

도시공원에 대한 탄소중립 기여도 평가 항목 개발

Development of Net Zero Contribution Evaluation Items for Urban Parks

안병철*, 서진민**, 이동규***

*원광대학교 산림조경학과 교수, **원광대학교 산림조경학과 석박사통합과정, ***K-water 차장

An, Byung-Chul*, Seo, Jin-Min**, Lee, Dong-Kyu***

*Professor, Dept. of Forest Environment Landscape Architecture, Wonkwang University

**Forest Environment Landscape Architecture Master's and Doctoral Program, Wonkwang University

***Senior Manager, Korea Water Resources Corporation

Received: July 28, 2024

Revised: August 27, 2024 (1st)

Accepted: August 28, 2024

3인익명 심사필

Corresponding author :

Dong-Kyu Lee

Senior Manager

Korea Water Resources

Corporation, Daejeon 34350,

Korea

Tel.: +82-42-629-4331

E-mail: dkleee@kwater.or.kr

국문초록

본 연구는 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 추가 흡수원으로 제시된 도시공원에 대한 탄소중립 기여도를 평가할 수 있는 항목을 개발하였으며, 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 도입 가능한 평가 항목은 선행연구, 관련 제도 등을 조사 및 분석하여 9분야 46개 항목으로 선별하였다. 둘째, 도출된 항목에 대한 적정성을 검증하기 위하여 FGI, 델파이 분석을 실시하였으며, 최종적으로 10분야 22개 평가 항목을 도출하였다. 셋째, 평가 항목에 대한 중요도 설정을 위한 AHP 분석 결과, 10개 분야 중 식재기법 분야가 가장 높은 것으로 나타났다. 항목별 중요도의 경우 상대적 결정법에서는 녹지체계 연결항목이, 절대적 결정법에서는 탄소흡수량이 높은 수종 식재항목이 가장 높게 분석되었다. 본 연구에서는 도시공원에 대한 탄소중립 기여도를 평가할 수 있는 항목을 제시하였다는 점에서 선행연구와 차별성을 가지며, 항목별 중요도 분석을 추가적으로 진행하여 탄소중립 기여도 향상을 위한 우선순위 결정에 활용될 수 있도록 하였다. 또한, AHP 기법 활용시의 상대적 결정법과 절대적 결정법에 대한 비교 분석 결과를 제시함에 따라 관련 후속 연구에 기초연구로 활용되도록 하였다.

주제어: 기후변화, 파리협정, 저감과 적응, 탄소흡수원, AHP 분석

ABSTRACT

This study developed items to evaluate the Net Zero contribution of urban parks, which were suggested as additional carbon sinks for achieving the 2050 Net Zero goal, and the results of the study are as follows. First, the evaluation items that were introduced were 46 items in 9 fields selected by investigating and analyzing previous studies and related systems. Second, FGI and Delphi analyses were conducted to verify the appropriateness of the derived items, and 22 evaluation items in 10 fields were ultimately derived. Third, the results of AHP analysis to set the importance of the evaluation items showed that the planting technique was the highest among the 10 fields. In terms of the importance of each item, the green space system connection item was analyzed as the highest in the relative decision method, and the planting item of tree species with high carbon absorption was analyzed as the highest in the absolute decision method. This study differs from previous studies in that it presents items that can evaluate the Net Zero contribution of urban parks, and additionally conducts an importance analysis of each item so that it can be used to determine priorities for improving the contribution to Net Zero. In addition, the results of a comparative analysis of the relative and absolute decision methods when utilizing the AHP technique were intended to be used as a basic study for related follow-up studies.

Keywords: Climate Change, Paris Agreement, Mitigation and Adaptation, Carbon Sink, AHP

1. 서론

기후변화는 현대 사회가 직면한 가장 시급한 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 전지구적 대응을 위하여 세계 각국은 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)에 따른 파리 협정을 2015년에 체결하여 이행하고 있다. 특히, 대부분의 국가에서는 탄소중립 목표를 제시하고 있으며, 우리나라는 2050년 탄소중립을 달성한다는 목표의 LEDS(Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategy)를 UNFCCC 사무국에 제출하였다. LEDS의 실행을 위하여 국가 차원에서 2050 탄소중립 시나리오안을 수립하였는데, 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위한 부문별 배출량과 흡수량을 제시하였다. 또한, 탄소중립의 중간 목표인 NDC(Nationally Determined Contribution)에 대해 기후위기의 심각성과 국제사회 구성원인 우리나라의 역할을 고려한 2030 국가 온실가스 감축목표 상향안(이하 “2030 NDC 상향안”이라 한다)을 2021년에 수립하였다.

기후변화에 대응하기 위한 LEDS, 2050 탄소중립 시나리오안, 2030 NDC 상향안 등의 국가 정책에서 탄소중립을 위한 추가 흡수원 확보를 위하여 공통적으로 도시숲, 정원 등의 도시지역 녹지를 확대 조성하는 것을 주요 과제로 제시하고 있다. LEDS에서는 탄소흡수원에 대한 2050 비전 및 전략 중에 하나로 도시숲, 정원 등 생활권 녹지 조성을 제시하였으며, 2050 탄소중립 시나리오안에서도 탄소 흡수원 확충을 위한 도시바람길숲 등의 생활권 숲 조성을 확대하는 것을 정책제언으로 제시하였다. 특히, 2030 NDC 상향안에서는 도시녹지 조성 등을 통하여 약 26.7 백만톤에 달하는 온실가스를 흡수할 수 있도록 구체적 목표를 제시하였다.

그러나 도시공원이 도시 내 탄소흡수 전략으로 자주 사용되고 있는 탄소중립에 기여하는 사회 생태시스템(문태현, 2023) 임에도 불구하고, 탄소중립과 관련된 연구는 다소 제한적으로 진행되었다. 김영민 등(2023)은 광주 중앙근린공원 1지구를 대상으로 조건부가치측정법(Contingent Valuation Method: CVM)을 활용하여 도시공원에서의 탄소저장 기능에 대한 시장가치를 추정하였으며, 이원호(2023)는 서울시 양천구에 위치한 양천공원을 연구 대상으로 하여 도시공원에 대한 탄소중립 달성 방안을 제시하였으나 태양광발전설비, 연료전지 등의 설비 부분만을 대상으로 탄소중립이 가능한 시나리오를 제시하였다. 또한, 이동규와 안병철(2021)은 세종호수공원을 대상으로 공원 이용에 대한 경제적 가치 평가를 CVM을 활용하여 추정하였으며, 박정아 등(2023)은 서울어린이대공원에 대한 식재 현장 조사 분석을 통해 생물다양성 증진, 도시열섬 해결 등의 환경이슈에 대응가능도록 식재 리뉴얼 방향성에 관한 연구를 진행하였다. 문태현(2023)은 경기도 의정부 시내 도시공원 108개소를 대상으로 수종 변화, 잔디면적 및 관리 강도 변화, 사회 참여 관리 비용 변화에 대한 시나리오 분석을 통하여 적응적 녹지 관리 전략을 제시하였다.

