

탄소흡수량 증대를 위한 아파트 외부 공간 식재 가이드라인 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Planting Design Guidelines for Outdoor Space of Apartment for Increased Carbon Absorption

강연주*, 백규리**, 정인경***

*(주)우리엔디자인펌 대표이사, **현대엔지니어링(주) 건축조경팀 매니저, ***(주)우리엔디자인펌 연구소장

Kang, Yonju*, Baek, Kyuli**, Jung, In kyung***

*C.E.O., Urien Design Firm, Inc.

**Manager, Landscape Architecture Team, Hyundai Engineering Co., Ltd.

***Director, Research Institute(Attached), Urien Design Firm, Inc.

Received: July 17, 2024

Revised: August 05, 2024 (1st)

September 08, 2024 (2nd)

Accepted: September 09, 2024

3인익명 심사필

Corresponding author :

Yonju Kang

C.E.O Urien Design Firm, Inc.

Seoul 06127, Korea

Tel.: +82-2-572-3168

E-mail: urien@urien.co.kr

국문초록

지구온난화로 인한 세계적 기후위기에 대응하기 위해 탄소 흡수에 대한 관심이 증가하면서, 국내 주거유형의 63.5%를 차지하는 아파트 외부 공간의 환경친화적인 설계가 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 아파트 외부 공간의 탄소흡수량 증대를 위한 식재 가이드라인을 개발하였다. 이는 기후위기 대응과 국내 건설업계 탄소 대응의 현실적인 해결책 제시를 목표로 공간 유형에 따른 식재설계 전략을 제시하는 것에 의의가 있다. 탄소흡수량 산출을 위해 교목은 수목 탄소계산기를, 관목 및 초화는 선행 연구자료를 활용하였고, 아파트 외부공간 관련 법령 및 건설사별 조경설계 가이드라인을 기초로 주요 조경공간을 추출하여 중앙광장, 외곽숲, 수변공간, 어린이놀이터 및 주민운동시설, 소규모 정원으로 분류하였다. 탄소흡수량 분석의 표본 대상지는 '살기좋은 아파트상'의 2021년 이후 수상작 중 서울, 수도권에 있는 아파트 단지로 선정하고, 위의 5개 공간이 포함된 1,000세대 이상 아파트를 대상으로 공간별 조경수 탄소흡수량을 산출하였다. 이를 토대로 탄소흡수량 증대를 위한 공간별 식재 가이드라인을 작성하였고, 표본 대상지에 식재 가이드라인을 적용한 결과, 기존 설계보다 탄소흡수량이 약 5~63% 증가하여 목표 탄소흡수량에 수렴하였다. 이는 식재 가이드라인의 적용시 탄소흡수량이 증가함을 확인한 결과였다. 본 연구는 조경수의 탄소흡수량 데이터를 정리하여 설계 가이드라인을 수립한 것에 의의가 있으나, 추후 조경 분야의 탄소저감 설계를 위해서는 수목뿐 아니라 조경 자재 전반에 대한 데이터를 확보할 필요가 있다. 본 연구는 아파트 단지 외부 공간의 식재 설계 및 시공시 탄소흡수량을 향상시킬 수 있는 실질적인 식재 데이터 및 설계 가이드라인을 제시함으로써, 추후 탄소흡수 관련 설계의 지표 및 지침으로 활용될 수 있는 기초연구로써 의의가 있고 이에 따라 도시 환경에서의 기후변화 대응에 이바지할 것으로 기대된다.

주제어: 탄소흡수원, 탄소저감, 기후위기, 조경성능, 수목 탄소계산기

ABSTRACT

As interest in carbon absorption increases to respond to the global climate crisis, the environmentally friendly design of exterior spaces of apartments, which account for 63.5% of all residences in Korea, is required. In this study, a planting design guideline for increasing the amount of carbon adsorption in the space outside apartments was developed. This is meaningful in suggesting a planting design strategy according to the type of space with the aim of presenting a realistic solution to respond to the climate crisis and carbon output in the domestic construction industry. A carbon calculator was used for the calculation of carbon absorption for trees, and previous research data was used for shrubs and flowers. Based on the laws and regulations related to the exterior space of apartments and design guidelines for each construction company, major landscape spaces were extracted and categorized into central plazas, peripheral forests, waterfront spaces, play and exercise spaces, and small gardens. Apartment complexes in Seoul and the Seoul metropolitan area among the 2021 and later winners of the 'Livable Apartment Award' were selected, and the carbon uptake of landscape trees by space was calculated for more than 1,000 apartments. Based on this, a guideline for planting by space was prepared to increase carbon adsorption. As a result of applying the planting guidelines

to the sample target site, the carbon adsorption amount increased by about 5~63% compared to the existing design, and it converged toward the target carbon adsorption amount. This was determined by confirming that the amount of carbon adsorption could increase when planting guidelines were applied. This study is significant for establishing design guidelines by summarizing the carbon absorption data of landscape trees, but it is necessary to secure data on all landscape materials, not just trees, for future carbon reduction design in the landscape field. By presenting practical planting data and design guidelines that can improve carbon absorption in the design and construction of exterior space planting in apartment complexes, this study is significant as basic research that can be utilized as indicators and guidelines for future carbon absorption-related design and is expected to contribute to climate change response in urban environments.

Keywords: Carbon Sink, Carbon Reduction, Climate Crisis, Landscape Performance, Carbon Calculator

1. 서론

지구온난화로 인한 세계적 기후위기에 대응하기 위해 범세계적인 관심이 증가하면서, 국내 주거유형의 63.5%를 차지하는 아파트(2021년 인구주택총조사 결과, 통계청)의 외부 공간에 대한 환경친화적인 설계가 요구되고 있다. 건설업에서는 ESG 경영을 강화하여 친환경, 저탄소 사업에 주목하며, 에너지 효율 및 탄소 배출량 분석 등에 관심을 나타내고 있다.

정부의 탄소 중립 실현을 위한 요구도 구체화되고 있는데, 제1차 국가 탄소 중립 녹색성장 기본계획에 따르면 2030년 온실가스 감축 목표를 2018년 대비 40% 감소로 제시하였다. 대형건물의 에너지 관련, 기존의 효율 목표에 더하여 에너지 소비량 평가가 추가되었고 제로 에너지빌딩 인증제도에 사후관리 방안 또한 추가되었다. 정부와 민간 협력도 강조되고 있는데, 정부는 주요 건설사와 온실가스 감축 목표량에 대한 협약을 체결하고 감축 목표 이행을 위한 시공 방법 개선 등 다양한 감축 방안을 마련, 적용할 것이라 발표하였다(https://molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?cmspage=9&id=95089115). 주거부문의 탄소 저감과 관련하여서도, ‘친환경건축물인증제도’, ‘건물에너지효율등급인증제도’, ‘녹색건축인증제도’ 등의 다양한 제도가 마련되어 있다. 그러나 이러한 노력은 아직 초기 단계이며 정책과 규제 위주로 제한되어, 구체적인 실질적인 탄소흡수량으로 이어지기에는 한계가 있다.

기존의 탄소흡수 관련 연구들은 주로, 도시의 조경공간 확충과 수목의 개별적인 탄소흡수량 등을 다루고 있었다. 공원녹지분야의 탄소흡수원 확보 및 탄소저감방안(김원주와 김운수, 2010)에서는 도시 내 주거 및 상업지의 조정, 수공간, 광장 등을 확충하여 탄소흡수원을 확보하는 방안을 제시하고 있다. 이는 기후위기 대응을 위해 주거 및 상업지 각각의 개별적인 외부 공간의 역할을 강조한다는 점에서 의미가 있다. 도시 낙엽성 조경수종의 탄소저장 및 흡수(조현길, 안태원, 2012)에서는 수목의 탄소흡수량과 관련하여 도시조경수에 주목하고 있으나, 일부 교목만을 대상으로 하여 아파트 단지에 적용하기에 한계를 가진다.

탄소저감설계 지원을 위한 수목 탄소계산기 개발 및 적용(하지아와 박재민, 2023)의 연구는 수목의 탄소흡수량을 조정수 규격에 맞게 전환, 산출하여 실제 사례에 적용한 것으로, 구체적인 실질적인 탄소흡수량 증대를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 도시숲 및 정원 주요 관목의 탄소흡수계수 개발 및 탄소저장량과 흡수량 비교(김학구 등, 2022)는 조정수로 주로 사용되는 관목 5종의 탄소흡수량을 연구하여 관목 탄소흡수량 산출의 기초 자료로서의 가치가 높다.

