., 2006).

구조자산가치는 분석 대상 수목을 동일하거나 유사한 수목으로 교체하는 데 소요되는 비용을 의미하며, 수종, 흉고직경, 수목 상태, 입지 조건 등을 고려한 CTLA 평가 체계를 기반으로 산정된다. 이는 수목을 단순한 생물량이 아닌 도시 자산으로 인식하고 그 경제적 가치를

정량화하기 위한 지표로 활용된다(Nowak et al., 2002; Choi et al., 2025).

#### 2.4. 공간 분석 및 시각화

본 연구에서 i-Tree Eco를 이용해 산출된 생태계서비스 값을 공간적으로 재해석하기 위해 GIS기반 공간 분석을 실시하였다. i-Tree Eco 결과 값은 개체목 중심의 점 자료이기 때문에, 직관적으로 대상지 내부의 기능과 분포 양상을 파악하기에 어려움이 있다. 따라서, 점 단위 개체목 데이터를 공간 분석을 통해 역사경관림 내 생태계서비스 분포와 구조를 시각적으로 분석하고자 하였다. 공간 데이터 구축과 처리는 QGIS에서 수행하였다. 탄소저장량, 탄소 격리량, 대기오염물질 제거량 등 주요 지표들과 수목 위치 좌표와 결합하여 분석 자료로 활용하여 역거리 가중 보간법(inverse distance weighting, IDW)을 적용하여 점 자료의 공간적 연속성을 확보하여 시각적 자료를 구축하였다. IDW의 구조는 예측값 산정 시 인접 관측 지점과의 거

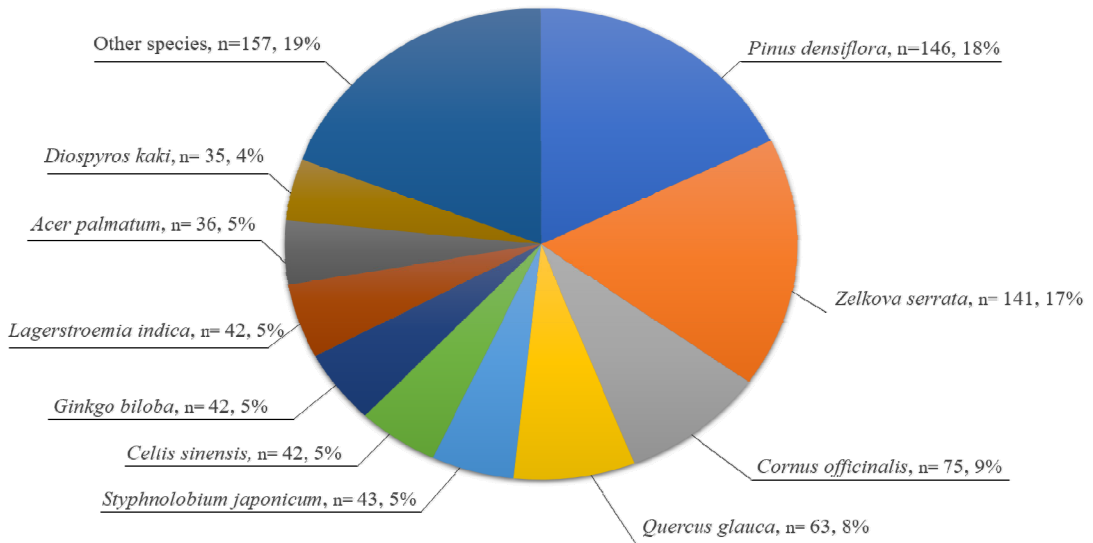


Fig. 3. Species composition of the study area.

Table 2. Importance values (IV) of major species in the study area

Species	Population (%)	Leaf area (%)	IV
<i>Zelkova serrata</i>	17.2	40.7	57.8
<i>Pinus densiflora</i>	17.8	5.9	23.7
<i>Quercus glauca</i>	7.7	10.7	18.4
<i>Celtis sinensis</i>	5.1	11.8	16.9
<i>Ginkgo biloba</i>	5.1	7.0	12.1
<i>Cornus officinalis</i>	9.1	0.8	9.9
<i>Styphnolobium japonicum</i>	5.2	3.1	8.4
<i>Quercus myrsinifolia</i>	2.8	5.0	7.8
<i>Chionanthus retusus</i>	3.3	2.7	6.0
<i>Lagerstroemia indica</i>	5.1	0.7	5.8
Other species	21.1	11.6	33.0

Table 3. Structural characteristics and ecosystem service totals in the study area

Ecosystem service	Value(KRW/yr)
Number of trees	822
Tree cover	1.272
Replacement values	1.63 billion
Pollution removal (kg/yr)	123.1 (₩8.31 million/yr)
Carbon storage (t)	200.7 (₩138 million)
Carbon sequestration (t/yr)	8.834 (₩6.09 million/yr)
Oxygen production (t/yr)	23.56
Avoided runoff (mm <sup>3</sup> /yr)	10.41 (₩29.3 thousand/yr)

리를 가중치로 반영하는 방식으로, 거리 감소에 따라 영향력이 체감된다. 이러한 방법은 관측 지점 분포와 대상지 규모를 고려할 때 국지적 변동성을 표현하는데 적절한 것으로 보고된 바 있으며(Lee and Choi, 2023), i-Tree Eco 결과의 공간 패턴 해석에도 활용된 사례가 있다(Xie et al., 2023).