이와 같이 도시공원에 대한 탄소중립 관련 연구는 경제적 가치 추정과 적응형 식재분야 중심의 연구가 주되게 진행되어 도시공원이 실질적으로 탄소중립에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 구체적인 논의는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 도시공원에 대한 탄소중립 기여도를 평가할 수 있는 항목을 개발하여 추가 흡수원인 도시공원의 기여도를 극대화하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 탄소중립

이동규와 안병철(2022)은 탄소중립의 정의에 대해 Rogeli et al.(2015)의 결과를 제시하였는데, 에너지 및 산업공정의 순 CO₂ 배출량을 제로화하는 것과 모든 분야에서 연간 CO₂ 순 배출량을 ‘0’로 하는 것, 그리고 모든 곳에서 탄소 배출을 제로화하는 것 등으로 탄소중립에 대해 세분화하였다. IPCC의 1.5°C 보고서(Masson-Delmotte, et al., 2018)에서는 총배출이 2050년까지 CO₂ ‘net zero’가 되어야 1.5°C 목표달성이 가능하다 제시하였으며, ‘net zero CO₂ emissions’에 대하여 CO₂ 배출이 특정 기간에 인위적 제거를 통한 세계적 균형을 이룰 때 달성할 수 있다고 하여 CO₂ 순 배출량이 ‘0’이 되는 것을 탄소중립으로 볼 수도 있다. 또한, 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 ‘탄소중립기본법’이라 한다) 제2조에 따르면 대기 중에 배출·방출 또는 누출되는 온실가스의 양에서 온실가스 흡수의 양을 상쇄한 순배출량이 ‘0’이 되는 상태로 정의하였다.

한편, 환경부(2020)의 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report: NIR)에서는 온실가스 배출량을 교토의정서에서 규정한 CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFCs, PFCs 등 6대 온실가스를 대상으로 산정하고 있으며, 각 온실가스별 대기 잔류기간 동안의 방열 수준이 상이함에 따라 지구온난화지수(Global Warming Potential: GWP)를 각 온실가스에 적용하는 CO₂eq(carbon dioxide equivalent)로 단위를 표기하고 있다. 이를 종합적으로 고려하였을 때, 좁은 의미에서는 탄소중립은 CO₂ 순배출량이 ‘0’인 상태로 볼 수 있으며, Rogeli et al.(2015)에서 제시한

'NGHG = 0'에 교토의정서 6대 온실가스(Green House Gases: GHG) 이외의 GHG 순 배출량이 '0'으로 수렴되는 'non NGHG=0'을 포함하는 개념으로 확대 적용할 수 있다.

본 연구에서의 탄소중립 개념은 탄소중립기본법에서 정의하고 있는 개념과 이동규와 안병철(2022)에서 제시한 개념을 활용하여 연구를 진행하였다.

2.2 도시공원

도시공원은 도시·군계획시설 중의 하나로 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 제2조(정의)에 의거 “도시지역에서 도시자연경관을 보호하고 시민의 건강·휴양 및 정서생활을 향상시키는 데에 이바지하기 위하여 설치 또는 지정하는 녹지공간”을 말한다. 도시공원은 1967년 3월 3일 공원법이 제정되면서 “자연풍경지를 보호하고 국민의 보건·휴양 및 정서생활의 향상에 기여하는 공원”으로 정의하였고, 국립공원, 도립공원, 도시공원으로 구분하여 통합 관리하였다. 이후, 1980년 6월 1일부터 도시공원법과 자연공원법을 분리하면서 도시공원은 국토교통부, 자연공원은 환경부에서 분리하여 관리하고 있다.

이러한 도시공원은 최근 지속적으로 증가하고 있다. 2022년 도시계획현황(국토교통부, 2022a)에 따르면, 도시공원의 조성면적은 2013년 403.9km²에서 2022년 582.6km²로 약 44.3% 정도로 증가하였으며, 1인당 공원 조성면적은 2013년 7.9m²에서 2022년 11.3m²로 증가하여 세계보건기구 권고 기준인 9m²를 초과하는 수준을 유지하고 있다. 또한, 도시화로 인한 도시에 거주하는 인구 비중이 증가할 것으로 예상되는데, UN(2018)에서는 2050년 도시 거주자의 비율이 세계 인구의 약 68%에 달하는 것으로 예상하였으며, 안광호(2021)는 2020년에는 도시 거주자 비율이 전 세계 인구의 55% 이상에서 2050년에는 70%에 달할 것으로 전망하였다.

한편, IPCC(2023)는 기후변화가 도시에서 인간의 건강, 생계 및 주요 기반시설에 악영향을 미쳤으며, 극한 고온이 도시에서 심화되었다고 하였다. 또한, 극한 고온 대응을 위해 도시녹화, 습지 복원 등의 생태계 기반 적응 접근법은 도시 열을 줄이는 데 높은 신뢰도로 효과적이라 하였다. 아울러, Green·Nature 및 Blue Infra는 탄소흡수와 저장을 지원하며 단독 또는 Grey Infra와 결합하여 폭염, 폭우, 홍수 등의 극한 현상에 대한 리스크를 줄일 수 있으며 생계와 웰빙을 위한 공동편익을 창출할 수 있다고 하였다. 온실가스 배출에 대한 도시의 기여적인 측면에서는 온실가스 배출량의 증가분이 도시지역에서 기인한 것으로 추정하였는데 2015년에 도시지역이 전지구 배출분의 약 62%를 차지하는 것에서 2020년에는 67-72%로 증가하였다.

이와 같이 도시에 거주하는 인구 비중은 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 도시에서 배출되는 온실가스 배출량의 비중도 늘어날 것으로 전망된다. 한편, 탄소중립 정책에서는 추가 탄소흡수원으로서 도시공원을 지속적으로 확대 조성하는 것을 과제로 제시하고 있음에 따라, 도시공원에 대한 탄소중립 기여도를 정량적으로 평가할 수 있는 방안이 필요한 시점이다. 본 연구에서는 도시공원의 탄소중립 기여도를 정량적으로 평가할 수 있는 항목을 개발하여 추가 흡수원으로서의 도시공원에 대한 양적, 질적인 기능 향상과 2050 탄소중립 실행을 위한 추가 흡수원 부분에 대한 이행점검시 기초자료를 제공하고자 하였다.

3. 연구 방법

본 연구에서는 도시공원의 탄소중립 기여도에 대한 평가 기준을 개발하기 위하여 그림 1과 같이 4단계로 구분하여 연구를 진행하였다. 사전 준비단계인 선행연구 조사 및 분석에서는 탄소중립, 도시공원, 평가항목, 인증제도, 탄소중립 계획요소 등의 키워드 검색을 진행하였으며, 선행연구는 KCI 등재지를 대상으로 RISS, Google 학술, DBPIA 등의 논문검색 사이트를 활용하였고 관련 보고서, 제도 등의 검색은 Google, RISS, 정책정보포털(국립중앙도서관) 등을 활용하였다. 이를 통해 인증제도와 관련해서는 9개 분야, 39개 항목, 선행연구에서는 9개 분야, 55개 항목을 선별하였으며, 도시공원지침 관련해서는 3개 분야, 8개 항목이 본 연구에 활용가능한 것으로 정리되었다.