이에 본 연구는 기후위기 대응과 탄소 저감을 위해 일상의 주거공간인 아파트의 주요 외부 공간을 대상으로 탄소흡수량 조사 및 분석을 하여, 공간별 탄소흡수량 증대를 위한 구체적인 실질적인 지침 및 기준을 마련하고 향후 환경친화적인 주거 공간을 조성하기 위한 방향성을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

아파트 외부 공간 식재 가이드라인 개발을 위하여, 첫째, 식재 가이드라인을 제시할 아파트 외부 공간의 추출, 둘째, 외부 공간의 식재 사례를 분석할 표본 대상지의 선정, 셋째, 표본 대상지 각 공간의 탄소흡수량 조사 및 분석을 진행하였다. 분석의 내용을 바탕으로 공간별 식재 가이드라인을 개발하고, 표본 대상지의 일부를 예시로, 현황의 탄소흡수량과 식재 가이드라인을 적용한 후의 탄소흡수량을 비교하여, 식재 가이드라인이 탄소흡수량을 증가시키는 데 실효성이 있는지를 검증하였다.

2.1 아파트 외부 공간의 분류

현재의 아파트 조경은 법규적인 규제와 이용자의 필요사항, 건설사들의 상품으로서의 가치 등을 반영하여 다소 정형화된 공간 구성을 나타낸다. 따라서 조경관련 법령 및 주요 건설사 조경관련 가이드라인을 분석, 아파트의 주요 공간 및 필수 공간을 추출하고, 이를 대상으로 탄소흡수량을 산출하고자 한다.

2.1.1 주요 외부 공간 추출 방법1: 아파트 조경관련 법령 분석

법령에 제시된 공동주택 내 조경 공간은 어린이놀이터, 주민운동시설, 경로당 부속정원, 조경면적(식재공간, 조경 시설공간의 합)이다(표 1 참조).

2.1.2 주요 외부 공간 추출 방법2: 건설사 조경설계 가이드라인 분석

주요 건설사는 내부적으로 조경설계 가이드라인을 작성하여 실무에 적용하고 있는데, 여기에는 건설사가 추구하는 가치뿐 아니라 기본적인 공간의 구성 및 요소들이 담겨 있다. 본 연구는 상위 5개 건설사¹⁾의 조경설계 가이드라인을 수집, 분석하여 아파트 주요 외부 공간의 분류를 위한 근거자료로 삼고자 한다.

가이드라인에 나타난 주요 공간은 다음 표 2와 같으며, 건설사별로 사용하는 공간에 대한 특정한 명칭을 표기하고 이와 함께 괄호 안에 일반적인 공간의 성격을 재해석하여 표기하였다. 일반적인 공간의 성격은 기본적인 법령의 명칭을 기준으로 사용하되, 중앙광장, 정원, 숲, 수변공간, 산책로 등을 추가하였다.

건설사 가이드라인에 탄소흡수량을 제시하는 경우는 없었으며, 이용자의 행태를 고려한 공간 설계 및 경관적인 측면에서의 심미성 향상을 주목적으로 하고 있었다. 이는 탄소흡수량을 증대시키는 식재 가이드라인의 개발에 있어 공간의 이용 행태 및 심미성 또한 고려해야 한다는 시사점을 보여준다.

표 1. 법령에 나타난 조경공간 및 설치규정

공간구분	의무설치규정	해당법령
어린이놀이터	150세대 이상 시 설치	주택법, 주택건설기준 등에 관한규정, 주민공동시설 총량제 가이드라인
주민운동시설	500세대 이상 시 설치	
경로당(부속정원)	150세대 이상 시 설치	
조경면적	통상 15%이상(지자체 건축조례 따름)	건축법 제42조 대지의 조경, 지자체 건축조례

표 2. 건설사 가이드라인에 나타난 조경공간

구분	가 건설사	나 건설사	다 건설사	라 건설사	마 건설사
발행시기	2017	2011	2014	2018	2021
공간구분 (특화) ²⁾	힐링포리스트(숲), 그린필드(중앙광장), 아쿠아필드(수변공간), 시간의정원(암석원), 모두의정원(작가정원), 눈높이푸르지오, 안앤아웃키즈월드(어린이 놀이터), 스마트스테이션(환경조 형물), 로맨스가든(사니아정원), 청소년이지트		가든갤러리(주출입구, 중앙부), 슬로우 가든 (외곽산책로 주변), 리빙룸 가든(동주변), 다이닝 가든(중정부, 산책로변), 에코 가든(어린이자연체험), 가든아틀리에(가드닝 강습, 실습)	꽃자왈 엘리시안(숲), 요정의 숲(키즈정원), 그린알파룸(동양정원), 클라우드레이크 (수변공간)	드포엠파크(중앙광장, 수변공간), 로버계절정원(동양정원), 드포엠플레이 (어린이놀이터), 미스티포레(숲,산책로)
공간구분 (일반)		단지 주출입구, 주동공간, 어린이놀이터, 주민운동시설, 단지 내 광장, 텃밭		특화숲, 어린이놀이터, 주민운동시설, 힐링가든, 리빙가든, 텃밭, 홈캠핑장	

2.1.3 종합

중앙광장의 경우 모든 가이드라인에 나타나는데, 다 건설사는 이를 정원으로, 라 건설사는 숲으로 표현하고 있었다. 단지 외곽의 숲과 산책로는 다 건설사를 제외하고 모든 가이드라인에 나타나며, 수변공간은 다, 라 건설사를 제외한 나머지 세 군데 건설사의 가이드라인에 나타나 본 연구에 포함하였다.

어린이놀이터 및 주민운동시설은 의무 설치 시설로 모든 가이드라인에 제시되어 있는데, 식재보다는 주로 시설이 중심이 된다는 공통점이 있으므로 하나의 공간으로 묶어 보고자 한다. 정원 역시 모든 가이드라인에 나타나며, 이를 중앙의 대형 정원과 구분하기 위해 소규모 정원으로 명명하였다. 텃밭, 홈캠핑장 등의 공간은 부분적으로 나타나고 있어, 본 연구에서는 제외하였다.

따라서 최종적으로 식재 가이드라인을 제시할 외부 공간은 중앙광장, 외곽숲, 수변공간, 어린이놀이터 및 주민운동시설, 소규모 정원(동양정원)의 5가지 공간이다.

2.2 아파트 표본 대상지 선정

다음은 추출된 각각의 아파트 외부 공간을 중심으로 탄소흡수량을 산출하기 위해, 아파트 표본 대상지를 선정하였다(표 3 참조). 대상지는 아파트 관련 수상작을 기준으로 하되, 매일경제신문 주관 ‘살기좋은 아파트상’의 2021년 이후 수상작 중 수도권에 있는 아파트 단지 중에서 위의 5가지 공간이 포함된, 1,000세대 이상 아파트로 선정하였다³⁾.

2.3 탄소흡수량 분석 방법 및 기준

선정된 표본 단지 각각의 외부 공간에 대해 기본적인 공간의 규모 및 녹지율, 식재 패턴과 수종 등을 조사하되, 각 공간의 탄소흡수량 산출을 위해 기존 연구들을 참조하여 분석 방법 및 기준을 선정하고자 한다.

공간에 적용하는 교목의 탄소흡수량 조사를 위한 연구로는 수목 탄소계산기를 활용하여 식재 실험 설계에 적용한 ‘탄소저감설계 지원을 위한 수목 탄소계산기 개발 및 적용’(하지아와 박재민, 2023)이 있었다. 이는 다양한 조경수를 포함하고 있으며, 유통되는 조경수의 규격으로 탄소흡수량을 구할 수 있는 장점이 있었다(별첨1. 참조). 본 연구는 이러한 선행 연구의 수목 탄소계산기를 활용하고자 하나, 각 설계가가 개별적으로 수목 탄소계산기를 활용한 점과 달리 공간별 식재 가이드라인을 개발하였다는 점에서 차별점이 있다 할 것이다.

관목은 회양목(*Buxus microphylla* Siebold & Zucc. var. *elongata* Nakai), 화살나무(*Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold), 사철나무(*Euonymus japonicus* Thunb.), 산철쭉(*Rhododendron matsumurae* Komatsu), 조팝나무(*Spiraea prunifolia* Siebold & Zucc. f. *simpliciflora* Nakai)의 탄소흡수량을 연구한 선행연구(김학구 등, 2022)를 참고하였다. 대관목은 H0.8이상의 관목으로 정의하고, 조팝나무, 화살나무, 사철나무의 1주당 탄소흡수량의 평균치에 16주를 곱하여 3.0kg/yr⁴⁾으로, 소관목은 H0.8미만의 관목으로 정의하고, 회양목, 산철쭉의 1주당 탄소흡수량의 평균치에 28주를 곱하여 2.5kg/yr으로 적용하였다⁵⁾.

