

주거 부문 탄소발자국 결정요인 분석: 1인가구와 다인가구 비교를 중심으로*

Analysis of Determinants of Carbon Footprint in the Residential Housing Sector: Focused on a Comparison with Single- and Multi-Person Households

김태현** · 김태현***

Tae Hyun Kim · Tae Hyun Kim

요약: 가구 내 에너지소비에 따른 1인당 탄소발자국을 줄이는 것은 탄소중립 달성에 중요함에도, 최근 증가하는 1인가구의 탄소발자국 특성에 대한 연구는 부족하다. 이에 본 연구는 온라인 설문조사 기반으로 가구의 여름철/겨울철 주거 부문 탄소발자국을 산출하고, 1인가구와 다인가구의 탄소발자국 차이 분석과 탄소발자국 결정요인 비교분석을 수행하였다. 탄소발자국 차이 분석 결과, 1인가구는 여름철/겨울철 주거 부문 1인당 탄소발자국이 다인가구보다 많은 것으로 나타났다. 1인가구와 다인가구의 탄소발자국 결정요인 비교분석 결과, 공통결정요인으로 여름철은 주거면적, 겨울철은 중앙(지역) 난방 여부가 도출되었으며, 그 외 결정요인은 상이하였다. 본 연구 결과는 건물 부문 탄소중립 달성에 있어서 1인가구의 탄소발자국을 줄이는 것이 중요하며, 탄소중립 정책이 1인가구와 다인가구의 결정요인을 고려하여 차별적으로 적용되어야 함을 의미한다. 본 연구결과는 탄소중립 기본계획 수립을 위한 근거자료로 활용될 것으로 기대한다.
핵심주제어: 탄소중립, 1인가구, 탄소발자국 결정요인, 다중회귀분석, 분산분석

Abstract: Reducing the per capita carbon footprint associated with household energy consumption is crucial for achieving carbon neutrality in the residential sector. However, existing research on the carbon footprint characteristics of single-person households, which often exhibit inefficient energy consumption, is insufficient. This study, therefore, calculates the summer/winter residential sector carbon footprints based on online surveys and analyzes the differences and determinants of carbon footprints between single-person and multi-person households. The results showed that single-person households in the residential sector have higher per capita carbon footprints during both summer and winter compared to multi-person households. Common determinants of carbon footprints between single-person and multi-person households include residential area in summer and the use of central (or district) heating in winter, with other factors varying between the two household types. The findings emphasize the importance of reducing carbon footprints in single-person households toward achieving carbon neutrality in the residential sector and suggest that carbon-neutral policies should be differentially applied, considering determinants unique to both single and multi-person households. The study's results are expected to be utilized as foundational data for establishing carbon-neutral master plans.

Key Words: Carbon Neutrality, Single-person Households, Carbon Footprint Determinants, Multiple Regression Analysis, Analysis of Variance

* 본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 탄소공간지도기반 계획지원 기술 개발(과제번호: RS-2023-00242291)의 지원을 받아 한국환경연구원이 수행한 "탄소공간지도기반 계획지원 기술개발(2023-072(R))" 사업의 연구결과로 작성되었습니다.

** 주저자, 한국환경연구원 초빙연구원

*** 교신저자, 한국환경연구원 연구위원

I. 서론

우리나라는 2020년 10월 28일 대통령이 2050년까지 탄소중립 달성이라는 국가목표를 제시한 이후 에너지, 산업, 수송, 건물, 농축수산, 탄소흡수원 등 각 부분에서 탄소중립 노력을 지속하고 있다. 이 중 건물 부문은 국민 생활과 밀접한 관련이 있는 부문으로, 2017년 우리나라 총 온실가스 배출량 709.1 백만tCO₂eq 중 건물 부문(직접+간접배출량)이 155.0 백만tCO₂eq으로 21.9%를 차지하고 있다(2050 탄소중립위원회, 2021). 우리나라 인구의 91.8%가 도시에 거주(한국국토정보공사, 2022)하고 있는 점을 감안하면 도시 가구의 주거 부문 에너지 소비에 따른 탄소발자국 결정요인을 파악하는 것은 건물 부문의 탄소중립 달성에 있어서 중요하다.

가구의 주거 부문 탄소발자국을 줄이기 위해서는 1인당 에너지소비량을 줄이는 것이 중요하다. 가구원수는 가구의 주거 부문 1인당 에너지소비량을 결정하는 주요한 요인으로, 가구원수가 많을수록 규모의 경제 효과로 인하여 1인당 주거에너지 소비량은 줄어든다(노승철·이희연, 2013a; MacKellar, Lutz, Prinz and Goujon, 1995). 1인 가구의 경우 TV, 세탁기 등 생활에 필요한 기기들을 1인만을 위해 구비하여 다인가구에 비해 비효율적인 자원 소비 경향을 보인다(김민경, 2020; Williams, 2007). 또한 2022년 기준 다인가구의 62.0%가 아파트에 거주하고 있는 것에 반해 1인가구는 34.0%만이 아파트에 거주하고 있으며, 41.0%가 단독주택에 거주하고 있다(통계청, 2023). 아파트가 단독주택에 비해 단열성능이 좋고, 집단에너지를 사용하여 에너지소비량이 적은 것을 고려하면(노승철·이희연, 2013a), 1인가구는 다인가구에 비해 주거 부문 에너지효율이 좋지 않음을 알 수 있다. 1인가구수가 2000년 2,255,298가구에서 2023년 7,341,206가구로 3.26배 증가하였고, 2050년에는 전체 가구의 39.6%인 9,053,860가구까지 증가할 것으로 전망(통계청, 2022)됨에 따라 1인가구에서 기인하는 주거 부문 탄소배출량 증가가 우려되는 상황이다.

이렇듯 1인가구와 다인가구는 주거 부문 에너지 소비 특성에서 차이가 있으

므로, 정책 수립 시 1인가구와 다인가구를 구분할 필요가 있다. 그러나 선행연구에서는 1인 가구가 다인가구에 비하여 1인당 에너지소비량이 많다는 결론을 내렸을 뿐 1인가구의 어떠한 특성으로 인하여 1인당 에너지소비량과 탄소발자국이 많은지 분석한 연구는 많지 않다. 1인가구가 증가할 것으로 예측되는 상황에서 탄소중립 목표 달성을 위해서는 1인가구와 다인가구 각각의 탄소발자국 결정요인에 초점을 둔 과학적 근거 기반의 정책 마련이 필요하다.

이에 본 연구는 1인가구와 다인가구의 여름철/겨울철 주거 부문 탄소발자국 결정요인을 도출 및 비교분석하여 탄소발자국 저감을 위한 정책적 시사점을 도출하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 먼저 전국 1000명 대상 거주자 에너지소비 조사 결과를 기반으로 주거 부문 탄소발자국을 도출하고, 1인가구와 다인가구가 여름철/겨울철 주거 부문 탄소발자국에 차이를 보이는지 통계적으로 검증하였다. 다음으로 1인가구와 다인가구의 여름철/겨울철 주거 부문 탄소발자국 결정요인을 각각 도출하고, 결정요인을 비교분석하여 주거 부문 탄소발자국 저감을 위한 정책적 시사점을 도출하였다.