연구 대상지를 정방형 셀(10 m × 10 m)로 분할하고, 각 셀에 포함된 수목의 i-Tree Eco 산정값을 합산하여 격자 단위의 생태계서비스 값을 도출하였다. 10 m × 10 m 격자 크기는 진주성 조사 수목의 평균 수관폭(4.0 m)을 고려하여 설정하였다. 평균 수관폭 4 m를 기준으로 할 때 하나의 격자 내에 2~3개체의 수관이 포함될 수 있는 규모로, 개체목 단위 점 자료를 공간적으로 집계하기에 적합한 해상도이다. 또한 진주성 전체 면적(176,804 m<sup>2</sup>)과 총 수목 수(822주)를 고려할 때, 공간 해상도와 집계 단위 간의 균형을 확보하면서 IDW 보간 결과와 격자 집계 결과를 병행 비교할 수 있는 적정 단위로 판단하였으며, 선행연구(Xie et al., 2023)의 조사 플롯(20 m × 20 m) 대비 세밀한 해상도로 설정하였다.

본 연구에는 GIS기반 공간분석, IDW 보간, 격자 분석을 단계적으로 수행하여 역사경관림 내부 생태계서비스의 공간적 비균등 분포 특성을 체계적으로 규명하고자 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 수목의 구조적 특성과 식생 구성

진주성 내 수목의 구조적 특성과 식생 구성을 파악하기 위해 수종별 개체수 분포, 엽면적 비율을 종합적으로 분석하였다(Fig. 3, Table 2). 분석 결과, 진주성의 수목 구성은 단일 수종에 의한 우점 구조보다는 여러 주요 수종이 혼재된 다수 우점(multi-dominant) 구조를 보이는 것으로 나타났다. 수종별 개체수 분포를 살펴보면, 소나무(*Pinus densiflora*)와 느티나무(*Zelkova serrata*)가 각각 17.8%와 17.2%를 차지하며 가장 높은 비율을 보였다(Fig. 3). 그 다음으로는 산수유(*Cornus officinalis*, 9.1%), 종가시나무(*Quercus glauca*, 7.7%), 팽나무(*Celtis sinensis*, 5.1%), 은행나무(*Ginkgo biloba*, 5.1%), 회화나무(*Styphnolobium japonicum*, 5.2%), 배롱나무(*Lagerstroemia indica*, 5.1%) 등이 주요 구성 수종으로 나타났다. 기타 수종은

전체 개체수의 21.1%를 차지하여, 진주성 도시림이 비교적 높은 수종 다양성을 지니고 있음을 보여준다.

엽면적 비율과 중요도 지수(IV)도 수종에 따라 뚜렷하게 보인다(Table 2). 느티나무는 개체수 비율이 17.2%임에도 불구하고 엽면적 비율이 40.7%로 매우 높게 나타나 가장 높은 중요도 지수(IV=57.8)를 기록하였다. 이는 해당 수종이 진주성 도시림의 구조적·기능적 중심 수종임을 의미한다. 반면 소나무는 가장 높은 개체수 비율을 보였으나 엽면적 비율은 5.9%에 그쳐 중요도 지수는 23.7로 상대적으로 낮게 나타났다.

본 연구는 개체수 기준으로 소나무와 느티나무가 공동 우점하는 구조를 보이지만, 엽면적과 수목 크기를 고려할 경우 느티나무를 중심으로 한 대경 활엽수종이 숲의 기능적 핵심을 형성하고 있었다. 이는 진주성의 생태계서비스가 단순한 수목 수량이 아니라 수목의 구조적 성숙도와 수종 특성에 의해 크게 좌우됨을 시사하며, 이후 제시되는 탄소 저장, 대기오염물질 제거, 산소 생산 기능 분석의 해석을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

#### 3.2. 생태계서비스 총량

생태계서비스 총량 분석 결과, 연간 대기오염물질 제거량은 123.1 kg/yr으로 산정되었으며, 이에 따른 경제적 가치는 약 8.31백만 원으로 평가되었다(Table 3). 오존(O<sub>3</sub>), 질소산화물(NO<sub>2</sub>), 미세먼지(PM<sub>2.5</sub> 및 PM<sub>10</sub>) 등이 주요 제거 대상 오염물질로 포함되며, 이는 도시 대기질 개선 측면에서 역사경관림이 실질적 기능을 수행하고 있음을 의미한다.

탄소 관련 지표를 살펴보면, 총 탄소 저장량은 200.7 t으로 나타났으며, 경제적 가치는 약 1억 3,800만 원으로 산정되었다. 이는 현재 수목이 보유하고 있는 누적 생체량 기반 탄소 축적 규모를 의미한다. 또한 연간 탄소 격리량은 8.834 t/yr(약 609만 원/yr)으로 나타났으며, 이는 대상지가 매년 추가적으로 흡수하는 탄소량을 보여준다. 저장량과 격리량을 함께 고려할 때, 진주성 역사경관림은 장기적 탄소 저장 자원으로 기능함과 동시에 지속적인 기후변화 완화 기능을 수행하고 있는 것으로 해석된다.

연간 산소 생산량은 23.56 t/yr으로 추정되었다. 이는 탄소 격리량과 연동되는 생태계 대사 과정의 결과로 이해할 수 있으며, 보조적 생태계서비스 지표로서의 의미를 가진다.

