

탄소 중립 실현을 위한 개인 탄소 하베스트 개념 및 플랫폼 모델 연구

조석균* · 장태욱** · 안병화*** · 김연규****†

*한양대학교 에너지환경연구원 정책개발실장, **퀀텀솔루션 대표, ***한국지방재정공제회 자산운용실장, ****한양대학교 국제학부/국제학대학원 교수

The concept of a personal carbon harvest digital platform for achieving carbon neutrality: A citizen participatory model

Jo, Seok Gyun* · Chang, Tae Uk** · Ahn, Byeong Hwa*** and Kim, Younkyoo****†

*Head of Policy Development Hanyang Institute of Energy and the Environment, Hanyang University, Seoul, Korea

**Chief Executive Officer, Quantum Solution, Seoul, Korea

***Head of Asset Management Team, Asset Management Team, Local Finance Institution, Seoul, Korea

****Professor, School/Graduate School of International Studies, Hanyang University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study proposes a citizen-participation platform model for achieving urban carbon neutrality, focusing on the introduction of the personal carbon harvest (PCH) concept. PCH refers to the idea of converting the amount of carbon reduced through individual daily activities into incentives, thereby encouraging voluntary carbon neutrality practices among citizens and contributing to urban carbon neutrality goals. The research methodology includes a literature review to examine relevant theoretical backgrounds, such as carbon neutrality policies, citizen participation, and digital platform design methodologies. It also assesses the legal and institutional feasibility of introducing the PCH concept. Based on this, the study identifies the main components and functions of the PCH platform model. Key functions include analyzing individual carbon reduction activities, providing customized carbon reduction practice guides, offering incentives based on harvested carbon, and organizing community-based carbon neutrality campaigns. This study suggests that the proposed PCH platform model can establish a virtuous cycle where individual carbon neutrality practices lead to overall urban carbon reduction. The PCH concept can encourage active citizen participation and promote behavioral changes by providing immediate rewards for carbon neutrality practices. Moreover, a citizen-participation carbon neutrality platform can improve environmental education, foster community spirit, and revitalize the local economy. The findings of this study are expected to be a useful reference for formulating strategies to promote citizen participation and achieving carbon neutrality in urban administration using digital technologies.

Key words : Urban Carbon Neutrality, Citizen Participation, Personal Carbon Harvest, Digital Platform, Carbon Reduction Activities, Incentive System

†Corresponding author : youn2302@hanyang.ac.kr (222, Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Korea. Tel. +82-2-2220-2281) ORCID 조석균 0009-0004-0659-7191 안병화 0009-0008-1421-7020 장태욱 0009-0007-5658-6281 김연규 0009-0007-2587-1143

1. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

기후변화는 인류가 대응해야 할 가장 시급한 문제 중 하나이다. 2015년 파리협정에서는 산업화 이전 대비 지구 평균 온도 상승을 2°C 이하로 유지하고, 1.5°C 이하로 제한하기 위해 노력한다는 목표를 설정하였다(Friedlingstein et al., 2023). 이를 달성하기 위해서는 2050년까지 탄소중립(net-zero)을 실현해야 한다. 탄소중립이란 인간 활동에 의한 온실가스 배출량과 흡수량의 균형을 이루는 것을 의미한다(Davis et al., 2018).

도시는 전 세계 온실가스 배출량의 70% 이상을 차지하고 있어(IPCC, 2023), 탄소중립 달성에 있어 도시의 역할이 매우 중요하다. 그러나 탄소중립은 정부와 기업의 노력만으로는 달성하기 어려우며, 시민들의 적극적인 참여와 실천이 필수적이다. 시민들의 일상생활에서의 작은 변화가 모여 큰 영향력을 발휘할 수 있기 때문이다(Gao and Souza, 2022). 본 연구에서는 시민 개개인의 탄소 저감 활동에 주목하고, 이를 체계적으로 관리하고 지원할 수 있는 방안으로써 개인 탄소 하베스트(personal carbon harvest, PCH) 개념을 제안하고자 한다. 개인 탄소 하베스트는 개인의 탄소 감축량을 측정하고, 이를 경제적 또는 비경제적 인센티브와 연계함으로써 자발적인 탄소중립 실천을 유인하는 메커니즘이다. 이는 개인의 탄소 저감 활동을 가시화하고 보상함으로써 지속가능한 저탄소 생활 방식으로의 전환을 촉진할 수 있다.

본 연구의 목적은 개인 탄소 하베스트 개념을 적용한 시민 참여형 탄소중립 플랫폼 모델을 제안하고, 이를 통해 도시 차원의 탄소중립 실현 방안을 모색하는 데 있다. 특히, 개인의 탄소 저감 활동 데이터를 수집, 분석하여 맞춤형 인센티브를 제공하고, 커뮤니티 기반의 참여와 협력을 촉진함으로써 개인의 탄소중립 실천을 지속적으로 이끌어내는 선순환 구조를 구축하고자 한다. 이를 통해 도시 탄소중립 정책에서 시민 참여형 접근의 유효성을 제고하고, 개인 차원의 탄소중립 실천 활성화에 기여하는 한편, 탄소중립 사회로의 전환을 위한 이론적, 실천적 토대를 마련하고자 한다. 개인 탄소 하베스트 개념은 기존의 탄소배출권 거래제도와는 차별화된다. 기존의 제도는 주로 기업이나 기관 단위로 운영(top-down)되어 왔으며, 개인의 참여는 매우 제한적이었다. 반면 개인 탄소 하베스트는 시민 개개인의 일상적 실천(bottom-up)을 탄소배출

권으로 연결함으로써, 보다 포용적이고 참여적인 탄소중립 거버넌스를 지향한다.

또한 개인 탄소 하베스트 개념의 실천 방안을 모색하고자 한다. 이를 위해 먼저 탄소중립 정책의 흐름과 시민참여의 의의를 살펴보고, 관련 이론과 방법론을 검토할 것이다. 그리고 개인 탄소 하베스트 개념의 적용 가능성과 법적·제도적 쟁점을 논의하고자 한다. 탄소중립 사회로의 전환에 있어 시민 개개인의 역량과 참여를 이끌어내는 접근법을 제시한다는 점에서 의의가 있다.

1.2. 연구 필요성

기존의 탄소중립 정책은 주로 정부 주도의 하향식(top-down) 방식으로 이루어져 왔다. 이러한 접근은 규제와 지원을 통해 기업과 기관의 탄소 감축을 유도하는 데 초점을 맞추고 있으나, 정작 탄소 배출의 상당 부분을 차지하는 시민들의 일상적인 활동에 대한 고려는 부족한 실정이다(Hare et al., 2010). 탄소중립 달성을 위해서는 시민 참여를 유도할 수 있는 새로운 접근 방식이 필요하다. 특히, 개인의 일상적인 탄소 저감 활동에 대한 인센티브 부재는 시민 참여를 저해하는 주요 요인 중 하나이다. 현재의 제도 하에서는 개인의 탄소 감축 노력이 가시적으로 드러나지 않고, 이에 대한 보상 체계도 마련되어 있지 않다. 따라서 개인의 자발적인 탄소중립 실천을 이끌어내기 위해서는 개인의 탄소 저감 활동을 측정하고 인센티브와 연계하는 방안이 마련되어야 한다(Fawcett and Parag, 2010).

한편, 디지털 기술의 발전은 시민 참여형 탄소중립 실현에 새로운 기회를 제공하고 있다. 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 모바일 기술 등을 활용하여 개인의 일상생활에 깊숙이 침투할 수 있는 개인 참여형 탄소 하베스트 플랫폼을 구축함으로써, 시민들의 탄소 저감 활동을 실시간으로 모니터링하고 맞춤형 인센티브를 제공할 수 있다(Wan et al., 2021). 이를 통해 개인의 탄소중립 실천을 지속적으로 유도하고, 나아가 탄소중립 문화 확산에 기여할 수 있을 것이다. 또한, 탄소 하베스트 플랫폼을 통해 개인의 탄소저감 활동 데이터를 수집, 분석함으로써 보다 효과적인 탄소중립 정책 수립에 활용할 수 있다. 개인의 행동 패턴과 감축 잠재량을 파악하여 맞춤형 정책을 설계하고, 시민들의 참여를 지속적으로 이끌어낼 수 있는 방안을 모색할 수 있을 것이다(Eyre, 2010). 이를 통해 기존의 하향식 탄소중립 정책의 한계를 극복하고, 시

민 참여에 기반한 상향식(bottom-up) 접근을 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

1.3. 연구 방법 및 범위

본 연구는 개인 탄소 하베스트 개념을 정의하고, 이를 적용한 시민 참여형 탄소중립 플랫폼 모델을 설계하는 것을 목적으로 한다. 개인 탄소 하베스트는 개인의 일상 활동에서 발생하는 탄소 감축량을 측정, 인증하고 이에 대한 보상을 제공함으로써 개인의 자발적인 탄소중립 실천을 유도하는 메커니즘으로 정의한다. 본 연구에서는 가정, 직장, 이동 등 개인의 일상생활 전반에서 발생하는 탄소 감축 활동을 개인 탄소 하베스트의 범위로 설정하였다. 시민 참여형 탄소중립 플랫폼은 개인 탄소 하베스트 메커니즘을 구현하기 위한 디지털 기반 솔루션으로, 개인의 탄소 감축 활동을 추적, 측정, 보상하는 일련의 기능을 포함한다. 플랫폼의 주요 구성요소로는 탄소 감축 활동 트래킹 시스템, 탄소 감축량 측정 및 인증 체계, 인센티브 설계 및 제공 방식, 사용자 인터페이스 및 커뮤니티 기능 등이 포함된다. 본 연구에서는 각 구성요소의 세부 기능과 요구사항을 도출하고, 이를 바탕으로 플랫폼의 전체적인 아키텍처를 설계하고자 한다.

