



# 지역의 탄소중립 전략을 위한 정주 및 생산공간에서의 탄소배출 특성 분석 -경상남도 지역을 대상으로-

## Regional Carbon Emissions Analysis in Settlement and Production Space for Local Government Polices - Focused on Gyeongsangnam Province -

이지민<sup>a†</sup>  
Lee, Jimin

### ABSTRACT

Local governments play a critical role in achieving carbon neutrality and reducing national carbon emissions. To manage carbon emissions effectively, it is essential for local governments to analyze regional carbon emissions. In this study, we developed a model for estimating carbon emissions based on land use and analyzed regional characteristics of carbon emissions to suggest policies for achieving carbon neutrality at the regional level. Our model for calculating carbon emissions is based on an analysis of the activities that contribute to carbon emissions for each land use, and we established the spatial scope of carbon emission calculation. We applied this model to the cities and counties in Gyeongsangnam province, calculating carbon emissions from settlement and agricultural production activities and comparing regional characteristics of carbon emissions. Our analysis showed that areas with larger populations generally produced higher emissions in all categories, but we observed different results in terms of unit emissions, emissions divided by area, population, and household. Based on these findings, we propose policies such as increasing the generation of new and renewable energy using public institutions, promoting the conversion to cleaner cooking and heating energy sources, and encouraging the adoption of eco-friendly automobiles on roads. We believe that our analysis of the spatial and regional characteristics of carbon emissions can help local governments establish effective policies for reducing carbon emissions in their regions.

**Keywords:** Carbon neutrality; local governments; regional carbon emissions; land use; carbon emission reduction polices

### 1. 서론

기후변화 위기에 대응하기 위해 실질적 이산화탄소 배출량이 제로가 되도록 하는 탄소중립은 선택이 아닌 필수로 인식되고 있다. 우리나라는 2020년 12월 ‘2050 탄소중립 추진 전략’ 발표하고 UN에 ‘2050 장기저탄소발전전략’을 제출하였으며, 2021년에는 대통령 직속 ‘2050 탄소중립위원회’ 설치하고 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법)」을 제정하였다.

국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 이러한 제도를 기반으로 한 탄소중립을 위한 국가적 대응뿐 아니라 지자체의 탄소중립 노력이 필수적이다. 탄소중립기본법에서는 탄

소중립과 관련된 지자체의 책임과 역할을 강조하고 있으며, 전국 243개 지자체는 2021 서울 녹색미래 정상회의의 ‘지방정부 탄소 중립 특별세션’에서 ‘2050 탄소중립’ 달성을 선언한 바 있다. 환경부 한국환경공단은 지자체 탄소중립을 위해 ‘지자체 온실가스 배출량 산정지침(Korea Environment Corporation, 2017)’을 발표하였으며, 이는 2019년 11월에 세계자원연구소로부터 국제 인증받은 바 있다. 또한 지자체 단위의 온실가스 관리체계 구축 지원과 우수사례 전파를 통해 비산업부문 감축 활성화를 도모하고 있다. 지자체 탄소중립을 위해서는 지자체별 감축목표 및 이행로드맵을 포함하는 정책수립에 지자체별 온실가스 인벤토리 구축이 필수적이며(Park et al., 2017), 그동안의 배출원 중심 온실가스 감축 전략, 정책, 사업은 ‘지자체 및 공간 단위’ 접근으로 변화되어야 한다고 지적되고 있다(Kang et al., 2021). 특히 지자체 온실가스 인벤토리 구축은 지자체별 배출 현황 파악뿐만 아니라 배출 특성 분석을 통해 효과적인 감축수단 선정과 감축목표를 설정하는 등 그 필요성이 강조되고 있다(Been, 2017).

탄소배출은 인간의 활동에 의해 발생하나, 인간의 활동은 공간기반으로 이루어지며 이는 토지이용에 의해 인간의 활동

<sup>a</sup> Research Professor, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: 02-880-4580

E-mail: [habi1004@snu.ac.kr](mailto:habi1004@snu.ac.kr)

Received: November 8, 2022

Revised: February 9, 2023

Accepted: March 13, 2023

이 제약되므로 공간 및 토지이용을 기반으로 탄소배출량 산정이 필요하다. 토지이용 기반의 온실가스 산정에 관한 연구로는 위성영상을 이용하여 온실가스 배출량을 추정하고자 한 연구들이 존재하였다. Lee and Jang (2009)는 행정구역단위 이산화탄소 배출량 추정을 위한 기초연구에서 고해상도 위성영상과 디지털 지척도를 이용하여 보다 정밀한 토지피복 이용도를 작성하고, 각 토지피복 이용별 배출·흡수계수를 기존 연구와 사례지역 조사를 통해 산출하여 이산화탄소 배출량을 추정하였다. 이러한 방법은 시·군 지역의 하위 행정단위의 탄소배출량의 추정을 가능케 하는 이점을 가진다고 제시하였다. Na et al. (2010)는 시계열 위성영상자료와 RS/GIS 기법을 이용하여 충청북도 청원군 옥산과학산업단지를 대상으로 토지이용 변화에 따른 식생의 이산화탄소 흡착량을 분석한 바 있다. 또한 이산화탄소 흡착량 변화의 공간적 평가와 함께 이산화탄소 저감 방안 모색이 필요함을 지적하였다. Oh (2011)는 농경지 및 산림에서의 온실가스 배출량을 평가하기 위해 기후변화 시나리오를 적용하여 토지이용변화시 토양에서의 온실가스 배출량을 모의한 바 있으며, Lee et al. (2022)는 산림관리를 통한 탄소중립방안을 제시하기 위해 임상, 수종, 영급 등 다양한 속성을 포함한 임상도를 기반으로 산림 수종 및 영급 갱신 등 산림관리 시나리오를 수립하여 확보할 수 있는 미래 탄소흡수량의 변화를 추정한 바 있다. 이러한 공간 및 토지이용별 탄소량 산정을 위해 위성영상을 이용한 연구들은 대체로 넓은 지역에 분포하는 임야나 식생과 관련된 연구로 진행되었다.