1단계 분석에서는 선행연구 조사 및 분석을 통해 도출된 분야 및 항목을 활용 빈도, 유사 항목과의 통합, 탄소중립 기여 가능성, 측정 가능성 등을 종합적으로 고려하여 탄소중립 기여도 평가 항목에 도입가능한 항목(안)을 표 1과 같이 9개 분야 42개 항목으로 도출하였다.

2단계 분석에서는 도입가능 평가항목에 대한 1차 적정성 검증을 위하여 FGI(Focus Group Interview)를 실시하였다. FGI시 각 평가 항목에 대한 적합성은 전문가의 단일합일로 판단하였는데 이러한 단일합일 접근법은 본 연구와 같이 특정분야에 대한 전문적 지식이 요구되는 상황에서 더 적합한 법이다(정광섭 등, 2009; Lee, 2024). 본 연구의 FGI는 대학교, 공공기관, 연구원 등 탄소중립과 도시공원에 대한 이해와 관련 연구 또는 실무업무를 수행한

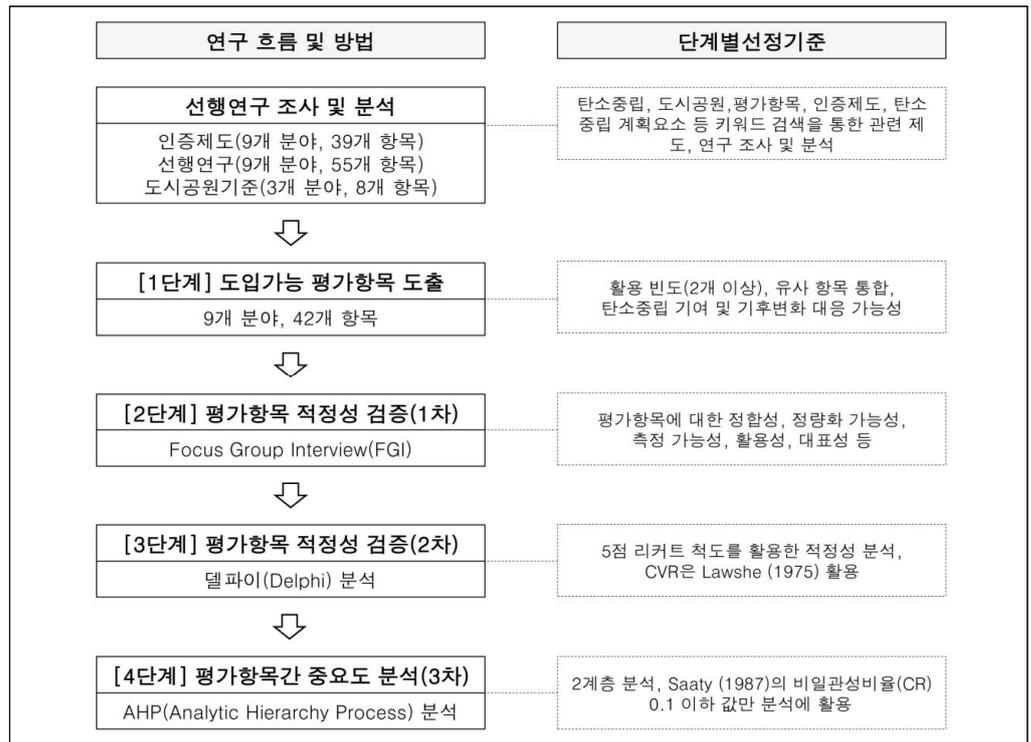


그림 1. 연구 흐름 및 방법

경험이 있는 관련 전문가인 교수 3명, 연구원 4명, 실무자 3명 등 총 10명을 대상으로 2024년 5월 14일 진행하였다. 3단계 분석은 FGI를 통해 도출된 평가항목에 대한 2차 적정성 검증을 위하여 델파이 분석을 실시하였고 CVR(Content Validity Ratio) 값을 통하여 적정성을 검증하였다. 델파이 분석(Delphi Analysis)은 전문가들의 의견 수집을 통해 제시된 기능, 항목, 요소 등에 대한 적정성을 평가하는 방법으로(Rowe and Wright, 1999), 전문가 그룹의 추정치를 통계적 절차에 따라 진행할 경우, 오차범위를 줄일 수 있는 확률이 높다는 가정에서 시작되었다(Adler and Ziglio, 1996). 또한, 범위가 대체로 알려져 있지 않거나, 불완전한 지식이 있을 때, 그룹 간에 제한적인 합의점이 있을 때 적합한 방법이다(Kezar and Maxwy, 2016; 조장환 등, 2020). 현재까지 도시공원에 대한 탄소중립 기여도를 평가할 수 있는 항목, 체계에 관한 연구는 미미함에 따라 본 연구에서 항목 선정에 대한 적정성 검증에 효과적인 법이라고 판단하였다. 전문가 선정은 항목 선정의 일관성 등을 위하여 1차 FGI 분석에 참여한 전문가 10명을 포함하고 탄소중립과 도시공원 계획 및 설계에 경험이 풍부한 실무자, 관련 분야 연구자 15명을 추가하여 총 25명을 대상으로 설문지를 시행하였다. 설문 문항은 2단계 분석 결과 도출된 항목이 도시공원의 탄소중립 기여도 평가에 적정인지 여부에 대한 5점 리커트(Likert)척도로 구성하였으며, 2024년 5월 31일에서 6월 15일까지 2주간 설문을 진행하였다. CVR의 기준값은 Lawshe(1975)에서 제시한 전문가 수 25명일 때의 CVR.440 이상인 값을 활용하여 분석을 진행하였다(표 1 참조).

$$CVR = \frac{N_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \tag{식 1}$$

*: Ne: 항목에 대한 적정성 설문시 리커트 척도 4, 5로 응답한 패널의 수, N: 응답한 전체 패널 수

4단계 분석에서는 3단계 분석을 통해 도출된 평가 항목에 대하여 다기준분석법 중 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 활용하여 중요도를 분석하였다. AHP 기법은 계량적으로 접근이 어려운 분야에 대한 의사결정을 하는 경우 인간사고는 계층적 구조설정, 상대적 중요도 설정, 논리적 일관성의 원리 등 3가지 원리가 지켜진다는 특징에서 착안해 개발된 의사결정기법의 하나이다(Saaty, 1980; 2001). 해당 분야에 대한 경험을 조직화, 구조화 및 체계화를 통하여 평가요소에 대한 가중치를 설정하는 방법으로 단순성, 적용성, 범용성 등에 대한 장점으로 다양한 분야에서 광범위하게