II. 이론적 검토

1. 탄소발자국의 개념

탄소발자국(carbon footprint)은 기후변화 위기에 대응하기 위한 공공 토론에서 널리 사용되고 있는 용어 및 개념이다(Wiedmann and Minx, 2008). 최근에는 온실가스 배출량을 정량화하기 위한 수단으로서 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으나, 통일된 명확한 정의나 단위가 존재하지 않는다(최성원 등, 2015). 다만, 탄소발자국 용어를 사용하는 대다수의 연구 및 기관에서 정의하고 있는 탄소발자국에는 공통적으로 인간의 생산 및 소비활동에 기인하는 온실가스 배출량이라는 의미가 직·간접적으로 내포되어 있다(Wiedmann and Minx, 2008). 연구 목적에 따라 탄소발자국 산출 단위는 국가(Hertwich and Peters, 2009), 지역(Jones, Wheeler, and Kammen, 2018), 제품(Suer, Ahrenhold, and

Traverso, 2021; Suer, Traverso, and Ahernhold, 2022), 기업(Hu, Huang, Chen, Kuo, and Hsu, 2015), 개인 및 가구(Kim and Kim, 2013; Kim and Noh, 2023) 등 다양하다. 탄소발자국은 일반적으로 일정 기간 동안 발생한 CO₂ 또는 CO₂eq의 양로 표현하지만(Wiedmann and Minx, 2008), 생태발자국의 관점에서서는 대기 중 배출된 온실가스를 흡수하기 위하여 필요한 숲의 면적으로서 Global hectare로 표현하기도 한다(Monfreda, Wackernagel, and Deumlig, 2004; De Benedetto and Klemeš, 2009).

이렇듯 탄소발자국이라는 용어를 사용함에 있어서 의미, 범위, 단위를 명확하게 정의하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 개인의 탄소발자국을 분석한 Kim and Noh(2023)에서 정의하는 탄소발자국 개념을 기반으로 하였다. Kim and Noh(2023)에서는 생태발자국 부문 중 가구에서 주거 및 교통 목적으로 소비한 화석연료 에너지에 기인하는 직접적인 탄소배출량을 가구의 탄소발자국으로 정의하였다. 본 연구에서는 여름철/겨울철 가구의 전기, 도시가스, 물, 등유, LPG 소비로 인한 1인당 탄소배출량을 각각 여름철 주거 부문 탄소발자국(HCF_s, Summer Housing Carbon Footprint)과 겨울철 주거 부문 탄소발자국(HCF_w, Winter Housing Carbon Footprint)으로 정의하였다.

2. 가구의 주거 부문 탄소발자국 결정요인

가구의 주거 부문 에너지소비에 따른 탄소발자국에 영향을 미치는 직간접적 결정요인을 선행연구 검토 기반으로 가구원특성, 건물특성, 지역특성, 계절특성으로 구분하여 <표 1>에 정리하였다.

가구의 에너지소비량 또는 탄소발자국과 관련된 주거부문 가구원특성으로는 가구원수, 성별, 연령, 직업 유무, 소득, 학력, 절약 인지가 있다. 가구원수가 많을수록 규모의 경제 효과로 인하여 1인당 에너지소비량이 줄어들므로, 1인가구가 다인가구에 비하여 1인당 에너지 소비량이 많다(노승철·이희연, 2013a; 정재원 등, 2015; William, 2007; MacKellar et al., 1995). 여성 비율이 높을수록 건물에너지 소비가 증가하는데, 이는 여성이 삶의 편리함과 안락함에 대한 욕구가 크고, 상대적으로 주거공간에 머무는 시간이 많기 때

문이다(정재원·이창효·이승일, 2015). 고령층은 거주시간이 많아 에너지 소비량이 늘어나지만(노승철·이희연, 2013a), 에너지 절약 실천 성향이 강해서 냉난방 에너지 소비량이 감소할 수 있다(Yun and Steemers, 2011). 젊은 연령층은 고령층에 비해 다수의 전자기기를 보유하고, 많이 사용하기 때문에 전기 에너지 소비가 많다(노승철·이희연, 2013b). 비경제활동인구는 거주 시간이 길어 전력 소비를 더 많이 한다(박종문, 2018). 소득수준이 증가할수록 에어컨 설치 방 개수가 증가하고(Yun and Steemers, 2011), 전자기기 보유 개수와 사용량이 많아 전기 에너지 소비량이 증가한다(김기중 등, 2017; 김용래·김민정, 2017; 노승철·이희연, 2013a; 노승철, 2014). 마찬가지로 소득수준이 증가할수록 난방에너지 사용량이 증가하나(Ewing and Rong, 2008), 신규아파트 거주 확률이 높아 난방에너지 사용량이 적을 수 있다(노승철·이희연, 2013b; Santamouris et al., 2007). 따라서 난방에너지는 소득에 비탄력적이다(노승철·이희연, 2013a). 주택가격이 비쌀수록 건물 에너지사용량이 증가하는데, 이는 아파트 주택가격이 단독주택의 주택가격에 비해 상대적으로 높고, 소득수준을 의미하기 때문이다(정재원 등, 2015; 박종문, 2018). 고학력자일수록, 환경에 대한 인식이 낮을수록 주거 부문 에너지 사용량이 많다(Ryu, 2005).

건물특성으로는 주택유형, 집크기, 건령, 공동에너지 유무가 있다. 공동주택의 경우 단독주택보다 단열성능이 좋고, 공동 에너지 사용으로 에너지 소비량이 적다(노승철·이희연, 2013a; 노승철·이희연, 2013b; 노승철, 2014; Santamouris et al., 2007). 가구당 주거 면적이 증가할수록 가구의 전기 에너지 소비가 증가한다(김용래·김민정, 2017; 박종문, 2018). 지역차원에서 아파트 비율, 신규 주택 비율이 증가할수록 1인당 난방에너지와 전기에너지가 감소한다(노승철·이희연, 2013b). 최근에 지어진 건물일수록 건물 에너지 성능이 좋아서 건물에너지 소비량이 적다(김용래·김민정, 2017; 노승철·이희연, 2013b; 노승철, 2014; 이수진 등, 2019; 정재원 등, 2015; Santamouris et al., 2007; Ewing and Rong, 2008).

지역특성으로는 거주지 도심/외곽, 녹지면적이 있다. 저밀지역은 고밀지

역보다 1인당 에너지 소비량과 1인당 온실가스 배출량이 더 많다(Norman, MacLean, and Kennedy, 2006). 건물 주변의 도로면적과 건물밀도가 높으면 열환경이 악화되어 건물에너지 소비량이 증가한다(김기중 등, 2017). 도심의 경우 비도심에 비하여 열섬현상으로 인하여 냉방 에너지 소비가 증가한다(정재원 등, 2015). 도심 녹지면적 증가는 여름철 냉방과 통풍 역할을 하여 건물 에너지 소비량 감소 효과가 있다(박종문, 2018; 정재원 등, 2015).

Kim and Noh(2023)에 따르면 계절에 따라 거주자 탄소발자국에 영향을 미치는 요인이 다른데, 대표적으로 소득수준이 높을수록 겨울철 주거 부문 탄소발자국은 감소하는 것으로 나타났으나, 여름철 주거 부문 탄소발자국에는 유의한 영향이 없는 것으로 나타났다. 특히 여름철 냉방 에너지 소비량은 에어컨이 설치된 방 개수와 기상 상황에 의하여 결정되는 것으로 나타났다(Yun and Steemers, 2011).