초화류와 잔디는 30종의 관목, 초화의 탄소흡수량을 계산한 농촌진흥청의 자료 (https://www.rda.go.kr/board/board.do?boardId=farmprmninfo&prgId=day_farmprmninfoEntry&mode=updateCnt&searchOrgDeptKey=org&dataNo=100000773623)를 참고하여, 초화류는 초화류의 평균치인 2.0kg/yr, 잔디는 한국잔디(*Zoysia japonica* Steud.) 기준으로 2.0kg/yr으로 적용하였다(표 4 참조).

표 3. 표본으로 선정된 아파트 단지

구분	위치	면적(㎡)	세대수(세대)	수상내역	사용승인일
A단지	안산시 단원구 라성로	59,565.40	1,714	2023년 재개발재건축 우수상	2023.03.
B단지	서울시 관악구 초원로	24,035.70	1,143	2023년 재개발재건축 우수상	2022.08.
C단지	과천시 별양로	105,509.00	2,099	2022년 대상	2022.03.
D단지	하남시 위례대로6길	60,021.00	1,078	2021년 종합대상	2021.05.
E단지	과천시 관문로	96,128.20	1,571	2021년 대형사 최우수상	2020.04.

표 4. 관목, 초화, 잔디 탄소흡수량 계산시 적용 기준

구분	규격	1㎡당 탄소흡수량(kg/yr)	비고
대관목	H0.8 이상	3.0	16주/㎡
관목	H0.8 미만	2.5	28주/㎡
초화류	-	2.0	
잔디(한국잔디)	-	2.0	

3. 결과 및 고찰

3.1 공간별 탄소흡수량 조사, 분석

3.1.1 식재도면 분석

표본 대상지 5곳의 준공 식재 도면을 바탕으로 각 공간의 성격에 맞는 단위 공간 5곳을 선정하였다. B단지의 경우 중앙광장이라 할 만한 공간이 없어서 중앙광장은 4개 단지의 사례만 조사하여 적용하였다(표 5 참조).

각 표본 단지의 식재도면을 참조하여 공간별 식재 특성을 분석하였다(표 6, 표 18, 참조).

중앙광장은 주로 넓은 잔디마당을 중심으로 주변에 대형 교목이 식재되는 패턴으로, R35 이상의 느티나무 [*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino], 팽나무(*Celtis sinensis* Pers.), 청단풍(*Acer palmatum* Thunb.), 왕벚나무 (*Prunus × yedoensis* Matsum.) 등이 2-12주 정도 식재되어 있었다. 특징적으로 팽나무가 많이 사용되며, 소나무 (*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.)도 3곳의 대상지에 조형 혹은 장송으로 3-10주 식재되어 있었다.

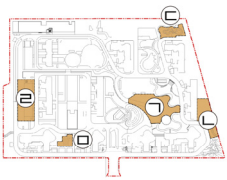


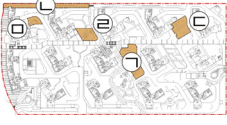
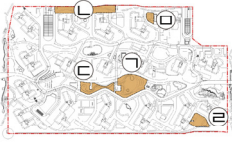
외곽숲은 다른 공간에 비해 교목의 종류가 다양하게 나타났는데, A단지 11종, B단지 7종, C단지 12종, D단지 4종, E단지 12종의 수목들이 각기 다층형으로 식재되어 있었다. D단지의 경우 청단풍, 메타세콰이아(*Metasequoia glyptostroboides* Hu & W.C.Cheng) 등이 주요 수종으로 활용되었다.

수변공간은 수경시설을 중심으로 관목, 초화의 식재 비중이 높았으며, A단지를 제외하고는 모두 단풍류의 나무가 식재되어 있었다.

어린이놀이터 및 주민운동시설의 경우 열식으로 식재된 경우가 많았으며, 특히 대왕참나무(*Quercus palustris*)가 3개 단지에서 사용되었다. 교목은 대부분 R15 이상이었고, 소교목의 식재 빈도는 낮았다. 이는 공간의 성격상, 활동에 방해를 주지 않고 어린이들을 감시하기 위해, 지하고가 높은 교목을 사용하는 경향 때문이라 할 수 있다.

마지막으로 소규모 정원은 정원의 형태에 따른 차이가 있기는 하나, 주요 수종 1-3주를 중심으로 보조 수종을 식재하거나, 주 수종을 열식하는 패턴을 보였다. 주요 수종으로는 느티나무, 청단풍, 산수유(*Cornus officinalis* Siebold & Zucc.) 등이, 배경 교목으로는 산수유, 배롱나무(*Lagerstroemia indica* L.), 매화나무(*Prunus mume* (Siebold) Siebold & Zucc.), 모감주나무(*Koelreuteria paniculata* Laxm.), 산딸나무(*Cornus kousa* Bürger ex Hance), 복자기(*Acer triflorum* Kom.), 주목(*Taxus cuspidata* Siebold & Zucc.) 등이 사용되었다.

표 5. 표본 대상지 단위 공간 위치

A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
				

범례: ㉠ 중앙광장 ㉡ 외곽숲 ㉢ 수변공간 ㉣ 어린이놀이터 및 주민운동시설 ㉤ 소규모정원

표 6. 표본 대상지 공간별 식재도면

	A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
중앙 광장					
외곽숲					
수변 공간					
어린이 놀이터 및 주민운동 시설					
소규모 정원					

3.1.2 공간별 탄소흡수량과 녹지율 분석

식재도면을 토대로 탄소흡수량 조사 기준에 따라 각 공간의 탄소흡수량을 계산, 이를 1㎡당 탄소흡수량(kg/yr)으로 환산하여 평균치를 산출하였다. 각 공간의 규모와 녹지가 차지하는 비율도 분석하여, 1㎡당 탄소흡수량과의 관계를 분석하였는데, 이는 녹지율과 탄소흡수량의 상관관계를 분석하는 자료로 활용하였다.

1㎡당 탄소흡수량의 평균이 가장 높은 공간은 외곽숲으로 1.900kg/yr이며, 가장 적은 공간은 어린이놀이터 및 주민운동시설로 1㎡당 0.942kg/yr을 나타냈다. 공간별 1㎡당 탄소흡수량 평균의 순서와 녹지율 평균의 순서는 일치하며, 따라서 녹지율이 높은 공간이 1㎡당 탄소흡수량도 높음을 알 수 있다.

각 공간에 대한 단지별 탄소흡수량의 차이는 중앙광장의 경우, 1㎡당 탄소흡수량이 높은 단지와 녹지율이 높은 공간의 순서가 정확히 일치하지는 않으나, 녹지율이 높을수록 탄소흡수량도 높은 경향을 나타내고 있다(표 7. 참

조). 외곽숲의 1㎡당 탄소흡수량이 높은 단지는 C단지, B단지, A단지, D단지, E단지의 순이며 이는 녹지율이 높은 단지의 순서와 일치하였고(표 8. 참조), 수변공간의 경우 역시 녹지율이 높은 순서와 1㎡당 탄소흡수량이 높은 단지의 순서가 일치하였다(표 9. 참조).

어린이놀이터 및 주민운동시설의 1㎡당 탄소흡수량이 높은 단지는 D단지, E단지, A단지, C단지, B단지 순이며, 이는 녹지율이 높은 순서인 A단지, D단지, E단지, C단지, B단지와 유사한 경향을 나타냈다(표 10. 참조). 소규모 정원의 1㎡당 탄소흡수량이 높은 단지는 D단지, E단지, B단지, A단지, C단지의 순이며, 녹지율이 높은 순인 D단지, E단지, B단지, C단지, A단지와 유사하였다(표 11. 참조).

