

지자체 관리권한 인벤토리 부문별 도시 및 지역 단위 탄소중립 기여도 평가: 탄소중립 순항 및 이탈 경로를 중심으로

박지용* · 정승현**†

*한국건설기술연구원 건축연구본부 박사후연구원, **한국건설기술연구원 건축연구본부 연구위원

Evaluating sectoral contributions to carbon neutrality at the urban and regional levels: Focusing on on-track and off-track pathways

Park, Jiyong* and Jung, Seunghyun**†

*Postdoctoral Researcher, Department of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

**Research Fellow, Department of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

ABSTRACT

Following enactment of Korea's Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth (2021), all local governments established plans for carbon neutrality and green growth (master plans), in line with the national goal of net-zero emissions by 2050. This study evaluates sectoral contributions to local carbon neutrality across 205 basic local governments by examining on-track and off-track pathways relative to linear emission reduction trajectory from 2018 to 2050. Using binary logistic regression, the impact of emission changes relative to baseline (2018) in the building, road transport, waste, and LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry) sectors on the likelihood of remaining on track was estimated. The results reveal a nationwide decline in the proportion of municipalities on-track to the carbon neutrality pathway over time. Except for the building sector, emission changes relative to 2018 in all other sectors significantly influenced the likelihood of on-track and off-track pathways, with LULUCF exerting the largest impact, followed by transport and waste. Based on these findings, this study proposes incorporating a pathway-based performance evaluation mechanism into the government's official guidelines. Such an approach would enable both ex-post and ex-ante evaluation of local strategies, supporting more adaptive and coordinated implementation of carbon neutral policies at the local level.

Key words : Carbon Neutrality, Plan for Carbon Neutrality and Green Growth, Carbon Neutral Pathway, Climate Change

1. 연구의 배경 및 목적

기후변화 대응을 위한 도시 및 지역의 역할이 갈수록 중요해지고 있다(Huovila et al., 2022; IPCC, 2021; Lee and Erickson, 2017; Lee and Jung, 2023; Linton et al., 2022; Park and Jung, 2024; Song et al., 2022; UN Habitat, 2022). 도시는 온실가스 배출 요인이 집약된 공간

이기 때문이다(Kim et al., 2011). 우리나라에서는 지자체의 탄소중립 참여를 강화하는 내용을 담은 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법)」이 2021년 제정되었다. 이에 따라 정부와 각급 지자체는 ‘탄소중립·녹색성장 기본계획(이하 탄소중립 기본계획)’을 수립해야 한다. 법 제정 후 최초로 수립되는 탄소중립 기본계획은 광역지자체는 2024~2033년을, 기초지

†Corresponding author : shjung@kict.re.kr (10223, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyang-daero, Ilsanseo-gu, Gyeonggi-do, Korea. Tel. +82-31-910-0377)

ORCID 박지용 0000-0001-6732-1245

정승현 0000-0001-5995-2397

자체의 경우 2025~2034년을 계획기간으로 한다. 2025년 6월 기준으로 탄소중립 기본계획이 수립된 243개 광역 및 기초지자체 중 약 74%에 이르는 지자체가 2018년 대비 2030년 40% 이상의 온실가스 감축을 목표로 삼고 있으며, 모든 지자체가 2050년 이내 탄소중립 달성을 목표로 계획을 수립하였다. 이는 2050년 탄소중립을 목표로 하는 국가계획과의 정합성을 맞추기 위한 설정이라 할 수 있다.

본 연구에서 법정계획인 전국 지자체의 탄소중립 기본계획을 전수 조사한 결과, 탄소중립 목표를 아예 세우지 않았거나 2050년 이후를 목표로 세운 지자체는 단 한 곳도 없었다. 또한 서울시를 제외한 모든 지자체가 기준연도를 2018년으로 설정하고 있어, 국가의 탄소중립·녹색성장 목표 달성에 전국 지자체가 동참하는 구조다. 2010년 16개 광역시·도의 기후변화대응 종합계획 또한 온실가스 감축목표가 대체로 국가 감축목표와 유사한 수준에서 설정되었다(Park and Jeon, 2013). 우리나라 지자체는 파리협정 이전에도 기후변화 대응에 있어 국가의 정책 목표와 정합성을 맞추는 경향이 강하다는 것을 알 수 있다.

현재 우리나라 탄소중립 추진체계는 지자체 관리권한 인벤토리¹⁾ 부문에서의 기초지자체 탄소 감축량이 광역지자체의 감축량이 되고, 이는 다시 국가 감축량으로 이어지는 구조다. 이 같은 현황 아래 탄소중립 목표를 달성하기 위해서는 추진상황을 효율적으로 점검하고 평가해야 한다. 이와 관련하여 환경부의 「지자체 탄소중립·녹색성장 기본계획 수립 및 추진상황 점검 가이드라인(이하 가이드라인)」에 점검 기준과 항목이 제시되어 있으나(Ministry of Environment, 2024), 매해 정책이 적정 수준에서 성과를 내고 있는지 평가하는 항목은 없다. 특히, 탄소중립 기준연도인 2018년부터 탄소중립 기본계획이 수립되는 2024~2025년 전까지는 지자체 온실가스 감축 정책의 추진 상황에 대한 진단이 더욱 어렵다. 지역별 탄소중립 수용력을 분석한 선행연구가 있으나(Yoo et al., 2022), 지자체 관리권한 인벤토리에 집중한 것이 아니기에 탄소중립 기본계획의 추진상황 점검에 활용하기는 모호한 측면이 있다.

2018년 대비 2050년 순배출량을 100% 감축하는 것을 기준으로 한다면, 지자체별로 관리권한 인벤토리 기반 탄소중립 목표 달성 경로를 알 수 있다. 우리나라의 2050년 탄소중립 시나리오는 2018년부터 2050년까지의 온실가스

배출 경로가 완전한 선형을 그리고 있지는 않지만, 평균적으로 선형에 가깝다(Park, 2022). 현행 법·제도 아래 수립되는 전국 지자체 탄소중립 기본계획의 탄소중립 시나리오 경로 또한 대부분 선형으로 그려질 것이라 짐작할 수 있다. 지자체가 매해 탄소중립 기본계획에 따라 탄소중립 정책을 제대로 이행하고 있는지 평가하기 위해서는 이러한 탄소중립 목표 달성 경로를 기준으로 한 점검 가이드라인이 제시될 필요가 있다.

본 연구의 목적은 탄소중립 목표달성 경로를 중심으로 지자체 관리권한 인벤토리 부문별 탄소중립 기여도를 비교 분석하는 것이다. 우선 지역 탄소중립 기본계획의 법·제도적 특성을 검토한 후 탄소중립 경로 기반 부문별 기여도 평가 분석을 수행하였다. 그리고 이를 바탕으로 「가이드라인」의 추진상황 점검 부문 개선방안을 제시하였다.