〈표 1〉 주거 부문 에너지소비량 또는 탄소발자국에 영향을 미치는 직·간접적 특성

가구특성	에너지소비량 또는 탄소발자국	출처	
가구원 특성	가구원수	1인가구 > 다인가구	노승철·이희연(2013a); 정재원 등(2015); William(2007); MacKellar et al.(1995)
	성별	여성 비율과 비례하여 증가	정재원 등(2015)
	연령	전기소비량: 비교령 > 고령	노승철·이희연(2013b)
		냉난방에너지: 고령 > 비교령	Yun and Steemers(2011)
	직업	전기에너지: 비경제활동인구 비율과 비례	박종문(2018)
	소득	전기에너지: 고소득 > 저소득	Yun and Steemers(2011); 김기중 등(2017); 김용래·김민정(2017); 노승철·이희연(2013a); 노승철(2014)
		난방에너지: 고소득 > 저소득	Ewing and Rong(2008)
		난방에너지: 저소득 > 고소득	노승철·이희연(2013b); Santamouris et al.(2007)
	학력	탄소발자국: 고학력 > 저학력	Ryu(2005)
인식	탄소발자국: 환경에 대한 인식 수준과 반비례	Ryu(2005)	
건물 특성	주택유형	주거에너지: 단독주택 > 아파트	노승철·이희연(2013a); 노승철·이희연(2013b); 노승철(2014); Santamouris et al.(2007)
	주택규모	주거에너지: 주택면적에 비례	김용래·김민정(2017); 박종문(2018); Yun and Steemers(2011)

	건령	주거에너지: 오래된 건물일수록 증가	김용래·김민정(2017); 노승철·이희연(2013b); 노승철(2014); 이수진 등(2019); 정재원 등(2015); Santamouris et al.(2007); Ewing and Rong(2008)
	공동에너지 사용	주거에너지: 공동에너지 사용하는 가구에서 감소	정재원 등(2015)
지역 특성	거주지역	주거에너지: 비수도권 > 수도권 석유 및 도시가스: 비수도권 > 수도권 전기: 수도권 > 비수도권	노승철(2014)
		전기소비량: 수도권 > 비수도권 냉방에너지: 도심 > 외곽	박종문(2018) Ewing and Rong(2008); 정재원 등(2015)
	공원/녹지 접근성	주거에너지 녹지면적비율과 반비례	정재원 등(2015); 김기중 등(2017)
계절 특성	계절	주거 에너지 여름 < 겨울	Kim and Noh(2023)
		냉방에너지: 기상에 영향	Yun and Steemers(2011)

Ⅲ. 연구 범위 및 방법

1. 연구 범위

연구의 공간적 범위는 우리나라 전국이다. 광역지자체 기준 지역별 온실가스 인벤토리(온실가스종합정보센터, 2022)에 따르면 2019년 가정부문 총 배출량 31.6 백만tCO₂eq 중 인구가 많은 서울시와 경기도가 각각 6.1 백만tCO₂eq, 7.8 백만tCO₂eq로 전체의 40.6%를 차지하였다. 또한 공공전기 및 열 생산에 따른 가정 부문 간접배출량 42.7 백만tCO₂eq 중 서울이 7.1 백만tCO₂eq, 경기도 16.1 백만tCO₂eq로 전체의 54.4%를 차지하였다. 이렇듯 가정 부문 온실가스 배출량 중 많은 부분을 서울시와 경기도가 차지하고는 있으나, 6대 광역시를 포함하는 그 외 지역이 전체 가정부문 직접+간접 배출량의 51.5%를 차지하고 있고, 연구 결과의 일반화를 위하여 전국을 대상으로 하였다.

시간적 범위는 온라인 설문조사 기준 최근 1년인 2022년 10월 ~ 2023년 9월이다. 1년 중 가장 기온이 낮은 12월과 1월, 가장 기온이 높은 7월과 8월의 가구 내 에너지사용량을 파악하기 위함이며, 이와 가구원특성, 건물특성, 지역특성 등의 시간적 기준이 일치하도록 시간적 범위를 최근 1년으로 설정하였다.

2. 탄소발자국 설문 및 주거 부문 탄소발자국 산정

본 연구의 탄소발자국 설문은 Global Footprint Network의 생태발자국 설문(Global Footprint Network, 2009)을 바탕으로 한국지속가능발전센터에서 만든 개인 단위 생태발자국 설문 항목을 기반으로 작성하였다. 전국을 대상으로 2023년 9월 20일 ~ 10월 13일에 온라인 설문을 수행하였으며, 편향을 줄이기 위하여 연령, 성별, 거주지역 등의 비중을 고려하여 표본을 추출하였다. 총 1859부의 응답지 중 53.8%인 1000부가 유효한 응답지였다. 가구원수별 표본수와 응답 비중 및 평균값은 <표 2>와 같다.

<표 2> 가구원수별 표본수, 응답비중, 평균값

구분		단위	1인가구	2인가구	3인가구	4인가구	5인이상가구	전체	
표본수		명	148	251	273	276	52	1,000	
가구원 특성	성별	남	%	64.9	43.4	48.7	51.8	55.8	51.0
		여		35.1	56.6	51.3	48.2	44.2	49.0
	연령	20대	%	27.0	9.2	16.8	17.8	23.1	17.0
		30대		27.7	20.3	16.1	11.2	15.4	17.5
		40대		16.2	15.5	21.6	31.5	9.6	21.4
		50대		14.9	17.9	25.6	28.3	40.4	23.6
		60대		14.2	37.1	19.8	11.2	11.5	20.5
	학력	고졸 이하	%	26.4	21.9	21.6	14.9	23.1	20.6
		대졸		66.9	68.1	70.7	76.8	69.2	71.1
		대학원 이상		6.8	10.0	7.7	8.3	7.7	8.3
	직업	직장인	%	75.7	62.9	65.2	67.8	75.0	67.4
		무직		24.3	37.1	34.8	32.2	25.0	32.6
	월 평균 소득		만원	278.4	432.3	499.3	599.3	557.7	480.4
	에너지절약 인지	동의	%	72.3	77.7	77.7	79.7	73.1	77.2
중립		24.3		17.5	19.0	17.8	25.0	19.4	
비동의		3.4		4.8	3.3	2.5	1.9	3.4	
탄소포인트제 참여	참여	%	34.5	27.1	28.6	33.7	23.1	30.2	
	미참여		65.5	72.9	71.4	66.3	76.9	69.8	
건물 특성	주택유형	단독주택	%	4.7	10.4	8.4	4.7	17.3	7.8
		아파트		29.1	69.3	76.6	80.4	57.7	67.8
		연립/빌라/ 다세대·다가구		48.0	17.9	13.9	13.8	23.1	20.4
		기타		18.2	2.4	1.1	1.1	1.9	4.0

평균 주택규모		m ²	46.0	84.0	92.6	99.9	105.5	86.2	
평균 건령		년	17.3	19.8	19.4	18.0	21.3	18.9	
지역(중앙) 난방	해당 있음	%	23.6	26.7	28.2	29.3	36.5	27.9	
	해당 없음		76.4	73.3	71.8	70.7	63.5	72.1	
신재생에너지	설치	%	6.1	6.0	4.8	4.7	21.2	6.1	
	미설치		93.9	94.0	95.2	95.3	78.8	93.9	
지역 특성	거주지역	%	서울시	27.7	15.1	16.8	19.6	19.2	18.9
			경기도	18.2	26.7	30.8	27.2	30.8	26.9
			6대 광역시	26.4	24.3	25.6	22.8	26.9	24.7
			그 외	27.7	33.9	26.7	30.4	23.1	29.5
최근접 공원까지의 시간 평균값		분	15.4	15.3	16.0	15.4	14.9	15.5	