연구 방법으로는 첫째, 문헌 조사를 통해 개인 탄소 하베스트 및 시민 참여형 탄소중립 플랫폼과 관련된 이론적 배경을 검토한다. 탄소 회계, 행동 경제학, 시민 참여 이론 등 관련 분야의 선행 연구를 고찰하여 본 연구의 이론적 토대를 마련한다(Lee and Kim, 2016; Rosen, 2018). 둘째, 국내외 유사 사례를 조사, 분석하여 개인 탄소 하베스트 모델 설계에 참고할 만한 시사점을 도출한다. 영국의 Carbon Rationing Action Groups (CRAGs), 핀란드의 CitiCAP 프로젝트 등 개인 탄소 감축 활동 관련 프로그램, 디지털 플랫폼, 인센티브 제도 등 다양한 사례를 검토하여 벤치마킹 포인트를 식별한다(Howell, 2012; Kuokkanen et al., 2020). 마지막으로 문헌 조사와 사례 분석 결과를 종합하여 시민 참여형 탄소중립 플랫폼 모델을 설계한다. 플랫폼의 전체 구조, 주요 구성요소별 기능, 인터페이스 디자인, 운영 방식 등을 구체화하고, 이를 구현하기 위한 기술적, 제도적 방안을 제시한다. 또한 전문가 인터뷰를 통해 모델의 타당성과 실현 가능성을 검토하고, 보완 방안을 모색한다.

본 연구는 문헌 조사, 사례 분석, 모델 설계를 중심으로 진행되며, 개인 탄소 하베스트 플랫폼의 잠재력과 개념적

타당성을 이론적으로 검토하는 데 초점을 맞춘다. 다만, 플랫폼의 실제 구현과 운영에 대해서는 추가적인 기술적 검토와 실험이 필요할 것으로 보인다. 본 연구의 결과는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 정책 수립과 시민 참여 활성화 방안 마련에 기초적인 아이디어를 제공할 수 있을 것으로 기대된다

2. 본론

2.1. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

2020년 10월 한국 정부의 2050 탄소중립 선언 이후, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제정('21), 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향 조정 등 탄소중립 이행을 위한 제도적 기반이 빠르게 마련되었다. 그러나 이러한 정부 주도의 하향식 접근만으로는 탄소중립 목표 달성에 한계가 있다는 지적이 제기되고 있다.

탄소중립은 에너지, 산업, 수송, 건물 등 경제·사회 전반의 근본적인 전환을 필요로 하는 광범위한 과제이다. 정부의 정책과 기업의 기술 혁신도 중요하지만, 무엇보다 국민 개개인의 인식 전환과 행동 변화가 뒷받침되어야 한다. 기후 위기 대응을 위한 사회적 합의를 형성하고, 이를 바탕으로 국민들의 자발적인 탄소중립 실천을 이끌어내는 것이 관건이다. 그러나 현행 탄소중립 정책은 이러한 시민참여의 관점에서 한계를 노정하고 있다. 2021년 탄소중립위원회의 국민인식조사에 따르면, 국민 85%는 탄소중립의 필요성에 공감하면서도 개인의 실천 수준은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 탄소중립이 정부와 기업의 몫이라는 인식, 실천 방법에 대한 정보 부족 등이 주된 이유였다. 이는 정책 수립과 이행 과정에서 국민들의 참여가 제한적이었음을 방증한다.

탄소중립 사회로의 전환을 위해서는 정부와 기업의 노력뿐만 아니라 시민 개개인의 적극적인 참여가 필수적이다. 온실가스 감축의 상당 부분은 시민들의 일상적인 활동에서 비롯되기 때문이다. 따라서 시민들이 탄소중립 정책에 능동적으로 참여하고 실천할 수 있도록 유도하는 것이 중요한 과제로 대두되고 있다. 시민참여 이론은 이러한 시민참여형 탄소중립 정책의 이론적 토대가 된다.

먼저 참여형 민주주의(participatory democracy) 이론은 공청회, 워크숍 등을 통해 시민들이 정책 결정 과정에 직접 참여하는 것을 강조한다. 탄소중립 정책 수립 과정에서 시민들의 의견을 수렴하고 아이디어를 공유하는 참여

적 절차를 도입할 수 있다는 점에서 시사점이 크다(Talan et al., 2023). 공동체 이론(community theory)은 지역 공동체 차원의 자발적 실천을 통한 탄소중립 실현 방안을 제시한다. 에너지 절약 캠페인, 재활용 프로그램 등 지역 기반 프로젝트에 주민들이 주도적으로 참여함으로써 공동체의식을 바탕으로 기후변화에 대응할 수 있다(Yu, 2022). 행동 변화 이론(behavior change theory)은 개인의 친환경 행동을 유도하기 위한 인센티브 설계에 주목한다. 탄소 포인트제도와 같이 개인의 탄소 저감 활동에 대한 보상체계를 마련하고, 탄소 발자국 계산기 등 실천 도구를 제공함으로써 시민들의 자발적 참여를 이끌어낼 수 있다(Heiskanen et al., 2010). 사회적 학습 이론(social learning theory)은 모범 사례 전파를 통한 시민 참여 활성화 방안을 제안한다. 탄소중립 실천 우수 사례를 발굴하고 홍보함으로써 개인과 공동체의 행동 변화를 유도할 수 있다는 것이다(Kang et al., 2021). 마지막으로 협력적 거버넌스(collaborative governance) 이론은 탄소중립 거버넌스에 다양한 이해관계자들의 참여와 협력이 필요함을 강조한다. 지자체, 기업, 시민사회 등 각 주체들이 파트너십을 형성하고 협력 네트워크를 구축함으로써 탄소중립 목표를 효과적으로 달성할 수 있다(Lu et al., 2023). 이처럼 시민 참여 이론은 참여 민주주의에서 협력적 거버넌스에 이르기까지 다양한 관점에서 시민참여형 정책 설계를 위한 통찰을 제공한다.

행동변화 이론은 개인 탄소 하베스트의 접근법과 맞닿아 있는 바, 개인의 온실가스 감축을 체계적으로 측정·관리하고 인센티브를 제공한다는 점에서 시사점이 크다. 또한 참여 민주주의 이론은 하베스트 제도의 구체적 설계 과정에서 시민들의 의견을 적극 수렴할 수 있는 제도적 장치를 고민하게 한다. 종합하면, 본 연구에서는 시민 참여 이론 중, 행동 변화 이론을 바탕으로 개인 탄소 하베스트 제도의 기본 틀을 설계하고, 참여 민주주의 이론의 관점에서 시민들의 직접 참여를 보장하기 위한 세부 방안을 모색할 것이다. 이를 통해 시민 개개인의 실천을 지원하는 동시에 정책 거버넌스 차원에서의 시민 주도성을 제고하는 시민참여형 탄소중립 정책 모델을 제시하고자 한다. 물론 이 과정에서 정책 수용성, 형평성, 개인정보보호 등 현실적 제약 요인들을 간과해서는 안 될 것이다. 시민들의 자발적 동참을 유도하면서도 역량과 자원의 격차로 인한 참여의 불균형 문제를 보완할 수 있는 섬세한 제도 설계가 필요하다. 또한 개인의 행동 데이터 관리에 있어서는 프라이버시 우려를 해소할 수 있는 법적, 기술적 장치

도 반드시 갖추어야 할 것이다.

본 연구에서는 개인 탄소 하베스트와 관련된 이론적 배경을 보다 깊이 있게 이해하기 위해 선행연구를 고찰하였다. 기존 연구들은 주로 탄소 배출량 측정, 인센티브 설계, 시민 참여의 중요성 등을 다루고 있다. 주요 선행연구들을 아래와 같이 자세히 살펴보았다. Heiskanen et al. (2010): 이 연구는 저탄소 커뮤니티가 개인의 행동 변화를 유도하는 맥락을 다루었다. 연구진은 에너지 절약을 위해 공동체 내에서 개인이 어떤 행동을 취해야 하는지에 대한 프레임워크를 제시하였다. 저탄소 커뮤니티는 개인의 일상적인 에너지 사용 패턴을 변화시키는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 강조하였다. Howell (2012): 이 연구는 영국의 탄소 배급 행동 그룹(CRAGs)의 경험을 바탕으로 개인 탄소 할당제의 효과를 분석하였다. 연구는 개인이 연간 탄소 배출 한도를 설정하고 이를 초과할 경우 과징금을 부과하는 방식이 개인의 책임감을 높이고, 그룹 내 상호 학습과 협력이 탄소 감축을 효과적으로 유도할 수 있음을 발견하였다. Kang et al. (2021): 이 연구는 탄소 감축을 위한 행동 변화에서 동료 영향(peer influence)의 역할을 탐구하였다. 연구 결과에 따르면, 개인이 탄소 감축 활동에 참여하도록 유도하는 데 있어 동료의 행동과 피드백이 중요한 영향을 미친다. 이러한 사회적 학습 메커니즘을 통해 개인의 지속 가능한 행동을 촉진할 수 있음을 시사한다. Talan et al. (2023): 이 연구는 참여 민주주의와 기후 정책을 연계하여 시민들이 탄소 감축 노력에 참여하는 방안을 제안하였다. 공청회, 워크숍 등을 통해 시민들이 직접 정책 결정 과정에 참여함으로써, 정책의 수용성과 실효성을 높일 수 있음을 강조하였다. 연구는 특히 시민 참여가 탄소중립 목표 달성에 필수적인 요소임을 지적하였다.