이에 반해 지역 탄소배출 관련 연구는 도시지역을 중심으로 진행되었다. Kim et al. (2011)은 ‘도시 패턴과 탄소배출량의 관계분석 연구’에서 도시계획과 관리의 관점에서 탄소저감 방안을 마련하기 위해 에너지사용량 자료와 도시 구성요소를 상호 분석하여 탄소배출이 낮은 유형을 제시하여 향후 도시계획 및 관리를 위한 지침에 활용하고자 하였다. 또한 생활권별 도시형태와 이산화탄소 배출량의 상관분석 결과, 지역별 결과가 다르게 나타나 지역 특성에 기반을 둔 이산화탄소 저감대책이 필요하다고 지적하였다. Kim and Kim (2010)은 정부에서 발표하는 온실가스 배출량에서 부문별 에너지사용량은 시도단위 광역지역으로 제시되어 있어 도시차원에서 이산화탄소 배출량 산정은 어려운 실정이라 지적하며, 경기도 지역을 대상으로 부문별 이산화탄소 배출원단위 도출하고 탄소발생량을 산정하였다. 또한 각 배출원별 민감도 분석을 통해 저탄소도시 개발의 핵심부문을 도출하고 저탄소 도시개발 시나리오를 제시하였다. Nam et al. (2010)은 탄소배출량과 가장 주요한 원인인 에너지 소비와 도시특성을 연결시켜 연구한 바 있으며, 에너지 소비저감을 위해서는 먼저 에너

지가 얼마나 공급되고 어느 분야에 얼마나 소비되는지 실제 파악이 선행되어야 하며 도시별 에너지 소비특성을 반영한 차별화된 정책이 필요하다고 지적하였다. 또한 특별시, 광역시와 시지역을 대상으로 도시특성과 에너지 소비간의 관계를 분석하고 요인분석을 통해 도시유형을 구분하여 유형별 에너지 정책방향을 제시하였다. 이러한 지역의 탄소배출 연구들은 지역에 따라 탄소배출량이 달라지므로 지역 특성에 따른 탄소배출 저감이 필요성을 지적하고 있으며, 주로 도시지역을 대상으로 농촌지역의 특성을 반영하지 못하고 있다.

농촌과 도시는 인구나 농업, 토지이용 측면에서 구분되며, 농업은 농촌과 불가분의 관계를 가진다. 도시와 달리 농촌 공간에서는 인간활동의 정주공간뿐만 아니라 생산공간 또한 중요하다. 농업의 탄소배출량은 국가전체의 2.9% 수준이지만 농촌에서 농업의 탄소배출량은 중요한 비중을 차지한다. 농업에서의 탄소배출량 연구는 토양중심의 연구가 대표적이며, 온실가스 배출모의에는 토양 중 질소와 탄소 순환과정의 생지화학적 모의를 목적으로 개발된 Denitrification-Decomposition (DNDC) 모델이 주로 사용되었다 (Shin et al., 2014; Oh, 2011; Oh et al., 2011). Oh et al. (2011)에서는 물관리방식별 논토양에서의 온실가스 배출량을 DNDC모델로 산정하였으며, 담수심의 깊이에 따라 심수관개시와 최소 담수심 시나리오를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였다. Shin et al. (2014)는 기후변화에 따른 논 온실가스 배출량을 모의하고 온실가스 배출량을 저감하기 위해 강수량과 온도 저감 노력뿐 아니라 비료와 토양특성, 관개방법 모색이 필요하다고 제시하였다. 이러한 연구결과들은 ‘2050 농식품 탄소중립 추진전략 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2021)’에서 농업부문 탄소배출 저감방안으로 제시되고 있다.

기존 연구들을 살펴본 결과, 지역별 배출 특성에 따른 탄소배출 저감이 필요하며 공간적 접근은 토지이용변화에 따른 탄소배출량 분석에 용이함을 알 수 있다. 그러나 기존 연구들은 각 연구목적에 따라 대상을 한정하여 토양에서의 배출량, 임야에서의 배출량을 산정하고 있으며, 지역단위에서는 주로 도시지역을 대상으로 연구된 한계를 가진다.

따라서 본 연구에서는 탄소중립 정책 수립을 위해 농촌의 정주 및 생산공간에서의 탄소배출량을 산정하여 지역별 탄소배출 특성을 분석하고자 한다. 농촌의 공간구성에 따른 탄소배출 범위를 설정하고 탄소발생량을 산정하여 탄소중립 전략 방향을 제시하기 위한 지역별 탄소배출 특성을 분석하고자 한다. 이를 위해 토지이용에 따른 공간의 분류를 살펴보고, 공간기반 농촌의 탄소배출량 모델을 설정하고, 대상지역의 정주 및 농업생산 활동에서의 탄소배출량을 산정하여 지역별 공간별 배출원단위 비교를 통해 탄소배출량의 지역 특성을

살펴보고자 한다. 이러한 지역별 탄소배출 특성은 지역별 탄소배출량 저감정책을 수립하는데 활용될 수 있을 것이다.