주거 부문 탄소발자국 산출 방법은 「탄소중립포인트 제도 운영에 관한 규정」 「별표 8」 탄소중립포인트 제도 온실가스 배출량 및 감축량 산정방법」의 에너지 분야 온실가스 배출량 산정방법을 준용하였다. 주거 부문 1인당 탄소발자국은 응답자별 고지서 기반의 2022년 12월 ~ 2023년 1월과 2023년 7~8월의 월평균 전기, 도시가스, 물, 등유, LPG 소비량에 온실가스배출계수를 곱한 후 가구원수로 나누어 여름철과 겨울철 각각 산출하였다. 주거부문 탄소발자국 산출을 위한 에너지사용량 및 온실가스 배출계수는 각각 <표 3>, <표 4>와 같다.

<표 3> 가구원수에 따른 여름철/겨울철 주거 부문 1인당 에너지 소비량(월 단위)

구분		단위	1인가구	2인가구	3인가구	4인가구	5인이상가구	
주거 부문	여름 (7~8월)	전기	kWh	230.07	170.32	140.96	113.50	92.50
		도시가스	Nm ³	12.68	8.00	8.07	6.91	6.43
		물	m ³	11.86	9.02	7.80	6.68	4.96
		등유	L	3.11	1.18	1.56	1.36	1.52
		LPG	kg	2.13	1.19	1.19	1.05	1.56
	겨울 (1~2월)	전기	kWh	213.18	153.88	115.93	85.51	83.46
		도시가스	Nm ³	40.00	25.92	19.90	16.00	12.46
		물	m ³	12.13	9.65	7.63	6.86	5.42
		등유	L	3.82	2.26	2.18	1.74	2.58
		LPG	kg	2.57	1.95	1.35	1.16	1.85

〈표 4〉 주거 부문 에너지별 온실가스 배출량 원단위

부문	에너지	원단위	단위	출처
주거	전기	0.478	kgCO ₂ /kWh	「탄소중립포인트 제도 운영에 관한 규정」 [별표 8] 탄소중립포인트 제도 온실가스 배출량 및 감축량 산정방법 (제24조 관련)
	도시가스	2.410	kgCO ₂ /Nm ³	
	물	0.332	kgCO ₂ /m ³	
	등유	2.491	kgCO ₂ /L	에너지온실가스 종합정보 플랫폼
	LPG	3.251	kgCO ₂ /kg	「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」 [별표 12] 연료별 국가 고유 발열량 및 배출계수 (제15조제2항 관련)

3. 1인가구와 다인가구의 주거 부문 탄소발자국 차이 분석

1인가구부터 5인 이상 가구까지 가구원수를 기준으로 나눈 5개 그룹에 대하여 평균적인 여름철 주거 부문 탄소발자국(HCF_s) 및 겨울철 주거부문 탄소발자국(HCF_w)에 차이가 나는지 One-Way ANOVA 분석을 수행하였다. ANOVA(Analysis of Variance)는 3개 이상의 그룹간의 평균비교를 위한 가설검증 기반의 통계기법이다. 귀무 가설은 그룹간 평균에 차이가 없다는 것이며, 대립 가설은 적어도 하나의 그룹의 평균이 유의미하게 다르다는 것이다. F검정을 사용하여 유의성을 결정하며, $p < 0.05$ 로 유의하다고 도출된 경우 사후검정을 통하여 어떤 그룹 간에 차이가 있는지 확인한다.

4. 1인가구와 다인가구의 주거 부문 탄소발자국 결정요인 비교분석

1인가구와 다인가구의 여름철 주거부문 탄소발자국(HCF_s), 겨울철 주거부문 탄소발자국(HCF_w)에 대한 결정요인을 도출하기 위하여 다중회귀분석을 시행하였다. 〈표 2〉와 같이 선행연구 고찰을 통하여 도출한 14개 설명변수로 구성된 4개의 초기 회귀모형(1인가구 HCF_s, 다인가구 HCF_s, 1인가구 HCF_w, 다인가구 HCF_w)에 대하여 후방소거법(Backward elimination)을 적용하였다. 후방소거법은 전체 변수를 포함하는 모델에서 유의하지 않은 변수로 독립변수를 하나씩 제거하는 방법으로, 다른 변수 선정 방법에 비하여 유의미한 변수가 소거될 가능성이 상대적으로 적은 안전한 변수 선택 방법론

이다(Ryu, Kim, and Kang, 2016).

각 모형에 대한 다중공선성, 이상치 제거, 회귀모형의 정규성, 선형성, 등분산성은 R 프로그램을 사용하여 검토하였다. 다중공선성 문제는 분산팽창계수(VIF, variation inflation factor)가 5를 초과하는 독립변수를 제거하는 방식으로 해결하였다. 이상치는 표준잔차의 절대값이 3을 초과하거나 Cook's D 값이 0.5를 초과하는 경우 제거하였다. 정규성은 Q-Q plot을 도출하여 확인하였으며, 정규성 가정에 위반되는 경우 Power transform을 통해 모형을 개선하여 정규성 가정을 충족시켰다. 선형성은 RVF(Residual-versus-fitted) plot을 산출하여 확인하고, 선형이 아닌 경우 Box-Tidwell 변환을 통하여 모델의 선형성을 개선하였다. 등분산성은 Breusch-Pagan test 후 p-value가 0.05 미만인 경우 등분산성을 만족하지 않는 것으로 판단하였으며, Spread level plot을 통해 모형을 개선하여 등분산성을 충족시켰다.

최종적으로 도출된 1인가구 HCF_s 최적모형(model 1), 다인가구 HCF_s 최적모형(model 2), 1인가구 HCF_w 최적모형(model 3), 다인가구 HCF_w 최적모형(model 4)을 기반으로 탄소발자국 결정요인을 도출하고, model 1과 model 2 비교를 통해 1인가구와 다인가구의 여름철 주거부문 탄소발자국 결정요인에 어떠한 차이가 있는지, model 3과 model 4 비교를 통해 1인가구와 다인가구의 겨울철 주거부문 탄소발자국 결정요인에 어떠한 차이가 있는지 분석하였다.

IV. 분석 결과

1. 1인당 탄소발자국 산출 및 가구원수에 따른 1인당 탄소발자국 차이

주거 부문 에너지소비량에 따른 1인당 탄소발자국 산출 결과는 <표 5>와 같다. 전체 평균값은 여름철 103.5 kgCO₂eq/월/인, 겨울철 131.3 kgCO₂eq/월/인이다. 2019년 온실가스 인벤토리와 비교해보면, 온실가스 인벤토리 상 가정 부문 직간접 합계 배출량은 74.3 백만tCO₂eq이며(온실가스종합정보센

터, 2022), 이를 1인당/월 단위로 환산하면 119.5 kgCO₂eq/월/인¹⁾이다. 1년 중 겨울철 배출량이 많고, 여름철 배출량이 적은 점을 고려하면 연구에서 산출한 1인당 탄소배출량이 온실가스 인벤토리에 따른 가정 부문 배출량을 잘 반영한다고 볼 수 있다.

