

## 비도시 정주지의 탄소중립 기여도 분석

- 농촌지역 그린인프라를 대상으로 -

### Analysis of Contribution to Net Zero of Non-Urban Settlement

- For Green Infrastructure in Rural Areas -

이동규\*, 안병철\*\*

\*K-water 차장, \*\*원광대학교 산림조경학과 부교수

Lee, Dong-Kyu\*, An, Byung-Chul\*\*

\*Senior Manager, Korea Water Resources Corporation

\*\*Associate Professor, Dept. of Forest Resources & Landscape Architecture, Wonkwang University

Received: April 26, 2022

Revised: May 03, 2022 (1st)

July 13, 2022 (2nd)

Accepted: July 13, 2022

3인익명 심사필

Corresponding author :

Byung-Chul An

Associate Professor, Dept. of  
Forest Resources & Landscape  
Architecture, Wonkwang

University, Iksan 54538, Korea

Tel.: +82-63-850-6675

E-mail: askpp1048@wku.ac.kr

#### 국문초록

본 연구는 비도시 정주지에 해당하는 농촌지역 그린인프라에 대한 탄소중립 기여도를 정량적으로 분석하여 비도시 정주지에 대한 탄소중립 정책 및 이행방안 수립시 활용할 수 있는 기초자료를 제공하기 위하여 진행하였다. 주요 목적은 첫째, 농촌지역 그린인프라를 체계화하고, 둘째, 그린인프라 요소별 원단위를 도출하며, 셋째, 이를 활용하여 우리나라의 탄소중립에 미치는 영향을 정량화하여 제시하는 것이다.

본 연구에서는 선행연구 조사 및 분석을 통해 도출된 농촌지역 그린인프라 요소에 대한 적정성 검증을 위하여 내용 타당도(CVR) 분석을 실시하였고 그린인프라 요소별 탄소감축량 원단위는 관련 분야 연구 결과를 활용하였으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 농촌지역 핵심기능(Hubs)의 그린인프라는 마을숲, 습지, 농경지, 스마트팜, 연결기능(Links)은 하천, 마을녹지, 빗물 재활용시설이 .500 이상의 CVR값을 가지는 것으로 나타나 적절한 것으로 분석되었다. 둘째, 그린인프라 요소별 원단위는 선행연구 결과를 활용하여 최소값, 최대값, 중간값으로 구분 제시하여 탄소중립을 위한 공간적 계획, 설계 등에 활용될 수 있도록 하였다. 셋째, 농촌지역 그린인프라를 우리나라 비도시지역 정주지에 적용할 경우 최소 70.76 백만 톤, 최대 141.16 백만 톤에 달하는 CO<sub>2</sub> 를 간접적으로 감축하는 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이는 2019년 농업부문 탄소배출량의 3.4배에서 6.7배에 달하는 양으로 탄소중립 기여도가 매우 높다고 볼 수 있으며, 이를 활용한 경제적 가치는 최소 약 1조 6천억 원에 달하여 농촌지역 활성화, 녹색일자리 창출, 농촌 산업생태계 전환 등에도 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구는 비도시지역의 정주지에 대한 탄소중립 기여도를 정량적으로 제시하였으며, 농촌지역 그린인프라 각 요소별 탄소감축 원단위를 도출함에 따라 마을단위의 탄소중립을 위한 공간적 계획, 설계 시 활용할 수 있는 기초연구로서 의의를 가진다. 특히, 그린인프라 요소별 탄소감축 원단위는 마을단위 탄소중립 정책, 계획 수립 시 정량적 목표제시 및 달성 여부 점검 등에 활용가능할 것이며 이를 기반으로 하여 시군구 등 지역단위와 도시단위의 탄소중립화에 확대 적용할 수 있을 것이다.

**주제어:** 기후변화, 적응대책, 탄소흡수원, 흡수원 원단위, 내용타당도

#### ABSTRACT

This study was conducted to provide basic data that can be used when establishing Net Zero policies and implementation plans for non-urban settlements by quantitatively analyzing the Net Zero contribution to green infrastructure in rural areas corresponding to non-urban settlements. The main purpose is to first, systematize green infrastructure in rural areas, secondly derive basic units for each element of green infrastructure, and thirdly quantify and present the impact on Net Zero in Korea using these.

In this study, CVR(Content Validity Ration) analysis was performed to verify the adequacy of green infrastructure elements in rural areas derived through research and analysis of previous studies, is as follows.

First, Hubs of Green infrastructure in rural area include village forests, wetlands, farm land, and smart farms with a CVR value of .500 or higher. And Links of Green infrastructure in rural area include streams, village

green areas, and LID (rainwater recycling). Second, the basic unit for each green infrastructure element was presented by classifying it into minimum, maximum, and median values using the results of previous studies so that it could be used for spatial planning and design for Net Zero. Third, when Green infrastructure in rural areas is applied to non-urban settlements in Korea, it is analyzed that it has the effect of indirectly reducing CO<sub>2</sub> by at least 70.76 million tons and up to 141.16 million tons. This is 3.4 to 6.7 times the amount of CO<sub>2</sub> emission from the agricultural sector in 2019, and it can be seen that the contribution to Net Zero is very high. It is expected to greatly contribute to the transformation of the ecosystem.

This study quantitatively presented the carbon-neutral contribution to settlements located in non-urban areas, and by deriving the carbon reduction unit for each element of green infrastructure in rural areas, it can be used in spatial planning and design for carbon-neutral at the village level. It has significance as a basic research.

In particular, the basic unit of carbon reduction for each green infrastructure factors will be usable for Net Zero policy at the village level, presenting a quantitative target when establishing a plan, and checking whether or not it has been achieved. In addition, based on this, it will be possible to expand and apply Net Zero at regional and city units such as cities, counties, and districts.

**Keywords:** Climate Change, Adaptation Strategy, Carbon Sink, Sink Unit, CVR Analysis

## 1. 서론

Steffen et al.(2018)은 현재 인류는 온실가스의 지속적인 배출을 통해 지구온도가 산업화시대 이전보다 4~5°C 상승하는 단계인 핫하우스 지구(hothouse earth) 영역에 접어드는 것과 온실가스 배출을 통제하여 기후를 안정화하는 두 갈래 길에서 핫하우스 지구로의 진입을 방지하기 위해 온실가스 배출량을 대폭 축소하거나 이를 흡수할 수 있는 추가 흡수원 확보 등을 통하여 지구에너지 균형을 위한 노력이 필요하다고 하였다(Noh, 2021; Lee, 2022a).

기후변화는 전 인류가 해결해야 할 과제임과 동시에 미래세대를 위한 현대의 의무이며, 이러한 전 지구적인 문제를 해결하기 위하여 국제사회는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 구성, UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change) 체결과, 이를 이행할 수 있는 교토의정서(Kyoto Protocol), 파리협정(Paris Agreement) 등을 통하여 기후변화 대응을 위해 노력하고 있다. 기후변화협약에 의한 파리협정 시행으로 세계는 이전보다 강화된 목표인 '2050년 탄소중립'이라는 새로운 지향점을 향해 전환 중이며 인류 생존을 위한 지구 평균 기온 상승 최소화를 위해 전 지구적으로 노력을 기하고 있다. 파리협정의 목표는 지구 평균온도 상승을 교토의정서에서 제시한 산업화 이전 대비 2°C 이하로 유지하는 것을 따르되, 1.5°C 이하로 제한하는 것으로 설정하였으며 각 당사국들이 이에 적극적으로 노력하기로 합의하였다.

IPCC는 기후변화에 대응하기 위한 과학 및 기술적 자료를 종합보고서, 평가보고서, 특별보고서, 기술보고서 등으로 구분하여 제공하고 있으며, 'Global Warming of 1.5°C'(IPCC, 2018) 보고서에서 1.5°C 목표 달성을 위해서는 전 지구의 CO<sub>2</sub> 순 배출량은 2030년까지 2010년의 CO<sub>2</sub> 배출량 대비 최소 45% 수준으로 감소하고 2050년경에는 탄소중립(Net Zero)에 도달해야 된다고 하였다. 탄소중립 선언은 노르웨이와 스웨덴이 2017년 최초로 선언하였고 2019년 유엔 기후행동 정상회의를 거쳐 2050년 탄소중립 선언을 공식화하였으며, 이에 우리나라도 2021년 탄소중립 선언국에 동참하였다(MOFA, 2019; Lee et al, 2021).

우리나라에서는 2050 탄소중립 추진전략, 2030 국가 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution : NDC) 상향안, 장기저탄소 저탄소 발전전략(Long-Term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategy : LEDS), 2050 탄소중립 시나리오 초안 및 시나리오안 등 2050년 탄소중립을 위한 국가차원의 정책을 수립하여 추진 중에 있다. 이에 활용되는 보고서는 매년 국가온실가스 정보센터에서 발간하고 있는 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report : NIR)이며, IPCC 가이드라인에 의거하여 에너지, 산업공정, 농업, 토지이용·토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land Use Change and Forestry : LULUCF), 폐기물 등 5개 부문에 대한 온실가스를 산정하고 있다. 정주지는 LULUCF 부문에 포함되지만 국내의 경우 정의와 이에 대한 공간적 범위가 확정되지 않아 산정되지 못하고 있다(Yu and Ok, 2015; GIR, 2020). Choi et al.(2020)은 국내 정주지 인벤토리 산정을 위한 활동자료 구축 방법 및 시범 적용을 위하여 인천 서구를 중심으로 연구를 진행하였고, Hong et al.(2021)은 정

주지 부문에 대한 온실가스 인벤토리 산정을 위한 공간 범위별 CO<sub>2</sub> 흡수량 비교 분석을 서울시를 대상으로 연구를 진행하는 등 도시지역의 정주지에 대한 연구 중심으로 진행되고 있으나 우리나라의 비도시 면적이 국토 총면적의 78.68%(KOSYS, 2020)에 달하고 있어 인간이 거주하는 정주지이면서 비도시지역에 해당하는 공간, 즉 비도시 정주지로서의 농촌에 대한 연구가 필요한 실정이다.