## II. 데이터 및 연구방법

### 1. 연구범위

본 연구의 탄소배출량 산정 범위는 국가단위 탄소배출량 산정과 다르게 설정하였다. IPCC 가이드라인에서는 에너지 부문, 산업공정, 농업, 임업 및 기타 토지 이용 (AFOLU), 폐기물로 구성되는데 본 연구에서는 산업공정과 폐기물은 제외하고 AFOLU에서도 농업생산 일부만 포함하였다. 먼저 산업공정과 AFOLU분야는 지자체가 관리권한이 없거나 간접적인 부문 (Korea Environment Corporation, 2017)이기 때문에 본 연구에서 제외하였다. 국가에서 산정하고 있는 직접배출량 기준의 경우, 에너지 생산지에서 배출량이 산정되어 지역별 정책수립에 활용되지 못한다. 또한 산업구조에 의해 지역의 온실가스 배출량과 전기소비에 의한 간접배출량이 큰 차이가 존재한다. 예를 들어 광역 지자체별 비교할 경우 전라남도는 광양제철소, 여천석유화학단지로 인하여 에너지 소비가 큰 지역으로 나타나며, 충청남도는 화력발전소의 전력생산을 위한 온실가스 배출이 많은 특징을 보인다. 이러한 에너지 생산과 산업구조에 의한 탄소배출량은 지역단위에서 대응하기 쉽지 않은 부분으로 (Korea Environment Corporation, 2017) 국가단위에서 관리되어야 할 요소로 판단하여 지역 탄소배출 특성을 비교분석하는 데 제외하였다. 또한 본 연구는 정주생활 및 농축산 생산활동을 중심으로 지역 탄소배출을 살펴봄을 목적으로 하여 폐기물 및 토지전환 및 토지에서의 탄소배출 또한 제외하였다.

### 2. 대상지역 및 데이터

연구 대상지역은 경상남도 시·군 지역으로 선정하였으며, 정주공간과 농업공간을 중심으로 탄소배출량을 산정하기 위해 2020년 기준 데이터를 구축하였다. 정주공간의 탄소배출은 가정, 상업시설과 공공시설에서의 석유 소비와 간접배출인 전력소비를 대상으로 하였으며, 운송에서는 자동차 이동만을 대상으로, 농업공간의 탄소배출은 농업에 사용된 석유 및 전력소비와 논벼 및 가축에 의한 탄소발생량을 대상으로 하였다.

탄소배출량 산정을 위한 데이터로는 통계청 KOSIS 시스템을 이용하여 시군구별 주민등록인구수와 가구수, 지목별 국토이용현황, 농림어업총조사 데이터인 시군구별 논벼 재배면적 및 가축사육 마리수 자료를 이용하였으며, 자동차 이동에

이터는 공공데이터포털의 차량주행거리, 도로길이는 통계청 도로현황에서 전체 개통도로 연장을 이용하였다. 석유 및 전력 소비와 관련해서는 한국전력공사 전력데이터개방포털의 시군구별 계약종별 전력소비량과 한국석유공사 페트로넷의 시군구별 석유소비량 데이터를 사용하였다.

### 3. 탄소배출량 산정

탄소배출량은 2006 IPCC 기반으로 제시된 ‘지자체 온실가스 배출량산정지침 ver.4.1’ (Korea Environment Corporation, 2017)을 기준으로 산정하였다. 온실가스 배출량은 기본적으로 활동자료와 배출계수, 지구온난화지수의 곱으로 산정된다. 정주지 및 생산공간의 배출원 선정에는 지자체 온실가스 배출량산정지침에서 제시한 지역 내에서 발생하는 간접배출 및 흡수원을 고려하였으며, 배출원으로는 석유, 전력, 논벼재배와 축산 가축 장내발효, 분뇨관리를 대상으로 하였다.

석유 사용에 의한 탄소배출량 산정은 2006 IPCC G/L Tier1 산정원칙에 따랐으며, 「에너지법」 시행규칙 별표에 규정된 에너지열량 환산기준과 ‘온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침 (Ministry of Environment, 2021)’의 연료별 국가 고유 발열량 및 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다 (식 1). 석유의 에너지열량 환산계수는 휘발유, 등유, 경유 순발열량 평균을 기준으로 한 0.00003326 (TJ/L), 국가 고유 배출계수는 74,953.33 (kgCO<sub>2</sub>/TJ)를 적용하였다.

$$\begin{aligned} Emissions_f &= Fuel_i \times EC_i \times EF_i \\ Fuel_i &: \text{연료 } i \text{ 사용량 (L)} \\ EC_i &: \text{연료 } i \text{의 에너지열량 환산계수 (TJ/L)} \\ EF_i &: \text{연료 종류 } i \text{의 배출계수 (kgCO}_2\text{/TJ)} \end{aligned} \quad (1)$$

전력에 의한 간접배출량은 전력 사용량에 전력배출계수를 곱하여 산정하였으며 (식 2), ‘온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침 (Ministry of Environment, 2021)’상의 전력배출계수 값 0.459 (kgCO<sub>2</sub>/kWh)를 적용하였다.

$$\begin{aligned} Emissions_e &= Q_i \times EF \\ Q_i &: i \text{ 용도 전력 사용량 (kWh)} \\ EF &: \text{전력 배출계수 (kgCO}_2\text{/kWh)} \end{aligned} \quad (2)$$

도로 수송에 의한 탄소배출량의 경우, 연료사용량이 아닌 시군구별 자동차 종류별 주행거리와 자동차 종류별 평균 온실가스 배출량을 이용하여 산정하였으며, 식 (3)과 같다. 자동차 종류별 평균 온실가스 배출량은 ‘2021 자동차에너지 소비 효율분석집 (Korea Energy Agency, 2021)’의 자료를 사용하였

으며, 그 값은 승용차의 경우 140.5 ( $gCO_2/km$ ), 승합차는 201.9 ( $gCO_2/km$ ), 화물차는 187.8 ( $gCO_2/km$ )과 같다.

$$Emission_{car} = Dist_i \times Em_i$$

$Dist_i$  : 차량종류  $i$  별 주행거리 ( $km$ )  
 $Em_i$  : 차량종류  $i$  별 탄소배출량 ( $kgCO_2/km$ )

(3)

농업부문은 주요 메탄배출원으로 그 중 논벼재배와 축산 가축 장내발효, 분뇨관리에 의한 메탄배출량을 산정하였다. 벼재배 논에서의 메탄 기본 배출계수는 2014년 국가고유 배출계수로 승인받은  $2.32 kgCH_4ha^{-1}day^{-1}$ 를 적용하였으며, 논벼 경작기간은 지자체 온실가스 배출량 산정에서 제시한 138일을 적용하여 연간 논벼 재배 배출계수  $320 kgCH_4ha^{-1}year^{-1}$  값을 사용하였다. 물관리 체계와 유기물사용에 대한 보정계수로는 물관리보정계수는 증감낙수 2주 기준 계수값으로 0.66, 표준 벼질 시용량 ( $6ton/ha$ )를 적용한 유기물보정계수, 2.5 값을 적용하여 벼재배 부문  $CH_4$  배출량을 산정하였다 (식 4).