표 1. 도입가능 탄소중립 기여도 평가 항목(안)

분야	평가항목	참고문헌*													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
토지 이용	기존의 생태환경 보존	●			●	●	●	●					●	●	
	절성도 최소화(자연지형 활용)	●												●	
	바람통로 계획						●				●				
	친환경 도시텃밭 조성							●							
교통 및 동선	대중교통 접근성 향상	●	●			●	●	●			●		●		
	자전거 이용 접근성 향상						●		●		●		●		
	도보접근 향상	●	●				●	●			●	●			
	자전거 관련 시설 도입	●				●		●			●	●		●	
	공원내 보행자 중심(차량통행 금지)							●				●			
	주차장 녹화(그린파킹)								●				●		
에너지	신재생에너지 사용(제로에너지)	●	●					●	●	●					●
	신재생에너지를 활용한 시설물	●	●								●				●
	LED 가로등 사용		●						●		●			●	●
	건축물 자봉 태양광 설치											●		●	
재료 및 자원	친환경, 저탄소, 자원순환 자재 사용	●						●							●
	재활용 자재 사용		●					●	●			●	●	●	
	지역자재 사용(관내 제품 사용)							●			●		●		
	재활용 및 폐기물 보관시설	●	●			●	●								
	자연재료 시설물 사용							●				●			
물순환 관리	빗물 관리 및 빗물 이용	●	●			●	●	●	●		●	●	●		
	오수 및 중수 재이용	●						●				●			
	투수 포장재 사용				●			●	●		●		●		
	LID 기법 도입				●			●	●		●				
생태 환경	녹지체계 연결	●						●	●	●	●				
	생태면적률 도입	●							●						
	비오톱 조성(수생, 육상)	●	●								●				
식생 기법 및 기반	자생 및 향토수종 식재		●					●			●	●	●	●	
	기존수목 존치		●								●	●	●		
	내건성이 강한 수종 식재											●		●	
	탄소흡수량이 높은 수종 식재									●	●		●	●	●
	유기질 비료 적용		●	●			●				●				
	다층구조 식재		●	●							●		●	●	●
	표토보존 및 재활용	●									●				
	식물생육에 적합한 식생기반(토심)														●
	유지관리를 고려한 자파류 선정										●				●
	멀 칭								●		●				
수 환경	수공간 도입(생태연못 및 습지 등)				●				●		●		●	●	
	수생식물 도입									●	●				
	기존하천 및 수로 보전						●			●					
인공 녹화	옥상조경				●			●	●		●			●	
	벽면녹화(그린월 도입)				●			●	●		●			●	
	지붕녹화							●						●	

* A: 문희수와 윤순진(2021), B: 산림청(2023), C: 한국임업진흥원(2015), D: 박정로와 최재규(2022), E: 나민희와 한혜련(2013), F: Jin and Wang(2023), G: 이규리(2018), H: 이은정과 김건우(2023), I: 김원주 등(2010), J: 국토교통부(2011), K: Sara et al.(2019), L: Yang and Ye(2022), M: Zhang et al.(2023), N: 국토교통부(2022b)

활용되고 있다(조근태 등, 2003; 이종건, 2016). AHP 분석은 일반적으로 계층 구조도를 만들고 계층별 요소에 대한 중요도를 평가하기 위해 쌍대 비교를 실시하여 자료를 수집하며, 각 계층의 요소들의 상대적인 가중치 산정시에는 응답결과에 대한 일관성을 검증하기 위하여 비일관성 비율(inConsistency Ratio: CR)을 활용하고 마지막에는 각 요소간의 우선순위를 결정하기 위하여 종합 가중치를 산정하여 중요도를 결정한다(Zahedi, 1986; 조태근 등, 2003; 이종건, 2016). 본 연구에서의 계층구조도는 그림 2와 같으며, 탄소중립 기여도를 평가할 수 있는 분야를 1 계층으로 설정하고 각 분야별 평가 항목을 2계층으로 설정하여 관련 전문가, 실무자, 연구자 등 총 125명을 대상으로 2024년 6월 28일에서 7월 12일까지 약 2주간 설문을 진행하였다. AHP 중요도 도출을 위한 평가 척도는 구미현(2014), 이재욱(2021), 이동규(2022) 등 선행연구에서 주되게 사용되는 표 2와 같이 9단계 척도로 쌍대 비교가 가능하게 구성하였다.

분석 프로그램의 경우, 델파이 분석, AHP 분석에서는 Microsoft Office Excel 2019를 활용하였고 델파이 분석을 위한 설문 결과의 신뢰성 검증을 위해서는 IBM SPSS Statistics 25.0를 활용하여 연구를 진행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 평가 항목에 대한 1차 검증 결과

도시공원에 대한 탄소중립 기여도 평가 항목으로 도입 가능한 후보 항목의 FGI 결과는 표 3과 같이 10개 분야 36개 항목으로 정리되었다. 표 1의 도입가능한 평가항목에서 추가된 항목은 전기차 충전소 등 친환경 교통수단 지원