표 7. 중앙광장 탄소흡수량

구분	A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
규모(㎡)	1,774.08	없음	1,008.15	1,040.16	1,222.30
공간 내 녹지율(%)	87		86	89	66
탄소흡수량(kg/yr)	3,144.8		1,485.6	1,861.8	1,818.6
1㎡당 탄소흡수량(kg/yr)	1.773		1.474	1.790	1.488
종합	1㎡당 1.631kg/yr, 녹지율 82%				

표 8. 외곽숲 탄소흡수량

구분	A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
규모(㎡)	986.56	697.72	953.49	1,068.34	1,013.67
공간 내 녹지율(%)	91	99	100	79	67
탄소흡수량(kg/yr)	1,815.7	1,420.3	2,100.7	1,939.5	1,629.9
1㎡당 탄소흡수량(kg/yr)	1.840	2.036	2.203	1.815	1.608
종합	1㎡당 1.900kg/yr, 녹지율 87%				

표 9. 수변공간 탄소흡수량

구분	A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
규모(㎡)	441.57	440.74	662.15	488.51	613.73
공간 내 녹지율(%)	57	35	50	50	57
탄소흡수량(kg/yr)	537.1	325.9	786.5	505.8	940.5
1㎡당 탄소흡수량(kg/yr)	1.216	0.739	1.188	1.035	1.532
종합	1㎡당 1.142kg/yr, 녹지율 50%				

표 10. 어린이놀이터 및 주민운동시설 탄소흡수량

구분	A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
규모(㎡)	731.41	626.53	543.67	423.52	341.74
공간 내 녹지율(%)	48	24	29	44	34
탄소흡수량(kg/yr)	750.0	361.0	430.3	491.5	395.3
1㎡당 탄소흡수량(kg/yr)	1.025	0.576	0.791	1.161	1.157
종합	1㎡당 0.942kg/yr, 녹지율 36%				

표 11. 소규모 정원 탄소흡수량

구분	A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
규모(㎡)	318.28	281.84	108.42	224.27	448.63
공간 내 녹지율(%)	38	49	39	73	60
탄소흡수량(kg/yr)	305.2	294.9	87.9	373.7	267.8
1㎡당 탄소흡수량(kg/yr)	0.959	1.046	0.810	1.666	1.530
종합	1㎡당 1.202kg/yr, 녹지율 51%				

대부분 녹지율이 높을수록 단위면적당 탄소흡수량이 높게 나타나 서로 연관 관계가 있음을 확인할 수 있었으며, 각 공간의 식생 구성, 수종 등을 추가로 조사, 분석하여 녹지율 외의 다른 인자에 대해서도 고찰하고자 한다.

3.1.3 공간별 탄소흡수량과 식생 구성 및 수종 분석

공간별 탄소흡수량과 식생 구성의 연관 관계를 고찰하기 위해, 우선 각 공간의 면적에 대한 관목 및 초화 식재의 면적 비율을 산출하였다(표 12 참조). 공간별 관목 및 초화의 면적 비율 평균치는 중앙광장 11%, 외곽숲 14%, 놀이 및 운동 13%, 소규모 정원 14%로 나타났으며, 수변공간은 24%로 다른 공간보다 10% 정도 높게 나타났다. 전반적으로 관목 및 초화의 면적 비율은 단지별로 격차가 많았는데, 아예 식재되지 않은 공간에서부터 50% 이상을 차지하는 공간까지 다양하였다.

다음은 식생 구성에 따른 면적 비율의 분석을 토대로, 공간별 식생 구성에 따른 탄소흡수량을 세부적으로 분석하여 녹지율뿐 아니라 탄소흡수량에 영향을 주는 다른 인자들에 대해 고찰하였다.

중앙광장의 경우(표 13 참조), E단지와 C단지의 녹지율과 1㎡당 탄소흡수량의 순서가 다르게 나타났는데, C단지의 녹지율이 E단지보다 약간 높았으나 교목과 관목의 탄소흡수비율은 더 적게 나타났다. 교목의 수종은 두 단지가 큰 차이를 보이지 않으나(표 18 참조), E단지는 24주, C단지에는 16주가 식재되어 식재 밀도에서 E단지가 우위에 있었다. 따라서 녹지율과 교목의 수종이 비슷한 경우, 교목의 식재밀도와 관목의 식재비율이 탄소흡수량에 차이를 가져옴을 알 수 있었다.

외곽숲은 녹지율과 1㎡당 탄소흡수량의 순서가 일치하였는데, 녹지율과 1㎡당 탄소흡수량이 가장 적은 E단지의 경우 관목 및 초화의 탄소흡수량은 상대적으로 높은 것으로 나타나, 녹지율의 차이가 많은 경우 관목의 탄소흡수량은 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다(표 14 참조). 수변공간의 경우, 같은 녹지율임에도 탄소흡수량의 차이를

표 12. 공간별 관목 및 초화 면적 (단위: ㎡)

구분	A단지		B단지		C단지		D단지		E단지	
중앙광장	42.76	2.4%	-	-	166.77	16.5%	4.80	0.5%	312.74	25.6%
외곽숲	-	-	72.12	10.3%	241.84	25.4%	102.51	9.6%	274.84	27.1%
수변공간	42.24	9.6%	27.26	6.2%	307.61	46.5%	8.37	1.7%	330.97	53.9%
놀이터, 운동시설	-	-	81.78	13.1%	82.8	15.2%	50.2	11.9%	81.12	23.7%
소규모정원	-	-	41.07	14.6%	16.84	15.5%	58.51	26.1%	56.42	12.6%

표 13. 중앙광장 식생구성별 탄소흡수량 (단위:kg/yr)

구분	A단지		B단지		C단지		D단지		E단지	
녹지전체	3,144.8	100%	-	-	1,485.6	100%	1,861.8	100%	1,818.6	100%
교목	104.8	3.3%	-	-	73.7	5.0%	30.10	1.6%	98.7	5.4%
대관목	-	-	-	-	230.4	15.5%	14.4	0.8%	-	-
소관목	100.0	3.2%	-	-	93.0	6.3%	-	-	781.9	43.0%
초화	-	-	-	-	188.5	12.7%	-	-	-	-
잔디	2,940.0	93.5%	-	-	900.0	60.6%	1,817.3	97.6%	938.0	51.6%

표 14. 외곽숲 식생구성별 탄소흡수량 (단위:kg/yr)

구분	A단지		B단지		C단지		D단지		E단지	
녹지전체	1,815.7	100%	1,420.3	100%	2,100.7	100%	1,939.5	100%	1,629.9	100%
교목	115.7	6.4%	150.4	10.6%	429.5	20.4%	356.1	18.4%	303.3	18.6%
대관목	-	-	136.6	9.6%	399.8	19.0%	307.5	15.9%	166.7	10.2%
소관목	-	-	66.8	4.7%	271.5	12.9%	-	-	548.2	33.6%
초화	-	-	-	-	1,000	47.6%	-	-	-	-
잔디	1,700.0	93.6%	1,066.6	75.1%	-	-	1,275.9	65.8%	611.7	37.5%

보이는 E단지, A단지와 C단지, D단지를 비교하였는데, 잔디의 비율에서 큰 차이를 나타내고 있어(표 15 참조), 녹지율이 같을 경우, 식재 구성의 차이가 탄소흡수량의 차이를 가져올 수 있었다.

어린이놀이터 및 주민운동시설의 경우, A단지의 녹지율이 가장 높음에도 불구하고 1㎡당 탄소흡수량은 3번째로 적게 나타났는데, A단지의 교목과 관목 및 초화의 탄소흡수율이 매우 적은 것을 확인할 수 있었다(표 16 참조). 소규모 정원의 경우, 녹지율 순서와 1㎡당 탄소흡수량의 순서가 바뀐 A단지와 C단지를 비교해 보았는데, 교목의 탄소흡수율에 차이가 있음을 확인할 수 있었다(표 17 참조).

표 15. 수변공간 식생구성별 탄소흡수량 (단위:kg/yr)

구분	A단지		B단지		C단지		D단지		E단지	
녹지전체	537.1	100%	325.9	100%	786.5	100%	505.8	100%	940.5	100%
교목	27.2	5.1%	23.5	7.2%	67.5	8.6%	29.6	5.9%	115.2	12.2%
대관목	-	-	13.6	4.2%	174.7	22.2%	19.8	3.9%	30.7	3.3%
소관목	105.6	19.7%	56.9	17.4%	228.0	29.0%	4.4	0.9%	765.4	81.4%
초화	-	-	-	-	316.4	40.2%	-	-	-	-
잔디	404.3	75.3%	232.0	71.2%	-	-	452.0	89.4%	29.1	3.1%

표 16. 어린이놀이터 및 주민운동시설 식생구성별 탄소흡수량 (단위:kg/yr)

구분	A단지		B단지		C단지		D단지		E단지	
녹지전체	750.0	100%	361.0	100%	430.3	100%	491.5	100%	395.3	100%
교목	92.0	12.3%	60.9	16.9%	79.8	18.5%	84.6	17.2%	183.4	46.4%
대관목	-	-	25.7	7.1%	-	-	44.4	9.0%	54.5	13.8%
소관목	-	-	183.1	50.7%	284.0	66.0%	88.5	18.0%	157.4	39.8%
초화	-	-	-	-	66.5	15.5%	-	-	-	-
잔디	658.0	87.7%	91.4	25.3%	-	-	274.0	55.7%	-	-

표 17. 소규모정원의 식생구성별 탄소흡수량 (단위:kg/yr)