2. 탄소중립기본법 및 기본계획 검토

「탄소중립기본법」 제4조에 따르면 지자체의 특성과 여건을 고려하여 탄소중립 기본계획을 수립하게 되어 있다. 그러나, 「지자체 관리권한 인벤토리」로 대상을 한정시켜 놓으면 이를 반영하는데 있어서 구조적 한계가 드러난다. 지자체는 환경부 「가이드라인」에서 제시하는 「지자체 관리권한 인벤토리」를 토대로 탄소중립 목표를 세운다. 즉, 지자체는 탄소중립 기본계획 수립 시 기존 인벤토리의 공공전기 및 열 생산과 산업 등 권한 외 부문은 고려하지 않아도 되는 것이다. 한 예로 강원도의 경우 2022년 기준 에너지산업, 제조업 및 건설업, 산업공정 및 제품 생산 부문 온실가스 배출량이 총 직접배출량의 약 84%를 차지한다. 그러나 흡수량이 총 직접배출량 규모의 약 19% 수준이므로 타 지자체에 비해 탄소중립 목표를 조기 달성할 수 있다. 산업 부문에서 온실가스가 다량 배출되며 그 비율이 높은 것이 지역 특성임에도 현행 법·제도 아래 이를 고려하는 데에는 한계가 있는 것이다. 더군다나 국가에서 지자체 관리권한을 정해 놓았으므로, 이미 탄소중립을 달성한 지자체의 경우 추가적인 탄소감축정책을 추진할 유인이 약해질 수 있다. 국가는 지역 온실가스 통계를 산정하여 지자체 탄소중립 이행을 지원코자 함에도(Government of Korea, 2025), 실제 현장에서는 의도치 않은 정책효과가 나타날 여지가 많다.

1) 직접 배출량과 간접 배출량을 통틀어 건물, 수송, 농축산, 폐기물, LULUCF (Land Use, Land-Use Change, and Forestry) 부문이 지자체 관리권한 인벤토리에 해당한다.

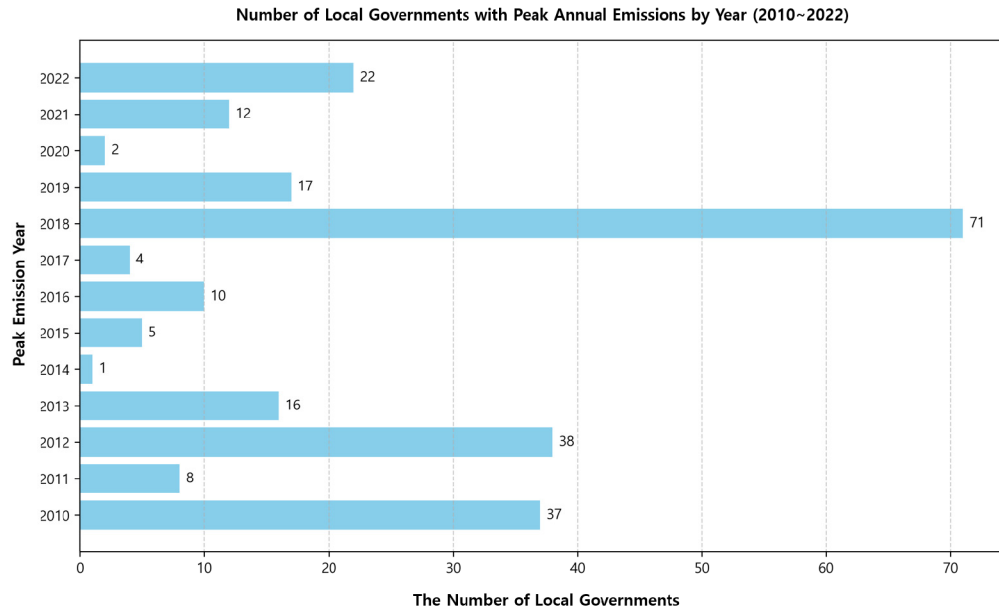


Fig. 1. Number of local governments with peak annual emissions by year (2010 ~ 2022)

탄소중립은 명확한 감축 목표치가 제시되므로, 기준연도가 지자체 현황 파악 및 목표 제시의 기반이 된다. 환경부(2024)는 「가이드라인」에서 “지자체 기준연도를 2018년이 아닌 다른 연도로 설정하는 경우, 국가 기준연도인 2018년 대비 감축목표를 필수적으로 병기한다”는 기준을 제시했으나, 2018년이 아닌 기준연도를 제시한 지역은 서울시(2005년)가 유일하다(Appendix 1). 특이한 점은 서울시 내 25개 자치구는 모두 기준연도가 2018년이라는 것이다. 지역별 온실가스 배출 및 흡수 현황에 맞추어 기준연도와 감축목표를 설정해야 함에도 우리나라 지자체는 국가 기준연도에 맞춘 것이라 볼 수 있다. 모든 지자체가 2018년도에 가장 많은 온실가스를 배출했다면 올바른 설정이지만, 이는 사실과 다르다.

서울 강남구의 경우 2018년(4,422 GgCO₂eq)이 아니라 2011년(5,217 GgCO₂eq)에 더 많은 순배출량을 기록하였다(Appendix 1)²⁾. 강남구는 가장 많은 온실가스를 배출한 2011년을 기준연도로 할 경우 2030년 40% 감축 시 3,130 GgCO₂eq의 배출량을 기록하고 현재와 같이 2018년을 기준연도로 한다면 2,653 GgCO₂eq의 배출량을 기록하게 된다. 감축량만 따지면 2018년을 기준연도로 하는 것이 덜 부담스럽지만, 중요한 것은 현재 대비 감축량이다. 강남구

는 현재 탄소중립 기본계획대로라면 2011년을 기준연도로 하는 것보다 476 GgCO₂eq만큼 더 감축해야 한다. 25개 자치구 중 해당 기간 2018년에 가장 배출량이 높았던 지자체는 단 4곳(성동구, 은평구, 마포구, 금천구)에 불과했다. 오히려 해당 기간 중 2010년에 온실가스를 가장 많이 배출한 지역은 15곳에 달했다. 전국 기준으로는 243개 광역 및 기초지자체 중 약 29%에 달하는 71개 지자체가 2018년도에 온실가스를 가장 많이 배출한 것으로 나타났다(Fig. 1).

2050년보다 늦게 탄소중립을 달성하겠다는 지자체는 거의 없을 것으로 보인다. 지자체 탄소중립 기본계획 전수조사 결과, 기초지자체 3곳을 제외한 모든 지자체가 목표연도를 적시하였다. 결국 기준연도와 목표연도 설정의 관점에서 보았을 때 「탄소중립기본법」은 지자체의 탄소중립 정책 지원이라는 차원에서 ‘ Σ 기초지자체 탄소중립= Σ 광역지자체 탄소중립= Σ 국가 탄소중립’을 추구하는 환원주의적 성격을 가진다고 볼 수 있다. 기초 단계에서부터 지자체의 탄소중립을 지원하기(bottom-up)보다 국가의 탄소중립 목표 달성을 위해 건물, 수송, 폐기물, 흡수원, 농축산 부문만큼은 지자체에서 책임지고 탄소중립 정책을 추진할 수 있도록(top-down) 제도화가 이루어진 성격이 강하다. 이에 따라

2) 온실가스종합정보센터의 2025. 1. 31. ‘2024년 지역 온실가스 배출량(2010~2022) 시범산정 결과’ 자료의 지자체 관리권한 인벤토리 자료를 대상으로 계산하였다(Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea, 2025).