기후변화 대응을 위한 국토의 계획 및 관리적 측면에서는 탄소흡수원(Carbon Sink)을 통해 CO<sub>2</sub> 흡수량을 증가시키는 방법이 중요하게 인식되어 있음에 따라 전 세계적으로 CO<sub>2</sub>를 흡수할 수 있는 녹색 자원의 중요성이 강조되고 있으며, 미국과 영국 등 선진국에서는 그린인프라(Green Infrastructure)라는 개념을 도입하여 녹색 자원들을 중요한 요소 중 하나로 간주하고, 이를 체계적으로 관리하고 있다(Park et al., 2014). 또한, 21세기의 그린인프라는 일반적인 양적 확대 또는 심미적, 생태적, 이용적 측면 등 단편적 기능의 집중에서 자연에서의 다양한 혜택을 가져오는 다기능과 함께 환경문제에 대응 가능한 지속성이 강조되고 있다(Kim and Zoh, 2015). 기존의 그린인프라는 공공서비스 차원에서 휴식과 정서 함양에 이바지하는 공간과 개발로 인한 환경의 훼손으로부터 생태적인 안정성과 건전성을 확보하기 위한 공간으로 여겨졌으나, 최근 전 지구적인 기후변화 문제가 심각해짐에 따라 기후변화 대응의 차원으로 변화 및 발전되어 CO<sub>2</sub> 흡수, 열섬현상 완화, 홍수 저감 등의 기후변화에 적극적 대응이 가능한 공간적인 요소로 개념이 발전되고 있다(Ahern, 2007; Kambites and Owen, 2007; Natural England, 2009; Wright, 2011). Kim(2009)은 그린인프라에 그린에너지 생산 시설, 친환경하천(eco-river) 등을 포함하여 제시하였고, Kang(2021)은 그린인프라 중 주거지역의 탄소흡수원에 대한 기능 검증과 전략 확장 노력이 높아짐에 따라 해당 공간의 중요성이 강조되고 있다고 하였으며, Lee(2022a)는 기후변화에 대응하기 위한 2050년 탄소중립 이행방안으로 탄소중립형 마을 계획요소 및 모델에 관한 연구를 통해 비도시지역 마을 주변의 그린인프라에 대한 잠재력에 대하여 연구하였다.

본 연구는 이러한 비도시 정주지인 농촌지역 그린인프라의 잠재력을 구체화하며, 공간단위의 탄소중립 정책 및 계획에 활용될 수 있도록 주요 목적을 첫째, 농촌지역 그린인프라에 대하여 체계화하고, 둘째, 이에 대한 그린인프라 요소별 원단위를 도출하며 셋째, 이를 활용하여 비도시 정주지가 우리나라의 탄소중립에 미치는 영향인 기여도를 분석하고자 하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 비도시 정주지와 그린인프라

비도시지역은 국토의 계획 및 이용에 관한 법률(이하 ‘국토계획법’이라 한다) 제36조에서 국토를 도시지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역으로 구분하고 있어 국토계획법에 의거하여 지정되는 도시지역을 제외한 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역 등의 나머지 지역으로 비도시지역의 개념을 적용하였다. 정주지의 경우 IPCC GL(2006)에서는 다른 토지이용 범주에 포함되지 않는 교통 기반시설, 다양한 규모의 인간 거주지를 포함하는 모든 개발된 토지로 정의하였고 스웨덴은 관리되는 토지로 가정하며 중요 기반시설이 밀집된 지역과 운송을 위한 영역으로 구분하였고 미국은 산업용, 주거용, 상업용 및 기관용 토지를 포함하고 있는 0.1ha 이상 단위의 개발 지역을 나타내는 것으로 정의하고 있다(Hong et al., 2021). 이와 같이 UNFCCC 당사국에서는 국가별 여건을 고려하여 자체적인 개념을 정립하고 있으나 국내에서는 정주지에 대한 정의와 이에 대한 공간적 범위가 확정되지 않아 온실가스가 산정되지 않고 있다(Yu and Ok, 2015; GIR, 2020). 이에 본 연구에서의 비도시 정주지는 국토계획법상 도시지역을 제외한 비도시지역과 비도시지역 중 IPCC GL(2006)에 의거한 다양한 규모의 인간 거주지를 포함하는 모든 개발된 토지로 개념을 정립하여 연구를 진행하였다.

그린인프라에 대한 개념적 정의에 대하여 Benedict and McMahon(2006)은 전통적 그린인프라의 개념을 계승하고 기능적 측면을 부각하여 그린인프라를 생태계 가치와 기능 보전 및 깨끗한 공기와 물을 유지할 뿐만 아니라 사람과 동물에게 다양한 편익을 제공하는 자연적 지역과 오픈스페이스의 상호 연결된 네트워크로, Randolph(2004)는 자연적 생태가치와 사람에게 다양한 혜택을 제공하는 녹지공간의 연결된 네트워크로 정의하고 있으며 주요 국가별 그린인프라에 대한 정의는 Table 1과 같다. 국내에서는 제5차 국가환경종합계획(Joint Ministry concerned, 2020) 내에 그린인프라를 보호지역, 오픈스페이스, 산림, 야생식지, 공원, 습지, 하천 및 물길, 투수시설, 옥상정원, 도시농업공간, 녹지축과 녹도(greenway), 가로수 등 자연, 반자연, 인공의 녹지공간을 통합적으로 보는 개념으로 공간구조를 결정하고 기능을 향상시키는 주요한 기반이자 시스템으로 다기능성을 추구하는 것으로 개념을 제시하여 환경정책에 있어서 중요성을 강조하였다.

Table 1. Definition of Green Infrastructure by country

구분		정의
USA	EPA (2007)	Technologies and policies that bring you closer to the natural cycle of urban space.
	Conservation Fund (2006)	A network of strategically planned and managed natural lands, landscapes and other open spaces that conserve ecological value functions and provide multiple benefits to residents.
UK	Natural England (2009)	Factors that provide ecosystem services through mutual relationships by expanding high-quality greenery and other environmental factors.
	DEFRA (2010)	A planned network of green space and environmental elements using street trees, gardens, rooftops, greenery, village forests, parks, streams and streams, urban farms, cemeteries, road railroads, and forest areas.
Republic of Korea (2020)		Protected areas, open spaces, forests, wild habitats, parks, wetlands, streams and waterways, pitching facilities, rooftop gardens, urban agricultural spaces, green axes, greenways, and street trees, including natural, semi-natural, and artificial green spaces are integrated. Pursuing versatility as a major basis and system for determining the spatial structure and improving its functions with the concept of viewing.

Source: Park et al., 2014: 3, Author rewrite

한편, Kim(2009)은 기후변화에 대비하기 위한 환경과 성장이 공존하는 국제적 패러다임이 전환되고 있고 이러한 저탄소·녹색성장을 견인하는 것이 그린교통수단 상용화를 위한 기반시설, 그린에너지 생산시설 등의 그린인프라라고 하여 그린인프라에 인위적인 시설을 포함하였고, Seo(2016)는 그린인프라를 토양, 식생 등의 자연의 객체나 증발, 광합성 등의 자연적 프로세스를 흡수 저감, 열 저감 등 인간의 이익에 목적을 두고 이용하는 기반시설로 정의하였으며, Seok et al.(2021)은 미세먼지에 대응하기 위한 그린인프라를 자연생태계가 갖는 기능 및 가치를 보존하고 생태계 서비스 향상을 통하여 삶의 질을 높일 수 있는 주요 서비스 간의 네트워크로 정의하였다. 이를 종합적으로 고려하여 본 연구에서의 그린인프라는 자연생태계가 갖고 있는 기능과 가치를 최대한 보존 및 활용하여 인간에게 생태적, 사회적, 경제적 편익을 제공하는 기반시설로 정의하여 연구를 진행하였다. 아울러, 그린인프라 유형에 대해서는 Kang(2011), Lee et al.(2018), Lee and An(2021) 등 선행연구에서 활용 빈도가 높은 Hubs와 Links로 구분하여 그린인프라 요소별 탄소중립에 대한 기여도를 판단할 수 있는 원단위를 도출하고자 하였다.

## 2.2 탄소중립

탄소중립은 carbon neutral, net CO<sub>2</sub> emissions, zero carbon emissions, climate neutrality, net zero 등으로 혼재되어 사용되고 있다. 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 ‘탄소중립기본법’이라 한다) 제2조에서는 대기 중에 배출·방출 또는 누출되는 온실가스의 양에서 온실가스 흡수의 양을 상쇄한 순배출량이 ‘0’이 되는 상태로 정의하고 있으나 이는 관련 정책 이행을 위한 법적인 정의에 해당되며 선행연구를 살펴보면 탄소(C)와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 온실가스(Green House Gases : GHG) 양이 ‘0’인 상태 등 연구 주제, 목적, 대상 등에 따라 상이하게 활용하고 있음에 따라 다양한 분야에서 공통적으로 적용 및 활용 가능하며 탄소중립에 대한 개념적 명확화를 위하여 국내·외 선행연구를 바탕으로 탄소중립에 대한 이론적 고찰을 진행하였다.