$$Emissions_{rice} = A \times EF_c \times SF_w \times SF_o \times GWP_{CH_4}$$

$A$ : 재배면적  
 $EF_c$ : 논벼 재배 배출계수  
 $SF_w$ : 물관리 보정계수  
 $SF_o$ : 유기물보정계수  
 $GWP_{CH_4}$ : 메탄의지구온난화지수

(4)

가축 장내발효, 분뇨관리  $CH_4$  배출량은 축종별 메탄 배출계수와 통계청 농림어업총조사 시 군구별 가축사육 마리수를 이용하여 산정하였다. 각 축종별 장내발효배출계수와 분뇨관리배출계수는 IPCC G/L과 농촌진흥청 연구결과를 따른

‘지자체 온실가스 배출량 산정지침 (Korea Environment Corporation, 2017)’에 제시된 값을 이용하였다 (식 5).

$$Emissions_{livestock} = EF_i \times N_i \times GWP_{CH_4}$$

$EF_i$  :  $i$  축종 메탄배출계수  
 $N_i$  :  $i$  축종 사육두수

(5)

### III. 농촌의 공간기반 탄소배출량 모델

본 연구의 탄소배출량 산정 범위는 지역내 공간기능을 고려하여 정주공간과 농업생산공간으로 설정하였다. 농촌공간은 공공기능과 상업기능이 집중된 중심지와 농촌마을내 주거지, 농업생산을 담당하는 농지, 축산 생산에 이용되는 목장이 존재하며, 그 외 많은 공간이 산림으로 이뤄지고 있다. 농촌의 토지이용을 보다 간략하게 구성하면 정주지, 농지 및 축산용지와 같은 생산공간, 공원 및 임야로 구성할 수 있다. 각 토지이용을 용도지역으로 살펴보면 정주지내 주거지는 도시지역의 경우 주거지역, 농촌의 경우 계획관리지역에 해당하며, 상업 토지이용은 도시지역에서 상업용지로 지정되어 있으나 농촌의 경우 세분화되지 않아 계획관리지역에 해당한다. 농지와 축산 생산공간은 농림지역 혹은 생산관리지역에 해당하며, 공원은 녹지지역, 산림은 자연환경보전지역 혹은 보전관리지역으로 볼 수 있다. 지목별로 살펴보면 정주지는 대, 학교용지, 주차장, 도로 등에 해당하며, 농지는 전, 답, 과수원 지목으로 구성되며, 축산 생산공간은 목장용지, 공원은 공원, 산림은 임야에 해당한다 (Table 1).

생산 및 정주 토지이용별 활동주체별 탄소배출을 분석한 결과는 Table 2와 같이 나타났다. 주거지의 경우 가구가 활동주체가 되며 에너지소비에 의한 탄소배출을 살펴볼 수 있으

**Table 1** Relations among land use districts (zoning), land categories, and land use

Land use		Land use district (zoning)	Land category
Settlement space	Residential area	Dwelling district (Program management district)	Building site
	Commercial/public area	Commercial district (Program management district)	Building site, School site, Parking lot
	Road		Road
Production space	Cropland	Agriculture district (Production management district)	Dry paddy-field Paddy-field Orchard
	Livestock land	Agriculture district (Production management district)	Pasture
Green space	Park	Green district	Park
	Forest	Nature conservation district (Conservation management area)	Forestry



**Table 2** Classification of the carbon emissions by land use in this study

Land use		Activity subject	Carbon emissions		Note
			Energy consumption		
Settlement space	Residential area	Households	Household energy consumption		Settlement
	Commercial and public area	Person	Commercial/public energy consumption		
	Road	Transportation (car)	Public energy consumption (street lights)		Movement
	Fuel consumption				
Production space	Cropland	Crops		Rice cultivation	Agriculture & stockbreeding
		Farmer	Agricultural Energy Consumption		
	Livestock land	Farmer			
		Livestock		Intestinal fermentation Manure management	
Green space		Tree			Carbon absorption

며, 상업 및 공공지 탄소배출은 활동주체는 인구이며 주거지와 같이 에너지 소비에 의한 탄소배출이 발생한다. 인구활동을 위한 다양한 교통수단의 탄소배출이 있을 수 있으나 본 연구에서는 도로공간에서의 자동차의 이동에 한정하였다. 정주지는 이와 같이 주거지, 상업 및 공공지, 도로로 구성되며 정주에 의한 탄소배출과 이동에 의한 탄소배출로 구성된다. 농지의 경우에는 농업인의 에너지 소비에 의한 탄소배출과 농작물에 의한 탄소배출로 구분될 수 있으며, 축산의 경우는 농업인의 에너지 소비와 가축에 의한 탄소배출로 구분될 수 있다. 농지와 축산용지에서의 탄소배출을 농축산생산에 의한 탄소배출로 분류하고, 공원과 산림에 해당하는 토지이용은 탄소흡수 지역으로 구분하였다 (Table 2).

#### IV. 연구 결과

##### 1. 지역별 탄소배출량

시군별 토지이용에 따른 공간별 탄소배출량을 산정한 결과는 Table 3과 같으며, 이 결과를 시군별 용도지역도 상에 함께 도시한 결과는 Fig. 1과 같다. 각 시군은 인구와 면적이 달라 단순한 비교는 어렵지만, 창원시, 김해시, 진주시, 양산시의 정주지 탄소배출량이 다른 지역의 탄소배출량에 비해 많은 것을 알 수 있다 (Fig. 1). 이는 시 지역에 도시기능의 중심지가 넓게 분포하며, 군지역에 비해 인구가 많기 때문으로 예상된다. 농지 및 축산용지에 의한 배출량의 경우에는 진주시, 통영시, 창원군이 높게 나타났으며, 도로의 경우 창원시와 김해시

가 다른 지역에 비해 많은 배출 특성을 보였고 군지역에서는 함안군이 높게 나타났다.