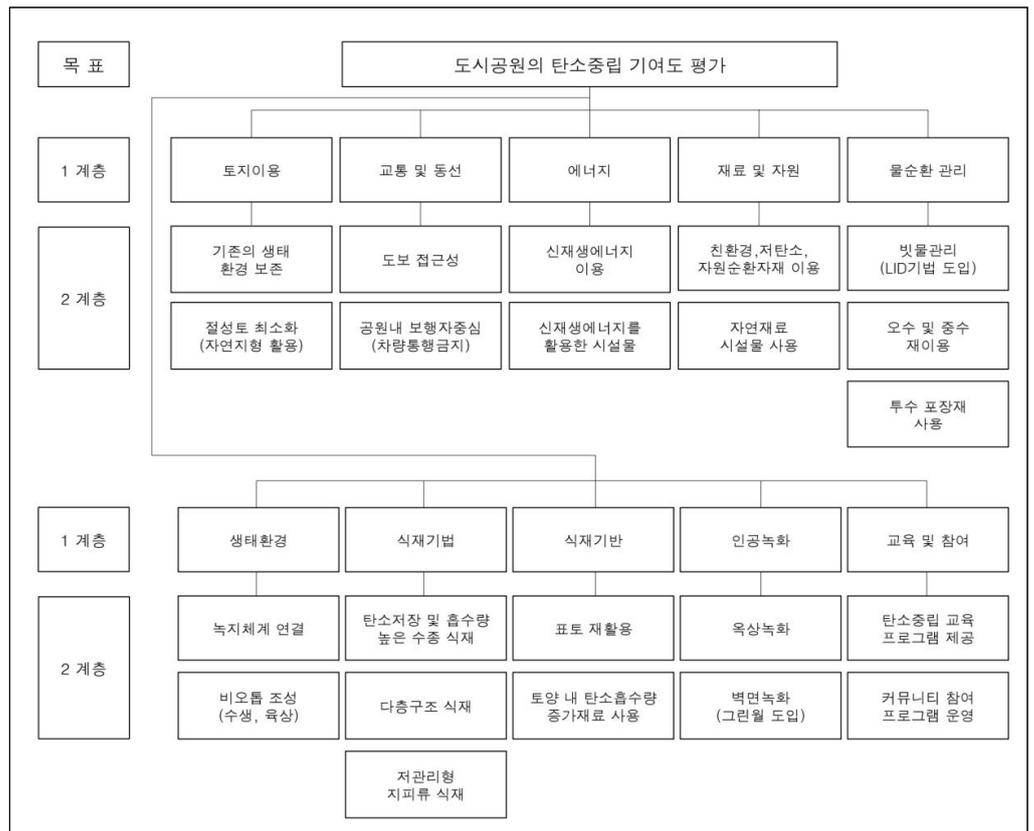


그림 2. 탄소중립 기여도 평가 항목의 AHP 계층 구조도

표 2. 9단계 척도에 의한 중요도 설문 예시

A	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같음	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	B
토지이용	9	7	5	3	1	3	5	7	9	교통 및 동선

표 3. 탄소중립 평가 항목에 대한 1차 검증 결과(FGI 분석)

분야	토지이용	교통 및 동선	에너지	재료 및 자원	물순환 관리
항목	기존의 생태환경 보존 절성토 최소화 토시텃밭 조성	대중교통 접근성 자전거이용 접근성 도보 접근성 자전거 관련 시설 도입 공원내 보행자 중심 주차장 녹화 친환경 교통수단 지원시설	신재생에너지 이용 신재생에너지 활용 시설물 고효율 기기 활용 비율	친환경 등 자재 사용 재활용 자재 사용 지역자재 사용 재활용폐기물 보관시설 자연재료 시설물 사용	LID 기법 도입 오수 및 중수 재이용 투수포장재 사용
분야	생태환경	식재기법	식재기반	인공녹화	교육 및 참여
항목	녹지체계 연결 비오톱 조성	탄소저장 및 흡수량이 높은 수종 식재 유기질 비료 적용 다층구조 식재 저관리형 지피류 식재	표토 재활용 멀칭 토양 내 탄소흡수량 증가재료 사용	옥상녹화 벽면녹화 지붕녹화	탄소중립 교육프로그램 제공 커뮤니티 참여프로그램 운영 탄소중립 관련정보 게시 및 홍보

시설 설치, Biochar 등 토양 내 탄소흡수량 증가 기술 활용, 에너지 소비 감소를 위한 수자원 절약형 설비 설치, 운 영단계에 평가 가능한 탄소중립 교육, 커뮤니티 참여 프로그램 운영, 탄소중립 관련 정보 홍보 등 6개 항목이 추가 되었으며, 분야의 경우에는 교육 및 참여 분야가 추가되었다. 정량적 분석이 어려운 바람통로 계획, 평가항목의 중 복인 생태면적률, 기존의 생태환경 보존 항목과 중복되는 기본수목 존치와 기존하천 및 수로보전 등의 6개 항목과 탄소중립에 미치는 영향이 적은 수환경 분야는 삭제되었다. 에너지 분야의 LED 가로등 사용, 고효율 기기활용 비 율로 건축물 지붕 태양광 설치는 신재생에너지 생산량으로 변경되는 등 4개 항목은 변경되었으며, 식생환경분야는 식재기법과 식재기반으로 세분되었다.

4.2 평가 항목에 대한 2차 검증 결과(델파이 분석)

FGI를 통한 1차 적정성 검증이 완료된 36개 항목에 대하여 델파이 분석을 활용한 2차 검증 결과는 표 4와 같 다. 분석에 활용된 데이터의 경우, SPSS의 신뢰도 분석 결과 Cronbach 알파값은 .932으로 Nunnally(1978)에서 제 시한 ‘when important decisions’의 최솟값 .9이상임에 따라 데이터의 신뢰도가 매우 높은 것으로 나타났다. 델파이 분석에서는 1차 검증을 통해 도출된 36개 항목에서 CVR .44 이하인 14개 항목을 제외한 22개 항목이 도시공원에 대한 탄소중립 기여도 평가에 적절한 것으로 분석되었다. 1차 검증 대비 2차 검증에서 가장 큰 차이를 보인 것은 교통 및 동선 분야이며, 7개 항목에서 최종적으로는 2개 항목으로 정리되었다. 이를 통하여 교통 및 동선 분야가 도시공원의 탄소중립에 미치는 영향이 가장 적은 것으로 추정할 수 있다.

표 4. 탄소중립 기여도 평가 항목에 대한 CVR 결과

a: 토지이용, 교통 및 동선 분야

구분	토지이용			교통 및 동선						
	기존의 생태환경 보존	절성토 최소화	도시텃밭 조성	대중교통 접근성	자전거이용 접근성	도보 접근성	자전거 관련 시설 도입	공원내 보행자 중심	주차장 녹화	친환경 교통수단 지원시설 설치
Ne	19	20	2	10	15	18	14	19	16	14
CVR	.52*	.60*	-.84	-.20	.20	.44*	.12	.52*	.28	.12

b: 에너지, 재료 및 자원 분야

구분	에너지			재료 및 자원				
	신재생에너지 이용	신재생에너지활용 시설물	고효율 기기 활용 비율	친환경 등 자재 사용	재활용 자재 사용	지역자재 사용	재활용 및 폐기물 보관시설	자연재료 시설물 사용
Ne	23	21	17	23	17	8	11	20
CVR	.84*	.68*	.36	.84*	.36	-.36	.12	.60*

표 4. 계속

c: 물순환 관리, 생태환경 분야

구분	물순환 관리			생태환경	
	빗물관리 (LID기법 도입)	오수 및 중수 재이용	투수 포장재 사용	녹지체계 연결	비오톱 조성 (수생·육상)
Ne	23	20	18	20	20
CVR	.84*	.60*	.84*	.44*	.44*

d: 식재기법, 식재기반 분야

구분	식재기법				식재기반		
	탄소저장 및 흡수량이 높은 수종 식재	유기질 비료 적용	다층구조 식재	저관리형 지피류 식재	표토 재활용	멀칭	토양 내 탄소흡수량 증가재료 사용
Ne	24	14	21	19	18	16	22
CVR	.92*	.12	.68*	.52*	.44*	.25	.76*

e: 수환경, 인공녹화, 교육 및 참여 분야

구분	인공녹화			교육 및 참여		
	옥상녹화	벽면녹화	지붕녹화	탄소중립 교육프로그램 제공	커뮤니티 참여프로그램 운영	탄소중립 관련정보 게시 및 홍보
Ne	18	19	17	20	21	17
CVR	.44*	.52*	.36	.60*	.68*	.36

*: CVR값이 .44 이상인 값

4.3 평가 항목에 대한 중요도 분석(AHP)

AHP 분석시 1계층은 토지이용, 교통 및 동선, 에너지, 재료 및 자원, 물순환 관리, 생태환경, 식재기법, 식재기반, 인공녹화, 교육 및 참여 등 총 10개 분야로 설정하였으며, 분야별 하위 항목을 2계층으로 설정하여 2개 또는 3개 항목으로 구성되도록 하였다. 이재욱(2021), 이동규(2022), 송소현(2022) 등의 선행연구에 CR을 활용한 AHP 분석을 진행함으로 신뢰도를 평가할 수 있다고 하였으며 $CR \leq .1$ 이하일 때 일관성이 있다고 판단하고 분석을 진행하였다. 이에 본 연구에서도 설문응답의 신뢰도 향상을 위하여 CR이 .1 이하인 응답값을 선별하여 AHP 분석에 활용하였다.