우수 유출 저감량은 연간 10.41 m<sup>3</sup>/yr로 산정되었

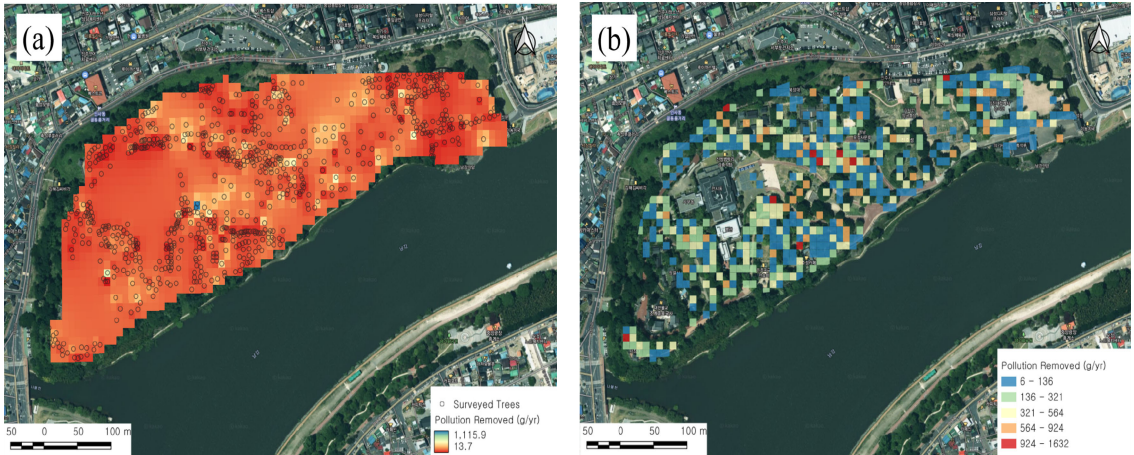


Fig. 4. Spatial distribution of air pollutants removal. (a) Continuous distribution using IDW interpolation, (b) Quantitative assessment based on 10 m × 10 m grid cells.

Table 4. Top-ranked grid cells for air pollutant removal

Grid location	Key species (Tree ID)	DBH (cm)	Removal (g/yr)
Front of National Jinju Museum	<i>Celtis sinensis</i> (465)	55.0	1,632.4
Front of National Jinju Museum	<i>Celtis sinensis</i> (822)	118.0	1,076.4
Gongbungmun	<i>Quercus glauca</i> (8, 9, 10)	50.7 / 46.2 / 52.7	315.7 / 359.5 / 309.6

으며, 이에 따른 경제적 가치는 약 2만 9천 원/yr 수준으로 평가되었다. 이는 강우 시 수관 차단 및 증발산 작용을 통해 지표 유출을 완화하는 기능을 정량화한 결과이다. 절대 규모는 크지 않으나, 기후변화로 인한 집중호우 빈도 증가를 고려할 때 도시 회복력 측면에서 의미를 갖는다.

종합하면, 진주성 역사경관림은 중·대경목 중심의 안정적 구조를 기반으로 상당한 탄소 저장량을 유지하고 있으며, 연간 탄소 격리, 대기오염물질 제거, 우수 유출 완화 등의 기능을 복합적으로 수행하는 도시 녹색 인프라로 평가된다. 이러한 총량 분석 결과는 이후 격자 기반 공간 분포 분석의 기초 자료로 활용된다.

### 3.3. 공간 보간 및 격자 분석

#### 3.3.1. 대기오염물질 제거

역거리 가중 보간(IDW) 결과, 진주성 내 대기오염물질 제거 기능은 공간적으로 균일하지 않고 특정 구역에 뚜렷한 집중 양상을 보였다(Fig. 4a). 특히 국립진주박물관 정면 일대에서 고값의 연속적 분포가 형성된 반면,

성곽 내부 중앙부 및 일부 외곽 구역은 상대적으로 낮은 제거량을 나타내어 기능의 공간적 불균형이 확인되었다. 이러한 공간적 불균등성은 도시 단위에서 생태계서비스가 고·저집중 구역으로 구분된다고 보고한 Xie et al.(2023)의 연구 결과와 유사한 양상이다. Xie et al.(2023)은 i-Tree Eco 결과를 공간 보간하여 연속 표면으로 확장한 후, 고·저집중 구역을 도출함으로써 도시 내 생태계서비스의 공간적 이질성을 규명하였다. 본 연구 또한 IDW 보간을 통해 점 단위 결과를 연속적 분포로 전환함으로써, 역사경관림 내부에서도 기능의 집중과 분산 구조가 나타남을 확인하였다. 이는 대기오염물질 제거 기능이 단순한 녹지 면적의 확산 효과가 아니라, 대형 활엽수의 분포와 군락 구조에 의해 지배됨을 시사한다.

격자 기반 정량 분석에서도 이러한 경향은 일관되게 나타났다(Fig. 4b, Table 4). 최상위 등급 격자는 국립진주박물관 전면에 집중되었으며, 일부 격자는 단일 대형목에 의해 등급이 결정되는 특성을 보였다. 예를 들어, 팽나무(Tree ID 465, 822)와 같이 흉고직경과