지자체가 국가에 맞추거나(coercive isomorphism), 다른 지자체를 모방하거나(mimetic isomorphism), 유사한 문서 구조와 체계를 양산하는(normative isomorphism) 등 제도적 동형화(institutionalization isomorphism)가 야기될 가능성이 크다³⁾.

탄소중립도시는 화석에너지 의존도와 에너지 소비를 최소화하고 경제·사회활동 등에서 불가피하게 발생하는 온실가스 배출량은 재생에너지의 이용 및 효율 극대화를 통해 순배출량을 0으로 만드는 도시라 할 수 있다(Kim and Choi, 2011). 그러나 탄소중립은 본질적으로 지속가능성의 문제다(Park, 2021, 2023). 위 같은 제도적 우려 사항을 완화하기 위해서는 ‘순배출량 0’이라는 목표 달성을 위한 탄소중립 효과를 극대화하는 동시에, 지자체 역량 증대와 성장 도모를 위한 제도개선이 필요하다.

지역 탄소중립 기본계획과 관련 법·제도적 특성을 검토한 결과, 하향식 접근에 기반한 「가이드라인」의 추진상황 점검 부문 수정·보완이 필요함을 확인할 수 있었다. 2018년을 출발선으로 하여 모든 지자체가 탄소중립 목표 달성까지 건물, 수송, 폐기물, 농축산, 흡수원 부문만 비슷한 페이스(pace)로 관리한다면 전국 지자체를 대표하는 하나의 통합 모형을 만들 수 있다. 추후 각 지자체는 탄소중립 정책 추진의 페이스를 조절하는 데 본 연구 분석 결과를 활용할 수 있을 것이라 기대한다.

3. 자료구득 및 분석방법

3.1. 분석대상

본 연구는 세종시와 더불어 전국 205개 기초지자체를 대상으로 분석을 진행하였다. 228개 기초지자체 중 2018년에 이미 온실가스 순배출량이 0 이하인 지역은 제외하였다. 사실상 현상 유지만 하면 목표를 달성하는 데 어려움이 없는 지역이라 할 수 있다. 제주도의 경우 제주특별자치도를 기준으로 탄소중립 기본계획을 세우는데, 지역 온실가스 인벤토리 자료는 제주시와 서귀포시로 구분해서 제공한다. 따라서 탄소중립 기본계획 수립 지자체 수와 분석대상지역 수 간에 차이가 있다.

온실가스 배출·흡수량 자료의 경우 온실가스종합정보

센터에서 제공하는 지역 온실가스 인벤토리 중 지자체 관리권한 인벤토리에 해당하는 부문별 배출량을 구득하였다. 연구의 시간적 범위는 기준연도인 2018년부터 2022년까지로 정하였다. 현재 국가 온실가스종합정보센터에서 제공하는 지역 온실가스 인벤토리에서는 2023년 이후 데이터를 확인할 수 없기 때문이다.

기초지자체의 계획기간 시작점이 2024년부터이므로 기준연도로부터 2022년까지의 온실가스 배출량 변동은 탄소중립 기본계획 및 관련 사업에 의한 정책 효과가 아니라고 가정할 수 있다. 따라서 2018~2022년은 기존 도시 및 지역의 탄소중립 경로 진입에 대해 부문별 배출량 변화가 미치는 무작위 영향력을 비교·평가하기 적합한 기간이라 볼 수 있다.

3.2. 분석방법

본 연구는 이항 로지스틱 회귀분석을 수행하였다. 여기서 반응변수는 탄소중립 경로를 따라 ‘순항(1, On-Track Status)’하는지, 아니면 경로에서 벗어나 ‘이탈(0, Off-Track Status)’하는지 여부다. 만약 지자체가 매년 탄소중립 목표 달성을 위해 온실가스 배출량을 저감하는 노력을 기울인다면, 당해연도 배출량은 2018년 기준연도 온실가스 순배출량이 2050년 0이 되는 시점까지의 추세선 위 혹은 그 아래 놓일 것이다⁴⁾. Fig. 2에서 알 수 있듯이, 당해연도(Y)의 배출량(X)이 해당 추세선 위 혹은 아래에 놓이면 이 지자체는 탄소중립경로에 순항하는 것이고, 그 위에 있다면 이탈하는 것이라 볼 수 있다.

설명변수는 지자체 관리권한 인벤토리에 해당하는 건물(building), 수송(transport), 폐기물(waste), LULUCF 부문 온실가스 배출량의 2018년 대비 변동량(X)과 시기에 따라 발생할 수 있는 전국 단위 영향력을 통제하기 위한 연도별 터미변수(D)다. 농축산의 경우 회귀분석을 하기에 적합하지 않은 수준으로, 값이 없거나 0인 지자체가 많아서 제외하였다. 또한 설명변수의 경우 표준화 후 로그오즈(Log Odds) 변화량을 나타내는 계수값을 추정하였다. 분석모형은 아래와 같다.

$$\text{logit}(p) = \Delta X_i \beta_j + \gamma_{yr} D_{yr,t} \quad (1)$$

3) 신제도주의의 관점에서 이와 같은 제도 형성의 압력요인으로 작동하는 동형화 외에도 내생적 제도 압력이 작동할 수 있기에(Kim, 2023), 모든 지자체에 동일 규모와 강도로 동형화가 이루어지는 것은 아니다. 예를 들어, 일부 지자체는 에너지 전환에 따르는 재정적·행정적 부담을 고려하여, 탄소중립 기본계획에서 목표연도를 명확히 적시하지 않거나 보다 유보적인 방식으로 제시할 수 있다.

4) 「가이드라인」에서는 2018년 총배출량과 2050년 순배출량을 기준으로 하고 있다. 그러나 이를 토대로 분석모형을 설정하면 LULUCF 부문에 대한 추정치에 왜곡된 결과를 초래할 수 있어 2018년 순배출량을 경로의 시작 기준점으로 삼았다.

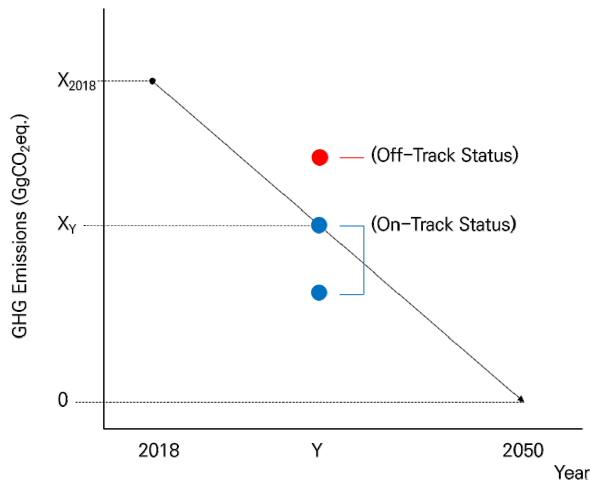


Fig. 2. Conceptual diagram of on-track and off-track carbon neutrality pathways

4. 분석 결과

연도별 탄소중립 경로 진입 여부를 기준으로 지자체 수를 비교해 보면, 현재 우리나라 기초지자체는 대부분 2019년부터 2022년까지 탄소중립 경로에서 이탈하는 경향을 보이고 있다(Table 1). 2019년에는 탄소중립 경로에 순항하는 지자체가 61개, 이탈하는 지자체 수가 144개, 2022년에는 순항하는 지자체가 48개, 이탈하는 지자체가 157개로 나타났다. 큰 차이는 아니지만 이탈하는 지자체 수가 조금 더 늘어난 것을 알 수 있다. 탄소중립 기본계획 수립 이전에도 각종 온실가스 감축 관련 정책이 있었지만, 그것만으로는 우리나라 지자체가 탄소중립 목표를 달성하는데 어려움이 많았을 것으로 짐작할 수 있다.