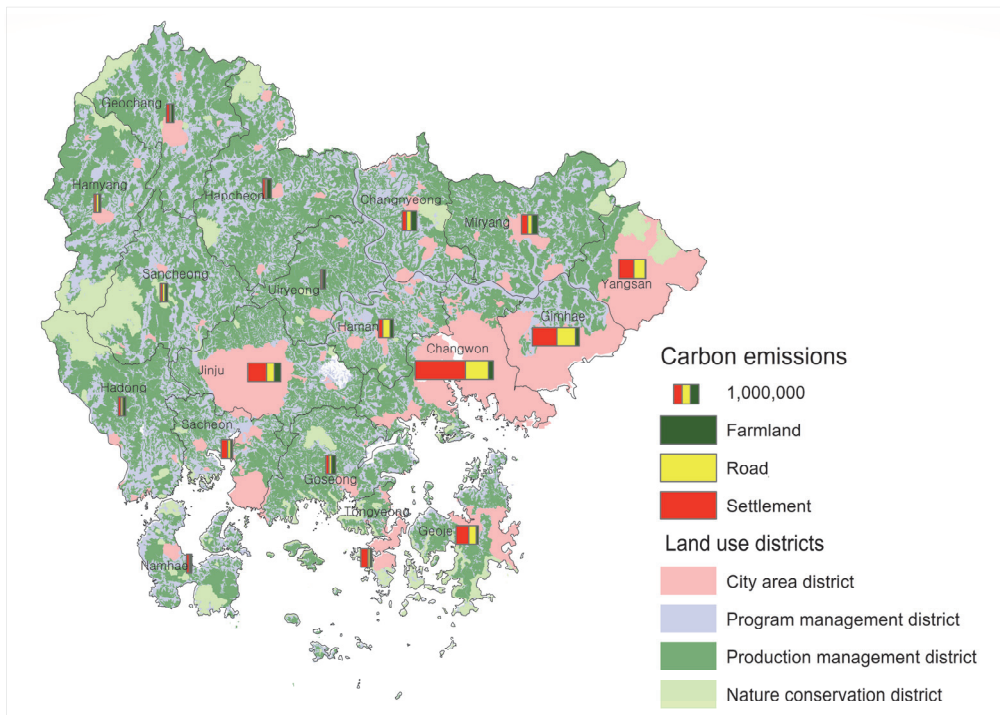
정주지에서 에너지 소비에 의한 탄소배출량은 전력 및 석유 소비에 의한 탄소배출량으로 산정하였다. 전력은 계약용도에 따른 소비량을 기준으로 가로등, 교육용, 농사용, 산업용, 심야용, 일반용, 주택용으로 구분되어 있어 주택용은 주거지, 일반용은 상업지, 교육용은 공공지로 구분하였다. 석유소비량은 산업별 소비량 중 가정, 공공, 상업 소비량을 이용하여 시군별 주거지, 공공지, 상업지의 석유소비에 의한 배출량을 산정하였다 (Table 4). 정주지 에너지 소비에 의한 배출량을 살펴보면, 창원시는 다른 시군보다 인구와 면적이 매우 큰 특징으로 인해, 정주지 전력소비에 의한 배출량이 가장 작은 지역 (의령군) 배출량의 약 40배로 나타났다. 그러나 석유 소비에 의한 배출량에서는 가정용 석유소비에서는 진주시가 더 큰 값을 보였고, 상업용의 경우 김해시가 가장 크게 나타났다. 이에 반해 창원시 공공용 석유소비에 의한 탄소배출량은 다른 용도보다 더 크게 나타나 도시화와 지역 통합에 의한 규모화에 따라 가정용 전력소비가 증가하고 공공용 에너지 소비 또한 증가한 것으로 예상되었다.

도로에서 발생하는 탄소배출량은 자동차 통행거리에 의한 탄소배출량과 가로등 전력 소비량으로 산정하였으며, 결과는 Table 5와 같이 나타났다. 자동차에 의한 탄소배출량에 비해 가로등의 전력 소비에 의한 배출량은 5% 이하로 미비한 수준이며, 자동차 중에서는 승용차에 의한 탄소배출량 비율이 높게 나타났다. 자동차 탄소배출량 중 화물자동차에 의한 탄소배출량은 김해시, 창원시, 함안군 순으로 나타났으며 탄소배

**Table 3** Carbon emissions by region and land use

(unit:  $tonCO_2eq/year$ )

	Settlement space		Production space	Green space (assumption) <sup>1)</sup>
	Residential, commercial and public area	Road (Car)		
Geoje	529,622.59	307,882.20	92,174.37	-194,869.95
Gimhae	1,025,378.98	765,283.79	163,831.48	-162,857.05
Miryang	256,649.00	178,259.33	240,628.68	-357,386.82
Sacheon	266,716.92	125,797.68	83,449.49	-159,061.32
Yangsan	618,234.57	465,962.18	35,857.46	-248,857.66
Jinju	779,028.88	321,773.51	268,692.99	-288,923.49
Changwon	2,089,922.21	953,830.91	203,778.90	-298,189.37
Tongyeong	298,284.18	86,562.97	80,685.39	-107,471.33
Geochang	130,590.10	65,308.08	122,296.94	-421,187.27
Goseong	131,440.37	110,604.04	170,382.65	-233,733.30
Namhae	114,738.60	39,394.22	71,478.85	-165,224.59
Sancheong	89,632.35	107,211.54	114,274.84	-426,166.67
Uiryeong	62,887.99	30,403.95	113,319.49	-228,980.53
Changnyeong	179,109.84	194,424.24	231,892.29	-196,866.69
Hadong	103,002.85	83,480.56	127,800.99	-337,037.38
Haman	172,867.71	304,595.05	138,578.82	-145,752.92
Hamyang	92,723.16	110,649.38	83,402.87	-386,896.07
Hapcheon	109,972.72	68,044.70	184,670.52	-491,348.10