이외에도 다양한 연구들이 개인의 탄소 감축 활동을 촉진하기 위한 메커니즘과 정책 설계에 대한 통찰을 제공하고 있다. 다음은 이러한 연구들의 주요 발견사항이다. 인센티브의 중요성: Fawcett and Parag (2010)는 개인의 탄소 감축 노력을 보상하는 체계가 시민 참여를 유도하는데 핵심적인 역할을 한다고 강조하였다. 탄소포인트제도와 같은 인센티브 제도를 통해 개인의 자발적인 참여를 유도할 수 있다. 디지털 기술의 활용: Wan et al. (2021)는 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 모바일 기술 등을 활용한 개인 탄소 하베스트 플랫폼의 잠재력을 탐구하였다. 이러한 기술들은 개인의 탄소 감축 활동을 실시간으로 모니터링하고, 맞춤형 인센티브를 제공하는 데 기여할 수 있다. 사

Table 1. International case benchmarking and application

Component	Benchmarking case	Key features	Application in proposed model
MRV system	UK CRAGs	Individual carbon emission measurement	Automated real-time data collection using IoT (Internet of Things), big data, and blockchain technologies
Incentive system	Finland CitiCap (Citizens' cap and trade co-created)	Mobile app-based incentives for transportation	Comprehensive incentives for various carbon reduction activities (energy use, waste management, etc.) combining economic and non-economic rewards
Education and participation	Switzerland Energiestadt (Energy City)	Citizen working groups, energy advisory services	Integrated carbon neutrality education content, participatory events, and community features within the platform
Data analysis and policy integration	US Better Buildings Challenge	Data sharing and goal-setting approach	Reflection of individual carbon reduction data in national GHG (Greenhouse Gas) inventory; exploration of linkage with ETS (Emissions Trading Scheme); personalized reduction goal setting and progress monitoring
Local cooperation model	Germany CO2 (Carbon Dioxide) Expo	Region-centered approach	Integration of local challenges and region-specific incentives in collaboration with local governments

Table 2. Comparison of PCH and similar systems

Categorization	PCH	UK	FIN	SWZ	US	GER	SEO	CPS
Individual level measurement	○	○	○	△	△	○	×	×
Providing incentives	○	×	○	×	×	×	○	○
Institutionalization of civic participation	○	○	△	○	△	×	×	×

Notes: PCH=personal carbon harvest, UK CRAGs=UK carbon reduction action group, FIN=Finland CitiCap, SWZ=Switzerland energy city, US=US better buildings, GER=Germany CO2 expo, SEO=Seoul eco mileage, CPS=Ministry of Environment carbon point system.

회적 학습: Eyre (2010)는 모범 사례 전파를 통한 시민 참여 활성화 방안을 제안하였다. 탄소중립 실천 우수 사례를 발굴하고 홍보함으로써 개인과 공동체의 행동 변화를 유도할 수 있다. 협력적 거버넌스: Lu et al. (2023)은 탄소중립 거버넌스에서 다양한 이해관계자들의 참여와 협력이 필요함을 강조하였다. 지자체, 기업, 시민사회 등 각 주체들이 파트너십을 형성하고 협력 네트워크를 구축함으로써 탄소중립 목표를 효과적으로 달성할 수 있다.

이와 같은 선행연구들은 개인 탄소 하베스트 제도의 설계와 운영에 있어 중요한 시사점을 제공한다. 본 연구는 이러한 선행연구들을 바탕으로 개인 탄소 하베스트 플랫폼을 구체화하고, 시민 참여형 탄소중립 정책 모델을 제시하고자 한다. 이를 통해 개인의 자발적 탄소 감축 활동을 촉진하고, 전 사회적으로 지속 가능한 저탄소 문화를 확산시키는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2.2. 국내외 사례 연구

개인 탄소 하베스트와 유사한 개념으로는 개인 탄소 발자국, 개인 탄소 예산제, 개인 탄소 거래제 등이 있다. 이들은 모두 개인의 온실가스 배출량을 측정하고 관리하는데 초점을 맞추고 있다는 점에서 공통점을 갖는다. 다만, 개인 탄소 하베스트는 감축량에 기반한 인센티브 제공, 시민참여 제도화 등의 측면에서 차별성을 갖는다. 이하에서는 개인 탄소 하베스트와 관련된 주요 국내외 사례를 살펴보고자 한다.

영국에서 2006년부터 시작된 CRAGs는 시민 주도의 자발적 탄소 감축 운동이다(Howell, 2012). 참가자들은 연간 개인 탄소 예산을 설정하고, 이를 초과하는 배출량에 대해 그룹 내에서 과징금을 부과하는 방식으로 운영된다. 개인의 책임성을 강조하면서도 상호 학습과 협력을 통해 탄소 감축을 유도한다는 점이 특징이다. CitiCAP 프로젝트는 2018년부터 2021년까지 핀란드 라히티 시에서 시행된

개인 탄소 거래제 시범사업이다(Kuokkanen et al., 2020). 시민들의 자발적 참여를 기반으로, 모바일 앱을 통해 개인의 이동 수단 선택에 따른 탄소 배출량을 모니터링하고 감축 실적에 따라 인센티브를 제공하였다. 개인 탄소 감축량 측정과 보상 체계 설계 등 개인 탄소 하베스트 제도 설계에 시사점을 제공한다. 스위스는 2001년부터 ‘에너지 도시(Energiestadt)’ 프로그램을 통해 지자체 단위의 탄소 중립 정책을 추진해 왔다(Wilke et al., 2011). 이 프로그램은 에너지 효율, 재생에너지, 지속가능한 모빌리티 등 6개 분야에서 지자체의 자발적 감축 조치를 평가하고 인증하는 제도이다. 시민참여를 핵심 요소로 포함하고 있는데, 시민 워킹그룹, 에너지 자문 서비스 등을 통해 개인의 에너지 절약과 탄소 감축을 유도한다.

미국 에너지부는 2011년부터 Better Buildings Challenge 프로그램을 통해 상업 및 산업 부문의 에너지 효율 향상을 도모하고 있다(DOE, 2014). 여기에는 개별 기업뿐만 아니라 대학, 학교, 지자체 등 다양한 주체들이 참여하며, 에너지 사용량 공개와 효율 개선 목표 설정, 우수 사례 공유 등을 통해 자발적 감축을 유도한다. 특히 개별 건물 단위의 에너지 사용량 측정 및 관리 체계를 갖추고 있어, 개인 탄소 하베스트 제도 설계에 참고할 만하다. CO2 엑스포 프로젝트는 2020년 독일 3개 도시에서 시범 실시된 개인 탄소 예산제 프로젝트이다(Jung, 2023). 이는 영국의 CRAGs와 유사하게, 개인이 자발적으로 연간 탄소 배출 한도를 설정하고 이를 모니터링하는 방식으로 진행되었다. 다만 예산 초과에 따른 과징금 대신 온라인 플랫폼을 통한 정보 교환, 우수 사례 경연 등의 방식으로 참가자들의 실천을 유도했다는 점이 특징이다(Bristow et al., 2010). 국가별 탄소 거래 제도는 Table 1로, 제안되는 PCH 플랫폼과 기존 틀과의 구분은 Table 2로 정리되어 있다.

국내 사례로는 2009년부터 서울시가 진행중인 에코마일리지는 시민 참여형 온실가스 감축 프로그램이다(Ko and Song, 2019). 전기, 수도, 가스 등의 절약량에 따라 마일리를 부여하고 인센티브를 제공한다. 다만 개별 가구 단위로 운영되며, 개인의 탄소 감축 행동과 직접적으로 연계되지 않는다는 한계가 있다. 또한 2008년부터 환경부가 추진하는 탄소포인트제는 전 국민 대상 온실가스 감축 실천 프로그램이다(van der Heijden and Hong, 2020). 가정, 상업 부문의 전기, 수도, 도시가스 사용량 절감에 따라 포인트를 부여하고 이에 상응하는 인센티브를 제공한다. 개별 주체의 자발적 감축 행동을 유도한다는 점에서 의의가 있으나, 역시 개인 단위의 탄소 감축과는 거리가 있다.

2.3. 개인 탄소 하베스트 개념 및 타당성

2.3.1. 개인 탄소 하베스트의 개념 및 특징

개인 탄소 하베스트란 개인이 일상생활에서 실천하는 탄소 저감 활동을 통해 달성한 온실가스 감축량을 정량적으로 측정하고, 이를 인센티브와 연계하여 개인의 자발적 탄소 감축 행동을 유도하는 제도를 의미한다. 이는 개인의 탄소 발자국 최소화라는 직접적인 감축 효과뿐만 아니라, 제도 참여를 통한 시민 인식 제고 및 행동 변화 촉진이라는 사회적 효과도 기대할 수 있다.

여기서 ‘하베스트(harvest)’는 개인의 탄소 저감 노력의 결과물, 즉 감축량을 수확한다는 의미를 내포한다. 이는 기후위기 대응을 위한 개인 차원의 실천이 단순히 의무나 희생이 아닌, 가치 있는 행위로서 보상받을 수 있다는 인식 전환을 의도한다. 이를 통해 개개인이 기후행동의 주체로서 역할을 다할 수 있도록 동기를 부여하고, 나아가 지속가능한 저탄소 사회로의 전환을 견인하고자 하는 것이다.

개인 탄소 하베스트는 국가나 기업의 온실가스 감축 실적에 기반한 탄소 크레딧 제도와는 차별화된다. 기존의 탄소 크레딧은 주로 공급자 중심의 제도 설계로 인해 일반 시민의 관심과 참여가 제한적이었다. 반면 개인 탄소 하베스트는 수요자인 개인에게 초점을 맞추으로써 탄소 감축에 대한 주인의식을 고취시키고, 일상 속 작은 실천이 모여 큰 변화를 이끌어낼 수 있다는 공동체 의식 함양에도 기여할 수 있다.

개인 탄소 하베스트의 주요 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 객관적이고 투명한 모니터링 체계를 바탕으로 개인의 탄소 저감량을 정확히 측정, 인증한다. 둘째, 개인의 감축 기여도에 따른 경제적, 비경제적 인센티브를 제공함으로써 자발적 감축 행동을 유인한다. 셋째, 시민참여형 거버넌스를 통해 개인의 아이디어와 창의성이 정책에 반영되도록 한다. 본 연구에서 제시하는 개인 탄소 하베스트는 기후위기 대응의 새로운 패러다임으로서, 개인의 역할과 책임을 강조하는 동시에 사회 전반의 인식 전환과 행동 변화를 촉구하는 진보된 정책 모델이라 할 수 있다.

2.3.2. 개인 탄소 하베스트 도입의 타당성 검토

(법적, 제도적, 사회적 측면)

개인 탄소 하베스트 제도가 국내에 성공적으로 도입되기 위해서는 관련 법령의 정비와 제도적 기반 마련이 선행되어야 한다. 현행 법체계 내에서 개인 탄소 감축 활동

을 직접적으로 규정하고 있는 조항은 매우 제한적이므로, 관련 법규에 개인 탄소 하베스트 개념을 명시적으로 반영할 필요가 있다. 구체적으로는 「저탄소 녹색성장 기본법」, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 등에 개인 탄소 하베스트 관련 조항을 신설하거나, 별도의 특별법을 제정하는 방안을 검토할 수 있다. 법률 조항에는 개인 탄소 하베스트의 정의, 목적, 기본 원칙, 국가와 지방자치단체의 책무, 개인 참여 활성화 방안 등이 포함되어야 한다. 이를 위해 개인 특히, 주민 단위의 참여 활성화를 위해서 조례에 관련 규정을 구체화 하는 방안이 검토되어야 할 것이다.