평균 HCF_s, HCF_w 모두 1인가구가 가장 많았으며, 가구원수가 증가할수록 HCF_s와 HCF_w가 감소하였다. 1인가구의 HCF_s 평균값은 5인이상가구의 2.56배이며, HCF_w 평균값은 2.79배인 것으로 나타났다. 모든 가구 그룹에서 탄소발자국 평균값은 여름철보다 겨울철에 더 높았으며(HCF_w > HCF_s), 이는 도시가스 소비량 차이에 기인한다.

가구원수에 따른 1인당 탄소발자국 차이를 보기 위한 One-Way ANOVA 분석 및 사후검정 결과는 <표 6>과 같다. HCF_s는 가구원수별로 통계적으로 유의한 수준에서 차이가 있는 것으로 나타났다(F-value=42.94, p-value=.000). HCF_s 사후검정 결과에서 1인가구가 통계적으로 유의한 수준에서 모든 다인가구보다 더 높은 것으로 나타났다. 다인가구들 간에도 통계적 유의성이 나타났다. 2인가구와 3인가구는 4인가구와 5인 이상 가구보다 HCF_s가 높은 것으로 나타났다.

HCF_w 또한 가구원수별로 통계적으로 유의한 수준에서 차이가 있는 것으로 나타났다(F-value=80.46, p-value=.000). HCF_w 사후검정 결과에서 1인가구가 통계적으로 유의한 수준에서 모든 다인가구들 보다 높은 것으로 나타났다. 다인가구들 간에도 통계적 유의성이 나타났다. 2인가구는 3인가구, 4인가구, 5인 이상 가구보다, 3인 가구는 4인가구보다 HCF_w가 높은 것으로 나타났다.

1) 2019년 온실가스 인벤토리에 따른 가정부문 직간접 합계 배출량은 74.3 백만tCO₂eq (직접 배출량: 31.6 백만tCO₂eq, 간접 배출량: 42.7 백만tCO₂eq)이며, 인구수는 51.8 백만명으로, 1인당 월단위로 환산 시 119.5 kgCO₂eq/인/월(74.3 백만tCO₂eq / 51.8 백만명 / 1000 = 119.5 kgCO₂eq/인)이다.

〈표 5〉 가구원수별 주거 부문 여름/겨울철 1인당 탄소발자국 평균값 및 표준편차
단위: kgCO₂eq/인/월

구분	1인가구		2인가구		3인가구		4인가구		5인이상가구		전체		
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	
여름 (HCF_s)	159.2	121.5	110.5	56.7	97.2	46.9	79.9	37.3	70.2	34.0	103.5	68.6	
겨울 (HCF_w)	220.2	145.7	151.2	78.0	115.7	52.8	89.8	41.6	84.2	38.7	131.3	88.8	
여름	전기	110.0	73.3	81.4	41.4	67.4	26.1	54.3	21.1	44.2	18.5	72.4	43.7
	도시가스	30.6	38.3	19.3	21.1	19.5	19.8	16.6	14.6	15.5	14.5	20.1	22.9
	물	3.9	3.5	3.0	2.1	2.6	1.5	2.2	1.2	1.6	1.1	2.7	2.1
	등유	7.7	22.5	2.9	11.7	3.9	10.6	3.4	8.9	3.8	6.6	4.1	12.9
	LPG	6.9	24.6	3.9	13.1	3.9	11.3	3.4	9.6	5.1	9.3	4.2	14.1
겨울	전기	101.9	71.3	73.6	38.4	55.4	25.6	40.9	18.1	39.9	21.1	62.0	42.9
	도시가스	96.4	80.4	62.5	48.4	48.0	32.7	38.6	23.9	30.0	20.6	55.2	48.9
	물	4.0	3.5	3.2	2.4	2.5	1.7	2.3	1.4	1.8	1.3	2.8	2.3
	등유	9.5	27.5	5.6	18.3	5.4	13.3	4.3	10.5	6.4	9.7	5.8	16.8
	LPG	8.3	29.1	6.3	20.3	4.4	13.0	3.8	10.4	6.0	11.1	5.4	17.7

〈표 6〉 가구원수에 따른 1인당 탄소발자국 차이 분석 및 사후검정 결과
단위: kgCO₂eq/인/월

구분	HCF_s				HCF_w			
F-value / P	42.94 / .000***				80.46 / .000***			
가구원수	[2]	[3]	[4]	[5]	[2]	[3]	[4]	[5]
[1]	48.7***	62.0***	79.2***	88.9***	69.0***	104.5***	130.4***	136.0***
[2]		13.3	30.6***	40.2***		35.5***	61.4***	67.1***
[3]			17.3*	27.0*			25.9***	31.6
[4]				9.7				5.7

주: [n]은 n인가구를 의미하며, [1]행 [2]열의 값은 1인가구 평균 탄소발자국에서 2인가구 평균 탄소발자국을 뺀 값을 의미함

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

2. 1인가구와 다인가구의 주거 부문 탄소발자국 결정요인 비교분석

1인가구과 다인가구의 주거 부문 탄소발자국 14개 설명변수에 대한 다중공선성을 확인한 결과 분산팽창계수의 범위가 1인가구는 1.084~1.415, 다인가구는 1.021~1.162로 5를 초과하는 변수가 없으므로 다중공선성 문제는

없는 것으로 나타났다. 이상치 검토 결과 모든 모형에서 Cook's D 값이 0.5를 초과하는 경우는 없었으나, 표준잔차가 3을 초과하는 이상치가 확인되어 1인가구 148개 표본 중 HCF_s 모형에서 3개, HCF_w 모형에서 4개를 제외하였으며, 다인가구 852개 표본 중 HCF_s 모형에서 10개, HCF_w 모형에서 12개를 제외하였다. 모형별 정규성, 독립성, 선형성 검토 결과 1인가구 HCF_s 모형과 다인가구 HCF_s 모형은 정규성 가정을 만족하지 않아 Power transform을 통하여 정규성을 보정하였다. 1인가구 HCF_w 모형은 등분산성을 만족하지 않아 Spread level plot을 통하여 등분산성을 보정하였다. 다인가구 HCF_w 모형은 정규성 가정과 등분산성을 만족하지 않아 Power Transform과 Spread level plot을 통하여 보정하였다.