2022년을 기준으로 탄소중립 경로의 순항 및 이탈 방향을 시각화하면 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. 2022년에 순항 중이며 과거 이탈을 경험한 지자체(과거에 비해 개선된 지역, 26곳), 2022년 이탈 중이며 과거 순항을 경험한 지자체(과거에 비해 악화한 지역, 56곳), 2019년부터 2022년까지 계속해서 순항 중인 지역(과거나 현재나 탄소중립 현황이 우수한 지역, 22곳), 2019년부터 2022년까지 계속해서 이탈 중인 지역(과거나 현재나 탄소중립 현황이 좋지 않은 지역, 101곳)의 4가지 유형으로 구분하였다. 서울과 부산을 포함하여 대도시에 속하는 대부분의 기초지자체는 2022년 기준 이탈 중인데 과거 순항을 겪은 적이 있거나 계속해서 이탈 중인 것으로 확인되었다. 반면 2018년 이미 탄소중립 상태를 포함해 계속해서 순

Table 1. Annual number of local governments on and off track for the carbon neutrality pathway

Year	The number of local governments	
	On-track status (Aligned)	Off-track status (Deviation)
2019	61	144
2020	70	135
2021	49	156
2022	48	157

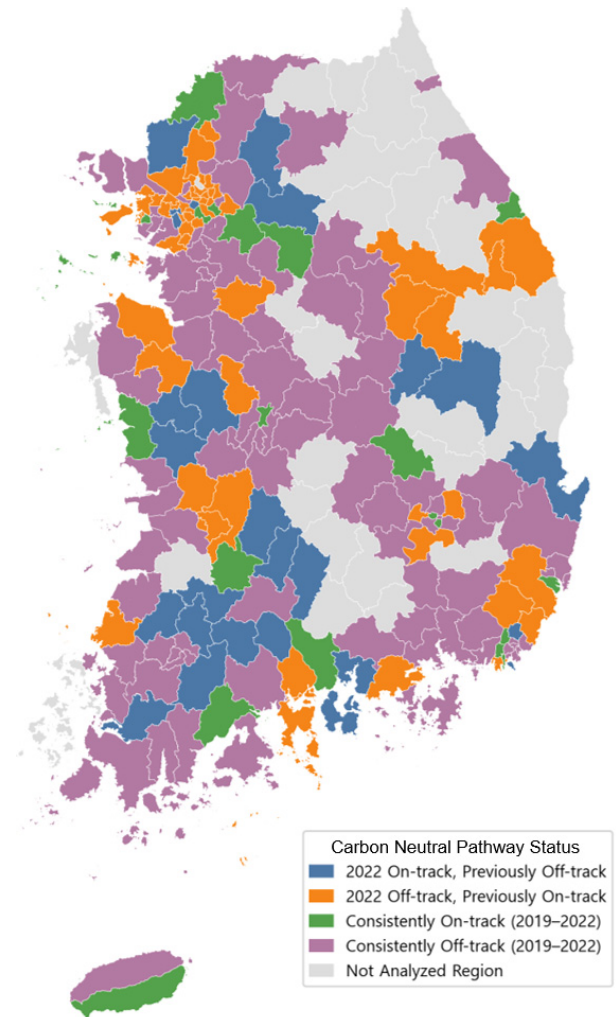


Fig. 3. Carbon neutral pathway status by municipalities

항 중인 지자체 혹은 2022년 순항 중이나 과거 이탈을 경험한 지자체 목록에는 대도시 자치구·군의 수가 상대적으로 적었다.

2019년부터 2022년까지 연도별 광역지자체별 기초지자체의 탄소중립 경로 순항 비율과 이탈 정도의 평균값을 Table 2에 나타냈다. 이탈 정도란 해당 지자체의 실제 배출량에서 순항(On-track Status)의 기준이 되는 값(Fig. 2)에서 순항 직선 위의 점)을 차분한 값을 의미한다. 예를 들어 서울시의 경우 2019년 60%, 즉 25개 자치구 중 15곳이 순항을 기록했으며 이탈 정도의 평균값이 12.8 GgCO₂eq인 것을 알 수 있다. 2020년 서울시는 순항하는 자치구 비율도 늘어났으며 이탈 정도의 평균값이 부(-)의 값을 기록하였기에 전반적으로 탄소중립에 긍정적인 경로에 있다고 예상할 수 있다.

지자체 관리권한 인벤토리 부문별 도시 및 지역 단위 탄소중립 기여도를 평가하기 위해 이항 로지스틱 회귀분석을 하였다. 그 결과, Pseudo R-squared 값은 0.192, AIC는 798.900, BIC는 836.574로 나타났다. Log-Likelihood는 -391.45, LL-Null은 -484.70으로, 설명변수가 전혀 없는 모형에 비해 현재 모형의 설명력이 개선되었다. 로그 우도비 검정(Likelihood Ratio Test)의 p-value는 8.22e-37로, 유의한 수준으로 모형이 통계적으로 유효하다고 볼 수 있다. Converged 값이 1로 수렴 상태에 도달하여 모형의 설명력과 안정성도 확보되었다고 할 수 있다. 또한 같은 분석 대상(기초지자체)에서 여러 해 동안 나온 데이터는 독립적이지 않을 수 있으므로, 표준오차 계산 시 기초지자체 단위로 군집(cluster)을 묶어서 추정하였다.

부문별 기여도를 확률값으로 비교하기 위해 다음 산식에 따라 평균마진효과(average marginal effect, AME)를 구하였다. 분석모형에서 건물 부문은 2018년부터 2022년 사이 온실가스 배출량의 변동이 탄소중립 경로에 유의미한 수준의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

$$\frac{\partial p_i}{\partial x_{ij}} = \beta_j p_i (1 - p_i) \tag{2}$$

$$AME_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_j p_i (1 - p_i) \tag{3}$$

유의미한 변수를 대상으로 평균마진효과 분석 결과를 나타내자면 다음과 같다. 수송 부문의 경우 62.71 GgCO₂eq의 표준편차를 가지고 있었으며 2018년 대비 1 GgCO₂eq의 온실가스 배출량 감축 시 순항 확률이 약 0.4%p 증가하는 결과를 보였다. 폐기물 부문의 경우 2018년 대비 55.65 GgCO₂eq의 온실가스 배출량 표준편차를 가지고 있었으며, 1 GgCO₂eq의 온실가스 배출량 감축 시

Table 2. Average proportion (%) of on-track municipalities and off-track mean deviation (GgCO₂eq)* by metropolitan region and year