법적 기반 마련과 더불어 개인의 자발적 참여를 유도하기 위한 제도적 장치도 다각도로 모색해야 한다. 우선 개인 탄소 감축·흡수 실적에 대한 객관적 측정·보고·검증(measurement, reporting, and verification, MRV) 체계 구축이 필수적이다(Tang et al., 2018). 개인 탄소 하베스트 활동을 정량적으로 평가하고 인증할 수 있는 기준과 가이드라인을 마련함으로써, 제도 운영의 투명성과 신뢰성을 제고할 수 있다. 이를 위해 전문가 집단, 관계 부처, 이해관계자가 참여하는 민관 협의체를 구성하여 MRV 방법론을 개발하고, 관련 인프라를 단계적으로 확충해 나가야 한다.

개인 탄소 하베스트 제도가 사회 전반에 뿌리내리기 위해서는 국민 개개인의 인식 전환과 자발적 동참이 무엇보다 중요하다. 탄소중립의 필요성과 개인 참여의 중요성에 대한 교육과 홍보를 지속적으로 실시하여, 전 국민적 공감대를 형성해 나가야 한다. 특히 청소년, 학생 등을 대상으로 한 체험 교육 프로그램을 확대 실시함으로써, 미래세대가 친환경 생활 양식을 일상화 할 수 있도록 유도해야 한다.

또한 개인 탄소 하베스트 우수 사례를 적극 발굴하고 홍보함으로써, 국민들이 일상 속 작은 실천으로도 큰 변화를 만들어낼 수 있다는 자긍심과 효능감을 고취시켜야 한다. 나아가 개인 탄소 하베스트 활동이 사회적으로 인정받고 합당한 대우를 받을 수 있도록, 범국민적 참여를 독려하는 사회적 분위기 조성에 힘써야 한다.

개인 탄소 하베스트 제도의 성공적 안착을 위해서는 정부 주도의 하향식(top-down) 접근과 함께, 지역사회가 주도하는 상향식(bottom-up) 접근이 조화를 이뤄야 한다. 중앙정부 차원에서 제도의 큰 틀과 방향성을 설정하되, 지역별 여건과 특성을 감안한 세부 실행 계획은 지방정부가 수립하여 추진하는 것이 효과적일 것이다. 특히 기초지자

체 단위에서 주민 참여형 탄소 감축 프로젝트를 기획하고, 지역 공동체가 협력하여 감축 목표를 달성해 나가는 상향식 접근을 통해 개인 탄소 하베스트 활동의 저변을 확대해 나갈 필요가 있다.

아울러 개인 탄소 하베스트 제도를 둘러싼 이해관계자 간 협력적 거버넌스 구축도 매우 중요하다. 정부, 지자체, 기업, 시민사회, 전문가 집단 등이 유기적으로 협력하여 개인 탄소 하베스트 활성화 방안을 모색하고, 상호 간 역할과 책임을 분담해 나가야 한다. 다양한 이해관계자가 참여하는 민관 협의체를 구성하여 제도 설계와 이행 과정에서 투명성과 소통을 제고하고, 관련 정책과 사업에 대한 공동 모니터링과 평가도 실시할 필요가 있다.

정부는 개인 탄소 하베스트 제도의 성공적 안착을 위해 법적·제도적 기반을 마련하고, 재정적·행정적 지원을 아끼지 말아야 한다. 특히, 환경부의 개인 탄소 하베스트 활성화 프로그램 개발이 필수적이며, 이와 함께 기획재정부와 행정안전부가 공공계약 관점에서의 지원체계를 구축할 필요가 있다. 예를 들면 환경부는 개인 탄소 하베스트 인증기업 제도를 신설하고 이를 뒷받침하기 위해 사회적 가치 공공계약제도 관점에서 인증기업에 대해 경쟁입찰에서의 신인도 가점을 부여하거나 우선구매를 위한 수의계약 근거를 마련하여 (지방)정부 예산이 관련 사업의 활성화에 이용될 수 있도록 하는 방안을 고려해 볼 수 있다.

이와 함께 탄소중립 사회로의 전환이 저소득층, 취약계층에 미칠 영향을 최소화하기 위한 보완 방안도 함께 강구해야 한다. 개인 탄소 하베스트 정책으로 인해 특정 계층이 소외되거나 불이익을 받지 않도록, 형평성 제고 방안과 사회안전망 강화 방안을 마련하는 것이 필수적이다. 기업은 개인 탄소 하베스트 제도에 발맞춰 저탄소 제품과 서비스 개발에 적극 나서야 한다. 특히 개인이 일상생활 속에서 손쉽게 탄소 감축에 동참할 수 있도록, 친환경 상품 출시와 탄소 라벨링 확대에 앞장설 필요가 있다. 아울러 기업 차원에서 개인 탄소 감축 활동을 지원하기 위한 사회공헌 프로그램을 활성화하고, ‘1기업 1마을’ 결연 등을 통해 지역사회와 상생 발전을 도모할 필요가 있다.

시민사회는 개인 탄소 하베스트의 당위성과 실천 방안을 알리는 데 주력해야 한다. 환경단체, 소비자단체, 시민단체 등을 중심으로 개인 탄소 감축 운동을 전개하고, 국민 참여를 확대하기 위한 다각적인 활동을 펼쳐 나가야 한다. 또한 탄소중립 관련 정책과 제도에 대한 감시와 비판 기능을 충실히 수행함으로써, 정책 추진 과정에서의 투명성과 신뢰성을 제고하는 데 기여해야 할 것이다.

개인 탄소 하베스트 제도는 아직 국내외에서 본격적으로 시행된 사례가 많지 않은 만큼, 선도적으로 도입하는 과정에서 다양한 시행착오가 불가피할 것으로 예상된다. 따라서 제도 도입 초기부터 철저한 사전 영향 평가와 위험 분석을 실시하여 잠재적 문제점을 면밀히 진단하고, 단계적·점진적 접근을 통해 제도를 안정적으로 정착시켜 나가야 한다. 무엇보다 개인 탄소 하베스트의 필요성과 기본 방향에 대한 범국민적 공감대를 토대로, 이해관계자 간 긴밀한 소통과 협력을 바탕으로 제도의 문제점을 지속적으로 개선·발전시켜야 한다.

2.3.3. 개인 탄소 하베스트 도입의 타당성 검토 (기술적, 경제적 측면)

개인 탄소 하베스트 제도의 경제적 타당성을 검토하기 위해서는 제도 도입에 따른 비용과 편익을 종합적으로 분석할 필요가 있다. 우선 개인 탄소 하베스트 제도의 이행을 위해서는 MRV 체계 구축, 인센티브 제공, 교육·홍보 등에 상당한 재원이 소요될 것으로 예상된다. 정부 차원에서 안정적인 재원 확보 방안을 마련하되, 민간 부문의 투자와 참여를 활성화함으로써 재정 부담을 경감할 필요가 있다. 정부 및 지방자치단체 예산이 자연스럽게 민간 부문의 투자와 참여로 이어지게 하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 공공계약 분야에서의 제도 개선이 필수적이라 할 수 있다.

반면 개인 탄소 하베스트 제도는 온실가스 감축이라는 직접적 효과 외에도 다양한 경제적 편익을 창출할 수 있을 것으로 기대된다. 무엇보다 개인의 탄소 감축 활동이 활성화되면 가계 에너지 비용 절감으로 이어질 수 있다. 뿐만 아니라 개인 탄소 하베스트 관련 신산업·신기술 육성을 통해 새로운 일자리 창출과 경제 성장 동력 확보도 기대해 볼 수 있다.

나아가 개인 참여형 탄소 감축 실천이 활성화되면 국가 온실가스 감축 목표 달성 비용을 절감하는 데에도 기여할 수 있을 것이다. 정부 주도의 직접 규제나 공공 부문 감축 사업에 소요되는 막대한 예산을 절감하고, 배출권 구매에 투입되는 비용도 상당 부분 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 특히 개인 탄소 하베스트 제도를 통해 감축된 탄소량을 탄소 배출권과 연계하는 방안도 검토해 볼 수 있다. 개인이 감축한 탄소량을 모아 일정 규모 이상이 되면 배출권으로 전환하고, 이를 기업 등 다른 경제 주체에 판매할 수 있는 체계를 마련함으로써 개인의 탄소 감축 활동에 경제적 인센티브를 부여할 수 있다. 이는 배출권 거래제

의 활성화에도 기여할 수 있을 것이다.

다만 이 경우 개인의 탄소 감축량 평가와 배출권 전환 과정의 투명성과 공정성 확보가 무엇보다 중요하다. 국제적으로 통용되는 엄격한 기준에 따라 개인 탄소 감축량을 측정·검증하고, 배출권 전환 시 할인을 적용 등을 통해 환경 완결성을 담보하는 장치가 마련되어야 한다. 또한 소수 개인에 의한 배출권 독과점이나 투기 등 역기능 발생 소지도 선제적으로 차단할 필요가 있다.

아울러 개인의 자발적 참여를 유도하기 위한 다양한 인센티브 방안도 적극 강구되어야 한다(Li et al., 2018). 예를 들어 일정 수준 이상의 탄소 감축 실적을 달성한 개인에게 세제 혜택을 부여하거나, 감축량에 비례한 포인트를 지급하고 이를 현금처럼 활용할 수 있도록 하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 또한 개인 탄소 감축 실적에 따라 지역 화폐, 모바일 쿠폰 등 지역 경제 활성화와 연계된 인센티브를 제공하는 것도 효과적일 것이다. 이 밖에도 탄소 중립 실천 우수 개인에 대한 포상 등 비경제적 인센티브 방안도 적극 활용할 필요가 있다. 추가적으로, 감축 실적이 우수한 개인에게는 전기차나 친환경 가전제품 구입 시 할인 혜택을 제공하거나, 탄소 중립 인증 배지를 부여하여 사회적 인정과 자부심을 고취시키는 것도 고려할 수 있다.