Rogeli et al.(2015)은 ‘0’(zero)에 대한 다양한 해석에서 출발하여 제로 배출(zero emissions)에 대한 정의를 Table 2와 같이 4가지로 구분하였다. ‘IC = 0’은 완전한 탈탄소화 또는 에너지 및 산업공정(CCS 적용)의 순 CO<sub>2</sub> 배출량을 제로화하는 것이고 ‘NC = 0’은 탄소중립 또는 순 제로(Net Zero) CO<sub>2</sub> 배출, 연간 CO<sub>2</sub> 순 배출량을 제로로하는 것이며 ‘E = 0; EFC = 0; IA = 0; LS = 0’은 모든 곳에서 탄소 배출을 제로화하는 것, ‘NGHG = 0’은 Climate neutrality 또는 net GHG emissions를 의미한다고 하였다. 또한, IPCC의 1.5°C 보고서(2018)에서는 1.5°C 목표 달성을 위해서 2050년까지 CO<sub>2</sub> 총배출이 ‘Net Zero’가 되어야 한다고 제시하였고 ‘Net zero CO<sub>2</sub> emissions’에 대하여 인위적 CO<sub>2</sub> 배출이 특정 기간 동안 인위적 제거를 통해 전 세계적으로 균형을 이룰 때 달성할 수 있다고 설명하고 있어 Net Zero가 CO<sub>2</sub> 순 배출량이 ‘0’이 되는 것으로 볼 수 있다. 한편, 온실가스종합정보센터(GIR, 2020)의 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report : NIR)에 따르면 온실가스 배출량은 교토의정서에서 규정한 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> 등 6대 온실가스를 대상으로 산정하고 각 온실가스

Table 2. Zero emission concepts

Zero emission classifications	Concepts
IC = 0	Full decarbonization or reducing net CO <sub>2</sub> emissions from energy and industrial processes(after accounting for CCS) to zero
NC = 0	Carbon neutrality or net zero CO <sub>2</sub> emissions
E = 0; EFC = 0; BFC = 0; IA = 0; LS = 0	Zero carbon emissions everywhere
NGHG = 0	Climate neutrality or net GHG emissions

IC: Annual CO<sub>2</sub> emissions by energy and industrial processes, NC: Net annual CO<sub>2</sub> emissions, E: Annual CO<sub>2</sub> generation by energy and industrial processes, EFC: Annual CO<sub>2</sub> generation from combustion of fossil fuels(before application of CCS), BFC: Annual CO<sub>2</sub> generation from combustion of biofuels(before application of CCS), IA: Annual CO<sub>2</sub> generation from industrial activities(for example, cement production), LS: Annual CO<sub>2</sub> emissions due to LULUCF, NGHG: Annual net direct greenhouse gas(Kyoto Protocol 6 gases), EGHG: Annual emissions of non-CO<sub>2</sub> Kyoto-GHGs(CO<sub>2</sub>eq)

Source: Rogeli et al.(2015): 2, Author rewrite

별 대기 잔류 기간 동안의 방열 수준이 상이하여 지구온난화지수(global warming potential : GWP)를 각 온실가스에 적용하는 CO<sub>2</sub>eq(carbon dioxide equivalent)로 산정하고 있다.

이를 종합적으로 고려하였을 때, 협의적 의미에서의 탄소중립은 CO<sub>2</sub> 순배출량이 '0'이 되는 상태로 볼 수 있으며, 광의적 의미에서는 Rogeli et al.(2015)이 제시한 'NGHG = 0'에 'non NGHG=0', 즉, 교토의정서 6대 온실가스(green house gases : GHG) 이외의 GHG 순 배출량이 '0'이 되는 것을 포함하는 개념이라 할 수 있다.

또한, 개념적 포괄성을 본다면 Figure 1과 같이 NGHG가 모든 것을 포괄할 수 있는 상위 개념이고 NC, IC, E 순으로 해석할 수 있다. 또한, 탄소중립을 'Net Zero = NGHG + non NGHG = 0'으로 수식화할 수 있고 Net Zero를 가장 상위의 개념으로 볼 수 있다.

국내의 탄소중립의 개념에 관해서는 지구온난화의 주요 요인인 온실가스의 배출을 원천적으로 최소화하며 배출된 온실가스에 대해서도 재생에너지 활용, 습지 및 숲 조성, 생활양식 개선 등의 탄소흡수원을 통하여 궁극적으로 탄소 배출량이 '0(zero)'가 되는 것을 의미한다고 하였다(Kim, 2009). Kim and Nam(2013)은 탄소중립도시에 대한 개념을 제시하였는데 CO<sub>2</sub> 배출량 목표가 '0'인 탄소중립을 지향하는 도시를 탄소중립도시로 정의하였고 이를 위해서는 화석에너지 의존도와 에너지 소비의 최소화, 경제 사회활동 등에서 발생하는 탄소배출량은 재생 가능한 에너지원의 지속적인 이용 및 에너지 효율의 극대화를 통하여 중립 또는 제로화가 필요하다고 하였다. Lee et al.(2010)은 기후변화에 대응하기 위한 수단으로써 인간의 경제활동으로 배출되는 탄소 양이 전혀 없는 상태가 되는 것으로 특정 지역에서 배출하는 탄소를 모두 흡수 또는 저장했을 때라고 하였으며, Kim et al.(2013)은 지구온난화의 주요 요인인 온실가스의 배출을 원천적으로 줄이고 배출된 온실가스에 대해 숲 등으로 흡수하여 탄소의 발생량을 '0(zero)'으로 만드는 것을 의미한다고 하였다. Noh(2021)에 따르면 CO<sub>2</sub>를 배출한 만큼 흡수하는 대책을 세워 실질적인 배출량을 '0'으로 만드는 것을 의미하며, 탄소중립을 위한 실행방안은 CO<sub>2</sub>를 상쇄할 수 있을 만큼의 숲 조성, 재생에너지 투자, CO<sub>2</sub> 배출량에 상응하는 탄소배출권 구매 등 3가지의 방안을 제안하였다.

이러한 선행연구 결과를 종합적으로 고려하여 본 연구에서의 탄소중립의 개념은 GHG 배출이 '0'이 되는 상태로 정의하고 GHG는 정량적 기여도 분석을 위하여 교토의정서의 6대 GHG로 한정하여 연구를 진행하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{NGHG} &= \text{NC} + \text{EGHG} \\
 &= (\text{IC} + \text{LS} - \text{LR}) + \text{EGHG} \\
 &= ((\text{E} - \text{CCS}) + \text{LS} - \text{LR})) + \text{EGHG} \\
 &= (((\text{EFC} + \text{BFC} + \text{IA} - \text{BFU}) - \text{CCS})) \\
 &\quad + \text{LS} - \text{LR})) + \text{EGHG} = 0
 \end{aligned}$$

Figure 1. Conceptual inclusiveness of zero emission

3. 연구 방법

본 연구에서의 농촌지역 그린인프라에 대한 개념적 고찰 및 적용 범위를 파악하기 위하여 국내외 보고서, 논문 등을 통하여 자료를 수집하였으며, 선행연구는 KCI 등재지를 대상으로 KISS, RISS, DBPIA 등의 논문검색 사이트를 활용하였다. 키워드는 농촌지역, 그린인프라, 탄소중립 주제별로 Table 3과 같이 구분하여 검색하였으며, 총 40여 편의 연구 논문에 대하여 분석하여 활용하였고 Microsoft Office Excel 2019, IBM SPSS Statistic 25.0 프로그램을 분석에 사용하였다. 연구의 흐름은 농촌지역 그린인프라와 탄소중립에 대한 이론적 고찰을 통하여 비도시 정주지인 농촌지역에 대한 그린인프라 개념을 정립한 후 이를 바탕으로 농촌지역 그린인프라의 유형과 유형별 요소를 도출하고 이에 대한 적정성 검토를 위하여 전문가 대상의 설문 후 그 결과에 대한 내용타당도(content validity ration : CVR) 분석을 실시하였다.

전문가 설문은 Lee(2021)에서 전문가 선정 시 이론적, 실무적 측면을 고려하는 것이 중요하다고 하였음을 고려하여 설문 대상자를 농촌지역, 그린인프라, 탄소중립 관련 연구 실적이 있는 교수, 연구원과 해당 분야에 관련된 업무 경험이 있는 공공기관과 엔지니어링 종사자로 선정하여 진행하였다. 전문가 참여자 수의 경우, Lynn (1986)은 5명에서 10명이 바람직하다고 하였고 Waltz et al.(1991)은 20명까지 추천하였으며 Waltz et al.(1991)은 20명으로 구성된 전문가 패널이 안정적인 결과를 얻는다고 하여 본 연구에서도 이에 근거하여 설문 참여 전문가를 20명으로 설정하였다. CVR 분석에 활용되는 수식은 아래와 같으며, 여기서 Ne는 리커트 척도에서 적정성에 대해 4, 5로 타당하다고 응답한 패널의 수를 의미하며, N은 설문에 응답한 총 전문가 수이다. 본 연구에서 설문에 참여한 전문가는 총 20명임에 따라, Lawshe(1975)에서 전문가 수에 따라 제시한 CVR 최소값 기준에 따라 .500 이상이 나오는 항목에 대해서는 타당한 것으로 판정할 수 있다.

$$CVR = \frac{Ne - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$$

설문지는 Table 4와 같이 선행연구 조사 및 분석을 통해 도출된 9개의 농촌지역 그린인프라 요소가 ‘Hubs’에 적정한지, ‘Links’에 적정한지에 대해 5점 척도의 리커트 척도를 활용한 질문 18문항과 성별, 나이, 근무경력, 근무처 등 4문항으로 구성하였다. 설문은 2022년 3월 진행하여 그 결과를 활용하였다.