Metropolitan Government**	2019	2020	2021	2022
Seoul (25)	60.0 (12.8)	88.0 (-33.6)	24.0 (0.7)	16.0 (30.3)
Busan (16)	37.5 (3.8)	37.5 (0.2)	37.5 (50.9)	31.3 (100.9)
Daegu (9)	33.3 (39.2)	33.3 (-2.5)	22.2 (138.7)	22.2 (101.0)
Incheon (10)	30.0 (-25.6)	40.0 (55.4)	30.0 (157.5)	20.0 (73.1)
Gwangju (5)	0 (43.7)	0 (57.2)	0 (117.7)	0 (231.1)
Daejeon (5)	20.0 (-48.0)	20.0 (-41.2)	20.0 (3.2)	20.0 (81.7)
Ulsan (5)	40.0 (291.8)	20.0 (571.7)	20.0 (344.4)	20.0 (20.5)
Sejong (1)	100.0 (-376.5)	0 (10.3)	0 (244.6)	0 (185.1)
Gyeonggi (31)	32.3 (40.4)	38.7 (67.1)	29.0 (125.0)	22.6 (180.3)
Gangwon (9)	16.7 (118.8)	22.2 (-69.3)	11.1 (152.5)	5.6 (290.1)
Chungbuk (7)	0 (130.5)	9.1 (89.0)	0 (210.1)	0 (206.8)
Chungnam (15)	20.0 (7.3)	26.7 (54.1)	20 (71.2)	33.3 (72.4)
Jeonbuk (13)	28.6 (16.3)	21.4 (16.1)	28.6 (100.5)	28.6 (39.0)
Jeonnam (22)	9.1 (78.3)	18.2 (42.5)	22.7 (66.8)	31.8 (95.9)
Gyeongbuk (15)	13.6 (0.4)	9.1 (61.5)	9.1 (60.1)	18.2 (54.5)
Gyeongnam (14)	16.7 (47.3)	16.7 (63.0)	22.2 (90.4)	22.2 (119.7)
Jeju	50.0 (98.2)	50.0 (-0.7)	50.0 (125.2)	50.0 (132.8)

*mean deviation from the benchmark: negative = on-track, positive = off-track

**Numbers in parentheses indicate the number of basic municipalities under each metropolitan government

순항 확률이 약 0.13%p 증가하는 결과를 나타냈다. LULUCF 부문은 34.73 GgCO₂eq의 온실가스 배출량 표준편차를 가지고 있었으며, 2018년 대비 1 GgCO₂eq 온실가

Table 3. Binary logistic regression analysis results

Cat.	Coef. (dy/dx)	Std.Err.	z	P> z
const	-0.7074	0.173	-4.090	0.000
Δ building	0.2355 (0.0371)	0.163 (0.026)	1.442 (1.438)	0.149 (0.150)
Δ transport	-1.3792 (-0.2172)	0.228 (0.033)	-6.062 (-6.538)	0.000 (0.000)
Δ waste	-0.4233 (-0.0667)	0.113 (0.017)	-3.734 (-3.851)	0.000 (0.000)
Δ LULUCF	-0.9599 (-0.1512)	0.169 (0.022)	-5.668 (-6.728)	0.000 (0.000)
yr2020(fe)	-0.1669 (-0.0263)	0.196 (0.031)	-0.852 (-0.854)	0.394 (0.393)
yr2021(fe)	-0.7740 (-0.1219)	0.231 (0.035)	-3.349 (-3.528)	0.001 (0.000)
yr2022(fe)	-1.2886 (-0.2029)	0.281 (0.041)	-4.584 (-5.001)	0.000 (0.000)

*Numbers in parentheses indicate the results of logit marginal effects analysis

스 흡수량 증가 시 순항 확률이 약 0.49%p 증가하는 것으로 나타났다.

분석 결과상 유의미한 변수를 대상으로 순항 및 이탈 확률이 각 99.99%에 달하는 값을 도출하면 다음과 같이 나타낼 수 있다. 수송 부문의 경우 연간 평균 온실가스 배출량을 약 449 GgCO₂eq 감축 시 순항 확률이 약 99.99%에 달했으며, 약 388 GgCO₂eq 배출량 증가 시 이탈 확률이 약 99.99%에 도달하는 결과를 보였다. 폐기물 부문에서는 약 1,314 GgCO₂eq 감축 시 99.99%의 확률로 순항, 약 1,107 GgCO₂eq 배출량 증가 시 99.99%의 확률로 이탈하는 것으로 나타났다. LULUCF 부문에서는 약 353 GgCO₂eq 흡수량 증가 시 99.99%의 확률로 순항, 약 313 GgCO₂eq 흡수량 감소 시 99.99%의 확률로 이탈하는 것으로 나타났다. 이는 부문별 온실가스 배출량 변동 차이에 따른 순항확률을 나타낸 Fig. 4에서도 대략적으로 확인할 수 있다.

2018년 대비 부문별 온실가스 배출량 변동에 대한 기초통계를 보면(Table 4), 최소값과 최대값을 확인할 수 있다. 이를 토대로 해당 지자체를 확인한 결과 수송 부문 최대 감축량(2022년 -495.54 GgCO₂eq)을 기록한 지자체 전라남도 OO군은 2022년 순항하는 것으로, 최대 배출 증가량(2022년 566.72 GgCO₂eq)을 기록한 전라남도 OO군은 해당연도에 이탈하는 것으로 나타났다. 폐기물 부문에서

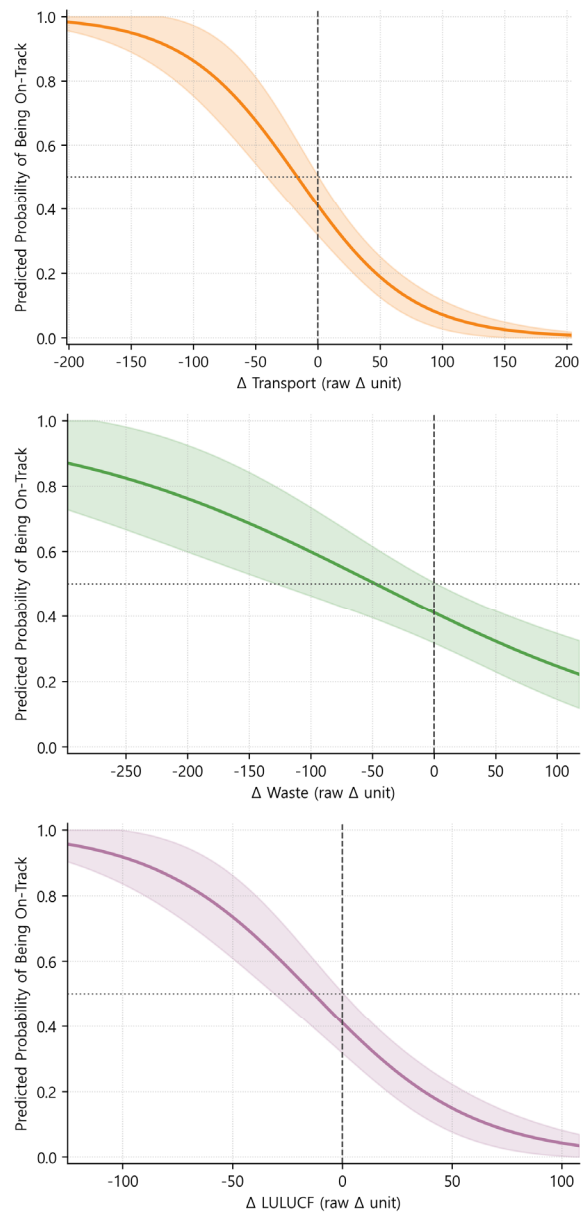


Fig. 4. Fitted logistic regression curves: Effect of sectoral GHG emission changes on the probability of staying on the 2050 carbon neutrality path