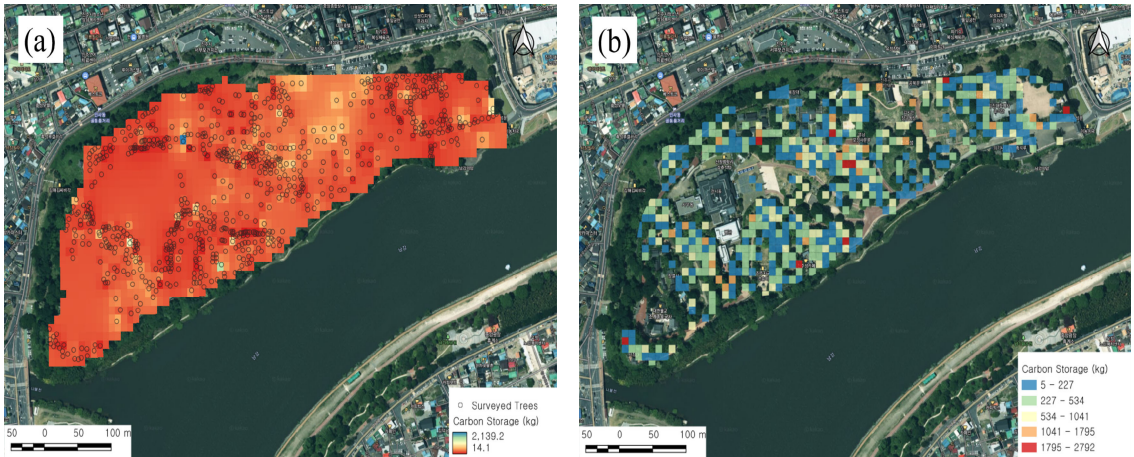


Fig. 5. Spatial distribution of carbon storage. (a) Continuous distribution using IDW interpolation, (b) Quantitative assessment based on 10 m × 10 m grid cells.

Table 5. Top-ranked grid cells for carbon storage

Grid location	Key species (Tree ID)	DBH (cm)	Storage (kg)
Yeongnampojeongsa	<i>Styphnolobium japonicum</i> (240)	55.3	1,723.9
Seomun	<i>Quercus acutissima</i> (771)	78.2	1,944.7
Gongbungmun	<i>Zelkova serrata</i> (588)	121.8	2,766.9
Chokseongmun	<i>Zelkova serrata</i> (55)	120.9	2,719.3

수관 규모가 큰 개체는 단독으로도 해당 격자의 제거량을 상위 수준으로 견인하였다. 반면 종가시나무(ID 8, 9, 10) 사례에서와 같이 개체당 제거량이 중간 수준이라 하더라도 동일 격자 내 높은 개체 밀도는 누적 효과를 통해 등급 상승에 기여하였다. 이는 대기오염물질 제거 hotspot이 엽면적이 큰 수종의 우점, 대경목의 존재, 군락 밀도의 중첩 효과에 의해 형성됨을 보여준다. 그러나 이러한 기능 집중 구조는 관리 측면에서 양면성을 가진다. 상위 20% 수목이 전체 제거량의 과반을 담당하는 파레토 구조는 핵심 구역의 기능적 중요성을 강조하는 동시에, 대형목의 고사 또는 구조적 훼손 시 전체 기능이 급격히 저하될 수 있는 잠재적 취약성을 내포한다. 따라서 국립진주박물관 일대는 단순한 경관 중심 공간이 아닌, 대기오염물질 저감 기능의 전략적 핵심 구역으로 설정하고, 대형 활엽수의 생육 안정성 확보와 군락 구조의 유지가 병행되어야 할 것이다.

### 3.3.2 탄소저장량

탄소 저장량의 IDW 보간을 통해 가장 높은 저장 밀도는 영남포정사 상부 구역에서 확인되었으며, 이는 성곽 내 대경목이 집중된 공간과 일치하였다(Fig. 5a). 반면, 격자 분석 결과에서는 고저장량 격자가 단일 지점에 집중되기보다는 서문, 공북문, 축석문, 국립진주박물관 전면 등 주요 결절점을 중심으로 분산되어 나타났다(Fig. 5b, Table 5). 이러한 차이는 IDW가 인접 개체의 영향을 연속적으로 확산시키는 방식인 반면, 격자 분석은 셀 단위 합산 구조를 적용함에 따라 저장 기능의 거점 분산성이 보다 명확히 드러난 결과로 해석된다. 이러한 공간 패턴은 탄소 저장 기능이 개체의 현재 성장 속도보다는 장기간 축적된 바이오매스, 즉 수령과 흉고직경에 크게 의존함을 반영한다. 실제로 최상위 격자를 구성한 주요 개체들은 느티나무, 은행나무, 상수리나무 등 대경목 위주의 수종으로, 역사적 경관 형성과 함께 오랜 기간 관리·보존되어 온 수목들이다.

대기오염물질 제거 기능이 특정 공간에 집중되는 경향을 보인 것과 달리, 탄소 저장 기능은 성곽 전반에 걸

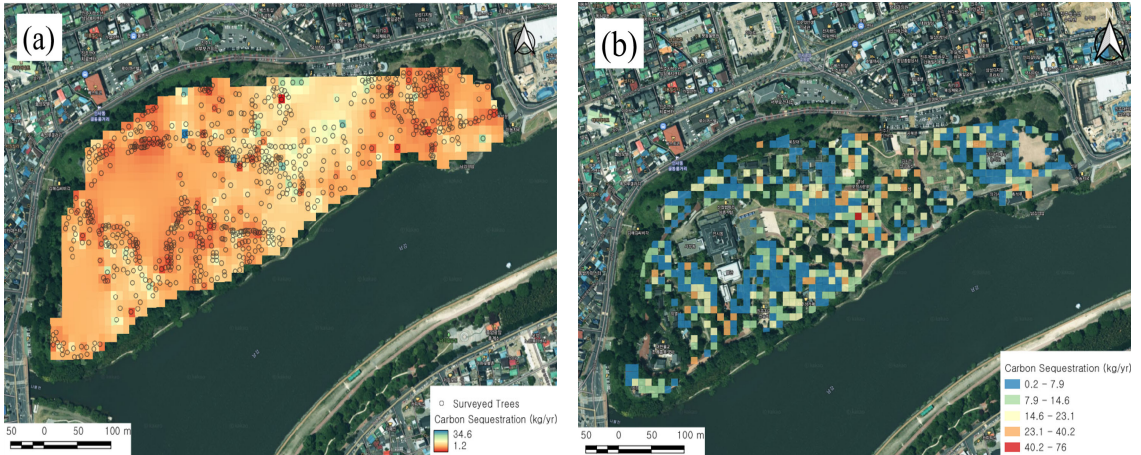


Fig. 6. Spatial distribution of carbon sequestration. (a) Continuous distribution using IDW interpolation, (b) Quantitative assessment based on 10 m × 10 m grid cells.