또한, 요소별 탄소감축에 대한 정량적 원단위는 선행연구를 기반으로 도출하였고 이를 활용한 탄소중립 기여도

Table 3. Research subjects and search keywords

Research subjects	Search keywords
Rural area	Rural area, rural, non urban, country
Green infrastructures	Greeninfra, green infrastructure, landscape
Net zero	Net zero, carbon neutral, carbon neutrality

Table 4. Derivation of green infrastructure factors

Classification	Jang(2009)	Kim(2009)	Kang(2011)	Choi(2020)	Lee(2022a)
Farm land	◎				
Smart farm					◎
Wetland	◎		◎	◎	
Renewable energy facilities		◎			
Stream	◎	◎	◎	◎	
Village forest			◎	◎	◎
Rainwater recycling system			◎		
Green way of village	◎		◎	◎	◎
ZEHR*					◎

\* Zero energy house remodeling



분석에 필요한 그린인프라별 적용 규모는 Lee(2022a)에서 제시한 4개 마을을 활용하였다. 해당 마을은 국토계획법상 비도시지역, 국가균형발전 특별법에 의거한 성장축진지역에 포함되어 있고 각 마을별 주거지, 농경지, 홍수터, 초지 등에 대한 면적이 제시되어 있어 이를 활용하였다. 비도시지역 면적에 대한 데이터는 국가 통계자료를 활용하였으며 본 연구의 세부 진행방법은 Figure 2와 같다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 농촌지역 그린인프라

Eum and Lee(2020)에 따르면 농촌지역은 국토의 계획 및 이용에 관한 법률(이하 ‘국토계획법’이라 한다) 제36조에서 국토를 도시지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역으로 구분하고 있는 것과 농업·농촌 및 식품산업 기본법 제3조, 농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌지역 개발촉진에 관한 특별법 제3조에서 농어촌지역은 시와 군 지역 중 읍·면의 지역, 동 지역 중 국토계획법에 따른 생산 및 보전녹지, 농림·자연환경보전지역을 의미함을 고려하여 농촌지역을 국토계획법에 의거하여 지정되는 도시지역을 제외한 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역 등의 나머지 지역으로 정의한 것을 활용하여 본 연구에서의 농촌지역의 공간적 개념을 국토계획법상의 도시지역 외의 비도시지역으로 설정하였다. 또한, 이를 바탕으로 농촌지역 그린인프라는 비도시지역 마을 주변의 공원, 습지, 하천 및 물길, 녹지축과 녹도, 광장 등 자연, 반자연, 인공적인 녹지공간을 통합적으로 활용하여 삶의 영위와 질적인 향상을 도모할 수 있는 공간적 요소이자 시스템으로 정의하였다.

농촌지역 그린인프라 요소별 적정성에 대한 CVR 분석 결과는 Table 5와 같다. 농촌지역 그린인프라의 ‘Hubs’에 해당되는 요소는 CVR .500 이상인 마을숲, 습지, 재생에너지시설, 농경지, 스마트팜 등 5개 요소로 도출되었고 ‘Links’은 하천, 마을 녹지, 빗물 재활용 시스템 등 3개 요소로 도출되었으며 ZEHR의 경우 CVR값이 최소 기준인 .500 미만임에 따라 농촌지역 그린인프라에 부적합한 것으로 나타났다. 신뢰성 분석은 CVR값이 .500 이상인 8개 항목에 대한 Cronbach’s  $\alpha$  값이 .585로 도출되어 Nunnally(1967)에서 제시한 초기단계의 연구에서는 .4~.6은 허용할 만한 수준의 신뢰도를 가지는 것으로 제시함에 따라 8개 요소에 대한 적정성 설문값이 신뢰도가 있는 것으로 볼 수 있다.

Theoretical study of research	<ul style="list-style-type: none"> <li>Green infrastructures research case study</li> <li>Net Zero concept</li> </ul>
Types and factors of green infrastructure in rural areas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definition of green infrastructure in rural areas, type classification</li> <li>CVR analysis, reliability analysis</li> </ul>
Basic unit of carbon reduction for green infrastructure in rural areas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Derivation of quantifiable factors</li> <li>Reduction(absorption) by green infrastructure factors</li> <li>Maximum, minimum, median</li> </ul>
Conclusion and suggestion	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calculation of basic unit of carbon reduction by factor</li> <li>Maximum carbon reduction potential and economic value</li> <li>Proposal of action plan(creation of Net-zero village)</li> </ul>

Figure 2. Research process

Table 5. Result of CVR analysis

Classification	Village forest	Wetland	Stream	Renewable energy	Farmland	Smart farm	ZEHR	Green way of village	Rainwater recycling system
Hubs	.60*	.80*	-.30	.60*	.70*	.50*	-.70	-.70	-.60
Links	-.10	-.40	.60*	-.80	-.40	-.70	-.40	.80*	.60*

\*: CVR값이 .500 이상인 값

4.2 그린인프라 요소별 탄소감축 원단위

농촌지역 그린인프라에 대한 CVR 분석 결과를 반영하고 Shin et al.(2020)에서 제시한 것과 같이 친환경 영농과 이와 유사한 행위들에 대한 탄소감축 또는 흡수에 기여가 가능한지에 대한 추가적인 분석을 위하여 Table 6과 같이 재분류하였는데 이는 그린인프라를 활용한 간접적 탄소감축이 가능한 농촌지역에서의 인위적인 인간활동을 생활방식으로 제시한 Lee(2022a)의 결과를 활용한 것이다. 즉, 농촌지역 그린인프라를 공간적 측면인 생활공간(living space)과 인위적인 사람들의 활동에 기인하는 생활방식(living way)으로 재구분하였고 생활방식에는 농촌체험 및 생태관광, 탄소중립 생활실천, 마을 공용 전기차, 자연지형 변형 최소화화를 포함하였다.

그린인프라 요소별 탄소흡수량은 Table 7과 같으며, 마을숲의 경우 농촌지역 마을에 탄소에 대한 흡수 능력이 높은 수종 중심의 숲을 조성하는 것으로 국립산림과학원(2019)의 산림수종은 초기 식재 본수를 3,000그루, 연평균 생장량을 중간 지위지수의 60년생 기준으로 가정하여 산정된 탄소흡수량이 가장 높은 상수리나무로 숲을 조성할 경우를 산림과 동일하게 15.9t CO<sub>2</sub>/ha를 최대값으로 기대할 수 있으며, Song and Yoon(2019)에서 국내 연구들의 평균값을 바탕으로 제시한 농촌지역의 탄소흡수량인 7.34t CO<sub>2</sub>/ha를 최소값으로 하였다.

농경지에 대한 원단위는 Shin et al.(2019)에서 제시한 친환경 영농기법의 하나인 바이오차 활용 시의 탄소 흡수량을 활용하였다. Shin et al.(2019)은 바이오차와 돼지 분뇨 퇴비를 4:6으로 혼합한 바이오차 펠렛(bio-cha pellet, rBCP) 활용한 벼재배 시를 6.06로 t CO<sub>2</sub>/ha 감축효과가 있다고 하였으며, 2020년 후속 연구에서는 돈분 퇴비와 개량된 왕겨 바이오차 6:4 혼합하고 벼 재배 시 농촌진흥청의 표준비료 사용량 중 질소 사용량 기준의 40%로 활용했을 때의 CO<sub>2</sub> 감축량이 8.07t CO<sub>2</sub>/ha 달하는 것으로 분석되었다. 하지만 바이오차의 경우 경제적 측면을 고려하여 농경지에 사용되는 비료 전량을 적용하기에는 한계가 있음에 따라 Woo(2021)에서 제시한 바이오차 적용사례를 참고하여 일본은 비료량의 약 1/3에 달하는 양을, 독일 베를린의 경우 퇴비화 시 바이오차를 15%를 활용하는 것을 고려하여 두 나라의 적용률의 평균값인 24%를 보정률로 적용하여 1.94t CO<sub>2</sub>/ha를 원단위로 활용하였다.

스마트팜은 빅데이터, AI, 무인자동화 등 융합기술을 온실과 축사 등에 접목하여 원격 또는 자동으로 작물, 가축의 생육환경을 관리하는 지능화된 시설농장을 의미하며(Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, 2019), 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발, 스마트팜 국가시범단지 조성 등 농촌지역에 확대 보급되고 있는 실정이다. Lee and Cho(2020)에 따르면 약 3,465㎡ 규모에 벼재배동 165㎡, 유리온실동 1,320㎡, 제어동 495㎡, 신재생발전시설 1,485㎡에 태양광 100kW, 공기열히트펌프 300kW, ESS 400kWh로 구성되어 신재생에너지를 100% 판매하는 시나리오의 경우 CO<sub>2</sub> 절감량이 478.5t CO<sub>2</sub>/yr에 달하는 것으로 나타나 이를 0.14t CO<sub>2</sub>/㎡로 환산하여 최대값으로 적용하였다. 신재생에너지를 100% 자체적으로 사용하여 자립형 스마트팜으로 운영하는 시나리오에서는 CO<sub>2</sub> 절감량이 334.9t CO<sub>2</sub>/yr로 나타나 이를 0.10t CO<sub>2</sub>/㎡로 환산하여 최소값으로 설정하였다.

습지에 대해서는 국내외 다양한 연구가 진행되고 있어 이를 활용하였다. Nahlik and Fennessy(2016)는 미국 습지의 탄소 저장에 관한 연구를 진행하였는데 미국 습지의 38.4 million ha에 대한 탄소 축적량이 11.52Pg C으로 분석되어 이를 CO<sub>2</sub> 98.49t CO<sub>2</sub>/ha로 환산할 수 있다. 이는 염습지와 해안습지가 포함된 수치이긴 하나 산림의 탄소흡수량 대비 매우 높은 흡수량으로 국내에 적용하기에는 한계가 있는 것으로 판단하였다. Endo and Otani(2019)의 연구에 따르면 일본의 비식생 갯벌의 유산소구역과 무산소지역의 탄소 저장량이 연간 5.62t C/ha로 CO<sub>2</sub> 환산 시 약 20.6t CO<sub>2</sub>/ha로 환산이 되며 이는 Song and Yoon(2019)에서 대전전의 습지 비오톱에 대한 탄소흡수량 22.2t CO<sub>2</sub>/ha와 유사한 수치이다. 한편, 습지에는 호습성 수목 식재를 통한 입체적 탄소흡수가 가능한데, Kim et al.(2016)에서는 수변지에 적합한 포플러 클론 선발에 관한 연구에서 미루나무 교잡종 클론이 연간 7.7t CO<sub>2</sub>/ha로 가장 높게 제시하고 있어 이를 습지면적의 30%에 식재하는 것으로 가정하면 27.85t CO<sub>2</sub>/ha로 원단위를 산출할 수 있다. 이러한 습지의 탄소흡수량에 대한 선행연구를 바탕으로 최소 원단위는 Song and Yoon(2019)에서 제시한 22.2t CO<sub>2</sub>/ha를 최대값은 습지의 30% 면적에 Kim et al.(2016)에서 도출한 미루나무 식재 시 예상되는 27.85t