분석 데이터의 경우, 1계층은 125개의 표본 중 CR .1을 초과하는 49개를 제외한 76개 데이터를 활용하였으며 평균 CR은 .054로 나타났다. 2계층 분석에서는 2계층 항목이 2개인 8개 분야에 대한 분석은 전체 표본수인 125개 데이터를 활용하였고 2계층 항목이 3개인 2개 분야에 대해서는 표 5와 같이 CR .1 이하인 응답값만을 선별하여 중요도를 분석하였다.

이를 기반으로 진행한 평가 항목별 중요도 결과는 표 6과 같으며, 평가 분야에 해당하는 1계층에 대한 중요도는 식재기법 분야가 가장 높은 것으로 나타났고 생태환경, 식재기반, 에너지 분야 순으로 높게 분석되었다. 종합 가중치를 고려한 상대적 결정법에 따른 항목별 중요도에서는 녹지체계 연결 항목이 가장 높았고 표토 재활용, 기존의 생태환경 보존, 토양내 탄소흡수량 증가재료 사용 순으로 중요도가 분석되었다. 또한, 평가 분야에서는 교통 및 동선이 종합 가중치가 가장 낮았으며, 2개 항목 중에서는 인공녹화 분야의 벽면녹화 중요도가 가장 낮은 것으로 분석되었다.

4.4 분석 결과에 대한 고찰

본 연구에서는 델파이 분석, AHP 분석을 위한 설문 조사를 진행함에 따라 데이터 분석에 활용된 표본수의 적정성에 대한 논의가 필요하다. 델파이 분석의 경우, Lynn(1986)에서는 5명에서 10명 규모가 바람직하다고 하였고

표 5. 2계층 분석 표본수

구분	하위 항목 수	설문 응답수	분석 표본수	CR
물순환 관리	3	125	92(73.6%)	.025
식재기법	3	125	76(60.8%)	.035

표 6. 탄소중립 평가 항목별 중요도 산정 결과

1계층(A)			2계층(B)				종합 가중치(C = A × B)				
구 분	중요도		순위	구 분	중요도		순위	중요도		순위	
	상대적 ^a	절대적 ^b			상대적 ^a	절대적 ^b		상대적 ^a	절대적 ^b	상대적 ^a	절대적 ^b
합 계	1.000	-	-	-	-	-	-	1.000	-	-	-
토지이용	.105	.766	6	소 계	1.000	-	-	.105	-	-	-
				기존의 생태환경 보존	.611	1.000	1	.064	.766	3	8
				결성토 최소화(자연지형 활용)	.389	.637	2	.041	.488	13	17
교통 및 동선	.054	.394	10	소 계	1.000	-	-	.054	-	-	-
				도보접근 향상	.509	1.000	1	.027	.394	20	19
				공원내 보행자 중심(차량통행 금지)	.491	.965	2	.027	.380	21	20
에너지	.110	.803	4	소 계	1.000	-	-	.110	-	-	-
				신재생에너지 사용(제로에너지)	.557	1.000	1	.061	.803	5	6
				신재생에너지를 활용한 시설물	.443	.795	2	.049	.639	10	10
재료 및 자원	.083	.606	7	소 계	1.000	-	-	.083	-	-	-
				친환경, 저탄소, 자원순환 자재 사용	.598	1.000	1	.050	.606	9	11
				자연재료 시설물 사용	.402	.672	2	.033	.407	16	18
물순환 관리	.105	.766	5	소 계	1.000	-	-	.105	-	-	-
				빗물 관리 및 빗물 이용	.463	1.000	1	.049	.766	11	8
				오수 및 중수 재이용	.311	.672	2	.033	.515	17	15
				투수 포장재 사용	.227	.490	3	.024	.376	22	21
생태환경	.135	.985	2	소 계	1.000	-	-	.135	-	-	-
				녹지체계 연결	.571	1.000	1	.077	.985	1	2
				비오름 조성(수생,육상)	.427	.748	2	.058	.737	6	9
식재기법	.137	1.000	1	소 계	1.000	-	-	.137	-	-	-
				탄소흡수량이 높은 수종 식재	.401	1.000	1	.055	1.000	7	1
				다층구조 식재	.373	.930	2	.051	.930	8	3
				저관리형 지피류 식재	.226	.564	3	.031	.564	18	12
식재기반	.126	.920	3	소 계	1.000	-	-	.126	-	-	-
				표토 재활용	.511	1.000	1	.064	.920	2	4
				토양내 탄소흡수량 증가재료 사용	.489	.957	2	.062	.880	4	5
인공녹화	.071	.518	9	소 계	1.000	-	-	.071	-	-	-
				옥상조경	.609	1.000	1	.043	.518	12	14
				벽면녹화(그린월 도입)	.391	.642	2	.028	.333	19	22
교육 및 참여	.074	.540	8	소 계	1.000	-	-	.074	-	-	-
				탄소중립 교육 프로그램 제공	.476	.908	2	.035	.491	15	16
				커뮤니티 참여 프로그램 운영	.524	1.000	1	.039	.540	14	13

* a: 상대적 결정법을 활용한 중요도 값, b: 절대적 결정방법을 활용한 중요도 값

Waltz et al.(1991)에서는 20명까지 추천하였으며 안정적인 결과를 위한 전문가 패널 수를 20명으로 제시하고 있음에 따라, 본 연구에서 델파이 분석시 활용한 25명의 응답자 수는 적절한 것으로 판단할 수 있다. AHP 분석에 활용된 표본 수의 경우, 논리적 일관성 및 전문성이 있을 경우에는 표본의 크기는 문제가 되지 않으며(조영태 등, 2010; 이한우 등, 2016; 최성호 등, 2016.), 이동규(2022), 이휘재 등(2020), 이한우 등(2016)에서 AHP 분석시 100-200명 정도의 표본수를 사용함에 따라 본 연구에서 활용된 표본 수는 적절한 것으로 볼 수 있다.