구분	A단지		B단지		C단지		D단지		E단지	
녹지전체	305.2	100%	294.9	100%	87.9	100%	373.7	100%	267.8	100%
교목	107.3	35.1%	38.1	12.9%	4.3	4.9%	49.4	13.2%	78.6	29.4%
대관목	-	-	36.2	12.3%	8.8	10.0%	23.2	6.2%	12.8	4.8%
소관목	-	-	72.5	24.6%	34.8	39.5%	126.9	34.0%	130.4	48.7%
초화	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
잔디	198.0	64.9%	148.1	50.2%	40.0	45.5%	174.2	46.6%	46.0	17.2%

표 18. 각 외부 공간별 교목 수종

구분	A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
중앙광장	소나무(조형), 느티나무, 왕벚나무		소나무(조형), 공작단풍, 매화나무, 팽나무	팽나무	소나무(조형), 배롱나무, 왕벚나무, 청단풍, 팽나무
외곽숲	스트로브잣나무, 감나무, 느티나무, 매죽나무, 매화나무, 모과나무, 백목련, 산수유, 왕벚나무, 은행나무, 자엽자두	전나무, 주목, 매화나무, 모감주나무, 산딸나무, 산수유, 이팝나무	서양측백, 소나무(장송), 전나무, 공작단풍, 꽃사과, 대왕참나무, 루브룬단풍, 매화나무, 메타세쿼이아, 모감주나무, 산수유, 상수리나무	소나무, 측백나무, 메타세쿼이아, 청단풍	주목, 소나무(장송), 소나무(조형), 전나무, 편백, 향나무, 모감주나무, 백목련, 산새나무, 자엽자두, 참나무류, 청단풍, 화화나무

표 18. 계속

구분	A단지	B단지	C단지	D단지	E단지
수변공간	물푸레나무, 왕벚나무, 팽나무	서양측백, 청단풍, 왕벚나무	소나무(장송), 공작단풍, 네군도단풍, 단풍나무, 메타세쿼이아	소나무, 청단풍	소나무(조형), 배롱나무, 왕벚나무, 청단풍
놀이터, 운동	소나무(조형), 계수나무, 대왕참나무, 배롱나무	전나무, 꽃사과, 매화나무, 모과나무, 산수유, 왕벚나무	주목, 대왕참나무, 미루나무	주목, 대왕참나무, 백목련, 이팝나무, 청단풍	배롱나무, 산딸나무, 황금화하나무, 화하나무
소규모정원	대왕참나무, 배롱나무, 산수유	전나무, 매화나무, 모감주나무, 산딸나무, 산수유	주목, 느티나무	소나무, 배롱나무, 복자기, 산수유, 청단풍	소나무(둥근형), 산수유

3.1.4 종합분석

표본 단지의 5가지 외부 공간에 대한 1㎡당 탄소흡수량의 평균값은, 중앙광장 1.631kg/yr, 외곽숲 1.900kg/yr, 수변공간 1.142kg/yr, 어린이놀이터 및 주민운동시설 공간 0.942kg/yr, 소규모 정원 1.202kg/yr으로, 외곽숲이 가장 높게 나타나고 어린이놀이터 및 주민운동시설 공간이 가장 적었다. 이는 공간별 성격과 특성에 따라 식재 방식이 달라지기 때문으로, 공간에 맞는 탄소흡수량의 기준을 제시하는 것이 필요하다.

1㎡당 탄소흡수량을 높이기 위해 가장 중요한 것은 높은 녹지율을 확보하는 것이며, 관목 및 초화의 비율을 잔디에 비해 높게 확보하는 것 또한 중요함을 알 수 있었다. 교목의 경우 탄소흡수율이 높은 교목으로 선정하고 식재 밀도를 높이는 것이 필요하다.

이상의 분석을 토대로, 공간별 녹지율, 식재 구성의 비율, 교목의 수종과 규격, 수량 등을 주요 내용으로 하는 식재 가이드라인을 제시하고자 한다.

3.2 공간별 식재 가이드라인

3.2.1 가이드라인 적용 기준

첫째, 공간별 산출된 평균 탄소흡수량을 기준으로, 그 이상의 탄소흡수량을 본 가이드라인을 통해 구현하고자 하는 목표치로 하였다.

둘째, 탄소흡수율에 중요한 영향을 미치는 녹지율을 제시하되 공간별 녹지율의 평균치를 참조, 평균치의 1단위를 절사하여 기준이 되는 녹지율을 산정하였다.

셋째, 공간의 특성과 이에 맞는 식재 방법, 규격, 수량 등은 건설사 가이드라인을 참조, 건설사들에 공통으로 적용되는 일반적인 식재 기준을 적용하였다⁶⁾.

넷째, 관목 및 초화의 면적 비율은 현황의 평균 비율보다 높게 산정, 중앙광장, 수변공간, 놀이 및 운동시설의 경우 평균보다 높은 30%로 적용하고, 외곽숲은 교목 위주로 식재되는 공간의 성격상 평균치와 유사한 15%를 기준으로 하였으며, 소규모 정원은 반대로 관목 및 초화가 중심이 되는 공간이므로 45%까지 확보하도록 하였다.⁷⁾

교목은 대교목(R20, B18, W2.0초과), 중교목(R12-20, B10-18, W1.1-2.0), 소교목(R10, W1.0이하)으로, 관목은 대관목(H0.8이상), 소관목(H0.8미만)으로 구분하였다.

3.2.2 공간별 식재가이드라인

3.2.2.1 중앙광장

중앙광장의 1㎡당 탄소흡수량의 평균값인 1.631kg/yr 이상을 목표 탄소흡수량으로 산정하고, 녹지율은 80% 이상, 기준이 되는 전체 면적은 1,000㎡ 이상을 확보하도록 하였다.

중앙광장은 단지의 중심이 되는 숲 마당이자 커뮤니티의 중심공간으로, 시각적으로 시원한 느낌을 주는 비워진 공간과 수목이 식재되는 공간으로 구분하였다. 수려한 대형 녹음수(R30이상)를 5주 내외로 식재하고, 계절감 있는 화목, 단풍류(R20내외)의 중교목 또한 5-10주 정도 식재하도록 하였다.

교목의 수종은 밀식을 지양하는 공간인 점을 고려, 대형 활엽수를 우선 식재하되 1주당 탄소흡수가 탁월한 수종으로 선정하고자 하였다. 녹음 및 경관목으로 회화나무(*Styphnolobium japonicum* (L.) Schott), 느릅나무(*Ulmus*

davidiana Planch. var. *japonica* (Rehder) Nakai], 느티나무, 소나무 등을 권장하며, 화목류로는 산벚나무(*Prunus sargentii* Rehder), 산수유, 겹벚나무(*Prunus donarium* Sieb), 매화나무, 왕벚나무, 이팝나무(*Chionanthus retusus* Lindl. & Paxton), 층층나무(*Cornus controversa* Hemsl.), 산딸나무, 자목련(*Magnolia liliiflora* Desr.), 배롱나무, 백목련(*Magnolia denudata* Desr.) 등을, 단풍류로는 복자기, 중국단풍(*Acer buergerianum* Miq.), 청단풍 등을 권장하였다.

관목 및 초화의 면적 비율은 30%로 적용, 총 300㎡ 내외가 되도록 하였으며, 잔디 면적은 500㎡ 내외로 하였다. 열린 분위기의 조형적인 중앙광장의 공간 특성상, 정돈되면서 탄소흡수에 탁월한 화양목, 화살나무 등의 하부 식재 수종을 권장하였다.

가이드라인을 적용한 중앙광장의 예시 평면은 다음 그림 1과 같으며, 이러한 설계를 통해 중앙광장의 탄소흡수량을 계산한 결과 1㎡당 1.96kg/yr로 나타나, 목표치인 1.631kg/yr 이상을 확보함을 알 수 있었다.

3.2.2.2 외곽숲

외곽숲의 1㎡당 탄소흡수량의 평균값은 1,900kg/yr로 그 이상을 목표 탄소흡수량으로 산정하였고, 녹지율 80% 이상, 면적 1,000㎡ 이상을 확보하도록 하였다.

산책로와 함께 조성되는 외곽부의 밀도 높은 숲 공간인 점을 고려, 걸으면서 친근하게 느껴지는 R15-20 사이의 산벚나무, 산수유, 겹벚나무, 매화나무, 왕벚나무, 이팝나무, 복자기, 중국단풍, 청단풍 등의 중교목을 100-150주 식재하도록 하였다. 상록교목의 경우 탄소흡수량이 적은 스트로브잣나무(*Pinus strobus* L.) 대신, 측백나무[*Platycladus orientalis* (L.) Franco], 편백나무[*Chamaecyparis obtusa* (Siebold & Zucc.) Endl.], 화백나무[*Chamaecyparis pisifera* (Siebold & Zucc.) Endl.] 등을 식재하도록 권장하였다. 또한, 단지 외곽에서의 경관성을 고려하여 주요 경관적 포인트에 키가 큰 소나무나 녹음 및 경관목인 회화나무, 느릅나무, 느티나무 등을 10주 내외로 식재하도록 하였다.