Table 6. Top-ranked grid cells for carbon sequestration

Grid location	Key species (Tree ID)	DBH (cm)	Sequestration (kg/yr)
Yeongnampojeongsa	<i>Styphnolobium japonicum</i> (240)	55.3	46.9
Around Yeongnampojeongsa	<i>Styphnolobium japonicum</i> (207)	40.4	35.6
Around Yeongnampojeongsa	<i>Styphnolobium japonicum</i> (221)	35.0	28.9

처 복수의 거점에 의해 유지되는 분산 구조를 나타냈다. 이는 기능이 단일 hotspot에 의존하지 않는다는 점에서 공간적 회복탄력성을 시사한다. 그러나 이러한 분산 구조의 핵심은 여전히 소수의 노거수에 의해 유지되고 있으므로, 상위 저장량 개체에 대한 구조 안정성 확보와 생리적 활력 유지가 탄소 저장 기능의 지속성을 좌우하는 핵심 관리 요소라 할 수 있다.

### 3.3.3. 탄소격리량

역거리 가중 보간(IDW)을 적용하여 연간 탄소 격리량의 공간 분포를 시각화한 결과(Fig. 6a), 탄소 격리 기능은 성곽 전반에 분산된 탄소 저장량 분포와 달리 특정 구역에 집중되는 경향을 보였다. 고값 영역은 영남포정사 문루 주변에 국한되어 나타났으며, 성곽 외곽과 산책로 인접 구역에서는 상대적으로 낮은 격리량이 우세하게 분포하였다. 이는 진주성 내에서 연간 탄소 격리 기능이 공간적으로 균등하지 않으며, 일부 생장 활력이 높은 개체에 의해 좌우되고 있음을 보여준다.

격자 기반 분석 결과에서도 IDW 보간 결과와 유사

한 공간 패턴이 확인되었다(Fig. 6b, Table 6). 최상위 등급 격자(40.2-76 kg/yr)는 매우 제한적인 위치에서만 나타났으며, 해당 격자는 회화나무 개체(ID 240, 46.9 kg/yr, H 7.3 m, DBH 55.3 cm)가 포함된 단일 셀에 의해 형성되었다. 이는 연간 탄소 격리량이 누적 생체량보다 현재 생장량과 생리적 활력에 민감하게 반응하는 지표임을 반영한다. 또한 격자 평균화 과정에서도 hotspot이 유지된다는 점은 격리 기능의 공간적 집중도가 구조적으로 명확함을 의미한다. 이러한 분포는 서문과 공북문 등 여러 지점에 고르게 나타났던 탄소 저장량의 공간 패턴과 뚜렷한 대비를 이룬다. 즉, 탄소 저장 기능은 대경목이 분포한 다수의 거점을 중심으로 장기적으로 유지되는 반면, 탄소 격리 기능은 현재 생장 활력이 높은 수목이 위치한 제한적인 구역에 집중되는 특성을 보였다. 본 분석을 통해 진주성 내 현 시점의 핵심 탄소 흡수 공간이 영남포정사 일대임을 공간적으로 확인하였으며, 이는 해당 구역의 생육 환경 유지와 수목 활력 관리가 향후 탄소 격리 기능 지속성 확보에 중요함을 시사한다.

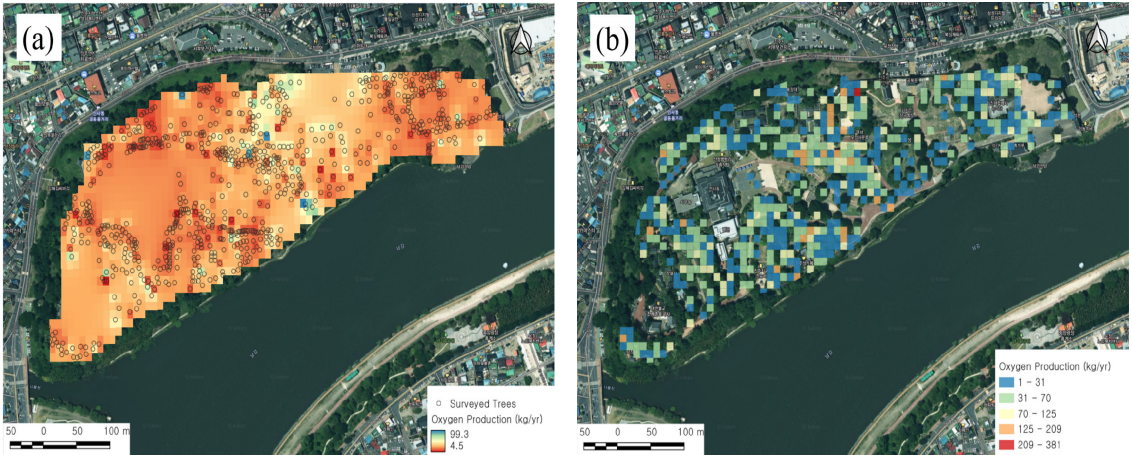


Fig. 7. Spatial distribution of oxygen production. (a) Continuous distribution using IDW interpolation, (b) Quantitative assessment based on 10 m × 10 m grid cells.