최종적으로 도출된 1인가구와 다인가구의 주거 부문 탄소발자국 결정요인은 <표 7>과 같다. 1인가구 HCF_s 모델(model 1)은 유의한 것으로 나타났으며($F=5.465$, $p=0.000$), 모델의 설명력은 13.4%였다. 결정요인은 가구원 특성에서 최종학력, 소득, 탄소포인트제 참여 여부, 건물 특성에서 주택면적으로 나타났으며, 표준화 계수(β)를 보았을 때 소득, 주택면적, 탄소포인트제 참여 여부, 최종학력 순으로 영향력이 큰 것으로 확인되었다. 다인가구 HCF_s 모델(model 2)은 유의한 것으로 나타났으나($F=4.622$, $p=0.000$), 모델의 설명력은 2.9%로 높지 않았다. 결정요인은 가구원 특성에서 연령과 직업, 건물 특성에서 주택면적, 지역 특성에서 공원(녹지)까지의 시간으로 나타났으며, 표준화 계수(β)를 보았을 때 연령, 주택면적, 직업, 공원(녹지)까지의 시간 순으로 영향력이 큰 것으로 확인되었다. 1인가구 HCF_w 모델(model 3)은 유의한 것으로 나타났으며($F=10.810$, $p=0.000$), 모델의 설명력은 35.4%였다. 결정요인은 가구원 특성에서 소득과 탄소포인트제 참여 여부, 건물 특성에서 주택유형, 주택면적, 건령, 지역(중앙) 난방 여부로 나타났으며, 표준화 계수(β)를 보았을 때 주택면적, 주택유형, 지역(중앙) 난방 여부, 탄소포인트제 참여 여부, 건령, 소득 순으로 영향력이 큰 것으로 확인되었다. 다인가구 HCF_w 모델(model 4)은 유의한 것으로 나타났으며($F=13.196$, $p=0.000$), 모델의 설명력은 9.2%였다. 결정요인은 가구원 특성에서 연령과 직업, 건물 특성에서 지역(중

양) 난방 여부, 지역 특성에서 공원(녹지)까지의 시간으로 나타났으며, 표준화 계수(β)를 보았을 때 지역(중양)난방 여부, 연령, 직업 유무, 공원(녹지)까지의 시간순으로 영향력이 큰 것으로 확인되었다.

1인가구와 다인가구의 HCF_s 모형을 비교(model 1과 model 2)하였을 때 공통적인 결정요인은 주택면적으로, 박종문(2018)과 동일하게 주택면적이 넓을수록 1인당 탄소발자국이 커지는 것으로 나타났다. 주택면적이 넓을수록 생활수준이 높고, 가전기기가 많아 전기 소비량이 많기 때문으로 해석할 수 있다. 1인가구 HCF_s의 개별적인 결정요인은 최종학력(고졸 미만 > 대학원 이상), 소득(고소득일수록 탄소발자국 증가), 탄소포인트제 참여 여부(미참여 > 참여)로 나타났다. 이는 소득이 많을수록 에어컨 설치 방 개수가 증가 등의 이유로 에너지 소비량이 많아진다는 Yun and steemers(2011)의 결과와 동일하나, 소득과 동일한 맥락에서 해석되는 학력은 반대의 결과가 도출되었다. 탄소포인트제 참여 가구의 HCF_s가 더 적은 것은 에너지 절약에 대한 의지와 행동이 반영된 결과로 해석된다.

다인가구 HCF_s의 개별적인 결정요인은 연령(20대 > 40대, 50대), 직업 유무(직장인 > 비직장인), 공원접근성(접근성이 떨어질수록 탄소발자국 증가)으로 나타났다. 여름철은 전기에너지 소비량이 탄소발자국에 가장 많은 부분을 차지하는데, 이는 노승철·이희연(2013b)에서 언급한 바와 같이 다양한 종류의 가전기기를 보유하는 20대 포함 가구가 상대적으로 전기에너지 소비량이 높기 때문으로 볼 수 있다. 직장인은 비직장인보다 경제적으로 안정되어 에너지 비용에 대한 부담이 적으므로, 직장인의 탄소발자국이 더 높은 것으로 파악된다. 공원/녹지 접근성이 좋을수록 도시열섬 현상이 줄어 냉방전력 소비가 감소할 수 있으므로(김기중 등, 2017), 공원/녹지 까지 걸리는 시간이 늘어날수록 냉방전력 소비가 증가한 것으로 파악된다.

1인가구와 다인가구의 HCF_w 모형을 비교(model 3과 model 4)하였을 때 공통적인 결정요인은 지역(중양) 난방 여부였으며, 이는 선행연구(노승철, 2014; Santamouris et al., 2007)에서 지역(중양)난방을 하지 않는 가구가 지역(중양)난방을 하는 가구보다 난방에너지 사용량이 많은 것과 같은 맥락에

서 1인당 탄소발자국이 큰 것으로 나타났다.

1인가구 HCF_w의 개별적인 결정요인은 소득(고소득일수록 탄소발자국 증가), 탄소포인트제 참여 여부(미참여 > 참여), 주택유형(단독주택 > 아파트 및 연립/빌라/다세대·다가구), 주택면적(넓을수록 탄소발자국 증가), 건령(많을수록 탄소발자국 증가)으로 나타났다. 소득, 탄소포인트제 참여 여부, 주택면적은 HCF_s와 동일한 맥락에서 해석된다. 단독주택의 HCF_w가 높은 이유는 일반적으로 주택의 단열성능은 단독주택보다 아파트 등 공동주택이 더 좋기 때문(노승철·이희연, 2014; Santamouris et al., 2007)으로 이해할 수 있다. 건령은 오래된 건물일수록 단열성능이나 기밀성능이 상대적으로 떨어지기 때문(김용래·김민정, 2017; 이수진 등, 2019; Ewing and Rong, 2008)으로 이해할 수 있다.

다인가구 HCF_w의 개별적인 결정요인은 연령(60대 > 20대), 직업 유무(직장인 > 비직장인), 공원 접근성(접근성이 떨어질수록 탄소발자국 증가)으로 나타났다. 직업유무와 공원(녹지) 접근성은 HCF_s와 같은 맥락에서 이해할 수 있다. 연령에 대해서는 고령가구가 상대적으로 집에 오래 머무는 경향이 있고, 이는 난방 소비 증가로 이어졌기 때문(김민경, 2020)으로 볼 수 있다.

〈표 7〉 1인가구와 다인가구의 여름/겨울철 주거부문 탄소발자국 결정요인

변수		HCF_s		HCF_w		
		1인가구 (model 1)	다인가구 (model 2)	1인가구 (model 3)	다인가구 (model 4)	
		β	β	β	β	
가구원 특성	연령	30대		-0.008	0.015	
		40대		-0.116 *	-0.036	
		50대		-0.098 *	0.003	
		60대		0.051	0.159 ***	
	최종학력	대졸	-0.010			
		대학원 이상	-0.172 *			
	직업	비직장인		-0.075 *		-0.078 *
	소득		0.236 **		0.227 **	
	탄소포인트 제 참여	참여 안함	0.183 *		0.244 ***	

건물 특성	주택유형	아파트			-0.371 *	
		연립/빌라/ 다세대·다가구			-0.345 *	
		기타			-0.153	
	주택면적		0.215 **	0.099 **	0.377 ***	
	건령				0.240 **	
지역 특성	지역(중앙) 난방 여부	해당 없음			0.247 ***	0.242 ***
	공원(녹지)까지의 시간			0.067 *		0.072 *
n			145	842	144	840
R-squared			0.164	0.037	0.390	0.100
Adj R-squared			0.134	0.029	0.354	0.092
F Statistic			5.465 *** (df = 5; 139)	4.622 *** (df = 7; 834)	10.810 *** (df = 8; 135)	13.196 *** (df = 7; 832)

* p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001

V. 정책제언

가구원수에 따른 여름철 주거부문 탄소발자국(HCF_s), 겨울철 주거부문 탄소발자국(HCF_w) 분석 결과, 1인가구가 다인가구보다 통계적으로 유의한 수준에서 HCF_s, HCF_w가 큰 것으로 나타났다.