**Fig. 1** Carbon emissions by land use on the land use districts map

1) 도별 탄소흡수량을 지적도 기준 임야 면적으로 나누어서 산정

**Table 4** Carbon emissions from electricity and oil consumption in settlement space

(unit: *tonCO<sub>2</sub>eq/year*)

	Residential area (a)		Public area (b)		Commercial area (c)		Emissions from settlement space (a+b+c)
	Electricity (household)	Oil (household)	Electricity (education)	Oil (public)	Electricity (general)	Oil (commercial)	
Geoje	175,525.93	74,845.82	9,085.43	14,132.86	206,348.12	49,684.44	529,622.60
Gimhae	363,257.27	107,569.82	23,670.18	10,325.37	445,787.83	74,768.52	1,025,378.98
Miryang	67,856.41	70,706.69	6,850.62	668.24	97,296.91	13,270.13	256,649.00
Sacheon	73,707.03	52,584.32	4,896.30	10,208.17	112,287.85	13,033.25	266,716.92
Yangsan	243,937.93	32,783.85	15,413.34	3,460.91	292,452.86	30,185.68	618,234.57
Jinju	245,412.46	130,003.37	34,479.98	4,884.66	318,932.48	45,315.92	779,028.88
Changwon	709,669.14	115,444.13	51,620.38	227,731.55	912,935.10	72,521.92	2,089,922.21
Tongyeong	88,048.85	39,673.24	5,456.07	3,074.42	141,036.78	20,994.83	298,284.18
Geochang	38,263.79	32,576.89	4,243.03	274.28	51,444.55	3,787.55	130,590.10
Goseong	32,649.96	36,942.92	2,714.80	1,418.77	51,225.98	6,487.95	131,440.37
Namhae	24,890.36	28,589.87	2,901.24	2,845.02	47,206.43	8,305.67	114,738.60
Sancheong	19,759.92	29,896.44	1,843.89	683.21	31,641.65	5,807.24	89,632.34
Uiryong	16,085.07	15,686.28	1,604.79	1,658.14	24,485.06	3,368.65	62,887.99
Changnyeong	37,989.09	53,816.08	2,957.88	1,304.07	62,521.65	20,521.07	179,109.84
Hadong	25,266.35	32,150.51	1,881.46	346.59	37,463.42	5,894.51	103,002.85
Haman	41,466.23	28,021.36	2,723.56	705.65	59,028.45	40,922.46	172,867.71
Hamyang	24,003.85	30,223.08	1,950.61	979.93	30,384.32	5,181.38	92,723.16
Hapcheon	25,757.89	37,202.24	2,035.52	167.06	42,451.21	2,358.80	109,972.72

**Table 5** Carbon emissions from road and car traffic

(unit: *tonCO<sub>2</sub>eq/year*)

	Emissions from road	Emissions from car traffic				Emissions from road and car traffic (a+b+c+d)
	Electricity for street light (a)	Passenger car (b)	Bus and van (c)	Freight car (d)	Sum (b+c+d)	
Geoje	6,055.00	213,223.87	4,242.61	84,360.72	301,827.20	307,882.20
Gimhae	23,785.03	509,028.86	12,528.41	219,941.48	741,498.76	765,283.79
Miryang	5,631.82	119,941.26	3,352.91	49,333.34	172,627.51	178,259.33
Sacheon	5,045.11	75,327.22	7,205.46	38,219.89	120,752.57	125,797.68
Yangsan	11,286.46	347,356.17	8,325.97	98,993.59	454,675.72	465,962.18
Jinju	12,552.61	202,255.92	7,317.25	99,647.73	309,220.91	321,773.51
Changwon	34,303.83	703,745.70	12,081.98	203,699.41	919,527.08	953,830.91
Tongyeong	3,997.10	59,118.26	2,567.92	20,879.69	82,565.88	86,562.97
Geochang	2,828.17	39,032.29	1,728.78	21,718.84	62,479.91	65,308.08
Goseong	3,045.82	79,360.75	2,643.98	25,553.50	107,558.22	110,604.04
Namhae	1,822.84	29,366.00	793.46	7,411.92	37,571.38	39,394.22
Sancheong	2,056.86	67,506.90	3,384.15	34,263.63	105,154.68	107,211.54
Uiryong	1,186.62	20,523.41	543.27	8,150.65	29,217.33	30,403.95
Changnyeong	2,950.25	109,753.11	4,198.47	77,522.41	191,473.99	194,424.24
Hadong	2,255.57	54,205.96	2,425.33	24,593.70	81,224.99	83,480.56
Haman	4,902.42	186,169.27	7,193.59	106,329.76	299,692.63	304,595.05
Hamyang	3,043.42	66,612.58	3,871.41	37,121.97	107,605.97	110,649.38
Hapcheon	3,617.25	42,337.76	1,392.96	20,696.74	64,427.45	68,044.70

Table 6 Carbon emissions from farmland and livestock land

(unit:  $tonCO_2eq/year$ )