Table 6. Reclassification of Green infrastructure in rural areas(including living way)

Classification	Function	Type of green infrastructure
Living space	Hubs	Village forest, farmland, smart farm, wetland, renewable energy facilities (solar power, wind power, etc.)
	Links	Stream, rainwater recycling system, green way of village
Living way	Uses	Rural experience and ecotourism, Net-zero lifestyle practice, public electric vehicle, minimization of natural terrain deformation



Table 7. Basic unit of carbon reduction by factors of green infrastructure in rural areas

Classification			Min.	Max.	Mid.
Living space	Hubs	Village forest	7.34t CO <sub>2</sub> /ha (Song and Yoon, 2019)	15.90t CO <sub>2</sub> /ha (NIFOS, 2019)	11.62t CO <sub>2</sub> /ha
		Farmland (eco-friendly farming)	1.94t CO <sub>2</sub> /ha (Sing, 2019)	8.07t CO <sub>2</sub> /ha (Sing, 2020)	5.01t CO <sub>2</sub> /ha
		Smart farm	0.10t CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> (Lee and Cho, 2020)	0.14t CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> (Lee and Cho, 2020)	0.12t CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
		Wetland	22.20t CO <sub>2</sub> /ha (Song and Yoon, 2019)	27.85t CO <sub>2</sub> /ha (Song and Yoon, 2019; Kim et al, 2016)	25.03t CO <sub>2</sub> /ha
		Renewable energy facilities	1.73t CO <sub>2</sub> /household (Yang and An, 2018)	3.47t CO <sub>2</sub> /household (Yang and An, 2018)	2.60t CO <sub>2</sub> /household
	Links	Stream	22.20t CO <sub>2</sub> /ha (Song and Yoon, 2019)	22.20t CO <sub>2</sub> /ha (Song and Yoon, 2019)	22.20t CO <sub>2</sub> /ha
		Rainwater recycling system	3.32kg CO <sub>2</sub> /household (Lee, 2022a)	9.84kg CO <sub>2</sub> /household (Lee, 2012)	6.58kg CO <sub>2</sub> /household
		Green way of village	7.34t CO <sub>2</sub> /ha (Song and Yoon, 2019)	7.34t CO <sub>2</sub> /ha (Song and Yoon, 2019)	7.34t CO <sub>2</sub> /ha
Living way	Uses	Preservation of existing terrain	1.68kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> (MLIT, 2022)	8.40kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> (MLIT, 2022)	5.04kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
		Rural experience and ecotourism	3.61kg/1person · 1time (EPD a)	171.82kg/1person · 1time (EPD b)	87.72kg/1person · 1time
		Net-zero lifestyle practice	1.22t CO <sub>2</sub> /household (ME, 2021)	3.40t CO <sub>2</sub> /household (ME, 2021)	2.31t CO <sub>2</sub> /household
		Public electric vehicle	6.66t CO <sub>2</sub> /household	13.32t CO <sub>2</sub> /household	9.99t CO <sub>2</sub> /household
		ZEHR(passive)	1.63t CO <sub>2</sub> /household (Lee et al, 2011)	2.73t CO <sub>2</sub> /household (Sa et al, 2014)	2.46t CO <sub>2</sub> /household

LIT: Land, Infrastructure and Transport, NIFOS: National Institute of Forest Science, MLIT: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, EPD: Environmental Product Declaration, EPD a: Jeonbuk Gochang Eco-tourism Silkworm Audio Experience, EPD b: Camellia Blossom Program Jeju Seonheul, ME: Ministry of Environment

CO<sub>2</sub>/ha로 설정하였다.

태양광, 풍력시설 등의 재생에너지의 경우 마을 자체적으로 에너지를 생산함에 따라 탄소감축의 효과가 있으며, 전문가 설문문을 통한 내용타당도 분석 결과 적정한 것으로 나타나 농촌지역의 핵심(hubs) 그린인프라로 설정하였다. Lee and Kim(2020)에 따르면 가정에서 사용되는 재생에너지 시설은 태양광 시설이 가장 높고 태양광 시설 중에서 3kW 규모로 설치하는 비중이 가장 높으며 가장 큰 규모는 6kW로 설치되는 것으로 조사되었다. 또한, 태양광 시설의 연간 일 평균 발전 시간은 약 4시간 정도로 보는 것이 일반적이거나 Yang and An(2018)에서 제시한 3.40시간을 적용할 경우 연간 발생하는 전력량이 3kW의 경우는 3.72MWh, 6kW에서는 7.45MWh이며, KEI(2021)에서 사용한 간접배출계수 0.466t CO<sub>2</sub>/MWh를 적용할 경우 원단위를 최소 1.73t CO<sub>2</sub>/세대, 최대 3.47t CO<sub>2</sub>/가구로 산정할 수 있다.

$$E_R = Q \times EF$$

여기서, Q(MWh): 전력량(전력 × 발전시간 × 365), EF: 배출계수(0.466t CO<sub>2</sub>/MWh).

농촌지역 그린인프라 중 하천에 대한 탄소흡수량 원단위는 Song and Yoon(2019)에서 하천 및 습지 비오톱에 대한 흡수량을 1,044.46 천m<sup>2</sup>의 대전천 도시하천 면적에 식물플랑크톤과 수생식물 플랑크톤의 흡수량이 2,325t CO<sub>2</sub>에 달하는 것으로 분석되어 이를 ha당 원단위로 환산하여 22.2t CO<sub>2</sub>/ha를 활용하였다.

빗물 재활용 시스템은 우수저류지 등 빗물을 집수하여 가정 내에 재활용하는 시설에 대한 원단위를 산정하였다. 가구별 빗물 저장시설의 용량과 정화시설 유무 등에 따라 유동적이긴 하나, Lee(2022a)에서는 물의 재이용 촉진 및 자원에 관한 법률 및 동법 시행규칙 제4조에 의거한 빗물이용시설의 용량인 10m<sup>3</sup>에 배출계수 332kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> 적용, 3.32kg CO<sub>2</sub>/세대로 제시하여 이를 최소값으로 활용하였다. Lee(2012)의 저탄소 계획요소 중 우수활용에 대한 단지 별 우수집수량, 상수도 생산 시 사용되는 전력량을 활용한 탄소감축량 산정 방법에 따르면 26,410세대에서의 우수 활용 시 연간 260t CO<sub>2</sub> 감축 효과가 있는 것으로 분석함에 따라 이를 9.84kg CO<sub>2</sub>/세대로 원단위를 환산하여 최대값으로 활용하였다.

마을 녹지의 경우 Kim et al.(2018)에서 공간적 범위를 주거지 범주에 포함되는 도로변 녹지, 학교숲, 담장 녹화 지 등으로 설정하여 다른 그린인프라 요소가 구분되는 공간으로 제시하고 있어 이에 대한 탄소흡수량은 Song and Yoon(2019)에서 제시한 녹지지역의 흡수량인 7.34t CO<sub>2</sub>/ha를 적용하였다.

자연지형 변형 최소화는 기존 지형 보전에 따른 토공작업시 발생하는 탄소 배출을 간접적으로 줄이는 효과가 있다. 토공사는 일반적으로 터파기, 되메우기, 잔토처리로 세부 공종이 진행되며 건설공사 표준품셈(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021)에 의거하여 각 공종별 투입하는 건설기계에 사용되는 연료량과 배출계수 등을 활용하여 아래의 산식을 통해 자연지형 변형 최소화로 인한 탄소저감량(EL)을 산정하였다. 최소값의 경우 일반 공종인 터파기, 되메우기, 잔토처리를 미 실시할 경우 절감되는 연료량을 활용하여 탄소저감량 1.68kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>로 산정하였고, 최대값은 일반 공정에 성토면 고르기와 절토면 고르기 공정을 추가하여 산정된 8.48kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>로 설정하였다. 자연지형 변형 최소 및 최대 활용 계획요소를 적용할 경우의 정량적 탄소저감 효과는 미미하나 기존 지형 보존에 따른 간접적 탄소저감량 원단위를 도출하였다는 것에 의의가 있다. 1,000m<sup>3</sup>에 달하는 기존지형을 보존할 경우 간접적 탄소감축량은 약 8.40t CO<sub>2</sub>에 달하며 이는 약 25,000m<sup>3</sup> 물을 사용할 때 발생하는 탄소를 상쇄시킬 수 있는 양이다.

$$E_L = \sum_{ij} (TA_{ij} \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times 44/12 \times 10^{-3})$$

여기서, TA는 총연료사용량(천 TOE), 41.868: Joule-TOE 환산계수(TJ/천TOE), CF: 전환계수 EF = 배출계수, OF: 산화율(%), i: 연료구분(경유, 휘발유), j: 공종구분(터파기, 되메우기 및 다짐, 성토면 및 절토면 고르기 등).

생태관광 및 농촌체험은 KEITI의 환경성적표지 중 농촌지역의 그린인프라를 활용하는 프로그램 중 인증 기간이 유효한 프로그램을 대상으로 원단위를 산정하였다. Kim et al.(2020)에 따르면 환경성적표지 제도는 제품, 서비스 등의 전 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하여 이를 인증하는 제도이며 탄소발자국(Carbon Footprint) 1단계 인증과 저탄소제품 2단계 인증으로 구분된다. 제품군은 내구재, 비내구재, 생산재, 서비스, 에너지 사용으로 분류된다. 서비스 제품 중 생태관광, 프로그램, 체험 등에 관련된 프로그램 중 현재까지 유효하며 1단계와 2단계를 거쳐 탄소배출량의 감소가 공식적으로 인정된 2개 프로그램을 활용하여 원단위를 도출하였다. 제주 선홍리 동백꽃 피다 프로그램은 187kg CO<sub>2</sub>/1인1회에서 14.7kg CO<sub>2</sub>/1인1회로 탄소배출량을 인정받아 172.3kg CO<sub>2</sub>/1인1회의 감축효과가 있어 이를 최대값으로 설정하였고 전라북도 고창의 누에오디체험 생태관광이 13.53kg CO<sub>2</sub>/1인1회에서 9.92kg CO<sub>2</sub>/1인1회로 인정받아 감축량 3.61kg CO<sub>2</sub>/1인1회를 최소값을 설정하였다. 환경성적표지인증의 생태관광 및 농촌체험에 관한 원단위는 1인, 1회 기준으로 산정됨에 따라 참여하는 인원 수와 연간 운영 횟수 등에 따라 추가적인 탄소감축이 가능할 것이다.