1인가구는 소득이 많을수록, 주택면적이 넓을수록 HCF_s와 HCF_w가 많은 것으로 나타났으므로, 에너지소비량이 많은 가구의 에너지 소비를 억제하도록 탄소배출에 대한 과세를 도입하거나, 가구당 주택면적이 넓은 건물에 대하여 재생에너지 설치 지원이나 건물 에너지성능 개선 지원사업(기축 그린리모델링, 신축 제로에너지빌딩 등)을 시행할 필요가 있다. 1인 가구가 거주하는 소형주택은 built-in 제품이 있는 경우가 많으므로, 김민경(2020)에서 제안한 바와 같이 임대인의 협력과 이를 지원하는 인센티브 제도 등이 필요하다. 또한 1인가구는 HCF_s와 HCF_w 모두 탄소포인트제 참여 여부가 결정요인으로 도출된 만큼, 탄소포인트제 참여를 장려하기 위한 방안 마련이 필요하다. 특히 1인가구의 HCF_s는 최종학력이 대학원 이상인 그룹에 비

하여 고등학교 졸업 이하인 그룹이 더 높은 것으로 나타났으므로, 최종학력이 고등학교 졸업 이하인 가구에 대한 탄소포인트제 참여 장려가 필요하다. 1인가구의 HCF_w는 주택유형, 건령, 중앙(지역) 난방 여부가 결정요인으로 도출되었으므로, 단독주택과 노후주택에 대한 건물 에너지 성능 개선 지원 및 신재생에너지 설치 지원과 중앙(지역) 난방 확대가 필요하다.

다인가구의 HCF_s는 20대가 30, 40대보다 더 높고, HCF_w는 60대가 20대보다 더 높은 것으로 나타났으므로, 20대의 전기에너지 소비에 대한 행태 개선과 고령인구의 외부활동을 유도하는 지역사회 참여 프로그램을 개발하여 에너지 절약을 유도할 필요가 있다. 직장인은 비직장인보다 HCF_s, HCF_w가 모두 높은 것으로 나타났으므로, 경제적 여유가 있는 직장인 대상으로 캠페인 등을 통하여 에너지 고효율 가전이나 보일러에 대한 구매를 촉진할 필요가 있다. 1인가구와 마찬가지로 여름철에는 단위 주택면적이 넓은 건물에 대하여 재생에너지 설치 지원이나 건물 에너지성능 개선 지원사업을 시행할 필요가 있으며, 겨울철 탄소발자국을 줄이기 위해 지역(중앙) 난방을 확대할 필요가 있다.

VI. 결론

가구 내 에너지소비에 따른 1인당 탄소발자국을 줄이는 것은 건물 부문 탄소중립 달성에 중요함에도, 1인당 탄소발자국이 높은 1인가구의 탄소발자국 특성에 대한 연구는 부족하다. 이에 본 연구는 설문조사 기반으로 여름철/겨울철 주거 부문 탄소발자국을 산출하고, 1인가구와 다인가구의 탄소발자국 차이 분석과 탄소발자국 결정요인 비교분석을 수행하였다.

1인가구와 다인가구의 1인당 여름철 주거부문 탄소발자국(HCF_s)과 겨울철 주거부문 탄소발자국(HCF_w) 차이 분석 결과, 통계적으로 유의한 수준에서 1인가구가 다인가구보다 HCF_s와 HCF_w 모두 많았다. 1인가구와 다인가구의 HCF_s 및 HCF_w 결정요인 비교분석 결과, HCF_s 공통 결정요인은

주택면적 하나였으며, 이 외 1인가구는 최종학력, 소득, 탄소포인트제 참여 여부가 결정요인으로, 다인가구는 연령, 직업 유무, 공원접근성이 결정요인으로 도출되었다. 한편 1인가구와 다인가구의 HCF_w 공통 결정요인은 중앙(지역) 난방 여부 하나였으며, 이 외 1인가구는 소득, 탄소포인트제 참여 여부, 주택유형, 주택면적, 건령이 결정요인으로, 다인가구는 연령, 직업 유무, 공원 접근성이 결정요인으로 도출되었다.

이러한 분석 결과는 1인가구와 다인가구의 건물 부문 탄소중립 정책이 여름철/겨울철 탄소발자국 결정요인을 고려하여 차별적으로 적용되어야 하며, 우선순위에 1인가구를 고려할 필요가 있음을 의미한다. 특히 1인가구는 HCF_s, HCF_w 결정요인에 공통적으로 탄소포인트제 참여 여부가 도출된 만큼, 1인가구 대상으로 탄소포인트제 확대가 필요하다. 다인가구의 경우 HCF_s, HCF_w 결정요인에 공통적으로 중앙(지역) 난방 여부가 도출되었으므로, 중앙(지역) 난방 확대가 필요하다.

본 연구는 1인가구와 다인가구의 주거부문 탄소발자국 결정요인을 각각 도출하였다는 점에서 의미가 있으나, 몇 가지 한계가 존재한다. 먼저 본 연구에서 대상이 된 1인가구 샘플수가 148개로, 1인가구 특성을 세분화하기 위해서는 샘플수를 늘릴 필요가 있다. 향후 연구에서는 1인가구만을 대상으로 선행연구에서 주요한 특성으로 제시된 연령, 성별, 거주지역 등으로 동일 할당하여 분석할 필요가 있다. 두 번째는 1인가구의 주거 내 생활을 면밀하게 파악하기 위한 정보의 부재이다. 주거 내에서 머무르는 시간 및 시간대와 어떤 활동을 하는지, 사용하고 있는 가전제품의 에너지효율등급과 사용 빈도 등에 대한 정보가 부족하다. 향후 연구에서는 가구 내 생활패턴에 대한 구체적인 조사를 통하여 주거 부문 탄소발자국에 영향을 미치는 더욱 의미 있는 가구특성과 이에 기반한 정책을 도출할 필요가 있다. 특히 본 연구에서 서울, 경기, 특광역시, 그 외 지역으로 구분하여 간접적으로 고려한 도시공간계획 요소를 토지피복도, 국토통계지도, 탄소공간지도 등과 연계한 연구를 수행한다면 더욱 의미있는 정책을 도출할 수 있을 것으로 보인다. 현재 시각적 정보만을 제공하고 있는 국토교통부 탄소공간지도 시스템에서 지역별 / 격자

별 탄소배출량 데이터를 제공한다면 탄소중립 달성을 위한 다양한 연구가 이뤄질 수 있을 것이다.

본 연구 결과는 『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법』 제12조에 따른 시·군·구 탄소중립 녹색성장 기본계획 수립 시 건물 부문 계획의 과학적 근거자료로 활용될 것으로 기대한다.