개인 탄소 하베스트 제도 도입의 기술적 타당성은 크게 두 가지 관점에서 검토할 수 있다. 기본적으로 개인의 탄소 감축·흡수 행동을 정확하게 측정·평가·검증할 수 있는 방법론과 기술 기반이 마련되어야 한다. 개인 활동에 따른 탄소 감축·흡수량을 산정하기 위해서는 다양한 분야에서 수집된 데이터를 통합 관리하고 분석할 수 있는 디지털 인프라 구축이 필수적이다. 개인의 에너지 사용량, 용수 사용량, 폐기물 배출량 등 다양한 데이터를 수집·연계하고, 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT) 기술 등을 활용하여 개인별 탄소 감축량을 산정하는 스마트 시스템 마련이 요구된다. 아울러 도보, 자전거 이용, 대중교통 이용 등 저탄소 모빌리티 활동에 대한 모니터링 시스템과 데이터 연계 체계도 구축할 필요가 있다(Khan et al., 2021)..

생활 속 탄소 감축 행동뿐 아니라, 개인 차원에서 수행 가능한 탄소 흡수 활동에 대한 평가 기준과 산정 방식도 표준화되어야 한다. 가정 내 식물 재배, 옥상 녹화, 도시 농업 등 개인 차원의 탄소 흡수원 확대 활동에 대해, 객관적이고 공정한 기준에 따라 흡수량을 평가할 수 있는 체계를 갖춰야 개인 탄소 하베스트 제도의 환경 완결성을 담보할 수 있을 것이다.

개인 탄소 하베스트와 관련된 신기술 개발과 실증에 대한 정부 차원의 지원도 대폭 확대되어야 한다. 에너지 절감, 용수 절약, 탄소 포집·저장, 저탄소 모빌리티, 폐기물 재활용 등 개인 탄소 감축과 직결된 유망 기술을 발굴하고, R&D 투자와 실증 사업을 통해 조기 상용화를 지원할 필요가 있다. 특히 개인이 손쉽게 활용할 수 있는 실용 기술 발굴에 주력함으로써, 국민 참여를 활성화하는 동시에 관련 분야 기술 경쟁력을 제고해 나가야 한다. 정부 차원의 지원을 구체화 하기 위해서는 현행 공공계약 제도 중 경쟁적 대화에 의한 계약 등 기존 낙찰자 결정방식을 활용하거나 새로운 낙찰자 결정 방식에 대한 검토가 필수적이다.

개인 탄소 하베스트를 통해 집계된 감축량을 배출권 거래 시장에 연계할 경우, 개인 참여를 획기적으로 확대할 수 있는 기술적 방안도 모색할 필요가 있다. 개인의 감축 실적을 모아 일정 규모의 배출권을 구성하고, 기업 등 다른 경제 주체에 판매할 수 있는 플랫폼을 구축함으로써 개인의 탄소 감축 활동에도 시장 원리를 도입할 수 있을 것이다. 탄소 크레딧화, 블록체인 기술 활용 등 다양한 기술적 방안에 대한 심도 있는 논의가 요구된다.

다음으로는 개인 탄소 하베스트 제도의 원활한 이행을 뒷받침하기 위해서는 통합적인 정보 관리 체계 구축도 필수적이다. 개인별 탄소 감축·흡수 실적, 인센티브 지급 내역, 참여 이력 등을 통합적으로 관리할 수 있는 정보 시스템을 구축함으로써, 제도 운영의 효율성과 투명성을 제고할 수 있다. 정부, 지자체, 기업, 금융기관 등 다양한 행위자가 연계된 탄소 정보 통합 관리 체계를 고도화할 필요가 있다.

개인정보 보호와 데이터 주권 문제도 개인 탄소 하베스트 제도 도입 시 중요하게 고려해야 할 요소이다. 개인의 탄소 감축 활동 정보가 과도하게 수집·활용되지 않도록, 관련 법령에 근거하여 철저히 관리될 필요가 있다. 정보 주체인 개인이 자신의 데이터를 자율적으로 관리하고 통제할 수 있는 권리를 보장하는 한편, 산업 활용 목적의 데이터 수집·이용에는 합리적인 규제를 적용해야 한다.

2.3.4. 국내 인센티브 제도와의 연계 및 확장 가능성

본 연구에서 제안하는 개인 탄소 하베스트 제도는 국내에서 이미 운영 중인 인센티브 제도들과 상당한 유사성을 가지고 있으며, 이들과의 연계 및 확장 가능성이 크다. 특히, 탄소포인트제와 에코마일리지는 개인 탄소 하베스트 제도와의 통합을 통해 더욱 포괄적이고 효과적인 탄소

감축 인센티브 체계로 발전할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 탄소포인트제는 환경부가 2008년부터 시행하고 있는 제도로, 가정의 전기, 수도, 가스 사용량 절감에 따라 포인트를 부여하고 이에 상응하는 인센티브를 제공한다(ME, 2020). 이는 개인 탄소 하베스트의 기본 개념과 유사하나, 주로 가정 내 에너지 사용에 초점을 맞추고 있다는 점에서 한계가 있다. 개인 탄소 하베스트 제도는 이를 확장하여 이동, 소비 등 다양한 일상 활동에서의 탄소 감축을 포함할 수 있다. 이를 통해 탄소포인트제를 더욱 포괄적인 개인 탄소 감축 인센티브 제도로 발전시킬 수 있을 것이다.

에코마일리지는 2009년부터 서울시가 시행하고 있는 시민 참여형 온실가스 감축 프로그램으로, 전기, 수도, 가스 등의 절약량에 따라 마일리지를 부여하고 인센티브를 제공한다(Ko and Song, 2019). 이 제도 역시 개인 탄소 하베스트와 유사한 접근을 취하고 있으나, 주로 가구 단위로 운영되며 개인의 다양한 탄소 감축 행동을 포괄하지 못한다는 한계가 있다. 개인 탄소 하베스트 제도와의 연계를 통해, 가정 내 에너지 사용뿐만 아니라 개인의 이동, 소비 등 다양한 활동을 포함하는 종합적인 탄소 감축 인센티브 제도로 확장할 수 있을 것이다.

이러한 기존 제도와의 연계 및 확장은 여러 가지 이점을 제공할 수 있다. 첫째, 기존 제도의 참여자들을 자연스럽게 새로운 플랫폼으로 유도할 수 있어 초기 사용자 확보에 유리하다. 둘째, 기존 제도를 통해 축적된 데이터와 운영 노하우를 활용할 수 있어 새로운 제도의 안정적인 정착에 기여할 수 있다. 셋째, 다양한 탄소 감축 활동을 통합적으로 관리함으로써 시민들의 탄소 중립 실천 동기를 더욱 강화할 수 있다. 따라서 개인 탄소 하베스트 제도의 설계 및 구현 과정에서 이러한 기존 제도와의 연계성을 충분히 고려해야 할 것이다. 이를 통해 기존 제도의 장점을 활용하면서도 그 한계를 극복하는 새로운 패러다임의 탄소 감축 인센티브 체계를 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

2.4. 개인 탄소 하베스트 플랫폼 모델

개인 탄소 하베스트 제도의 효과적인 이행과 지속가능한 운영을 위해서는 통합적인 플랫폼 모델 구축이 필수적이다. 개인의 탄소 감축 활동을 체계적으로 관리하고, 이를 국가 온실가스 감축 정책과 유기적으로 연계하기 위한 종합 솔루션이 마련되어야 한다.

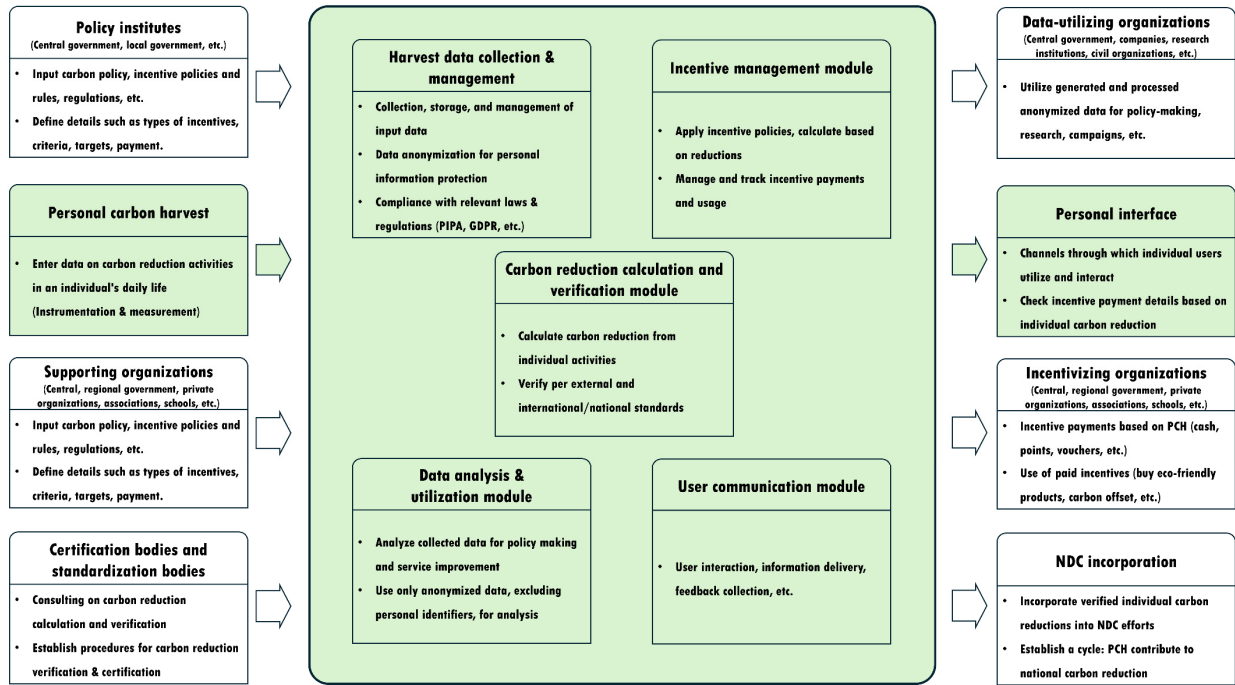


Fig. 1. PCH platform model

우선 개인 탄소 하베스트 플랫폼은 개개인의 탄소 감축 활동 데이터를 정확하고 신뢰성 있게 채취·수집하는 기능을 갖춰야 한다. 이를 위해 IoT, 빅데이터, 블록체인 등 첨단 기술을 활용한 MRV 체계를 구축하고, 국제 표준에 부합하는 측정·보고·검증 프로토콜을 마련해야 한다(Khan et al., 2021). 사용자 데이터를 수집 활용하는 과정에 있어 개인정보 침해에 관한 우려가 발생할 수 있다. 특히, MRV를 위한 활용을 넘어서, 상업적인 목적의 데이터 오남용으로 이어질 가능성이 있다. 이에 대응하기 위해, 블록체인을 활용하여 데이터를 익명화하고, 접근권을 제어하며, 암호화하는 방안이 있다. 이는 스마트 계량기 도입 당시에 논의됐던 사안들로, 개인 탄소 하베스트의 맥락에도 적용할 수 있다(McKenna et al., 2012). 해외의 개인 하베스트 플랫폼인 Oroeco, Joulebug, 등에서도 해당 기술책으로 개인정보 침해에 대해 선제적으로 대응하고 있다.