Table 7. Top-ranked grid cells for oxygen production

Grid location	Key species (Tree ID)	DBH (cm)	Production (kg/yr)
Gongbungmun	<i>Juglans regia</i> (281)	40.3	85.6
Gongbungmun	<i>Juglans regia</i> (286)	27.2	48.9
Gongbungmun	<i>Juglans regia</i> (275)	21.9	35.9
Bukjangdae-Yeongnampojeongsa	<i>Zelkova serrata</i> (585)	65.3	56.1

### 3.3.4. 산소생산량

역거리 가중 보간(IDW)을 적용한 결과, 진주성 내 산소 생산량은 공간적으로 균등하지 않은 분포를 보였으며, 성곽 북측 능선을 따라 띠 형태로 연결된 고밀도 구역이 확인되었다(Fig. 7a). 해당 구간은 북장대에서 시작하여 영남포정사로 이어지는 선형 구조를 형성하였고, 성곽 내부의 다른 구역에서는 산발적인 점 형태의 분포가 주로 나타났다. 이러한 공간 패턴은 북측 능선 일대에 대형 활엽수의 군집과 넓은 엽면적을 보유한 개체가 집중되어 있기 때문으로 해석된다.

격자 단위로 연간 산소 생산량을 정량화한 결과, 산소 생산의 핵심 거점과 공간적 연결 축이 보다 명확하게 드러났다(Fig. 7b, Table 7). 적색 계열은 최상위 등급(209-381 kg/yr)을 나타내며, 단일 격자 기준 최상위 등급은 공북문 일대에서 확인되었다. 해당 격자에는 호두나무 ID 275번(82.9 kg/yr), ID 281번(50.4 kg/yr), ID 286번(247.4 kg/yr) 개체가 포함되어 있어 복수 개체의 누적 효과가 격자 등급을 상승시킨 것

으로 판단된다. 또한 IDW 보간 결과에서 관찰된 북장대-영남포정사 구간을 따라 격자 분석에서도 주황색 및 황색 계열의 중·상위 등급 격자가 연속적으로 분포하였다. 이는 산소 생산 기능이 단일 hotspot에 국한되지 않고, 능선을 따라 기능적 연결 축을 형성하고 있음을 시사한다.

### 3.3.5. 우수유출저감량

역거리 가중 보간(IDW)을 적용한 진주성 내 우수유출저감량은 공간적으로 균질하지 않은 분포를 보였으며, 성곽의 경사면과 능선을 따라 상대적으로 높은 값이 연속적으로 분포하는 양상이 확인되었다(Fig. 8a). 고값 영역은 축석문에서 남강변으로 이어지는 경사 구간과 성곽 서측 능선부를 중심으로 나타났으며, 성곽 내부의 평탄한 구역에서는 중·저값이 우세하게 분포하였다. 북장대에서 영남포정사로 이어지는 구간에서도 중·고값 영역이 띠 형태로 연결되어 나타났다.

격자 단위로 우수 유출 저감량을 정량화한 보간 분

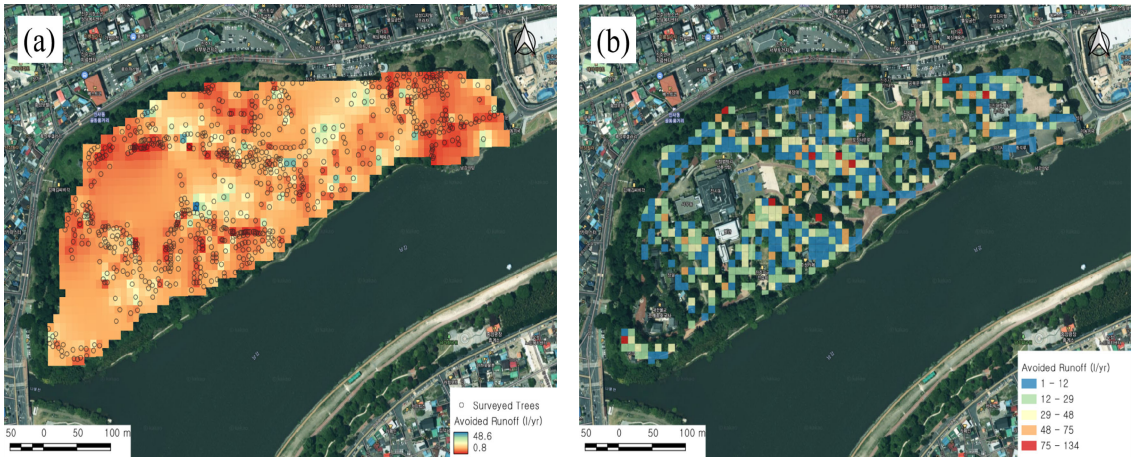


Fig. 8. Spatial distribution of avoided runoff. (a) Continuous distribution using IDW interpolation, (b) Quantitative assessment based on 10 m × 10 m grid cells.