■ 참고문헌 ■

- 2050 탄소중립위원회, 2021, 『탄소중립 학습 자료집』, 서울: 2050 탄소중립위원회.
- 김기중·안영수·이승일, 2017, “소득격차를 고려한 조건에서 건물과 도시계획 요소가 건물에너지 소비에 미치는 영향요인 분석: 서울시 8월 전기사용량을 중심으로,” 『국토계획』, 52(5), pp.253-267. DOI: 10.17208/jkpa.2017.10.52.5.253.
- 김민경, 2020, 『1인가구 에너지 소비 특성과 절감 방안』, (2020-PR-11), 서울: 서울연구원.
- 김용래·김민정, 2017, “국내 가구의 전력소비 수준에 따른 특성 및 결정요인,” 『전기학회논문지』, 66(7), pp.1025-1031. DOI: 10.5370/KIEE.2017.66.7.1025.
- 노승철, 2014, “가구 부문의 에너지 소비 및 이산화탄소 배출구조 분석을 통한 온실가스 감축 방안에 관한 연구,” 『국토연구』, pp.157-183. DOI: 10.15793/kspr.2014.81..010.
- 노승철·이희연, 2013a, “가구 부문의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인 분석,” 『국토계획』, 48(2), pp.295-312. UCI: G704-000338.2013.48.2.021.
- _____, 2013b, “가구 부문의 주거·교통 에너지 소비구조 분석에 관한 연구,” 『지역연구』, 29(2), pp.47-67. UCI: G704-000510.2013.29.2.004.
- 박종문, 2018, “지역 유형에 따른 가구 전력 소비의 영향 요인 비교 연구,” 『한국지역개발학회지』, 30(2), pp.193-219.
- 온실가스종합정보센터, 2022, 『2021년 국가 온실가스 인벤토리 보고서』, 충북: 온실가스종합정보센터.
- 이수진·김기중·이승일, 2019, “건물과 지역요인을 고려한 서울시 건물에너지 소비 실증 분석,” 『Journal of Korea Planning Association-Vol』, 54(5), pp.129-138. DOI: 10.17208/jkpa.2019.10.54.5.129.
- 정재원·이창효·이승일, 2015, “서울시 행정동별 가구의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인의 통합적 분석,” 『국토계획』, 50(8), pp.75-94. DOI: 10.17208/jkpa.2015.12.50.8.75.
- 최성원·김학영·김준, 2015, “탄소발자국 개념의 발전 과정과 농림 부문에서의 활용 전망,” 『한국농림기상학회지』, 17(4), pp.358-383. DOI: 10.5532/kjafm.2015.

17.4.358.

- 통계청, 2022, 『장래가구추계 시도편: 2020~2050년』, 대전: 통계청.
- 통계청, 2023.7.27., “2022년 인구주택총조사 결과<등록센서스 방식>,” 보도자료.
- 한국국토정보공사, 2022, 『도시계획현황 통계정보보고서』, 전북: 한국국토정보공사.
- De Benedetto, L., and J. Klemeš, 2009, “The Environmental Performance Strategy Map an integrated LCA approach to support the strategic decision-making process,” *Journal of Cleaner Production*, 17(10), pp.900-906. DOI: 10.1016/j.jclepro.2009.02.012.
- Ewing, R., and F. Rong, 2008, “The impact of urban form on US residential energy use,” *Housing policy debate*, 19(1), pp.1-30. DOI: 10.1080/10511482.2008.9521624.
- Global Footprint Network, 2009, *Ecological Footprint Standards 2009*. Oakland: Global Footprint Network.
- Hertwich, E. G., and G. P. Peters, 2009, “Carbon footprint of nations a global, trade-linked analysis,” *Environmental science & technology*, 43(16), pp.6414-6420. DOI: 10.1021/es803496a.
- Hu, A. H., C. Y. Huang, C. F. Chen, C. H. Kuo, and C. W. Hsu, 2015, “Assessing carbon footprint in the life cycle of accommodation services The case of an international tourist hotel,” *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 22(4), pp.313-323. DOI: 10.1080/13504509.2015.1049674.
- Jones, C. M., S. M. Wheeler, and D. M. Kammen, 2018, “Carbon footprint planning quantifying local and state mitigation opportunities for 700 California cities,” *Urban Planning*, 3(2), pp.35-51. DOI: 10.17645/up.v3i2.1218.
- Kim, T., and H. Kim, 2013, “Analysis of the effects of intra-urban spatial structures on carbon footprint of residents in Seoul, Korea,” *Habitat International*, 38, pp.192-198. DOI: 10.1016/j.habitatint.2012.06.006.
- Kim, T., and Y. Noh, 2023, “Planning factors affecting carbon footprints of residents: Density, land use, and suburbanization,” *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, DOI: 10.1177/23998083231172990.
- MacKellar, F. L., W. Lutz, C. Prinz, and A. Goujon, 1995, “Population, households, and CO2 emissions,” *Population and Development Review*, pp.849-865. DOI: 10.2307/2137777.
- Monfreda, C., M. Wackernagel, and D. Deumling, 2004, “Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments,” *Land use policy*, 21(3), pp.231-246. DOI: 10.1016/j.landusepol.2003.10.009.

- Norman, J., H. L. MacLean, and C. A. Kennedy, 2006, "Comparing high and low residential density: life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions," *Journal of urban planning and development*, 132(1), pp.10-21. DOI: 10.1061/(asce)0733-9488(2006)132:1(10).
- Ryu, H. C., 2005. Modeling the per capita ecological footprint for Dallas County, Texas: Examining demographic, environmental value, land-use, and spatial influences. Texas A&M University.
- Ryu, N., H. Kim, and P. Kang, 2016, "Evaluating variable selection techniques for multivariate linear regression". *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 42(5), pp.314-326. DOI: 10.7232/jkie.2016.42.5.314.
- Santamouris, M., K. Kapsis, D. Korres, I. Livada, C. Pavlou, and M. N. Assimakopoulos, 2007, "On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector," *Energy and Buildings*, 39(8), pp.893-905. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.11.001.
- Suer, J., F. Ahrenhold, and M. Traverso, 2022, "Carbon footprint and energy transformation analysis of steel produced via a direct reduction plant with an integrated electric melting unit," *Journal of Sustainable Metallurgy*, 8(4), pp.1532-1545. DOI: 10.1007/s40831-022-00585-x.
- Suer, J., M. Traverso, and F. Ahrenhold, 2021, "Carbon footprint of scenarios towards climate-neutral steel according to ISO 14067," *Journal of Cleaner Production*, 318, 128588.
- Wiedmann, T., and J. Minx, 2008, "A definition of 'carbon footprint'," *Ecological Economics Research Trends*. Edited by Hauppauge Pertsova Crsv, vol. 2008, Nova Science Publishers, New York (2008).
- Williams, J., 2007, "Innovative solutions for averting a potential resource crisis—the case of one-person households in England and Wales. Environment," *Development and Sustainability*, 9, pp.325-354. DOI: 10.1007/s10668-006-9068-x.
- Yun, G. Y., and K. Steemers, 2011, "Behavioural, physical and socio-economic factors in household cooling energy consumption," *Applied Energy*, 88(6), pp.2191-2200. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.01.010.
- 에너지온실가스 종합정보 플랫폼, 2023, <https://tips.energy.or.kr/popup/toe.do#>. [2023. 10.25.]
- 온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침, 2023, 환경부고시 제2023-221호.
- 탄소중립포인트 제도 운영에 관한 규정, 2023, 환경부고시 제2023-63호.

김태현: 연세대학교 도시공학과에서 도시공학 박사학위를 취득하고 현재 한국환경연구원 물국토연구본부 환경계획연구실 초빙연구원으로 재직 중이다. 탄소중립, 기후위기 적응, 재난/재해 등에 관한 연구를 수행 중에 있다(kth8629@naver.com).

김태현: 연세대학교 도시공학과에서 도시공학 박사학위를 취득하고 현재 한국환경연구원 물국토연구본부 환경계획연구실 연구위원으로 재직 중이다. 탄소중립 공간계획, 거주자 탄소발자국, 기후위기 재난안전 연구 거버넌스 관련된 연구를 수행 중에 있다(kimth@kei.re.kr).

투 고 일: 2023년 08월 27일
심 사 일: 2023년 08월 30일
게재확정일: 2023년 12월 11일