최대 감축량(2019년 -533.33 GgCO₂eq)을 기록한 전라북도 OO시는 2019년 순항하는 것으로, 최대 배출 증가량(2019년 197.12 GgCO₂eq)을 기록한 경기도 OO시는 동일 연도 이탈하는 결과를 보였다. LULUCF 부문의 경우 최대 흡수 증가량(2020년 -205.8 GgCO₂eq)을 기록한 경상

Table 4. Descriptive statistics of sectoral GHG emission changes (relative to 2018)

Variable	Mean	Std.Dev	Min	Max
Δbuilding	-85.9	88.35	-487.19	76.47
Δtransport	1.46	59.37	-495.54	566.72
Δwaste	-9.23	52.81	-533.33	197.12
ΔLULUCF	10.68	41.43	-205.8	277.14

북도 OO군은 순항하였고, 최대 흡수 감소량(2022년 277.14 GgCO₂eq)을 기록한 강원도 OO군은 이탈하는 결과를 나타냈다.

건물 부문의 경우 Fig. 5에서 구간 평균(Binned Mean)과 LOWESS (Locally-Weighted Scatterplot Smoother)를 비교할 수 있는 그래프를 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 2018년부터 2022년까지 건물 부문 온실가스 배출 또는 감축의 크기가 지자체의 탄소중립 목표 달성 경로의 순항 및 이탈에 미치는 영향이 시그모이드(Sigmoid) 곡선으로 나타나지 않아 확인하기 어려웠다. 또한 실제 변동 값이 다른 부문에 비해 좁은 범위에 몰려 있어 설명변수의 충분한 변화가 관측되지 않아 로짓 곡선에서 명확한 패턴을 발견하기 쉽지 않았다.

5. 정책 시사점

본 연구는 세종시와 우리나라 204개 기초지자체를 대

상으로 온실가스 인벤토리 부문별 탄소중립 기여도를 평가하였다. 분석 대상이 되는 모든 지자체가 탄소중립 목표연도를 2050년으로 정하였다고 가정하면, 탄소중립 기본계획에서 동일한 기준연도(2018년)를 설정하였기에 통합 모형을 설계해서 로지스틱 회귀분석을 수행할 수 있었다. 분석 결과에 따라 「지자체 탄소중립·녹색성장 기본계획 수립 및 추진상황 점검 가이드라인」에 대해 다음과 같은 정책적 시사점을 도출할 수 있다.

첫째, 국가와 지자체의 탄소중립·녹색성장 정책의 통합 관리가 필요하다. 지자체 관리권한 인벤토리를 설정하였기에, 우리나라 지자체는 집중적으로 관리해야 할 온실가스 배출·흡수량이 정해져 있다. 이에 따라 대부분 지자체가 탄소중립 기본계획에서는 건물, 도로수송, 폐기물, 농업, LULUCF 부문에 해당하는 온실가스 배출량 저감 및 흡수량 증대에 집중하는 대안을 과제 관리카드의 형태로 마련했다. 각 지역의 산업적 특성을 충분히 반영하지 않아도 되기에, 지역 간 유사한 사업 및 과제가 다수 발견됐다. 국가의 탄소중립 목표 달성에 지자체가 동참하는 모양새라면 통합 관리를 위한 장치를 마련할 필요가 있다. 제도적으로는 가이드라인을 수정·보완하고, 기술적으로는 국토부 탄소공간지도(carbonmap.kr) 등 지자체의 온실가스 배출·흡수량 정보를 보여주는 플랫폼을 활용하는 방안이 있다.

둘째, 본 연구에서 제시하는 탄소중립 경로 기반 부문별 기여도 평가 방법은 중앙정부 차원에서 지자체 단위

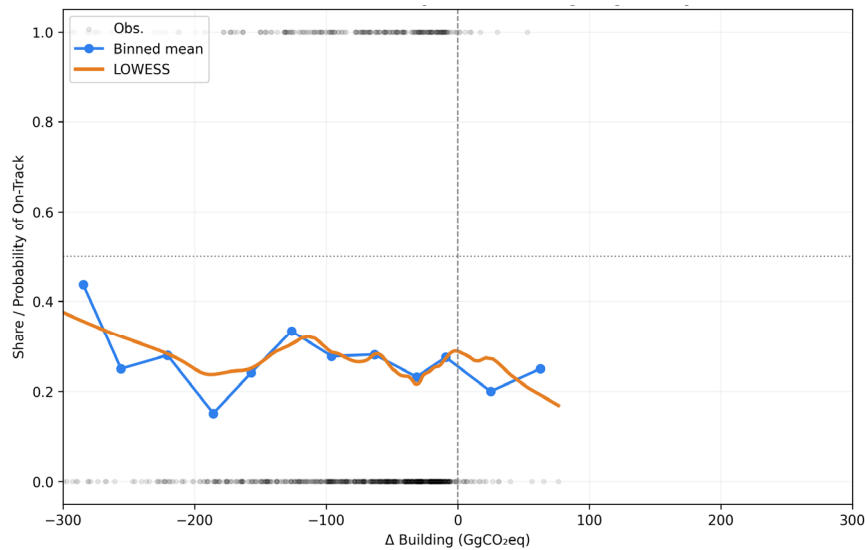


Fig. 5. A fitted logistic regression curve with LOWESS and binned means for building-sector GHG emission changes

탄소중립 정책 추진의 방향성 점검 및 정책 설계의 재검토에 활용할 수 있다. 전국 지자체를 대상으로 승산(Odds)을 구하는 모형을 구축했으므로, 지자체의 전반적인 탄소중립 정책 이행 현황에 대한 간접적 평가를 순항/이탈 경로를 기준으로 끌어낼 수 있다. 각 지자체별로 기준연도와 목표연도가 큰 차이로 다르고 개별적인 경로를 가지고 있다면 이와 같은 모형 구성은 정책적 함의를 가지기 힘들다. 그러나 기준연도가 같고 전국 지자체가 대체로 2050년을 목표연도로 탄소중립 정책을 추진하고 있는 한편 비선형적인 경로를 설정하고 있는 지자체가 거의 없기에 이와 같은 정책 방향 설정을 제안할 수 있다.

셋째, 지자체 탄소중립 기본계획의 추진상황 점검에 본 연구의 분석 내용과 절차를 활용할 수 있다. 현재 환경부의 「가이드라인」은 지자체에 탄소중립 기본계획의 점검 결과보고서 작성을 요청하고 있다. 이때 추진상황을 점검하게 돼 있는데, 현재 작성요령으로 제시되어 있는 추진 절차에는 개별 정책이 총 탄소중립의 목표 달성에 얼마나 기여하는가를 진단할 수 있는 내용이 미흡하다. 측정이 용이한 정책사업의 경우 목표한 만큼 실적을 달성했다고 하더라도 실제 온실가스 배출량이 그 정도 수준으로 저감되었는지 확인하기는 어렵다. 따라서 총체적으로나마 지자체의 탄소중립 목표달성 정도를 점검할 필요가 있다. 순항/이탈 구분에 따른 탄소중립 경로를 확인하면 전국 지자체의 탄소중립 정책 효과에 대해 후행적으로 종합 진단이 가능하다. 또한 각 지자체는 로지스틱 회귀분석 결과로 나타나는 곡선상의 위치와 부문별 배출량 규모를 산점도를 그려 확인할 수 있다. 이를 통해 순항/이탈에 미치는 부문별 배출·흡수 영향력을 확인하여 정책 설계를 수정·보완하는 정보로 활용할 수 있을 것이다.