아울러 플랫폼은 개인 탄소 감축 활동에 대한 다양한 인센티브 제공 기능도 갖출 필요가 있다. 배출권 지급, 세제 혜택, 포인트 적립 등 경제적 인센티브 뿐 아니라, 개인 탄소 감축량 시각화, 친환경 활동 인증 등 비경제적 인센티브 제공 방안도 플랫폼 내에 구현되어야 한다. 이와

더불어 개인의 탄소 중립 실천을 유도하기 위한 교육·홍보 콘텐츠, 참여형 이벤트 등도 플랫폼 서비스로 제공할 필요가 있다(Zhao et al., 2021). 개인 탄소 하베스트 플랫폼은 또한 기존의 국가 온실가스 감축 정책, 배출권거래제 등과의 연계성을 고려해 설계되어야 한다. 플랫폼을 통해 집계된 개인 탄소 감축량을 국가 온실가스 인벤토리에 반영하고, 배출권거래제 상의 외부사업 감축량으로 인정받을 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 이를 위해 개인 탄소 감축량 검증을 위한 제3자 기구 운영, 인증 절차 간소화, 관련 법령 정비 등 제도적 기반 마련도 필요하다.

장기적으로 개인 탄소 하베스트 플랫폼이 성공적으로 운영되어 상당한 규모의 데이터가 축적되면, 이를 활용한 과학적 탄소 중립 정책 수립이 가능해질 것이다. 탄소 감축량 변동 추이, 감축 수단별 비용 효과성 등을 분석하여 국가 온실가스 감축 로드맵, 부문별 감축 전략 등에 반영함으로써 정책의 실효성과 효율성을 제고할 수 있을 것이다. 더 나아가 개인 탄소 하베스트 데이터는 탄소세, 재생에너지 의무할당제 등 각종 기후변화 규제 정책 수립에도 기초 자료로 활용될 수 있다. 개인과 기업의 탄소 감축 한계비용을 고려해 탄소세율을 설계하고, 개인 탄소 감축

Table 3. Components and functions of PCH platform model

Fig.1 components	Platform key functions	Detailed description
Policy institutes	Policy linkage and application	<ul style="list-style-type: none"> • Reflect platform data in national GHG inventory • Develop methods for recognizing emission reductions in ETS
Data collection organizations	Carbon reduction activity data collection and management	<ul style="list-style-type: none"> • Accurate collection and storage of individual carbon reduction activity data • Personal information protection through data anonymization
Harvest data collection & management	Carbon reduction calculation and verification module	<ul style="list-style-type: none"> • Calculate carbon reductions based on individual activities • Verify according to international/national standards
Incentive management module	Incentive management module	<ul style="list-style-type: none"> • Calculate and distribute incentives based on carbon reduction performance • Manage incentive payment records and track usage
Data analysis & information module	Data analysis and utilization module	<ul style="list-style-type: none"> • Develop policies and improve services based on collected data • Analyze using anonymized data
User communication module	User communication module	<ul style="list-style-type: none"> • Interaction with users, information delivery, feedback collection
Personal interface	Personal interface	<ul style="list-style-type: none"> • Provide channels for individual users to utilize and interact • Check individual carbon reduction performance and incentive details
Rule-setting organizations	Policy linkage and application	<ul style="list-style-type: none"> • Establish platform operation rules and policies • Ensure compliance with relevant regulations and standards
Supporting organizations	Data analysis and utilization module	<ul style="list-style-type: none"> • Provide platform operation support and technical advice • Verify data analysis results and suggest utilization methods
Certifying bodies	Carbon reduction calculation and verification module	<ul style="list-style-type: none"> • Verify carbon reduction calculation methodologies • Provide official certification for reduction performance
MRV cooperation	Carbon reduction calculation and verification module	<ul style="list-style-type: none"> • Establish and operate MRV system • Apply MRV processes compliant with international standards

활동으로 인한 에너지 수요 변화 추이를 감안해 재생에너지 공급 의무량을 탄력적으로 조정하는 등 상호 보완적인 정책 수단 간 조화방안도 모색해 볼 수 있을 것이다.

플랫폼 운영은 민관합동으로 이루어지되, 그 주체는 민간영역이다. 기업에서 플랫폼을 구축하여, 유인 설계를 하며, 정부 및 공공기관은 보조금 지원 및 규제 수단을 제공함으로써 소비자들이 신뢰할 수 있는 시스템을 구축한다. 이를 통해, 사용자 기반을 유치하고, 해외의 유사 탄소 하베스트 플랫폼을 개발할 수 있다. 해당 플랫폼을 활용하여, 탄소 배출량 데이터를 보다 정교하게 수집하여, 보다 효과적인 정책 수단을 마련할 수 있으며, 추가적인 경제 효과까지 기대할 수 있다. 해당 플랫폼 내의 구성요소 및 관계는 Fig. 1로 정리되어 있으며, 상세사항은 Table 3에 기술되어 있다.

2.5. 개인 탄소 하베스트 개념 적용의 기대 효과

개인 탄소 하베스트 제도가 성공적으로 정착된다면 다양한 긍정적 효과를 기대해 볼 수 있다. 무엇보다 국민 개인이 탄소 중립의 실천 주체로 나서게 됨에 따라, 전 사회적으로 시민 참여형 탄소 중립 문화가 확산될 수 있을 것이다(Park et al., 2023). 일상 속 작은 실천이 모여 큰 변화를 이끌어낼 수 있다는 공감대가 형성되고, 이는 자연스럽게 국민들의 환경 의식 향상으로 이어질 수 있다. 나아가 지속가능한 생활 방식과 소비 문화 정착에도 기여할 것으로 기대된다. 개인의 탄소 발자국 최소화가 일상화되면 자원 절약, 에너지 효율 제고, 친환경 제품 소비 등이 생활 전반에 자리잡게 될 것이다. 이는 기업으로 하여금 저탄소 경영을 가속화하고 지속가능한 비즈니스 모델을 적극 모색하게 하는 선순환 구조로 이어질 수 있다.

Table 4. Countermeasures for addressing reliability issues in PCH system

Measure	Description	Key benefit	Reference
Standardized reduction amounts	Set standardized reduction amounts for key activity areas	Simplifies calculation and improves consistency	Martiskainen et al. (2021)
Blockchain technology	Utilize blockchain for recording and verifying carbon reduction activities	Ensures data integrity and minimizes manipulation	Deng et al. (2024)
AI-based prediction models	Develop AI models to analyze individual activity patterns and predict carbon reductions	Improves accuracy of carbon footprint predictions	Liu et al. (2024)
Explicit uncertainty and conservative approach	Acknowledge measurement uncertainties and apply conservative estimates	Enhances credibility of the system	Grassi et al. (2013)
Hybrid verification system	Combine automated data collection with human verification	Increases verification accuracy	Wang and Chen (2023)
Phased market integration	Initially operate with an internal incentive system, gradually integrate with official carbon markets	Improves system stability and reliability	Perdan and Azapagic (2011)

이러한 제도의 일상화는 또한 미세먼지, 폐기물 등 다양한 환경 문제 해결에도 직간접적으로 기여할 것으로 보인다. 예를 들어 친환경 모빌리티 활성화는 대기 질 개선으로, 폐기물 감량과 재활용 실천은 자원 순환 촉진으로 연결될 수 있다. 탄소 중립을 넘어 환경 전반의 지속가능성을 제고하는 데 개인 탄소 하베스트가 의미미한 역할을 담당할 것으로 기대된다. 한편 MRV 기반의 수집·집계되는 방대한 데이터는 그 자체로 큰 가치를 지닌다. 개인의 탄소 감축 활동 데이터가 축적되면, 이를 바탕으로 도시나 지역 단위의 탄소 배출 특성을 입체적으로 분석할 수 있게 된다. 배출원별 비중, 계절별·시간대별 배출 패턴, 지역별 감축 잠재량 등을 면밀히 파악함으로써, 보다 정교하고 실효성 있는 탄소 중립 정책 수립이 가능해질 것이다.

이 뿐만 아니라 개인 탄소 하베스트 데이터는 각 부문별 탄소 배출 현황을 진단하고 감축 전략을 마련하는 데에도 활용될 수 있다. 가정, 상업, 수송 등 부문별 탄소 배출 비중과 특성을 정밀히 파악하고, 개별 경제 주체들의 탄소 감축 활동을 평가·분석함으로써 부문별 맞춤형 감축 전략을 수립하는 데 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다. 나아가 빅데이터 분석, 인공지능 기술 등을 통해 취합된 데이터를 고도화함으로써, 기후변화 대응을 위한 과학적 정책 수립 기반을 한층 강화할 수 있을 것으로 기대된다. 개인 탄소 감축 활동과 기후 변화 추이 간의 상관관계 분석, 에너지 전환에 따른 온실가스 감축 효과 시뮬레이션 등 다양한 분석 모델 구축이 가능해질 것이다.