	Energy consumption		Rice and livestock			Carbon emissions from production space
	Electricity	Oil	Rice cultivation	Intestinal fermentation	Manure management	
Geoje	33,254.27	42,096.88	15,212.74	1,513.87	96.62	92,174.37
Gimhae	78,417.02	17,591.27	37,000.66	29,556.40	1,266.13	163,831.48
Miryang	136,535.37	19,553.62	58,256.35	25,008.80	1,274.54	240,628.68
Sacheon	29,856.82	3,829.94	36,124.7	12,785.05	852.99	83,449.49
Yongsan	21,624.87	1,319.03	8,726.26	3,734.54	452.75	35,857.46
Jinju	167,437.99	32,095.66	52,778.88	15,519.74	860.73	268,692.99
Changwon	87,085.21	60,358.89	42,777.50	12,580.38	976.92	203,778.90
Tongyeong	41,848.69	34,439.50	3,415.10	950.291	31.81	80,685.39
Geocheon	41,345.89	10,557.26	48,155.18	21,306.12	932.50	122,296.94
Goseong	70,510.14	26,263.48	55,451.09	17,017.31	1,140.63	170,382.65
Namhae	28,247.22	8,031.40	23,883.55	11,028.03	288.66	71,478.85
Sancheong	52,758.32	16,334.58	32,709.6	11,401.32	1,071.02	114,274.84
Uiryeong	44,954.72	12,811.33	36,124.7	18,376.39	1,052.34	113,319.49
Changnyeong	118,444.35	20,541.02	66,738.67	24,624.64	1,543.60	231,892.29
Hadong	50,474.18	14,556.75	44,352.00	17,564.50	853.56	127,800.99
Haman	57,470.41	10,081.01	53,477.42	16,162.89	1,387.09	138,578.82
Hamyang	33,406.36	5,243.72	33,851.66	10,439.21	461.92	83,402.87
Hapcheon	64,031.10	16,082.74	71,983.30	31,628.27	945.12	184,670.52

출량에서 차지하는 비율을 비교했을 때 시 지역보다는 군지역이 높게 나타났다. 버스승합차에 의한 탄소배출량은 김해시가 가장 크고 창원시, 양산시, 진주시 순으로 나타났으나 비율에서는 사천시와 가장 높게 나타나 공항, 고속도로와 같은 교통인프라에 의해 차종별 통행량 특성이 지역별로 다를 수 있음을 확인할 수 있었다.

농지와 축산용지에서의 탄소배출량에서 농축산 에너지 소비에 의한 탄소배출량은 농사용 전력과 농림수산업 석유사용량을 기준으로 산정하였으며, 농산물과 축산물에 의한 탄소배출량은 가축에 의한 장내발효와 분뇨관리에 의한 메탄배출량과 논벼 재배에 의한 메탄배출량을 산정하였다. 메탄배출에 의한 탄소배출량은 이산화탄소를 1로 기준으로 할 경우 메탄의 지구온난화지수는 21이므로, 메탄배출량에 21을 곱하여 계산하였다. 농지와 축산용지에서의 탄소배출량은 진주시, 밀양시, 창녕군, 창원시 순으로 많은 것으로 나타나 (Table 6) 경상남도 내 시 지역에서도 농축산에 의한 산업이 활발한 것을 알 수 있었다. 분야별로는 농사용 전력과 석유 에너지 사용에서는 진주시, 밀양시, 창원시와 같이 시 지역이 군지역보다 크게 나타났으며, 논벼와 가축에 의한 탄소발생량은 논벼 재배면적과 사육 가축두수에 비례하는 값으로 합천군, 창녕군, 밀양시가 높은 배출값을 보였다.

## 2. 지역별 단위 배출량 비교

탄소배출량은 지역별 인구수, 가구수, 면적에 비례하여 증가하므로 지역별 정주와 농업생산에 의한 탄소배출 특성을 비교하기 위해 면적당, 가구당, 1인당 배출량을 산정하였다. 즉, 시군별 전력과 에너지 소비에 의한 배출량을 면적, 가구, 인구에 대한 단위 배출량을 비교하였다.

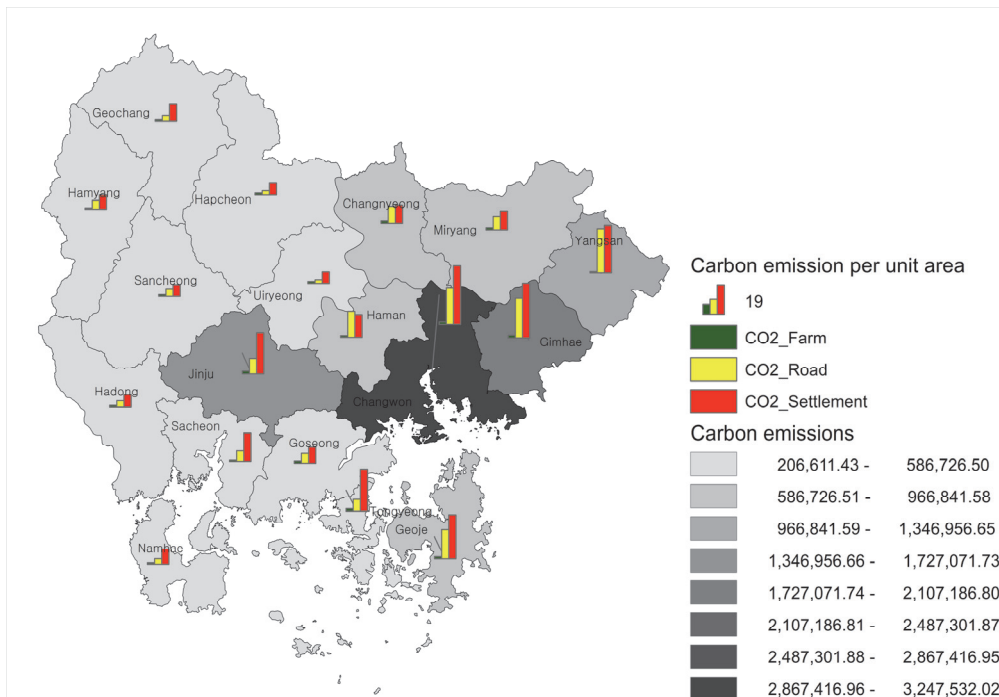
먼저 단위 면적당 배출량은 공간별 배출량과 지적도에서 해당 공간의 면적을 적용하여 산정하였다. 주거, 상업, 공공에 해당하는 정주지는 지적공부상 대지, 학교용지, 주차장으로 설정하였으며, 농업 및 축산은 전, 답, 과수원 및 목장용지로 설정하여 계산하였다. 도로의 경우는 지적 현황에서 도로에 해당하는 면적을 이용하였다.