탄소중립 생활실천은 환경부(2021)의 탄소중립 생활 실천 안내서의 가정편(이하 ‘환경부 안내서’라고 한다)에서 제시된 에너지, 소비, 수송, 자원순환의 세부 활동별 탄소감축량을 활용하여 산정하였다. 환경부 안내서에는 적은 비용으로 할 수 있는 생활실천은 1단계, 적은 비용이지만 실천이 어려운 것을 2단계, 10 만원 이상의 고비용이 들

고 전문가의 도움이 필요한 생활실천을 3단계로 구분하여 탄소중립 생활실천을 통한 탄소감축량 최소값은 1단계 실천 항목을, 최대값은 1단계와 3단계 항목을 모두 실천할 경우의 감축량을 활용하여 각각 1.22kg CO<sub>2</sub>/세대, 3.40kg CO<sub>2</sub>/세대로 산정하였다. 원단위 산정 기준은 세대로 하였고 세대당 가구원 수는 2020년 통계청의 인구총조사의 평균가구원 수 2.3인(Statistics Korea, 2020)을 활용하였다.

마을공용 전기차는 마을 내에서 가구당 자동차 운행에 필요한 연료량을 줄임으로 인해 탄소배출을 감축하는 효과가 있다. 이에 대한 명확한 선행연구는 없으나, Lee(2022a)에서 제시한 마을의 평균 가구 수를 50가구로, 1일 동안 마을 내 이동거리를 0.5km로 가정하여 아래의 산식으로 탄소감축량을 산정할 수 있다.

$$E_{C_{\max}} = ((GHG_g - GHG_e) \times L \times ho \times Day \times 10^{-3}) / ho$$

여기서,  $E_{C_{\max}}$ : 탄소감축량 최대값(t CO<sub>2</sub>/세대),  $GHG_g$ : 휘발유차 탄소배출량(g CO<sub>2</sub>/km),  $GHG_e$ : 전기차 탄소배출량(g CO<sub>2</sub>/km),  $L$ = 마을 내 운행거리(0.5km),  $ho$ : 세대 수,  $day$ : 365일.

$$E_{C_{\min}} = (((GHG_g - (GHG_g \times 0.5 + GHG_e \times 0.5)) \times L \times ho \times Day \times 10^{-3})) / ho$$

여기서,  $E_{C_{\min}}$ : 탄소감축량 최소값(t CO<sub>2</sub>/세대),  $GHG_g$ : 휘발유차 탄소배출량(g CO<sub>2</sub>/km),  $GHG_e$ : 전기차 탄소배출량(g CO<sub>2</sub>/km),  $L$ = 마을 내 운행거리(0.5km),  $ho$ : 세대 수,  $day$ : 365일.

마을공용 전기차 활용 시 최대 탄소감축량은 마을 내 차량이동을 100% 마을공용 전기차로 분담할 경우로 제4차 친환경자동차 기본계획(Joint Ministry concerned, 2021a)에서 제시된 휘발유 차량 이용 시 온실가스 발생량 116g CO<sub>2</sub>/km와 전기차 평균 온실가스 발생량 79.5g CO<sub>2</sub>/km를 활용하여 13.32t CO<sub>2</sub>/세대로, 최소 탄소감축량은 마을 내 공용 전기차의 분담율을 50%로 할 경우로 6.66t CO<sub>2</sub>/세대로 산정하였다.

ZEHR의 경우 내용타당도 분석결과 농촌지역 그린인프라에는 부적정한 것으로 나타났으나, 주택의 시설개선을 통한 탄소감축가능성에 대해 알아보고자 추가 분석을 진행하였다. ZEHR에 도입가능한 기술은 패시브 기술과 액티브 기술로 구분되나, 재생에너지를 농촌지역 핵심 그린인프라 요소로 설정함에 따라 ZEHR에는 패시브 기술만 적용하는 것으로 하였다. Lee et al.(2011)은 탄소제로건물의 적용기술 및 효과 분석 연구에서 단열 강화 시 열 관류율 0.23 W/m<sup>2</sup>K, 창호 U-value를 1.66 W/m<sup>2</sup>K, 태양열취득계수인 SHGC를 0.417, 자연채광을 통한 조명 LPD값을 11 W/m<sup>2</sup>로 감소시키고 대수분할 제어를 적용할 경우 일반적으로 사용하는 모델 대비 49kWh/m<sup>2</sup>·yr 전력을 절감하는 것으로 분석하였다. 이를 농촌지역의 주거형태를 단독주택으로 가정하고 주택총조사(Statistics Korea, 2020)의 단독주택에서 연면적 비중이 60~85m<sup>2</sup>에서 가장 높게 나타나 이의 중간값인 72.5m<sup>2</sup>에 적용하고 전력사용량에 대한 배출계수를 적용하여 탄소감축량 원단위를 1.66t CO<sub>2</sub>/세대로 산정할 수 있으며 이를 최대값으로 설정하였다. Sa et al.(2014)은 단독주택에서 필요한 난방열수요량을 82kWh/m<sup>2</sup>로 분석하였고 탄소저감 시나리오에서 정부정책과 고효율 기가지 사용 시 90% 절감하는 것을 제시함에 따라 이를 환산한 2.49t CO<sub>2</sub>/세대를 최소값으로 산정하였다.

### 4.3 농촌지역 그린인프라의 탄소중립 기여도

농촌지역 그린인프라에 대한 정량적인 탄소중립 기여도를 분석하기 위해서 농촌지역 그린인프라별 적용 규모가 필요함에 따라 Lee(2022a)에서 연구한 비도시 정주지인 4개 마을의 주요 공간별 평균 면적을 가구 수, 주거지, 농경지는 지목을 기준으로, 홍수터와 초지는 피복된 면적을 기준으로 산출하여 Table 8과 같이 정리 후 이를 활용하였다. 4개 마을에 대한 평균 가구 수는 53세대, 주거지는 2.96ha, 농경지는 8.43ha, 홍수터는 0.79ha, 초지는 3.63ha로 평균 면적을 산정하였다. 본 연구에서는 이를 비도시 정주지 1개 마을의 평균 가구 수와 규모로 가정하였으며 공간적 데이터값에 Table 7의 농촌지역 그린인프라 요소별 탄소감축 원단위를 적용하여 이를 기여도 산정에 활용하였다.

평균 가구 수, 규모 등의 공간적 데이터에 농촌지역 그린인프라 요소별 탄소감축 원단위를 적용하여 산정한 결과는 Table 9와 같다. 평균 세대 수는 재생에너지 시설, 빗물 재활용 시스템, 공용 전기차, 탄소중립 생활실천, ZEHR 등의 요소에 적용하였고 농경지의 면적은 친환경 영농의 요소에, 홍수터의 면적은 습지에 초지의 면적은 마을숲에 적용하였다. 이를 통해 적용된 면적은 13.14ha이며 농촌지역 그린인프라의 탄소감축량은 연간 최소 521.92t CO<sub>2</sub>, 최대 1,026.77t CO<sub>2</sub>에 달하는 것으로 산정되었으며 km<sup>2</sup> 단위로 환산할 경우 최소 3,972.00t CO<sub>2</sub>/km<sup>2</sup>, 최대

Table 8. Calculation of application scale

Classification	Unit	Village A	Village B	Village C	Village D	Average
Number of households	households	54	55	51	50	53
Residence	ha	5.91	2.96	1.02	1.92	2.96
Farmland	ha	15.34	8.63	3.47	6.26	8.43
Floodplain	ha	0.92	0.87	0.69	0.67	0.79
Grassland	ha	5.00	2.70	4.47	2.33	3.63

Source: Lee(2022a), Author rewrite

Table 9. Carbon reduction amount by factors of green infrastructure in rural areas

Classification			Application scale	Minimum		Maximum	
				Basic unit	Reduction	Basic unit	Reduction
Sum			13.14ha	-	521.92 t CO <sub>2</sub>	-	1,026.77 t CO <sub>2</sub>
Living space	Hubs	Village forest	3.63ha	7.34 t CO <sub>2</sub> /ha	13.29 t CO <sub>2</sub>	15.90 t CO <sub>2</sub> /ha	28.78 t CO <sub>2</sub>
		Wetland	0.79ha	22.20 t CO <sub>2</sub> /ha	17.54 t CO <sub>2</sub>	27.84 t CO <sub>2</sub> /ha	21.99 t CO <sub>2</sub>
		Renewable energy facilities	53hh	1.73 t CO <sub>2</sub> /hh	91.69 t CO <sub>2</sub>	3.47 t CO <sub>2</sub> /hh	183.91 t CO <sub>2</sub>
		Farmland(eco-friendly farming)	8.43ha	6.06 t CO <sub>2</sub> /ha	51.09 t CO <sub>2</sub>	8.07 t CO <sub>2</sub> /ha	68.03 t CO <sub>2</sub>
	Links	Green way of village	0.3ha	7.34 t CO <sub>2</sub> /ha	2.20 t CO <sub>2</sub>	10.41 t CO <sub>2</sub> /ha	3.12 t CO <sub>2</sub>
		Rainwater recycling system	53hh	0.003 t CO <sub>2</sub> /hh	0.16 t CO <sub>2</sub>	0.010 t CO <sub>2</sub> /hh	0.53 t CO <sub>2</sub>
Living way	Uses	Public electric vehicle	53hh	3.33 t CO <sub>2</sub> /hh	176.49 t CO <sub>2</sub>	6.66 t CO <sub>2</sub> /hh	352.98 t CO <sub>2</sub>
		Net-zero lifestyle practice	53hh	1.22 t CO <sub>2</sub> /hh	64.66 t CO <sub>2</sub>	3.40 t CO <sub>2</sub> /hh	180.20 t CO <sub>2</sub>
		Rural experience and ecotourism	20p×4n	0.004 t CO <sub>2</sub> /pn	0.32 t CO <sub>2</sub>	0.172 t CO <sub>2</sub> /pn	13.76 t CO <sub>2</sub>
		ZEHR	53hh	1.63 t CO <sub>2</sub> /hh	86.39 t CO <sub>2</sub>	2.73 t CO <sub>2</sub> /hh	144.69 t CO <sub>2</sub>