향후 연구에서 전국 지자체의 탄소중립 녹색성장 정책 사업을 토대로 탄소중립 경로 기반 탄소중립 기여도 분석을 수행한다면 보다 명확히 정책효과를 추정할 수 있다. 현재 대부분의 지자체는 탄소중립 기본계획에서 탄소중립·녹색성장 정책사업을 ‘과제 관리카드’라는 형식으로 관리하고 있다. 이에 따라 전체 탄소중립 기본계획에 있는 과제 관리카드를 DB화 한다면 지자체별 정책효과를 보다 정밀하게 추정하여 「가이드라인」의 추진상황 점검 개선에 기여할 수 있을 것으로 보인다. 또한 시간이 흐를수록 데이터가 쌓이기에 표본크기가 커짐에 따라 분석모형의 강건성이 높아질 가능성이 높다. 시계열 자료가 충분히 확보된다면 도시규모 및 경제 수준에 따른 지자체 또는 지역유형별 분석모형을 구성할 수 있을 것이다. 향

후 연구에서는 이를 기반으로 탄소중립 경로에 영향을 미치는 변인을 탐구하는 연구를 수행하고자 한다.

사사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(과제명: 탄소공간지도기반 계획지원 기술개발, 과제번호: RS-2023-00242291).

Reference

- Basic Local Governments of Korea. 2025. Plans for carbon neutrality and green growth (2025 ~ 2034).
- Government of Korea. 2025. The 3rd national master plan for integrated management of greenhouse gas statistics (2025 ~ 2029).
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea. 2025. Preliminary estimates of regional greenhouse gas emissions in 2024 (2010 ~ 2022).
- Huovila A, Siikavirta H, Rozado CA, Rökman J, Tuominen P, Paiho S, Hedman Å, Ylén P. 2022. Carbon-neutral cities: Critical review of theory and practice. *J Clean Prod* 341: 130912.
- IPCC. 2021. Summary for policymakers. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B (eds). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, UK and New York, NY: Cambridge University Press. p. 3-32. doi: 10.1017/9781009157896.001
- Kim IH, Oh KS, Jung SH. 2011. An analysis of relationship between carbon emission and urban spatial patterns. *Spatial Inf Res* 19(1): 61-72.
- Kim JK, Choi JE. 2011. A study on urban planning strategy for carbon neutral city. *J Urban Des Inst Korea Urban Des* 12(2): 41-53.
- Kim TE. 2023. Advances in new institutionalism: Power,

- collective action dilemma, isomorphism. Goyang-si: Daeyoung Publishing.
- Lee CM, Erickson P. 2017. How does local economic development in cities affect global GHG emissions? *Sustain Cities Soc* 35: 626-636.
- Lee JA, Jung SH. 2023. Towards carbon-neutral cities: Urban classification based on physical environment and carbon emission characteristics. *Land* 12: 968.
- Linton S, Clarke A, Tozer L. 2022. Technical pathways to deep decarbonization in cities: Eight best practice case studies of transformational climate mitigation. *Energy Res Soc Sci* 86: 102442.
- Metropolitan Local Governments of Korea. 2024. Plans for carbon neutrality and green growth (2024~2033).
- Ministry of Environment. 2024. Guidelines for the formulation and monitoring of local governments' plans for carbon neutrality and green growth.
- Park HJ. 2021. Is carbon neutral policy compatible with sustainable economic growth? *Environ Resour Econ Rev* 30(2): 347-364. doi: 10.15266/kerea.2021.30.2.347
- Park JY. 2023. Carbon neutral growth model for sustainable development of each regional type [dissertation]. Pusan National University.
- Park JY, Jung SH. 2024. Exploring urban compactness and greenhouse gas emissions in the road transport sector: A case study of big cities in South Korea. *Sustainability* 16(5): 1911. doi: 10.3390/su16051911
- Park NB, 2022. Comparative analysis and implications of studies on Korea's 2050 carbon-neutral scenario. *J Clim Change Res* 13(5): 689-704. doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.5.689
- Park NB, Jeon EC. 2013. Comparative analysis of greenhouse gas inventories and reduction targets in 16 metropolitan cities in Korea. *J Clim Change Res* 4(2): 159-175.
- Song JM, Lee GW, Kim HK, Jung JC, An YH, Jo MS, Moon MR, Jung SH. 2022. Policy directions for advancing carbon-neutral urban planning. *Urban Inf Serv* 478: 5-22.
- UN Habitat. 2022. *Envisaging the future of cities*. Nairobi, Kenya: UN Habitat.
- Yoo YS, Byeon CU, Choi YK, Kim JS, Choi SW, Lee JY, Bae JW, Cho SM. 2022. A study on 2050 carbon neutrality from the perspective of regional policy: Policy capacity and strategies. Sejong: Korea Institute for Industrial Economics & Trade.

부록

Table A1. Base year and 2030 target reduction rates for carbon neutrality by local government

Local Governments	Base Year	2030 Target Reduction Rate (%)
(Average)	2017.95	55.72
Seoul	2005	34.3
Jongno-gu	2018	37.8
Jung-gu	2018	40
Yongsan-gu	2018	32.2
Seongdong-gu	2018	40
Gwangjin-gu	2018	37.8
Dongdaemun-gu	2018	40
Jungnang-gu	2018	30
Seongbuk-gu	2018	40
Gangbuk-gu	2018	33.2
Dobong-gu	2018	40
Nowon-gu	2018	40
Eunpyeong-gu	2018	40
Seodaemun-gu	2018	35
Mapo-gu	2018	36.1
Yangcheon-gu	2018	40
Gangseo-gu	2018	40
guro-gu	2018	30
Geumcheon-gu	2018	40
Yeongdeungpo-gu	2018	29.5
Dongjak-gu	2018	36
Gwanak-gu	2018	40.1
Seocho-gu	2018	40.07
Gangnam-gu	2018	40
Songpa-gu	2018	38.6
Gangdong-gu	2018	46.4
Busan	2018	45
Jung-gu	2018	17
Seo-gu	2018	44.6
Dong-gu	2018	28.5
Yeongdo-gu	2018	50
Busanjin-gu	2018	31
Dongnae-gu	2018	23.6
Nam-gu	2018	44.9
Buk-gu	2018	42.1
Haeundae-gu	2018	15
Saha-gu	2018	40
Geumjeong-gu	2018	48.3
Gangseo-gu	2018	40
Yeonje-gu	2018	22.6
Suyeong-gu	2018	25.3
Sasang-gu	2018	37
Gijang-gun	2018	37.1
Daegu	2018	45
Jung-gu	2018	40