2.5.1. 배출권거래제 연계의 현실적 제약과 대응 방안

개인 탄소 하베스트 제도를 배출권거래제나 자발적 탄소시장과 연계하는 것은 제도의 경제적 지속가능성을 높이는 중요한 방안이 될 수 있다. 그러나 이를 위해서는 개인의 탄소 감축량, 즉 감축 크레딧의 신뢰성 문제를 해결해야 한다. 이는 현재 탄소시장이 직면한 가장 큰 과제 중 하나로, 개인 단위의 감축량 측정에서 더욱 두드러진다. 개인의 일상생활에서 발생하는 모든 탄소 감축 활동을 정확히 측정하고 검증하는 것은 현재의 기술적 한계와 비용 문제로 인해 매우 어려운 과제이다. Parag and Strickland (2023)의 연구에 따르면, 개인의 탄소 발자국 측정에는 평균 20-30%의 오차가 존재하며, 이는 탄소 크레딧의 신뢰성에 심각한 의문을 제기한다.

이러한 제약을 고려할 때, 개인 탄소 하베스트 제도의 설계에 있어 Table 4와 같은 대응 방안을 제안한다:

이러한 방안들을 통해 개인 탄소 하베스트 제도의 신뢰성과 실효성을 제고할 수 있을 것이다. 그러나 여전히 남아있는 기술적, 방법론적 한계를 고려할 때, 제도의 주요 목적을 재정립할 필요가 있다. 즉, 정확한 감축량 측정과 탄소시장 연계보다는 시민들의 인식 제고와 행동 변화 유도에 초점을 맞추는 것이 현실적인 접근이 될 수 있다. 또한 개인 탄소 하베스트 제도는 현재의 기술적 한계를 인정하고, 이를 보완하기 위한 다각적인 노력을 기울이는 동시에, 제도의 사회적 가치와 행동 변화 유도 효과에 더 큰 비중을 두어야 할 것이다. 또한, 측정 및 검증 기술의 발전에 따라 제도를 지속적으로 개선하고, 장기적으로는

Table 5. Funding strategies for PCH system

Funding source	Description	Potential benefits
Government support	Utilize budgets from the Ministry of Environment and local governments for carbon neutrality initiatives	Stable and substantial funding; alignment with national environmental policies
Private sector sponsorship	Attract sponsorships and collaborations from companies related to carbon neutrality as part of their ESG activities	Additional funding; increased private sector engagement; potential for technological collaborations
International funds	Leverage international environmental funds and partial revenues from carbon credit trading	Diversified funding sources; international recognition and support
Reinvestment of economic benefits	Reinvest economic gains from participants' carbon reduction activities (energy cost savings, carbon credits) into the system	Creation of a sustainable funding cycle; increased participant motivation
Public-private partnerships	Establish partnerships with energy companies, tech firms, and environmental organizations	Shared resources and expertise; increased system efficiency and reach

공식 탄소시장과의 연계를 모색해 나가는 유연하고 진화하는 접근이 필요할 것이다.

2.5.2. 예산 계획 및 지속 가능성 분석

개인 탄소 하베스트 제도의 장기적 지속가능성을 확보하기 위해서는 체계적인 예산 계획과 관리가 필수적이다. 본 연구에서는 제주도를 대상으로 한 시범 사업을 가정하여 예산 문제를 분석하고, 이를 통해 전국 단위 확대 시의 예산 규모와 지속가능성을 예측하고자 한다.

제주도의 인구 약 670,000명(2023년 기준)을 기반으로, 초기 단계에서 약 10%의 참여율을 목표로 설정하였다. 이는 약 67,000명의 참여자를 의미한다. 인센티브 예산은 1인당 연간 100,000원으로 책정하여, 총 인센티브 예산은 약 67억 원으로 추산된다. 이는 기존의 탄소포인트제나 에코마일리지 제도의 인센티브 수준을 참고하여 설정한 금액이다(환경부, 2022). 운영 예산은 플랫폼 개발 및 유지보수 비용(10억 원), 홍보 및 교육 비용(5억 원), 관리 및 운영 인력 비용(5억 원)을 포함하여 총 20억 원으로 예상된다. 따라서 제주도 시범 사업의 총 예산은 인센티브 예산과 운영 예산을 합쳐 약 87억 원으로 추정된다. 이러한 예산 규모는 제주도의 2023년 환경보전기금 운용 계획 약 98억 원(제주특별자치도, 2023)과 비교했을 때 상당한 수준이다. 따라서 안정적인 자원 확보를 위해 Table 5와 같은 방안을 고려할 수 있다:

장기적으로는 참여자들의 탄소 감축 활동으로 인한 경제적 이익(에너지 비용 절감, 탄소배출권 확보 등)을 제도

운영에 재투자하는 선순환 구조를 만들어 지속가능성을 높일 수 있을 것이다. 제주도 시범 사업의 결과를 바탕으로 전국 단위 확대 시의 예산 규모를 추정해볼 수 있다. 2023년 대한민국 인구 약 5,100만 명을 기준으로, 동일한 10% 참여율과 1인당 인센티브를 적용하면, 전국 단위 사업의 인센티브 예산은 약 5,100억 원으로 추산된다. 운영 예산의 경우 규모의 경제를 고려하여 약 200억 원으로 가정하면, 전국 단위 사업의 총 예산은 약 5,300억 원 수준이 될 것으로 예상된다. 이는 2023년 환경부 예산 약 11조 원(환경부, 2023)의 약 4.8%에 해당하는 규모로, 상당한 자원이 필요함을 시사한다. 따라서 제도의 전국적 확대를 위해서는 단계적 접근과 다양한 자원 확보 방안의 모색이 필요할 것이다. 또한, 제도 운영의 효율성을 지속적으로 개선하고, 참여자들의 실질적인 탄소 감축 효과를 극대화하여 비용 대비 효과를 높이는 노력이 병행되어야 할 것이다.

3. 결론

개인 탄소 하베스트는 개인의 일상생활 속 탄소 저감 활동을 측정, 검증하고 이에 대한 인센티브를 제공하는 진보적 개념이다. 이는 개인이 기후 변화 대응에 직접 참여할 수 있는 동기를 부여하고, 탄소 중립 사회로의 전환을 가속화할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

본 연구에서는 개인 탄소 하베스트 개념을 실현하기 위한 플랫폼 서비스 모델링을 시도하였다. 정책 생성 기관, 탄소 관련 실행 주체, 개인 등 다양한 이해관계자의 참여

와 외부 인증 기관 및 표준화 기구와의 연계를 통해 신뢰할 수 있는 탄소 저감량 데이터를 확보할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한, 플랫폼 내부의 핵심 기능과 개인 정보 보호 조치, 검증된 탄소 저감량 데이터의 활용 및 국가 온실가스 감축 목표(NDC)와의 연계 방안 등을 제안하였다. 개인 탄소 하베스트는 개인의 환경 보호 활동을 유도하고 지원함으로써, 기후 변화 대응에 대한 사회적 인식을 제고하고 참여를 확대할 수 있다. 이는 탄소 중립 사회 실현을 위한 중요한 토대가 될 수 있으며, 지속 가능한 발전에 기여할 수 있는 사회적 가치를 지닌다. 개인의 작은 실천이 모여 큰 변화를 이끌어낼 수 있다는 점에서, 개인 탄소 하베스트는 기후 위기 대응을 위한 핵심적인 전략으로 자리매김할 수 있을 것이다.

본 연구는 개인 탄소 하베스트 개념을 플랫폼 서비스 모델로 구체화하였으나, 실제 구현 및 운영을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 개인 탄소 저감 활동의 계측 및 검증 방법에 대한 기술적, 표준적 연구가 수행되어야 한다. 다양한 유형의 탄소 저감 활동을 정확하고 효율적으로 측정하고 검증할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 또한, 개인의 지속적인 참여를 유도할 수 있는 최적의 인센티브 모델에 대한 연구가 필요하다. 인센티브의 유형, 규모, 제공 방식 등을 설계하고, 그 경제적, 사회적 파급 효과를 분석하는 작업이 요구된다. 아울러, 플랫폼의 사회적 수용성과 지속가능성을 제고하기 위한 연구가 수행되어야 한다. 다양한 이해관계자의 참여를 활성화하고, 장기적인 관점에서 플랫폼의 운영을 가능케 하는 비즈니스 모델과 거버넌스 체계를 설계하는 것이 중요하다. 플랫폼 서비스 모델 외에도 개인 탄소 하베스트 개념의 실현을 위해서는 제도적, 법적, 사회적 측면에서의 추가 연구가 필요하다.

제도적 측면에서는 개인 탄소 하베스트 활동을 지원하고 촉진하기 위한 정책 및 규제 체계에 대한 연구가 요구된다. 특히, 환경부 차원에서의 인증제도의 도입과 같은 실체법적 지원 측면과 기획재정부와 행정안전부의 절차법적 지원 측면인 공공계약 부문에 있어서의 제도 개선이 필수적이다. 이와 함께 탄소 저감 활동에 대한 인센티브 제공, 탄소 크레딧 거래 시장과의 연계, 개인 탄소 하베스트 데이터의 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 반영 등을 위한 제도적 기반을 마련하는 방안을 모색해야 한다.

법적 측면에서는 개인 탄소 하베스트 플랫폼의 운영에 필요한 법적 근거와 규정에 대한 연구가 필요하다. 개인 정보 보호, 데이터 소유권 및 활용, 인센티브 지급 및 파

세 등에 관한 법적 이슈를 검토하고, 관련 법규를 정비하는 작업이 수행되어야 한다. 사회적 측면에서는 개인 탄소 하베스트에 대한 대중의 인식 제고와 행동 변화를 유도하기 위한 연구가 요구된다. 개인 탄소 하베스트의 필요성과 효과에 대한 교육 및 홍보 전략을 수립하고, 사회 구성원들의 자발적인 참여를 이끌어내기 위한 방안을 모색해야 한다. 또한, 탄소 저감 활동이 개인의 삶의 질 향상과 연계될 수 있도록 사회적 기반을 조성하는 연구도 필요하다.