Table 8. Top-ranked grid cells for avoided runoff

Grid location	Key species (Tree ID)	DBH (cm)	Runoff Reduction (l/yr)
Performance Stage	<i>Celtis sinensis</i> (465)	55.0	388.7
Seomun	<i>Quercus acutissima</i> (771)	78.2	191.3
Gongbungmun	<i>Quercus glauca</i> (8, 9, 10)	50.7 / 46.2 / 52.7	75.2 / 85.6 / 73.7
Bukjangdae-Yeongnampojeongsa	<i>Celtis sinensis</i> (519)	70.1	201.6

석에서 확인된 공간적 패턴이 구분되었다(Fig. 8b, Table 8). 격자 분석 도면에서 적색 계열은 가장 높은 등급(75-134 L/yr)을 나타내며, 최상위 등급 격자는 야외공연장 부근, 국립진주박물관 정면부, 서문 및 공북문 일대에 분포하였다. 야외공연장 인근 격자에는 팽나무(ID 465, 133.5 L/yr)가 포함되어 있었으며, 서문 주변 격자에는 상수리나무(ID 771, 69.7 L/yr)를 포함한 수목 군락(합계 116.3 L/yr)이 분포하였다. 공북문 일대에서는 종가시나무 군락(ID 8, 9, 10; 합계 85.5 L/yr)이 포함된 격자가 상위 등급으로 분류되었다. 또한 북장대에서 영남포정사로 이어지는 구간에서는 중·상위 등급 격자가 인접 격자와 연속적으로 분포하는 양상이 확인되었다. 해당 구간에는 팽나무(ID 519, 66.8 L/yr; ID 517, 518, 520, 합계 116.7 L/yr), 느티나무(ID 585, 67.7 L/yr), 그리고 종가시나무 군락(합계 89.0 L/yr)이 포함된 격자가 연속적으로 나타났다. 반면, 성곽 내부의 일부 평탄 구역에서는 하위 등급 격자가 산발적으로 분포하였다.

우수 유출 저감량은 보간 분석과 격자 분석 모두에서 성곽의 경사 지형을 따라 상대적으로 높은 값이 집중되는 공간적 분포 특성을 보였으며, 특정 지점의 최상위 격자와 함께 선형적으로 연결된 중·상위 등급 격자가 병존하는 양상이 확인되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서 진주성 역사경관림의 생태계서비스 총량을 분석한 결과, 대상지에는 총 822주의 수목이 분포하며, 1.272 ha의 수관 피복을 형성하고 있는 것으로 나타났다. 진주성 역사경관림은 다수 우점 구조를 보이며, 소나무(17.8%)와 느티나무(17.2%)가 가장 높은 개체수 비율을 차지하였다. 그러나 엽면적 비율에서는 느티나무가 40.7%로 가장 높았으며, 중요도 지수(IV 57.8) 또한 가장 크게 나타났다. 반면 소나무는 엽면적 비율 5.9%, 중요도 지수 23.7로 상대적으로 낮게 산정되었다. 이는 개체수 기준 우점과 기능적 기여도가 일치

하지 않음을 보여준다.

생태계서비스 총량 분석 결과, 연간 대기오염물질 제거량은 123.1 kg/yr(약 8.31백만 원/yr)으로 산정되었다. 총 탄소 저장량은 200.7 t(약 1억 3,800만 원), 연간 탄소 격리량은 8.834 t/yr(약 609만 원/yr)으로 추정되었다. 연간 산소 생산량은 23.56 t/yr, 우수 유출 저감량은 10.41 m<sup>3</sup>/yr(약 2만 9천 원/yr)으로 평가되었다.

공간 분석 결과, 대기오염물질 제거 기능은 국립진주박물관 전면부에 집중되어 나타났으며 제거 기능은 엽면적 규모와 대경목 존재, 군락 밀도의 중첩 효과에 의해 형성되었다. 탄소 저장량은 영남포정사 인근을 중심으로 주요 성문 주변에 분산된 거점 형태를 보였다. 느티나무, 은행나무, 종가시나무 등 대경목 수종이 포함된 구역에서 나타났다. 반면, 연간 탄소 격리 기능은 영남포정사 문루 주변의 제한된 구역에 집중되는 양상을 나타냈다. 산소 생산 기능은 북측 능선을 따라 선형으로 분포하였고, 공복문 인근 격자에서 가장 높은 값이 확인되었다. 우수 유출 저감 기능은 성곽의 경사면과 능선을 따라 높게 나타났으며, 야외공연장과 박물관 입구 일대가 수문 조절 기능의 핵심 공간으로 확인되었다.