AHP를 활용한 중요도 분석에서는 선행연구에서 주되게 사용되는 상대적 결정법에 따라 분석을 진행하였으나 생태환경과 식재기법 분야간의 중요도 차이가 약 1% 미만이며, 분야의 하위 항목 수가 다른 점을 고려하여 절대적 결정법에 따른 분석을 추가적으로 진행하였다. 중요도를 결정하는 법은 상대적 결정법과 절대적 결정법으로 구분되며, 상대적 결정법은 다수의 항목을 가지는 각 계층의 가중치의 합을 '1'을 기준으로 항목에 대한 가중치를 정하고 각 계층별 가중치를 곱하여 산정된 종합 가중치의 합이 '1'이 되게 하는 방법이다. 절대적 결정법은 각 계층의 하

위 항목 중 가장 높은 항목의 값을 '1'을 기준으로 하여 타 요소의 가중치를 설정하는 방식으로 우선순위가 가장 높은 항목의 종합 가중치를 '1'이 되게 하여 상대적 중요도가 낮은 요소는 '1'보다 낮은 값을 가지게 되며 각 요소, 각 계층에 대한 종합 가중치의 합은 '1'을 초과하게 되는 방법이다(박현 등, 2000).

절대적 결정법에 따른 분석 결과 탄소흡수량이 높은 수종 식재 항목의 중요도가 가장 높게 나타났고 녹지체계 연결 항목이 2순위로 분석되었으며 3순위는 상대적 결정법에서 8순위로 나타난 다층구조 항목이 차지하였다. 한편, 이동규와 안병철(2022) 등의 탄소흡수량 산정 관련한 선행연구에서는 탄소흡수량이 높은 수목을 식재할 경우 탄소 흡수에 직접적인 영향을 미치며, 녹지 조성 등의 선행적인 식재의 경우에는 그 효과가 적은 것으로 제시하고 있다. 이를 종합적으로 고려하였을 때 본 연구에서와 같이 1계층별 하위 계층 수가 동일하지 않을 경우에는 종합 가중치에 대한 값의 편향을 최소화할 수 있는 절대적 결정법에 의한 AHP 분석이 상대적 결정법 보다 객관적인 비교가 가능한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 2050년 탄소중립 달성을 위해 추가 흡수원으로서 제시된 도시공원에 대한 탄소중립 기여도를 평가할 수 있는 항목을 개발하였으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 탄소중립 기여도를 평가할 수 있는 후보 항목은 선행연구, 관련 제도 및 보고서 등을 조사, 분석한 결과 토지이용, 교통 및 동선 등 총 10개 분야와 기존의 생태환경 보존, 질서도 최소화 등 46개 항목이 도출되었다. 식재 기법 및 기반 분야의 경우 자생 및 향토수종 식재, 기존수목 존치 등 10개 항목이 포함되는 것으로 조사되어 해당 분야에 대한 관련 연구가 주되게 진행되었으며, 탄소중립을 위한 도시공원 측면에서는 식재를 활용한 다양한 연구가 시도된 것으로 추정할 수 있다.

둘째, 후보 평가 항목에 대한 적정성 검증을 위하여 FGI, 델파이 분석 결과, 도시공원에 대한 탄소중립 기여도 평가항목은 최종적으로 22개가 도출되었다. 46개의 후보 평가 항목에 대한 FGI에서는 정량적 분석 가능성, 타 항목간의 중복성 등을 고려하여 36개 항목으로 선별되었으며, 델파이 분석에서는 CVR .440 이상인 절정도최소화, 도보 접근성, 자연재료 시설물 사용 등의 22개 항목이 적절한 것으로 나타났다.

셋째, 최종적으로 도출된 22개 평가 항목에 대한 AHP 분석 결과, 1계층에 해당되는 분야에서는 식재기법 분야가 가장 중요도가 높은 것으로 나타났으며, 2계층인 항목에서는 종합 가중치를 고려한 상대적 결정법에서는 생태환경분야의 녹지체계 연결이 가장 중요한 항목으로 도출되었다. 도출된 우선순위에 대한 적정성 검토를 위하여 절대적 결정법에 의한 중요도 분석을 추가적으로 실시한 결과 식재기법 분야의 탄소흡수량이 높은 수종 식재 항목이 가장 중요도가 높은 것으로 나타났다. 이를 통하여 AHP 분석시에는 하위 계층 항목 수를 최대한 동일하게 유지시키는 것이 종합 가중치에서 항목수에 따른 값 편향을 최소화할 수 있으며, 하위 계층 항목 수가 동일하지 않을 경우에는 절대적 결정법을 활용하는 것이 보다 객관적인 가중치 비교가 가능한 것으로 제안하였다.

본 연구의 시사점은 도시공원에 대한 탄소중립 평가 항목을 체계화하였다는 점에서 선행연구와 차별성을 가지며, 평가 항목에 대한 중요도를 제시함으로써 탄소중립 관련 정책 실행시 우선순위 결정에 활용될 수 있도록 하였다. 또한, AHP 분석의 경우, 상대적 결정법과 절대적 결정법의 비교 분석을 통하여 계층간 항목 수의 차이에 따른 종합 가중치 값 편향을 최소화할 수 있는 방안을 제시하여 향후 관련 연구 진행시 보다 객관적인 AHP 분석이 가능토록 하였다.

본 연구를 통해 도출된 도시공원의 탄소중립 기여도 평가 항목은 지속적으로 확대되고 있는 도시공원에 대한 정량적인 지표로 활용될 수 있을 것이며, 평가 결과를 통하여 도시공원의 탄소중립 기여도 향상을 유도할 수 있을 것이다. 이러한 평가 항목을 실행하기 위해서는 탄소중립공원 인증제 등의 제도를 도입하는 것이 필요하며, 본 연구에서 도출된 평가 항목을 활용한 시범 평가를 통하여 평가 항목의 실행 가능성 측면에서의 후속 연구도 의미가 있을 것이다.

References

1. 구미현(2014) 택지개발사업 생태계서비스 평가모형 개발 및 적용: 4개 보금자리주택지구를 사례로. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
2. 국토교통부(2011) 저탄소 녹색성장형 도시공원 조성 및 관리운영 전략 정책연구.
3. 국토교통부(2022a) 2022 도시계획현황.