Reduction unit: t CO<sub>2</sub>, hh: household, p: persons, n: number, Green way of village applies 10% of residential area

7,814.11t CO<sub>2</sub>/km<sup>2</sup>에 달하는 탄소를 감축할 수 있는 것으로 분석되었다. 우리나라의 면적 중 비도시지역은 산림지 면적을 제외한 18,065.47km<sup>2</sup>(KOSIS, 2020<sup>1)</sup>)로 농촌지역 그린인프라의 최소, 최대 탄소감축량 원단위를 적용하면 최소 70.76백만 톤, 최대값은 141.16백만 톤에 달하는 CO<sub>2</sub>를 감축할 수 있는 것으로 볼 수 있다. 최대값의 경우 2019년 농업부문에서 배출되는 탄소량이 21.0백만 톤 CO<sub>2</sub>인 것으로 고려할 때 비도시지역의 농촌 인프라를 활용할 경우 배출량의 6.7배 달하는 배출량을 상쇄할 수 있는 양으로 탄소중립에 대한 기여도가 높은 것으로 판단할 수 있다. 또한, 탄소중립시나리오안(Joint Ministry concerned, 2021b)에서 제시된 2050년 예상 탄소흡수량인 25.3백만 톤 CO<sub>2</sub>의 약 5.6배에 달하는 것으로 추가 탄소흡수원으로서의 잠재력이 높은 것으로 해석할 수 있다.

4.4 고찰

본 연구의 결과와 타 연구와의 가장 큰 차별성은 비도시 정주지에 해당하는 농촌지역 그린인프라를 체계화하고 이에 대한 탄소감축 원단위를 도출하여 비도시 정주지의 탄소중립 기여도를 정량적으로 분석하여 제시한 것이다.

특히, Lee(2022b)에서는 도시지역 정주지의 추가 탄소흡수원으로 제시된 도시숲, 입체녹화 등의 공간적이며 자연적인 그린인프라를 제시하였으나, 본 연구에서는 이를 포함한 정주지에서 일어나는 인간의 인위적인 생활방식과 자연 에너지를 활용하는 시설까지 포함하여 분석함에 따라 농촌지역 그린인프라 조성 시 마을 단위의 탄소중립 가능성에 대하여 정량적으로 분석할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있다. 또한, 정주지에 관련된 대부분의 연구는 서울시를 대상으로 한 Hong et al.(2021)에서와 같이 도시지역에 국한하여 연구를 진행하고 있어 본 연구에서 도출한 비도시 정주지에 대한 개념과 도시지역의 정주지 개념을 활용하여 우리나라만의 고유한 정주지 개념 정립에 기여할 수 있을 것이다.

활용적인 측면에서는 이전의 연구들은 습지, 녹지, 숲, 공원 등 그린인프라 요소단위별 탄소흡수량 산정을 주되게 연구하였으나 본 연구에서는 이러한 요소를 비도시 정주지인 농촌지역 그린인프라라는 공간적 범위로 확장하여 총 13개 요소에 대한 탄소감축량 원단위를 제시함에 따라 공간 단위의 탄소중립 정책과 계획 등에 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 또한, 도시 정주지의 특성을 추가적으로 고려하고 탄소중립도시의 계획요소와의 적용가능성에 대한 후속 연구를 진행할 경우 탄소중립이 가능한 도시 그린인프라 요소를 도출할 수 있을 것이며, 이는 '2050 탄소중립'과 '2030 NDC' 정책 이행에 기여할 수 있을 것이다.

## 5. 결론

본 연구는 2050년 탄소중립이라는 시대적 요구에 대응하며 이를 위한 구체적인 이행방안에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 인간의 활동이 이루어지는 기본단위인 비도시 정주지에 해당되는 농촌지역의 그린인프라에 대한 탄소중립 기여도를 분석하였고 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 농촌지역 그린인프라에 대한 개념을 비도시지역 마을 주변의 공원, 습지, 하천 및 물길, 녹지축과 녹도, 광장 등 자연, 반자연, 인공적인 녹지공간을 통합적으로 활용하여 삶의 영위와 질적인 향상을 도모할 수 있는 공간적 요소이자 시스템으로 정의하였다.

둘째, 농촌지역 그린인프라의 유형과 요소를 제시하였다. 농촌지역 그린인프라를 크게 자원을 직접적으로 조성 또는 개선하는 생활공간 측면과 자원을 간접적으로 활용하는 생활방식 측면으로 구분하였고 생활공간을 핵심지역과 연결지역으로 세분하여 이에 적합한 요소를 도출하였고 CVR .529 이상인 마을숲, 농경지, 스마트팜, 습지, 재생에너지 시설 등을 핵심지역으로, 하천, 밭물재활용 시스템, 마을 녹지 등은 연결지역으로 구분하는 것이 적절한 것으로 검증하여 농촌지역 그린인프라 요소를 체계화하였다.

셋째, 그린인프라 요소별 탄소감축량에 대한 최소값, 최대값을 제시하여 비도시 정주지의 탄소중립을 위한 공간적 계획, 설계 시 활용될 수 있도록 하였다. 13.14ha 규모의 농촌지역 그린인프라를 조성할 경우 최소 521.92t CO<sub>2</sub>/yr, 최대 1,026.77t CO<sub>2</sub>/yr에 달하는 탄소를 간접적으로 감축하는 효과가 있는 것으로 분석됨에 따라 마을 규모별 배출되는 탄소배출량에 대한 데이터를 활용하여 마을 단위의 탄소중립을 위한 후속 연구, 관련 정부 정책 수립 및 이행에 활용도가 높을 것으로 예상된다.

넷째, 농촌지역 그린인프라의 탄소중립 기여 가능성에 대해 분석한 결과 산림지를 제외한 비도시지역 18,065km<sup>2</sup>는 2019년 농업부문의 탄소배출량의 최소 약 337%에 달하는 양을 상쇄할 수 있으며, 2050년 탄소흡수량의 약 280%에 달하는 양을 간접적으로 감축가능한 것으로 나타나 농촌지역 그린인프라 적극활용 시 탄소중립에 대한 기여도가 매우 높다고 할 수 있다. 이는 현재 수준을 고려한 감축량으로 보다 적극적인 그린인프라 활용계획을 수립하여 이행할 경우 농업부문 이외에서 배출하는 탄소량도 상쇄할 수 있을 것으로 예상된다.

다섯째, 농촌지역의 그린인프라를 통해 발생하는 탄소감축량의 경제적 가치는 배출권거래제와 연계하여 거래가 능하다는 가정 시, 배출권 시장 정보플랫폼상의 2022년 3월 30일 KAU21의 가격 23,400원/ton을 적용할 경우, 비도시 정주지를 대상으로 최소 약 1조 6,558천 억원에 달하는 것으로 탄소중립을 위한 산업생태계 전환, 농촌지역의 경제활성화, 녹색일자리 창출 등에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서의 시사점으로는 비도시 정주지를 대표할 수 있는 농촌지역의 그린인프라에 대한 체계화를 통하여 그린인프라 요소별 탄소감축량에 대한 원단위를 제시하였다는 점에서 선행연구와의 차별성을 가진다. 또한, 농촌지역 마을의 일반적 규모와 이에 대한 탄소감축량을 포함 제시하여 탄소중립이 가능한 마을 계획시 기초자료를 제공할 수 있도록 하였으며, 마을 단위의 탄소중립을 통해 도시 단위에 활용할 수 있다는 확장성을 가지고 있다. 그러나 마을숲에 대한 탄소감축량 원단위는 지속적인 후속연구가 필요하다. 마을숲의 경우 대부분 선행연구의 산림수종을 활용하여 정주지에서 활용 빈도가 높은 수종의 탄소흡수량에 대한 실증연구가 필요하며, 탄소중립 생활실천의 경우 선행연구에서 제시한 탄소감축량의 세부 조건과 가정이 불명확하여 추가적인 후속연구와 각 세대별 각각의 생

활방식 전환을 통해 감축되는 탄소량에 대한 지속적인 모니터링 및 정량화에 대한 연구가 보완되어야 할 것이다. 재생에너지 시설의 경우도 제품 생애 전반적으로 활용할 수 있는 원단위에 대한 보완이 필요하며 마을 단위 탄소 중립을 이행할 수 있는 후속연산, 운반, 설치시 발생하는 탄소량 산정체계를 구축하여 측정한다면 보다 구체적인 원단위 도출이 가능할 것으로 사료된다. 아울러, 습지의 경우도 본 연구에서 활용한 선행연구의 대상지는 도시하천 임에 따라 비도시 정주지에 위치하고 있는 다양한 유형의 습지에 대한 탄소흡수량을 분석하구가 필요하다.