관목 및 초화는 다양한 높이와 질감의 하부 수종으로 선정, 탄소흡수의 기능과 함께 단지의 프라이버시를 더하도록 하였다. 외곽부에 식재되는 점을 고려, 평균치와 유사한 15%를 기준으로 하여 총 150㎡ 내외가 되도록 하였으며, 잔디 면적은 500㎡ 내외로 하였다.

가이드라인을 적용한 외곽숲의 예시 평면은 다음 그림 2와 같으며, 1㎡당 2.25kg/yr의 탄소흡수량을 나타내 목표치인 1,900kg/yr보다 1.18배 증가함을 알 수 있었다.



그림 1. 중앙광장 식재 가이드라인 적용 예시



그림 2. 외곽숲 식재 가이드라인 적용 예시

3.2.2.3 수변공간

수변공간의 목표 탄소흡수량은 평균치인 1.142kg/yr 이상이며, 녹지율은 50% 이상, 수변 공간의 전체 면적은 500㎡ 이상으로 하였다.

수변공간은 저밀도 교목 식재를 통해 적절한 그늘과 양지가 제공되는 공간으로, 수변에 어울리는 공작단풍(*Acer palmatum* var. *dissectum*), 능수버들(*Salix pseudolasiogynae* H.Lév.) 등과 함께 복자기, 산딸나무, 귀룽나무(*Prunus padus* L.), 이팝나무, 화백나무, 산벚나무 등의 녹음 및 화목류를 식재하도록 하였다. 정자목 규모의 대형목은 5주 내 외로, 중교목은 20~30주 내외를 식재하도록 권장하였다.

관목 및 초화는 열린 분위기의 조형적인 공간의 특성을 고려하여 정돈된 하부 식재가 이루어지도록 하였으며, 식재 면적은 평균보다 높은 30%를 적용하여 150㎡ 내외를 확보하고, 잔디는 50㎡ 내외가 되도록 하였다.

가이드라인이 적용된 수변공간의 예시 평면은 다음 그림 3과 같으며, 가이드라인을 적용한 수변공간의 예시 평면은 다음 그림 2와 같으며, 1㎡당 1.78kg/yr의 탄소흡수량을 나타내 목표치인 1.142kg/yr보다 1.56배 증가함을 알 수 있었다.

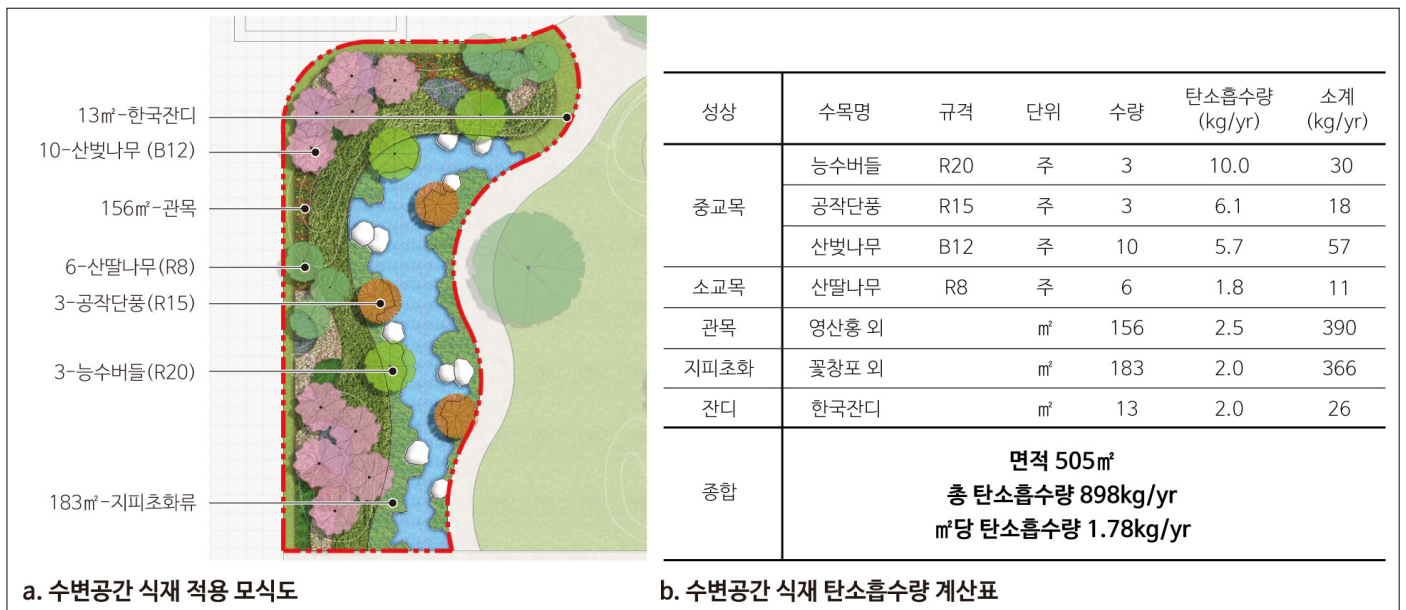


그림 3. 수변공간 식재 가이드라인 적용 예시

3.2.2.4 어린이놀이터 및 주민운동시설

어린이놀이터 및 주민운동시설의 경우 1㎡당 평균 탄소흡수량은 0.942kg/yr로, 이를 목표 탄소흡수량으로 산정하였다. 녹지율은 30% 이상 확보되도록 하였으며, 전체 면적은 500㎡ 이상이 되도록 하였다.

동적인 활동이 많은 공간의 성격상 시야 확보를 위해 지하고 3m 이상, R15-20인 교목으로, 수직적 경관이 우세하고 그늘과 단풍이 있으며 건조, 복사열에 비교적 강한 수종을 선정하였다. 녹음 및 경관목으로 대왕참나무, 목백합나무(*Liriodendron tulipifera* L.), 칠엽수(*Aesculus turbinata* Blume) 등을 선정하였고, 정자목 규모의 교목 5주 내외, 중교목 20-30주를 식재하도록 하였다.

관목 및 초화의 면적 비율은 30%로 적용, 총 150㎡ 내외가 되도록 하였으며, 잔디 면적은 50㎡ 이하로 하였다. 안전을 고려하여 경계부에 분명한 경계 식재를 하도록 유도하며, 부드러운 느낌의 초화류를 통해 다채로운 질감의 하부 식재가 되도록 하였다.

가이드라인을 적용한 어린이놀이터 및 주민운동시설의 예시 평면은 다음 그림 4와 같으며, 가이드라인을 통한 설계를 바탕으로 탄소흡수량을 계산한 결과 1㎡당 1.33kg/yr로 나타나, 목표치인 0.942kg/yr 이상을 확보함을 알 수 있었다.

3.2.2.5 소규모 정원

소규모 정원의 목표 탄소흡수량은 평균치인 1.202kg/yr 이상이며, 녹지율은 50% 이상, 소규모 정원의 면적은 50-200㎡로 하였다.

정원형 공간임을 고려하여 화목류와 단풍나무류를 적극적으로 활용하되, 단순 과일의 군식을 지양하고 눈높이를 고려한 다간형 교목을 식재하도록 하였다. 공간의 특성을 드러내는 포인트 나무로 R20-30의 자목련, 백목련, 배롱나무, 산수유 등을 선정하였고, 남부지방의 경우 만나무(*Ilex rotunda* Thunb.) 등을 식재하도록 하였다. 정자목의 규모는 1주 내외로, 그 외의 배경목으로 R15 이하의 중교목인 산수유, 복자기, 자엽자두(*Prunus cerasifera*), 서양측백(*Thuja occidentalis* L.), 스카이로켓향나무(*Juniperus scopulorum* cv. Skyrocket) 등을 10주 이하로 심도록 하였다.

관목 및 초화는 계절마다 변화하는 정원의 특성을 반영하여 사계절 특화의 다양한 종류의 하부 수종으로 선정하였으며, 식재면적은 평균보다 높은 45%를 적용, 전체 공간면적이 200㎡인 경우 90㎡까지 확보될 수 있도록 하였다. 상대적으로 잔디 면적은 축소되어 30㎡ 내외를 확보하도록 하였다.

가이드라인을 적용한 소규모 정원의 예시 평면은 다음 그림 5와 같으며, 1㎡당 1.25kg/yr의 탄소흡수량을 나타내 목표치인 1.202kg/yr보다 1.04배 증가함을 알 수 있었다.