진주성은 고려 후기에 개축된 성곽으로 현재까지 오랜 시간 축적된 노거수와 대경목의 생태적 기능과 역사문화적 가치가 중첩된 공간 자산으로, 대기오염물질 제거, 탄소저장 측면에서 기후위기 대응에 실질적 기여를 하고 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구는 선행연구(Lee et al., 2024)가 역사경관림의 생태계서비스 총량 제시에 머물렀던 것과 달리, i-Tree Eco 결과를 격자 단위로 재구성하여 기능별 공간 분포 특성을 비교·분석했다는 점에서 방법론적 확장의 의미를 갖는다. 본 연구 결과는 진주성 내 생태계서비스 핵심 구역을 공간적으로 특정함으로써, 수목관리 우선순위 설정과 역사문화공간의 기후변화 대응 정책 수립에 직접적인 기초자료로 활용될 수 있다. 하지만 본 연구는 조사가 단일 시점에 집중되어 있는 한계로 인해 수목의 생장주기 및 계절별 기상 변동이 분석에 충분히 반영되지 못하였다. 후속 연구에서는 계절별 반복 조사를 통한 시계열 데이터 구축을 통해 생태계 서비스와 수종의 상관관계 검토를 병행함으로써 분석의 신뢰도를 제고할 필요가 있다. 이러한 방향의 연구 심화를 통해 역사경관림의 체계적 보전과 기후변화 대응관리 전략 수립에 활용 가능한 정량적 근거를 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Baldocchi, D. D., Hicks, B. B., Camara, P., 1987, A Canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces, *Atmos. Environ.*, 21(1), 91-101.
- Baldocchi, D. D., 1988, A Multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy, *Atmos. Environ.*, 22(5), 869-884.
- Bidwell, R. G. S., Fraser, D. E., 1972, Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves, *Can. J. Bot.*, 50(7), 1435-1439.
- Cho, H., 2016, Geomorphological characteristics of the location of Jinju Fortress, *J. Korean Geomorphol. Assoc.*, 23(4), 69-84.
- Choi, S. M., Yeo, J. H., Kim, C. W., Park, C. Y., 2025, Environmental and ecological value assessment of urban forests using the Korean i-Tree Eco model, *J. Korean For. Sci.*, 114(1), 1-17.
- Chow, P., Rolfe, G. L., 1989, Carbon and hydrogen contents of short-rotation biomass of five hardwood species, *Wood Fiber Sci.*, 21(1), 30-36.
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., Nowak, D. J., 2011, Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model, *Environmental Modelling & Software*, 26(6), 804-816, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.11.007>
- IPCC, 2021, Climate change 2021: The physical science basis, IPCC 6th Assessment report, Cambridge Univ. Press.
- Jung, Y. J., Oh, W. Y., Chung, J. H., 2009, A Consideration on the location and space composition at the proximity of Jinju Castle, *J. Korean Inst. Tradit. Landsc. Archit.*, 27(4), 93-102.
- Kim, J. H., Kim, J. Y., Kang, W. M., 2024, Assessment of the structure and ecosystem services of an urban campus forest: Focused on Kookmin University, *J. Korean Cadastre Inf. Assoc.*, 26(2), 138-156.
- Lee, J. Y., Han, J. H., Son, Y. H., Kim, T. H., 2024, Analysis of the carbon neutrality effects of the Joseon Royal Tombs Historical Landscape Forests based on i-Tree Eco, *J. Korean Inst. Tradit. Landsc. Archit.*, 42(2), 47-55.
- Lee, Y. J., Choi, D. S., 2023, Analysis of factors affecting solar radiation and photovoltaic power generation prediction based on inverse distance weighting (IDW): Focusing on observation distance and cell size, *J. Korean Assoc. Geogr. Inf. Stud.*, 26(3), 45-58.
- Locatelli, B., 2016, Ecosystem services and climate change, in: Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R., Turner, R. K. (eds.), *Routledge Handbook of*

- Ecosystem Services, Routledge, London and New York.
- McPherson, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A., 1994, Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project, General technical report NE-186, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005, Millennium Ecosystem Assessment synthesis report, Island Press, Washington DC.
- Myung, S. J., Oh, I. C., 2021, A Study on Nature-based Solutions (NbS) for Response to Environmental Crisis, Policy reports No. 2021-10, Korea Environment Institute (KEI), Sejong, Korea.
- Nowak, D. J., 1994, Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest, in: Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project, General technical report NE-186, USDA For. Serv., 83-94.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., 2000, The Urban Forest Effects (UFORE) model: Quantifying urban forest structure and functions, in: Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century, General technical report NC-212, USDA For. Serv., 714-720.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., 2002, Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA, *Environ. Pollut.*, 116(3), 381-389.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., 2006, Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, *Urban For. Urban Green.*, 4(3-4), 115-123.
- Nowak, D. J., Hoehn, R. E., III, Crane, D. E., Stevens, J. C., Walton, J. T., 2007, Assessing urban forest effects and values, Washington, D.C.'s urban forest, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, <https://research.fs.usda.gov/download/treearch/18406.pdf>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E., 2013, Tree and forest effects on air quality and human health in the United States, *Environ. Pollut.*, 193, 119-129.
- Rasoolzadeh, R., Mobarghaee Dinan, N., Esmailzadeh, H., Rashidi, Y., 2022, Investigating the urban trees' diversity in Tehran - Iran using i-Tree Eco model, *J. Wildl. Biodivers.*, 6(2), 61-73.
- Son, I. S., Lee, S. M., Kim, G. H., 2022, Major contents and implications of the IPCC Sixth Assessment Report mitigation summary (energy sector), *Korea Energy Econ. Inst.*, [https://www.keei.re.kr/pdfOpen.es?bid=0002&list\\_no=83572&seq=1](https://www.keei.re.kr/pdfOpen.es?bid=0002&list_no=83572&seq=1)
- Tan, X., Hirabayashi, S., Shibata, S., 2021, Estimation of ecosystem services provided by street trees in Kyoto, Japan, *Forests*, 12, 311.
- Xie, Y., Hirabayashi, S., Kang, J., 2023, Exploring the spatial pattern of urban forest ecosystem services based on i-Tree Eco and spatial interpolation: A Case study of Kyoto City, Japan, *Environ. Manage.*, 72, 991-1005.

- 
- Master's course. Seo-Yeong Jo  
Department of Forest Resources, Gyeongsang National University  
whtjdud010@gnu.ac.kr
  - Undergraduate Student. Myung-Sung Kim  
Department of Forest Resources, Gyeongsang National University  
kms010421@naver.com
  - Professor. Hyun-Shik Moon  
Department of Forest Resources, Gyeongsang National University  
hsmoon@gnu.ac.kr