이처럼 개인 탄소 하베스트 개념은 플랫폼 서비스 모델링 외에도 다양한 분야에서의 추가 연구를 필요로 한다. 제도, 법, 사회 등 여러 측면에서의 종합적인 접근을 통해 개인 탄소 하베스트가 기후 변화 대응을 위한 효과적이고 지속가능한 수단으로 자리매김할 수 있을 것이다.

References

- Bristow AL, Wardman M, Zanni AM, Chintakayala PK. 2010. Public acceptability of personal carbon trading and carbon tax. *Ecol Econ* 69(9): 1824-1837. doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.04.021
- Davis SJ, Lewis NS, Shaner M, Aggarwal S, Arent D, Azevedo IL, Benson SM, Bradley T, Brouwer J, Chiang YM, et al. 2018. Net-zero emissions energy systems. *Science* 360(6396): eaas9793. doi: 10.1126/science.aas9793
- Deng N, Gong Y, Wang J. 2024. Promoting blockchain technology in low-carbon management to achieve firm performance from a socio-economic perspective: Empirical evidence from China. *J Clean Prod* 448: 141686. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141686
- DOE (U.S. Department of Energy). 2014. Better buildings challenge: Progress update. 2014. Washinton, D.C., USA: DOE. DOE/EE-2115; 8343. doi: 10.2172/1671875
- Eyre N. 2010. Policing carbon: Design and enforcement options for personal carbon trading. *Clim Policy* 10(4): 432-446. doi: 10.3763/cpol.2009.0010
- Fan J, Guo X, Marinova D, Wu Y, Zhao D. 2012. Embedded carbon footprint of chinese urban households: Structure and changes. *Journal of Cleaner Production*. 33:50-59. doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.018

- Fawcett T, Parag Y. 2010. An introduction to personal carbon trading. *Clim Policy* 10(4): 329-338. doi: 10.3763/cpol.2010.0649
- Friedlingstein P, O'Sullivan M, Jones MW, Andrew RM, Bakker DCE, Hauck J, Landschützer P, Le Quéré C, Luijkx IT, Peters GP, et al. 2023. Global carbon budget 2023. *Earth Syst Sci Data* 15(12): 5301-5369. doi: 10.5194/essd-15-5301-2023
- Gao F, Souza GC. 2022. Carbon offsetting with eco-conscious consumers. *Manag Sci* 68(11): 7879-7897. doi: 10.1287/mnsc.2021.4293
- Grassi G, Federici S, Achard F. 2013. Implementing conservativeness in redd+ is realistic and useful to address the most uncertain estimates. *Clim Change* 119(2): 269-275. doi: 10.1007/s10584-013-0780-x
- Hare W, Stockwell C, Flachsland C, Oberthür S. 2010. The architecture of the global climate regime: A top-down perspective. *Clim Policy* 10(6): 600-614. doi: 10.3763/cpol.2010.0161
- Heiskanen E, Johnson M, Robinson S, Vadovics E, Saastamoinen M. 2010. Low-carbon communities as a context for individual behaviour change. *Energy Policy* 38(12): 7586-7595. doi: 10.1016/j.enpol.2009.07.002
- Howell RA. 2012. Living with a carbon allowance: The experiences of carbon rationing action groups and implications for policy. *Energy Policy* 41: 250-258. doi: 10.1016/j.enpol.2011.10.044
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2023. Summary for policymakers. In: Shukla PR, Skea J, Slade R, Al Khourdajie A, van Diemen R, McCollum D, Pathak M, Some S, Vyas P, Fradera R, Belkacemi M, Hasija A, Lisboa G, Luz S, Malley J (eds). *Climate change 2022 - Mitigation of climate change: Working group III contribution to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 3-48. doi: 10.1017/9781009157926.001
- Jeju Special Self-Governing Province Council. 2023. The 413th Jeju Special Self-Governing Province Council Temporary Session: 2023 Policy Directions and Major Work Plans. February 24 - March 8, 2023. https://www.council.jeju.kr/activity/bill/mooring.do;jsessionid=xvq65GmoNTOqujrgMgOq0PJA72hT4JM7KSEKFiBaeJzq8KzXuasa98nw6UUBsKs.CouncilDB_servlet_engine1?_layout=print&act=down1&num=012&bill=00577&propType=99&judgingNo=1&judgingType=01&page=9
- Jung YJ. 2023. 10 climate innovation projects for climate neutrality (Stuttgart, Baden-Württemberg, Germany). Seoul, Korea: The Seoul Institute. Global Urban Trend No. 561.
- Kang JN, Wei YM, Liu L, Yu BY, Liao H. 2021. A social learning approach to carbon capture and storage demonstration project management: An empirical analysis. *Appl Energy* 299: 117336. doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117336
- Khan SAR, Razzaq A, Yu Z, Miller S. 2021. Retracted: Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability. *Bus Strategy Environ* 30(8): 4001-4014. doi: 10.1002/bse.2853
- Ko YD, Song BD. 2019. Sustainable service design and revenue management for electric tour bus systems: Seoul city tour bus service and the eco-mileage program. *J Sustain Tour* 27(3): 308-326. doi: 10.1080/09669582.2018.1560453
- Kuokkanen A, Sihvonen M, Uusitalo V, Huttunen A, Ronkainen T, Kahiluoto H. 2020. A proposal for a novel urban mobility policy: Personal carbon trade experiment in Lahti city. *Util Policy* 62: 100997. doi: 10.1016/j.jup.2019.100997
- Lee JS, Kim J. 2016. South Korea's urban green energy strategies: Policy framework and local responses under the green growth. *Cities* 54: 20-27. doi: 10.1016/j.cities.2015.10.011
- Li W, Long R, Chen H, Yang T, Geng J, Yang M. 2018. Effects of personal carbon trading on the decision to adopt battery electric vehicles: Analysis based on a choice experiment in Jiangsu, China. *Appl Energy* 209: 478-488. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.119
- Liu X, Hu Q, Li J, Li W, Liu T, Xin M, Jin Q. 2024. Decoupling representation contrastive learning for

- carbon emission prediction and analysis based on time series. *Appl Energy* 367: 123368. doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123368
- Lu P, Li Z, Wen Y, Liu J, Yuan Y, Niu R, Wang Y, Han L. 2023. Fresh insights for sustainable development: Collaborative governance of carbon emissions based on social network analysis. *Sustain Dev* 31(3): 1873-1887. doi: 10.1002/sd.2490
- Martiskainen M, Sovacool BK, Lacey-Barnacle M, Hopkins D, Jenkins KEH, Simcock N, Mattioli G, Bouzarovski S. 2021. New dimensions of vulnerability to energy and transport poverty. *Joule* 5(1): 3-7. doi: 10.1016/j.joule.2020.11.016
- McKenna E, Richardson I, Thomson M. 2012. Smart meter data: Balancing consumer privacy concerns with legitimate applications. *Energy Policy* 41: 807-814. doi: 10.1016/j.enpol.2011.11.049
- ME (Ministry of Environment). 2020. Regulations on the operation of the carbon point system. Sejong, Korea: ME. Notice No. 2020-83.
- ME (Ministry of Environment). 2021. Framework act on carbon neutrality and green growth for coping with climate crisis. Sejong, Korea: ME. Act No. 18469.
- ME (Ministry of Environment). 2023. Carbon neutrality implementation and green industry development, utilized as an opportunity for national advancement. Sejong, Korea: ME. Press Release.
- ME (Ministry of Environment). 2023. Over 1.04 million people participated in the Carbon Neutrality Point System within two years. Press Release, December 28, 2023. <https://www.evaluation.go.kr/upload2/atch/eval/20230307135205927.pdf>
- Park HJ, Lee YH, Lee T. 2023. Imagining carbon-neutral futures: Comprehensive narratives through citizen participation. *Futures* 154: 103274. doi: 10.1016/j.futures.2023.103274
- Perdan S, Azapagic A. 2011. Carbon trading: Current schemes and future developments. *Energy Policy* 39(10): 6040-6054. doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.003
- Rosen J. 2018. The carbon harvest. *Science* 359(6377): 733-737. doi: 10.1126/science.359.6377.733
- Talan A, Rao A, Sharma GD, Apostu SA, Abbas S. 2023. Transition towards clean energy consumption in G7: Can financial sector, ICT and democracy help? *Resour Policy* 82: 103447. doi: 10.1016/j.resourpol.2023.103447
- Tang R, Guo W, Oudenes M, Li P, Wang J, Tang J, Wang L, Wang H. 2018. Key challenges for the establishment of the Monitoring, Reporting and Verification (MRV) system in China's national carbon emissions trading market. *Clim Policy* 18(sup1): 106-121. doi: 10.1080/14693062.2018.1454882
- van der Heijden J, Hong SH. 2020. Partnerships in experimental urban climate governance: Insights from Seoul. In: van Montfort C, Michels A (eds). *Partnerships for livable cities*. Cham: Palgrave Macmillan. p. 17-37. doi: 10.1007/978-3-030-40060-6_2
- Wan X, Li Q, Qiu L, Du Y. 2021. How do carbon trading platform participation and government subsidy motivate blue carbon trading of marine ranching? A study based on evolutionary equilibrium strategy method. *Mar Policy* 130: 104567. doi: 10.1016/j.marpol.2021.104567
- Wang L, Chen L. 2023. Impacts of digital economy agglomeration on carbon emission: A two-tier stochastic frontier and spatial decomposition analysis of China. *Sustain Cities Soc* 95: 104624. doi: 10.1016/j.scs.2023.104624
- Wilke U, Papadopoulou M, Robinson D. 2011. Towards a 2kW city - The case of Zurich. *Proceedings of World Renewable Energy Congress 2011; 2011 May 8-May 11; Linköping, Sweden: Linköping University*. p. 3224-3230.
- Yu Y. 2022. Explore the theoretical basis and implementation strategy of low-carbon urban community planning. *Front Environ Sci* 10: 989318. doi: 10.3389/fenvs.2022.989318
- Zhao X, Bai Y, Ding L. 2021. Incentives for personal carbon account: An evolutionary game analysis on public-private-partnership reconstruction. *J Clean Prod* 282: 125358. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125358