그림 4. 어린이놀이터 및 주민운동시설 식재 가이드라인 적용 예시



그림 5. 소규모 정원 식재 가이드라인 적용 예시

3.3 식재 가이드라인의 적용

이상과 같이 작성한 식재 가이드라인을 표본 단지의 실제 대상지에 적용, 탄소흡수량의 증가 여부와 증가 폭에 대해 고찰하고, 실질적인 적용 가능성을 검증하고자 한다. 단지별 1㎡당 탄소흡수량의 차이가 많은 수변공간의 A단지와 B단지를 대상으로 하였는데, A단지는 가이드라인의 목표 탄소흡수량을 이미 달성하였으나, B단지는 이에 미치지 못한 상황이다.

A단지의 수변공간은 가이드라인의 1㎡당 탄소흡수량 목표치인 1.142kg/yr 이상의 수치인 1.216kg/yr의 탄소흡수량을 나타내며, 녹지율은 57%로 가이드라인의 기준인 50% 이상을 확보하고 있었다. 녹지율은 기존의 현황을 유지한 상태에서 잔디 면적 중 90㎡를 초화류 면적으로 조정하여 관목 및 초화 132㎡ 이상을 확보하고, 교목의 수종을 가이드라인에 맞게 변경, 1㎡당 탄소흡수량을 다시 계산하였다. 결과 1㎡당 탄소흡수량은 1.216kg/yr에서 1.274kg/yr로, 5% 증가함을 알 수 있었다(표 19, 20 참조).

따라서 가이드라인의 탄소흡수량 목표치와 녹지율을 충족하는 공간의 경우, 관목 및 초화의 면적 비율을 높이고 교목의 수종을 가이드라인에 맞게 변경할 경우 탄소흡수량이 증가함을 확인할 수 있었다.

표 19. A단지 수변공간의 식재수량 및 탄소흡수량(현황)

성상	수목명	규격	단위	수량	탄소흡수량(kg/yr)	소계(kg/yr)
대교목	팽나무	H8.0xR45	주	1	2.7	2.7
중교목	왕벚나무	H4.5xR15	주	4	5.0	20.0
소교목	물푸레나무	H3.0xR6	주	3	1.5	4.5
대관목	화살나무 외	H0.8이상	㎡	-	3.0	-
소관목	회양목 외	H0.8미만	㎡	42.24	2.5	105.6
지피초화	구절초 외		㎡	-	2.0	-
잔디	한국잔디		㎡	202.14	2.0	404.3
종합	면적: 441.57㎡, 총 탄소흡수량 537.1kg/yr, ㎡당 탄소흡수량 1.216kg/yr					

표 20. A단지 수변공간의 식재수량 및 탄소흡수량(식재 가이드라인 적용)

성상	수목명	규격	단위	수량	탄소흡수량(kg/yr)	소계(kg/yr)
대교목	회화나무	H8.0xR45	주	1	15.4	15.4
중교목	산벚나무	H4.5xB15	주	4	7.8	31.2
소교목	공작단풍	H3.0xR6	주	3	2.0	6.0
대관목	화살나무 외	H0.8이상	m ²	-	3.0	-
소관목	회양목 외	H0.8미만	m ²	42.24	2.5	105.6
지피초화	구절초 외		m ²	90	2.0	180.0
잔디	한국잔디		m ²	112.14	2.0	224.3
종합	면적: 441.57m ² , 총 탄소흡수량 562.5kg/yr, m ² 당 탄소흡수량 1.274kg/yr					

B단지의 수변공간 1m²당 탄소흡수량은 목표치인 1.142kg/yr보다 적은 0.739kg/yr이며, 현황 녹지를 역시 가이드라인의 기준인 50%에 미치지 못하는 35%이므로 이를 15% 더 늘린다고 가정하였다. 관목 및 초화의 면적은 132 m² 이상, 잔디의 면적은 44m² 이하로 적용하여, 잔디 면적 중 72m²를 초화류 면적으로 변경하였다. 교목의 수종을 가이드라인에 맞게 변경하고, 중교목의 18주를 적용, 산벚나무를 7주로 변경하였다⁸⁾. 결과 1m²당 탄소흡수량은 0.739kg/yr에서 1.202kg/yr로 63% 증가하고 목표 탄소흡수량 이상을 확보함을 알 수 있었다(표 21, 22 참조).

4. 결론

범지구적인 기후위기에 대응하기 위해 탄소 저감의 중요성이 대두되고 있는 이때, 조경 분야에서도 탄소 저감 설계의 요구가 늘어나고 있다. 우리나라 주거 중 63.5%의 비율을 차지하는 아파트의 조경설계에서 주요 공간에 대한 탄소흡수형 식재 가이드라인을 제시하는 것은, 생활권의 영역인 주거지의 외부 공간에 대한 탄소흡수량을 증가하여 이용자에게 조경의 역할과 생태적인 가치를 강조하는, 의미 있는 작업이라 할 수 있다.

식재설계를 할 때, 탄소흡수뿐 아니라 아름다운 경관과 이용의 편의성 측면도 고려해야 한다. 본 연구는 경관성, 공간 이용성을 고려하면서 녹지율, 관목 및 초화의 면적 비율, 교목의 수종 및 수량 기준 등을 제시하고, 이를 탄소

표 21. B단지 수변공간의 식재수량 및 탄소흡수량(현황)

성상	수목명	규격	단위	수량	탄소흡수량(kg/yr)	소계(kg/yr)
대교목	청단풍	H4.0xR20	주	1	3.4	3.4
중교목	왕벚나무	H4.0xB12	주	1	3.6	3.6
소교목	서양측백	H2.5xW0.8	주	11	1.5	16.5
대관목	화살나무 외	H0.8이상	m ²	4.52	3.0	13.6
소관목	회양목 외	H0.8미만	m ²	22.74	2.5	56.9
지피초화	구절초 외		m ²	-	2.0	-
잔디	한국잔디		m ²	116	2.0	232.0
종합	면적: 440.74m ² , 총 탄소흡수량 325.9kg/yr, m ² 당 탄소흡수량 0.739kg/yr					

표 22. B단지 수변공간의 식재수량 및 탄소흡수량(식재 가이드라인 적용)

성상	수목명	규격	단위	수량	탄소흡수량(kg/yr)	소계(kg/yr)
대교목	공작단풍	H4.0xR20	주	1	6.1	6.1
중교목	산벚나무	H4.0xB12	주	7	5.7	39.9
소교목	서양측백	H2.5xW0.8	주	11	1.5	16.5
대관목	화살나무 외	H0.8이상	m ²	4.52	3.0	13.6
소관목	회양목 외	H0.8미만	m ²	88.74	2.5	221.9
지피초화	구절초 외		m ²	72.00	2.0	144.0
잔디	한국잔디		m ²	44.00	2.0	88.0
종합	면적: 440.74m ² , 총 탄소흡수량 529.9kg/yr, m ² 당 탄소흡수량 1.202kg/yr					

흡수량으로 수치화하여 설계 가이드라인으로 개발한 것에 의의가 있다. 식재 가이드라인을 실제 공간에 적용한 결과, 기존보다 탄소흡수량이 5~63%까지 증가함을 알 수 있었다.

본 연구는 식재에 관련한 가이드라인 만을 제시하는 한계점을 가지나, 향후 수목뿐 아니라 조경 자재 전반의 탄소 저감을 위한 데이터를 구축하여 통합적인 설계 가이드라인의 개발로 이어지게 하는 밑거름이 될 것이다. 또한, 아파트 단지 외부 공간의 탄소흡수량을 높이기 위한 실질적인 식재 데이터 및 설계 가이드라인을 제시함으로써, 탄소흡수와 관련한 다른 분야의 설계 지표 및 지침 수립을 위한 기초 연구로서 활용될 수 있을 것이며, 도시 환경에서의 기후변화 대응에도 이바지할 것으로 기대한다.