4. 국토교통부(2022b) 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침.
5. 김영민, 신승식, 나주몽(2023) 탄소저장 가치를 고려한 도시공원의 경제적 가치 추정 연구: 광주 중앙근린공원 1지구를 중심으로. *한국지역개발학회지* 35(3):111-134
6. 김원주, 김운수, 변유진, 김정아(2010) 공원녹지분야의 탄소흡수원 확보 및 탄소저감방안. 서울연구원 정책과제 연구보고서. 서울연구원.
7. 나민희, 한혜련(2013) LEED 인증 건축물 분석을 통한 실내공간의 친환경성 개선방안에 관한 연구. *한국실내디자인학회 논문집* 22(5): 233-240.
8. 문태현(2023) 지속가능한 탄소흡수공원을 위한 적응적 녹지 관리 전략. 고려대학교 대학원 석사학위논문.
9. 문희수, 윤순진(2021) 친환경 학교 공간의 환경교육적 의미와 활용: 녹색건축인증 학교를 중심으로. *환경교육* 34(2): 190-209.
10. 박정아, 한봉호, 박석철(2023) 기능변화를 반영한 서울어린이대공원 조성녹지의 식재 리뉴얼 방향성 연구. *한국조경학회지* 51(3): 21-36.
11. 박정로, 최재규(2022) 제로에너지건축물 인증에 대한 설계자와 시공자의 인지도 차이 분석. *한국생태환경건축학회* 22(2): 55-61.
12. 박현, 고길곤, 송지영, 신경식(2000) 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구. *한국개발연구원 보고서*.
13. 산림청(2023) 모범 도시숲등 인증에 관한 규정.
14. 송소현(2022) 어촌마을 탄소중립실현을 위한 계획요소 도출 및 적용. 원광대학교 대학원 박사학위논문.
15. 안광호(2021) 탄소중립도시 실현을 위한 도시공원의 역할. *건축* 66(1): 26-29.
16. 이동규(2022) 탄소중립형 마을 계획요소 및 모델 개발. 원광대학교 대학원 박사학위논문.
17. 이동규, 안병철(2021) 도시 그린인프라 핵심지역의 경제적 가치와 계획 요소 분석: 새호호수공원 사례를 중심으로. *한국조경학회지* 49(4): 41-54.
18. 이동규, 안병철(2022) 비도시 정주지의 탄소중립 기여도 분석: 농촌지역 그린인프라를 대상으로. *한국조경학회지* 50(3): 19-34.
19. 이규리(2018) 도시 자연환경재생 요소 도출 및 효과 분석. 한양대학교 대학원 박사학위논문.
20. 이은정, 김진우(2023) 지속가능한 도시를 위한 그린인프라 전환사업의 ESG 관점 평가요소 도출 및 평가. *한국조경학회* 23 추계학술대회 논문집.
21. 이원호(2023) 대도시 주민복지형 근린공원의 탄소중립 달성 방안 연구. 세종대학교 대학원 석사학위논문.
22. 이종건(2016) 다기준의사결정기법을 이용한 도로비탈면의 성능중심 평가모형 개발. 경북대학교 대학원 박사학위논문.
23. 이재욱(2021) 생태계서비스 평가체계를 활용한 수변생태벨트 평가모형 개발. 단국대학교 대학원 박사학위논문.
24. 이한우, 염동문, & 강봉석. (2016). AHP 분석을 통한 어린이집 평가인증지표에대한 중요도 연구: 경남지역 40인 이상 어린이집을 중심으로. *The Korean Journal of Local Government Studies* 20(1).
25. 이휘재, 김선무, 변형근(2020) AI Speaker 대중화를 위한 콘텐츠 서비스 선택 요인에 관한 연구: AHP(계층화 분석)를 중심으로. *한국콘텐츠학회논문지* 20(11): 38-48.
26. 정광섭, 구자훈, 김상원, 원제무(2009) 부동산개발사업의 투자가치평가에 관한 연구. *국토연구* 62: 85-105.
27. 조근태, 조용곤, 강현수(2003) 앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정. 서울: 동현출판사.
28. 조영태, 최상희, 장인석(2010) AHP기법을 이용한 지역별 노인복지의 수요특성 분석: 원주, 의성, 순창, 부여를 중심으로. *대한건축학회논문집* 26(7): 167-174.
29. 조장환, 최문기, 김오석, 이정학, 이창배(2020) 전문가 델파이 및 토지이용점수화 접근법을 활용한 지역 산림생태계서비스 공급량 지도화 연구. *한국지리학회지* 9(2): 295-312.
30. 최성호, 박종우, 조동혁(2016) AHP분석을 활용한 비즈니스모델 구성요인의 상대적 중요도 연구: 지식서비스기업을 대상으로. *한국콘텐츠학회논문지* 16(7): 19-30.
31. 한국임업진흥원(2015) 한국산림인증제도 운영지침.
32. 환경부(2020) 2019 국가 인벤토리 보고서.
33. Adler, M. and E. Ziglio(1996) *Gazing into the Oracle: The Delphi Method and Its Application to Social Policy and Public Health*, London: Jessica Kingsley Publishers.
34. IPCC(2023) *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the*

- Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Core Writing Team, H. Lee and J. Romero(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
35. Jin, L. and Y. Wang(2023) The practice and potential of the SITES v2 rating system for the sustainable design of a landscape: A case study of Chicago's Navy Pier. *Frontiers in Environmental Science* 11: 966726.
 36. Kezar, A. and D. Maxey(2016) The Delphi technique: An untapped approach of participatory research, *International Journal of Social Research Methodology* 19(2): 143-160.
 37. Lawshe, C. H.(1975) A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology* 28(4): 563-575.
 38. Lee, D. K.(2024) Analysis of the potential value of cultural ecosystem services: A case study of Busan City, Republic of Korea. *Ecosystem Services* 65: 101596.
 39. Lynn, M. R.(1986) Determination and Quantification of Content Validity. *Nursing research*.
 40. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor and T. Waterfield (eds.)(2018) *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C.*
 41. Nunnally, J. C.(1978). *Psychometric theory*(2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
 42. Rogelj, J., M. Schaeffer, M. Meinshausen, R. Knutti, J. Alcamo, K. Riahi and W. Hare(2015) Zero emission targets as long-term global goals for climate protection. *Environmental Research Letters* 10(10): 105007.
 43. Rowe, G. and G. Wright(1999) The Delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis, *International Journal of Forecasting* 15(4): 353-375.
 44. Saaty, T. L.(1980) The analytic hierarchy process(AHP). *The Journal of the Operational Research Society* 41(11): 1073-1076.
 45. Saaty, T. L.(2001) *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*(2nd ed.) Pittsburgh, PA: RWS Publications.
 46. Sara P. K., B. E. Catherine, and S. H. Mike(2019) *Guide to Low Carbon Landscapes. Low Carbon Living* CRC.
 47. United Nations(2018) *World Urbanization Prospects the 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs Population Division. New York.*
 48. Waltz C. F., O. L. Strickland, and E. R. Lenz(1991) *Measurement in nursing research*(2nd ed.) Philadelphia, PA: F.A. Davis Company.
 49. Yang, L. and W. Ye(2022). Landscape design of garden plants based on green and low-carbon energy under the background of big data. *Energy Reports* 8: 13399-13408.
 50. Zahedi, F.(1986) The analytic hierarchy process:a survey of the method and its applications. *interfaces* 16(4): 96-108.
 51. Zhang, Q., H. Hua and L. Ou(2023). Discussion on the Landscape Design of Urban Parks Under the Background of 'Double Carbon'. *Academic Journal of Science and Technology* 8(1): 117-121.