Local Governments	Base Year	2030 Target Reduction Rate (%)
Dong-gu	2018	41.1
Seo-gu	2018	40
Nam-gu	2018	40.5
Buk-gu	2018	40
Suseong-gu	2018	26.8
Dalseo-gu	2018	45
Dalseong-gun	2018	40
gunwi-gun	2018	50
Incheon	2018	41.3
Jung-gu	2018	40
Dong-gu	2018	26.1
Yeonsu-gu	2018	30
Namdong-gu	2018	40.1
Bupyeong-gu	2018	41.5
Gyeyang-gu	2018	33.5
Seo-gu	2018	38.7
Michuhol-gu	2018	31.8
Ganghwa-gun	2018	31.2
Ongjin-gun	2018	64.67
Gwangju	2018	45
Dong-gu	2018	37.68
Seo-gu	2018	21
Nam-gu	2018	18
Buk-gu	2018	45
Gwangsan-gu	2018	31.5
Daejeon	2018	40
Dong-gu	2018	40
Jung-gu	2018	40
Seo-gu	2018	37
Yuseong-gu	2018	40
Daedeok-gu	2018	29.4
Ulsan	2018	40
Jung-gu	2018	40
Nma-gu	2018	40
Dong-gu	2018	42.15
Buk-gu	2018	30.4
Ulju-gun	2018	85.4
Sejong	2018	40
Gyeonggi-do	2018	40
Suwon-si	2018	40
Seongnam-si	2018	40
Uijeongbu-si	2018	40
Anyang-si	2018	40
Bucheon-si	2018	31
Gwangmyeong-si	2018	40
Pyeongtaek-si	2018	42.9
Dongducheon-si	2018	62.18
Ansan-si	2018	40
Goyang-si	2018	36
Gwacheon-si	2018	45.1

Local Governments	Base Year	2030 Target Reduction Rate (%)
Guri-si	2018	36.7
Namyangju-si	2018	38.3
Osan-si	2018	25.9
Siheung-si	2018	40
Gunpo-si	2018	40
Uiwang-si	2018	40
Hanam-si	2018	40
Yongin-si	2018	40
Paju-si	2018	40
Icheon-si	2018	40
Anseong-si	2018	40
Gimpo-si	2018	39.4
Hwaseong-si	2018	19.4
Gwangju-si	2018	40
Yangju-si	2018	40
Pocheon-si	2018	46.3
Yeoju-si	2018	40
Yeoncheon-gun	2018	50
Gapyeong-gun	2018	60
Yangpyeong-gun	2018	29.2
Gangwon-do	2018	97
Chuncheon-si	2018	36
Wonju-si	2018	41.4
Gangneung-si	2018	52
Donghae-si	2018	37.8
Taebaek-si	2018	104
Sokcho-si	2018	29
Samcheok-si	2018	133
Hongcheon-gun	2018	204
Hoengseon-gun	2018	94.3
Yeongwol-gun	2018	298
Pyeongchang-gun	2018	219
Jeongseon-gun	2018	221.8
Cheorwon-gun	2018	87
Hwacheon-gun	2018	310.8
Yanggu-gun	2018	301
Inje-gun	2018	379
Gosung-gun	2018	155.1
YangYang-gun	2018	149.3
Chungcheongbuk-do	2018	40.07
Chungju-si	2018	43.9
Jecheon-si	2018	41
Cheongju-si	2018	39.8
Boeun-gun	2018	80
Okcheon-gun	2018	50
Yeongdong-gun	2018	100
Jincheon-gun	2018	40
Goesan-gun	2018	100
Eumseong-gun	2018	40
Danyang-gun	2018	100
Jeungpyeong-gun	2018	28.6
Chungcheongnam-do	2018	43
Cheonan-si	2018	40
Gongju-si	2018	28.9

Local Governments	Base Year	2030 Target Reduction Rate (%)
Boryeong-si	2018	149.7
Asan-si	2018	40
Seosan-si	2018	31.5
Nonsan-si	2018	40.1
Gyeryong-si	2018	30
Dangjin-si	2018	68.4
Geumsan-gun	2018	89.1
Buyeo-gun	2018	44.5
Seocheon-gun	2018	37
Cheongyang-gun	2018	43
Hongseong-gun	2018	40.4
Yesan-gun	2018	41.8
Taeon-gun	2018	41
Jeonbuk-do	2018	43
Jeonju-si	2018	30
Gunsan-si	2018	40.5
Iksan-si	2018	43
Jeongeup-si	2018	41
Namwon-si	2018	51
Gimje-si	2018	40.5
Wanju-gun	2018	43
Jinan-gun	2018	80.17
Muju-gun	2018	160.1
Jangsu-gun	2018	48.4
Imsil-gun	2018	60
Sunchang-gun	2018	43
Gochang-gun	2018	43
Buan-gun	2018	43
Jeollanam-do	2018	40
Mokpo-si	2018	40
Yeosu-si	2018	40
Suncheon-si	2018	40
Naju-si	2018	34.5
Gwangyang-si	2018	40.6
Damyang-gun	2018	29.1
Gokseong-gun	2018	101.7
Gurye-gun	2018	60
Goheung-gun	2018	40
Boseong-gun	2018	64
Hwasun-gun	2018	48.2
Jangheung-gun	2018	64.4
Gangjin-gun	2018	49.1
Haenam-gun	2018	40
Yeongam-gun	2018	45.1
Muan-gun	2018	41.9
Hampyeong-gun	2018	39.7
Yeonggwang-gun	2018	40
Jangseong-gun	2018	41
Wando-gun	2018	48.1
Jindo-gun	2018	57.63
Sinan-gun	2018	55
Gyeongsangbuk-do	2018	43.2
Pohang-si	2018	41
Gyeongju-si	2018	32.5

Local Governments	Base Year	2030 Target Reduction Rate (%)
Gimcheon-si	2018	43.4
Andong-si	2018	50.4
Gumi-si	2018	40
Yeongju-si	2018	62
Yeongcheon-si	2018	47.7
Sangju-si	2018	48.8
Mungyeong-si	2018	60.9
Gyeongsan-si	2018	20
Uiseong-gun	2018	100
Cheongsong-gun	2018	100
Yeongyang-gun	2018	408
Yeongdeok-gun	2018	159.3
Cheongdo-gun	2018	43.2
Goryeong-gun	2018	42
Seongju-gun	2018	72.7
Chilgok-gun	2018	39.7
Yecheon-gun	2018	26.1
Bonghwa-gun	2018	43.2
Uljin-gun	2018	100
Ulleung-gun	2018	45.5
Gyeongsangnam-do	2018	40.4
Jinju-si	2018	40.4
Tongyeong-si	2018	43.5
Sacheon-si	2018	40
Gimhae-si	2018	39.8
Miryang-si	2018	73.5
Geoje-si	2018	36.1
Yangsang-si	2018	34.1
Changwon-si	2018	40
Uiryeong-gun	2018	51.6
Haman-gun	2018	40
Changyeong-gun	2018	40
Goseong-gun	2018	48.36
Namhae-gun	2018	66.7
Hadong-gun	2018	65.2
Sancheong-gun	2018	87.3
Hamyang-gun	2018	100
Geochang-gun	2018	74.2
Hapcheon-gun	2018	63.8
Jeju	2018	53

Source: Metropolitan Local Governments of Korea (2024), Basic Local Governments of Korea (2025)