주 1. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=315&tblId=TX\\_315\\_2009\\_H1002&conn\\_path=I3](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=315&tblId=TX_315_2009_H1002&conn_path=I3)

## References

- Ahern, J.(2007) Green Infrastructure for Cities: The Spatial Dimension. London: IWA publishing. pp. 267–283.
- Benedict, M. A. and E. T. McMahon(2006) Green Infrastructure: Lingking Landscapes and Communities Washington, DC: Island Press.
- Choi, S. E., B. Y. Ham, C. H. Song, E. B. Park, J. W. Kim and W. K. Lee(2020) Pilot study and development of activity data for greenhouse gas inventory of settlement categories in Korea: A case of Incheon Seo-gu. Journal of Climate Change Research 11(3): 187–196.
- Endo, T. and S. Otani(2019) Carbon storage in tidal flats. In Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems (pp. 129–151). Singapore: Springer.
- Eum, S. W. and H. O. Lee(2020) A study on the improvement plan of Zoning system in rural areas. Korea Real Estate Academy Review 81: 60–75.
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea(GIR, 2020) National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.
- Hong, S. G., B. Y. Ham, S. E. Choi, W. J., Kim, R. Ha, S. Y. Park and W. K. Lee(2021) Comparative analysis on the sequestration of CO<sub>2</sub> depending on spatial ranges for estimating greenhouse gas inventory in settlement: In case of Seoul. Journal of Climate Change Research 12(6): 767–776.
- IPCC(2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies.
- Joint Ministry concerned(2020) The 5th National Environmental Comprehensive Plan.
- Joint Ministry concerned(2021a) The 4th Green Vehicle Master Plan.
- Joint Ministry concerned(2021b) 2050 Net Zero Scenario.
- Kang, J. E.(2011) Urban renewal strategy for adaption to climate change: Use of green infrastructure on flood mitigation. KEI Reports. 2011–17, Korea Environment Institute, Sejong.
- Kang, Y. E.(2021) Utilization of Urban Carbon Sinks for Net Zero. Korea Research Institute for Human Settlements.
- Kambites, C. and S. Owen(2007) Renewed prospects for green infrastructure planning in the UK. Planning Practice and Research 21(4): 483–496.
- Kim, G. H.(2009) A Study on Incentive Plans to Realize Carbon Neutral Cities: Focusing on Incentives for District Unit Plans Master's Dissertation. Hyeopseong University, Gyeonggido.
- Kim, H. C., S. J. Lee, W. Y. Lee and J. W. Kang(2016) Selection of poplar clones for short rotation coppice in a Riparian area. Journal of Korean Forest Society 105(1): 103–107.
- Kim, J. Y. and Y. W. Nam(2013) A study on the planning factors of domestic and foreign carbon neutral city for carbon reduction. Journal of the Korean Institute of Spatial Design 4:103–112.
- Kim, M. C.(2009) The 1st green infrastructure forum workshop. Planning and Policy 120–123.
- Kim, S. H. and K. J. Zoh(2015) Green infrastructure plan and design for urban hydrological cycle restoration: Focused on the oversea case studies of landscape architecture plan and design. Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design 16(3): 37–51.
- Kim, S. H., J. J. Park and I. K. Kim(2018) Estimation of carbon sequestration in urban green spaces



- using environmental spatial information: A case study of Ansan city. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 21(3): 13-26.
21. Kim, Y. J., S. M. Jeong, S. J. Bae and D. H. Lee(2013). Review on the application and effect of phytocapping for carbon neutral in MSW landfill sites. *Journal of Korea Society of Waste Management* 30(7): 633-644.
  22. Kim, Y. S., M. T. Kim and J. J. Hyeon(2020) The impact of certifying products with low carbon labeling on economic value added. *Tax Accounting Research* 66: 75-94.
  23. Korea Environment Institute(2021) KEI Focus: Current Status of Greenhouse Gas Emissions in Water and Net Zero Policy Direction.
  24. Korea Institute of S&T Evaluation and Planning(2019) 2019 Preliminary Feasibility Study Report: Smart Farm Multi-Ministerial Package Innovation Technology Development.
  25. Lawshe, C. H.(1975) A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology* 28(4): 563-575.
  26. Lee, C. H., H. C. Jeun, D. W. Shin, J. Y. Park and S. H. Park(2021) A Preliminary Study for Developing and Monitoring Korea's Net Zero Scenarios. Korea Environment Institute.
  27. Lee, D. K. and B. C. An(2021) Analyzing the economic value and planning factors of hubs within urban green infrastructure: Focusing on the case of Sejong lake park. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 49(4) : 41-54.
  28. Lee, D. K.(2022a) A Study on the Near Net Zero Village Planning Factors and Models Development. Ph. D. Dissertation. Wonkwang University.
  29. Lee, E. H.(2021) Psychometric property of an instrument 1: Content validity. *Korean J Women Health Nurs* 27(1): 10-13.
  30. Lee, E. Y.(2022b) A planning of green infra for net zero. *Review of Architecture and Building Science* 66(1): 30-33.
  31. Lee, J. H., G. G. Lee and J. K. Hong(2010) Development of carbon neutral indicator using capacity of carbon storage on urban forest. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 13(3): 94-102.
  32. Lee, H. M., S. J. You, S. M. E. Park and J. H. Chon(2018) A study on categories of green infrastructures to enhance urban resilience. *Journal of Korea Planning Association* 53(1): 215-235.
  33. Lee, G. D. and G. H. Kim(2020) Establishment and operation of mid to long term unit cost(LCOE) forecasting system to expand renewable energy supply. Korea Energy Economics Institute Report.
  34. Lee, J. B., S. C. Hong, N. C. Beak, J. Y. Choi, Y. D. Hong, S. J. Lee and D. W. Lee(2011) Applied technologies and effects for the carbon zero office building. *Journal of Climate Change Research* 2(4): 283-295.
  35. Lee, S. M.(2012) A study on the method of calculating carbon reduction by factors of low-carbon urban planning. *Journal of Environmental Studies* 51: 145-161.
  36. Lee, S. W. and Y. S. Cho(2020) Economic feasibility analysis of the renewable energy based business model in the agricultural sector and policy implications - Focusing on the "Smart Farms" using renewable energy -. *Innovation Studies* 15(1): 1-28.
  37. Lynn, M. R.(1986) Determination and quantification of content validity. *Nursing Research*.
  38. 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, T. Waterfield (eds.)(2018) Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of, 1.5°C.
  39. Ministry of Environment(2021) A Guide to Net Zero Living Practices.
  40. Ministry of Foreign Affairs(2019) 2019 UN Climate Action Summit Report at a Glance.
  41. Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2021) Construction Work Standard Product Calculation.
  42. Nahlik, A. M. and M. Fennessy(2016) Carbon storage in US wetlands. *Nature Communications* 7(1): 1-9.

43. Noh J. Y.(2021) A Study on the Activation of an Offshore Wind Energy Market for Achieving Carbon Neutrality in Korea. Ph. D. Dissertation. Sejong University.
44. National Institute of Forest Science(2019) Standard Carbon Uptake of Major Forest Species.
45. Nunnally, J. C.(1967) Psychometric Theory. New York, NY: McGraw-Hill.
46. Park, H. K., K. S. Oh and S. H. Lee(2014) Analysing effects of CO<sub>2</sub> absorption capability through enhancing urban green infrastructure in Seoul. Journal of the Korean Urban Management Association 27(4): 1-23.
47. Randolph, J.(2004) Environmental Land Use Planning and Management. Washington, DC: Island Press.
48. 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.
49. Sa, J. W., G. W. Lee and S. Y. Kim(2014) The effectiveness analysis of potential CO<sub>2</sub> reduction of buildings and green areas in undeveloped lands: With special emphasis on ariul multi-functional city. Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design 15(2): 103-112.
50. Seo, Y. W.(2016) A new perspective on green infrastructure. Water for Future 49(6): 63-68.
51. Seok, Y. S., K. W. Song, H. J. Han, J. A. Lee(2021) Derivation of green infrastructure planning factors for reducing particulate matter: Using text mining. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 49(5): 79-96.
52. Shin J. D., E. S. Jang, S. W. Park, B. Ravindran and S. W. Chang(2019) Agro-environmental impacts, carbon sequestration and profit analysis of blended biochar pellet applicationin the paddy soil-water system. Journal of Environmental Management 244: 92-98.
53. Shin, J. D., D. Y. Park, H. S. Kim, S. I. Lee and S. G. Hong(2020) Evaluation of agro-environmental effect and soil carbon sequestration to different application ratios of supplemented biochar pellet in the paddy during rice cultivation Korean. Journal of Environmental Agriculture 2020 39(2): 114-121.
54. Song, I. J. and C. R. Yoon(2019) Establishment and utilization of ecosystem service assessment in Seoul. The Seoul Institute Policy Task Research Report: 1-169.
55. Statistics Korea(2020) Population and Housing Census: Houses by Type, Total Floor Area and Number of Residents.
56. Steffen, W., J. Rockström, K. Richardson, T. M. Lenton, C. Folke, D. Liverman, C. P. Summerhayes, A. D. Barnosky, S. E. Cornell, M. Crucifix, J. F. Donges, I. Fetzer, S. J. Lade, M. Scheffer, R. Winkelmann, H. J. Schellnhuber(2018) Trajectories of the earth system in the anthropocene. Proceedings of the National Academy of Sciences 115(33): 8252-8259.
57. Waltz C. F., O. L. Strickland and E. R. Lenz(1991) Measurement in Nursing Research. 2nd ed. Philadelphia: F.A. Davis Company.
58. Woo, S. H.(2021) Application examples of climate chang response in agriculture and forestry using biochar. World AgricultureE 240(0): 39-54.
59. Wright, H.(2011) Understanding green infrastructure: The development of a contested concept in England. Local Environment 16(10): 1003-1019.
60. Yang, I. S. and H. S. An(2018). Optimal location analysis in terms of efficiency for solar energy facilities. Journal of The Korea Contents Association 18(7): 656-664.
61. Yu, S. C. and J. A. Ok(2015) A study of construction plan of the statistics for national green house gas inventories(LULUCF Sector). Journal of Korea Spatioal Information Society 23(3): 67-77.