- 주 1. 국토교통부에서 2023년 7월 31일에 공시한 2023년 종합건설사업자 사공능력평가액 <토목건축공사업> 상위 6개사 중, 조경설계 가이드라인이 정립되어 있는 5개 건설사의 조경설계 가이드라인을 분석하였다. 이 중 다 건설사는 정원 부문을 다른 가이드라인으로 적용하였다.
- 주 2. 건설사별로 가이드라인에 특화하고 일반 공간을 나누기도 한다. 일반 공간은 일반적인 분류에 의한 공간을 의미하며, 여기에 건설사별로 다른 건설사와 차별화하기 위해 일부 특화 공간이라는 명칭을 부여하기도 한다. 그러나 기본적으로 일반 공간의 범주에서 파생한 것이므로, 일반 공간의 범주로 분류할 수 있다.
- 주 3. 아파트 시상 관련 중, 가장 역사가 깊은 매일경제신문 주관 '살기좋은 아파트상'과 한국경제신문 주관 '한경주거문화대상'의 2021년 이후 수상작들을 검토하였다. 그 중 '한경주거문화대상'은 설계가 완료되었으나 준공 전인 단지들이 다수 포함되어 있어, 준공시의 설계 변경 가능성을 고려, 준공 단지만 대상으로 하는 '살기좋은 아파트상'의 수상작들을 검토하였다. 또한, 일정한 규모 이상의 아파트 단지일 경우 본 연구의 대상인 5개 외부공간이 모두 확보될 가능성이 높으므로 1,000세대 이상을 기준으로 하였으며, 수도권 아파트 단지들로 한정하여 비슷한 기후 조건과 식생 구조를 기본으로 하고자 하였다.
- 주 4. 본 논문에서는 탄소흡수량의 단위를kg/yr로 적용하였고, 온실가스 배출 흡수단위인 kgCO₂eq./yr로 환산하려면 이산화탄소(CO₂)와 탄소(C)의 질량비를 적용, 탄소흡수량에 44/12를 곱하면 된다.
- 주 5. 관목, 소관목을 나누는 기준으로 건설표준품셈의 관목 식재공사 일위대가를 나누는 규격 기준인 H0.3m 미만, H0.3~0.7m, H0.8~1.1m, H1.2~1.5m를 참조하여 적용하였다.
- 주 6. 주 1과 같이 선정된 건설사 상위 5개의 조경설계 가이드라인을 분석, 종합하여 공통으로 적용되는 식재 방법과 평균적인 수목의 규격, 수량 등을 적용하였다.
- 주 7. 관목 및 초화의 면적 비율을 제안하는 선행 연구는 전무한 상태이며, 본 연구의 평균 비율을 그대로 가이드라인에 적용하기에는 단지별 공간별 격차가 많이 발생하여, 평균 비율보다는 높게 적용하되 각 공간의 특성에 맞게 설계 경험치에 의존하여 기준이 되는 면적 비율을 산정하였다.
- 주 8. 현재 공간면적 440㎡으로 가이드라인 기준 면적인 500㎡의 0.88배이므로, 관목 및 초화 면적 150㎡의 0.88인 132㎡를 적용하였다. 잔디 면적은 같은 계산법에 의해 50㎡×0.88=44㎡으로, 중교목은 20~30주의 기준 중 최하 기준인 20주에 0.88배 하여 18주로 적용하였다.

References

1. 김원주, 김운수(2010) 공원녹지분야의 탄소흡수원 확보 및 탄소저감방안, 서울시정개발연구원 2-5.
2. 김학구, 김형섭, 홍용식, 윤이슬, 임운경, 강신구, 김찬범(2022) 도시숲 및 정원 주요 관목의 탄소흡수계수 개발 및 탄소저장량과 흡수량 비교. 한국산림휴양학회지 26(4): 131-139.
3. 조현길, 안태원(2012) 도시 낙엽성 조경수종의 탄소저장 및 흡수, 한국조경학회지 40(5): 160-168.
4. 하지아, 박재민(2023) 탄소저감설계 지원을 위한 수목 탄소계산기 개발 및 적용. 한국조경학회지 51(1): 42-55.
5. 하지아(2022) 조경분야 최적화 설계 지원을 위한 수목 탄소계산기 개발 및 적용. 40-45.
6. https://www.rda.go.kr/board/board.do?boardId=farmprmninfo&prgId=day_farmprmninfoEntry&mode=updateCnt&searchOrgDeptKey=org&dataNo=100000773623
7. https://molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmspage=9&id=95089115

부록 1. 탄소흡수량이 높은 수목의 규격별 탄소흡수량(kg/yr)

수목특성	수목명	1주당 탄소흡수량(연간)													
		R8 (B6)	R10 (B8)	R12 (B10)	R15 (B12)	R18 (B15)	R20 (B18)	R25 (B20)	R30 (B25)	R35 (B29)	R40 (B33)	R45 (B38)	R50 (B42)	R55 (B46)	R60 (B50)
녹음,경관	감나무 (<i>Diospyros kaki</i> Thunb.)	0.8	1.1	1.5	2.1	2.9	3.4	4.8	6.4						
	계수나무 (<i>Cercidiphyllum japonicum</i> Siebold & Zucc.)	0.7	0.9	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2	4.2						
	느릅나무	2.4	3.2	4.0	5.5	7.0	8.0								
	느티나무	0.7	1.0	1.3	1.7	2.2	2.5	3.4	4.3	5.3	6.3	7.4	8.6		
	능수버들	2.8	3.8	4.8	6.6		10.0								
	대왕참나무	3.1	3.8	4.5	5.6	6.7	7.4	9.2	11.0						
	모과나무 (<i>Pseudocarya sinensis</i> (Thouin) C.K.Schneid.)	1.7	2.3	3.0	4.0	5.2	6.0								
	목백합나무	1.5	2.0	2.6	3.4										
	자작나무 (<i>Betula pendula</i> Roth)	1.5	2.3	3.1	4.1	5.6	7.3	8.5							
	칠엽수	0.8	1.1	1.4	1.9	2.4	2.8	3.9	5.1						
	회화나무	1.8	2.3	2.9	3.9	5.0	5.8	7.8	10.1	12.7	15.4				
	먼나무	2.2	2.9	3.6	4.6	5.8	6.6								
	소나무(조형)		0.9	1.1	1.5	1.9	2.2	2.9	3.7	4.5	5.4				
	소나무(장송)							3.1	3.9	4.8	5.7	6.7	7.6	8.6	9.7
	후박나무 (<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc.)	1.3	1.7	2.2	2.9	3.8	4.3	5.9	7.6						
화목	겉빛나무	2.0	2.7	3.5	4.7	6.0	7.0								
	귀룽나무	1.6	2.2	2.8	3.8										
	꽃사과 (<i>Malus × prunifolia</i> (Willd.) Borkh.)	1.5	2.0	2.6	3.6										
	꽃복숭아 (<i>Prunus persica</i> Batsch)	2.7	3.6	4.5	6.2										
	마가목 (<i>Sorbus commixta</i> Hedl.)	2.5	3.3	4.3	5.8	7.5	8.7								
	매화나무	2.0	2.7	3.5	4.7	6.0	7.0								
	배롱나무	1.6	2.1	2.7	3.6	4.6	5.3								
	백목련	1.3	1.8	2.3	3.1	3.9	4.5	6.2	8.0						
	산딸나무	1.8	2.3	2.9	3.8	4.8	5.4								
	산벚나무	2.2	3.2	4.4	5.7	7.8	10.0	11.6							
	산수유	2.6	3.3	4.2	5.5	6.9	7.9								
	왕벚나무	1.4	2.1	2.8	3.6	5.0	6.4								
	이팝나무	1.8	2.4	3.1	4.3	5.5	6.3	8.5	10.9						
	자목련	1.6	2.1	2.7	3.6	4.6	5.4	7.3	9.4						
	자엽자두	1.7	2.3	2.9	3.9	5.1	5.8								
	층층나무	1.8	2.4	3.0	3.9	4.9	5.6								
단풍	공작단풍	2.8	3.7	4.6	6.1										
	복자기	2.0	2.6	3.3	4.3	5.5	6.2								
	중국단풍	1.8	2.4	3.0	3.9	4.9	5.6	7.4	9.3						
	청단풍	0.8	1.2	1.6	2.2	2.9	3.4	4.7	5.9	5.4					

* 수목 탄소계산기(하지아, 2022)를 활용하여 주요 조경수의 탄소흡수량을 추출한 수치임

부록 2. 외부 공간별 적용 추천 교목

수목특성	수목명	중앙광장	외곽숲	수변공간	어린이놀이터 및 주민운동시설	소규모 정원
녹음,경관	느릅나무	○	○			
	느티나무	○	○			
	능수버들			○		
	대왕참나무				○	
	목백합나무				○	
	칠엽수				○	
	회화나무	○	○			
	먼나무					○
	서양측백					○
	소나무(조형)	○	○			
	소나무(장송)	○	○			
	스카이크로켓향나무					○
	화백			○		
화목	겉벚나무	○	○			
	귀룽나무			○		
	매화나무	○	○			
	배롱나무	○	○			○
	백목련	○	○			○
	산딸나무	○	○	○		
	산벚나무	○	○	○		
	산수유	○	○			○
	왕벚나무	○	○			
	이팝나무	○	○	○		
	자목련	○	○			○
	자엽자두					○
단풍	층층나무	○	○			
	공작단풍			○		
	복자기	○	○	○		○
	중국단풍	○	○		○	
	청단풍	○	○			