지역별 지목에 의한 정주지, 도로, 농업면적을 살펴보면, 창원시의 정주지 면적은 김해시의 정주지 면적의 1.89배이고 가장 작은 면적을 가진 의령군의 6.37배에 해당한다. 이는 지역간 전체 면적의 비보다도 높게 나타난 것으로 창원시의 정주지 기능이 다른 지역에 비해 크고 도시화된 지역임을 알 수 있다. 도로 면적과 농지의 경우 정주지 면적에 비해 지역별 차이가 적은 것으로 나타났으며, 전체 면적에 대한 도로의 비율은 2.5% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 시 지역 농지면적의 비율이 군지역 농지면적 비율과 크게 차이가 나



**Table 7** Areas and carbon emissions per area by land use

	Area (㎡)				Unit emissions per area (kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )			
	Total	Settlement space	Road	Production space	Settlement space	Road	Production space <sup>2)</sup>	Production space <sup>3)</sup>
Geoje	403,816,655	18,450,610	16,241,660	64,031,559	28.70	18.96	1.18	1.440
Gimhae	463,444,879	28,915,698	29,925,989	92,617,571	35.46	25.57	1.04	1.769
Miryang	798,645,310	20,773,926	21,196,576	166,657,648	12.35	8.41	0.94	1.444
Sacheon	398,698,355	14,466,388	18,625,315	88,437,154	18.44	6.75	0.38	0.944
Yangsan	485,625,161	19,976,875	16,176,700	45,149,000	30.95	28.80	0.51	0.794
Jinju	712,833,187	28,875,877	31,595,825	147,764,906	26.98	10.18	1.35	1.818
Changwon	748,063,124	54,696,550	39,371,121	124,716,336	38.21	24.23	1.18	1.634
Tongyeong	239,879,349	10,896,960	11,231,389	48,169,055	27.37	7.71	1.58	1.675
Geochang	803,382,847	11,472,028	18,978,135	126,376,564	11.38	3.44	0.41	0.968
Goseong	517,946,361	12,716,945	17,435,134	112,877,654	10.34	6.34	0.86	1.509
Namhae	357,544,626	11,516,548	11,040,898	77,547,223	9.96	3.57	0.47	0.922
Sancheong	794,635,248	11,619,132	20,617,662	100,529,831	7.71	5.20	0.69	1.137
Uiryeong	482,903,280	8,573,636	12,613,750	90,264,717	7.34	2.41	0.64	1.255
Changnyeong	532,738,909	14,854,060	17,355,920	148,451,550	12.06	11.20	0.94	1.562
Hadong	675,248,450	12,169,807	19,992,848	112,187,749	8.46	4.18	0.58	1.139
Haman	416,603,157	11,691,585	17,910,704	118,693,660	14.79	17.01	0.57	1.168
Hamyang	725,504,538	10,142,670	19,196,617	105,824,379	9.14	5.76	0.37	0.788
Hapcheon	983,039,734	13,575,107	24,939,601	151,045,175	8.10	2.73	0.53	1.223

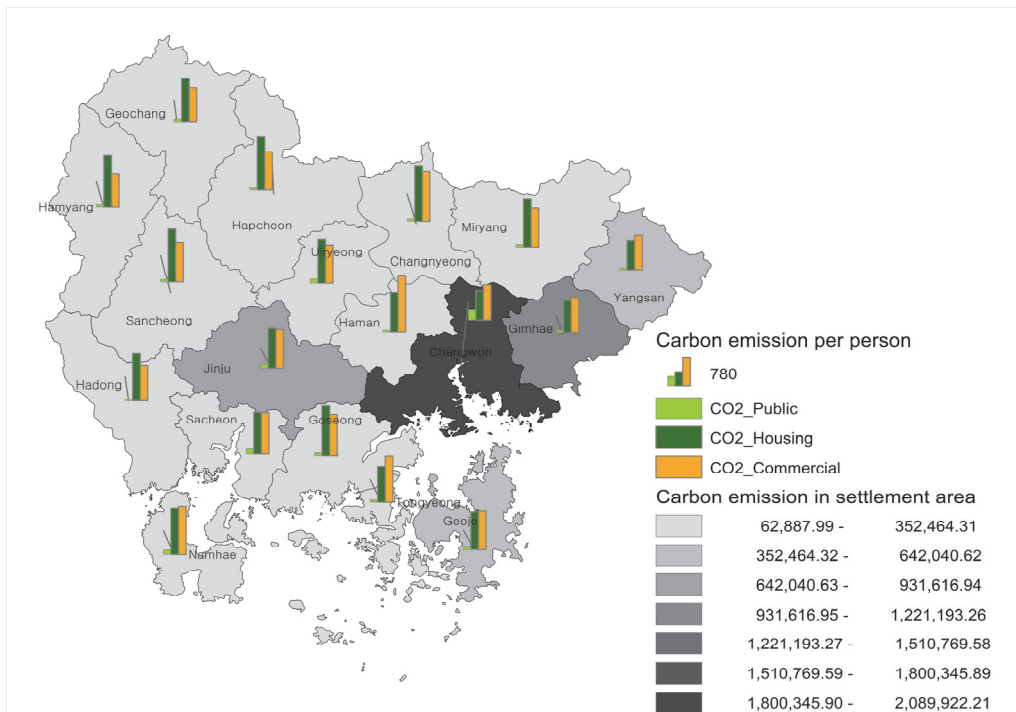


**Fig. 2** Carbon emissions per area

- 2) 농업 에너지 소비에 의한 배출량을 농지 및 목장용지 면적으로 나눈 값
- 3) 농업 에너지 소비+논벼 및 가축 메탄 배출량을 포함한 배출량을 농지 및 목장용지 면적으로 나눈 값

**Table 8** Carbon emissions per person, household or road length in settlement space

	Population	Households	Length of road (m)	Unit carbon emissions per person, household or road length				
				Residential area <sup>4)</sup>	Residential area <sup>5)</sup>	Public area	Commercial area	Road
				(kg CO <sub>2</sub> /household)	(kg CO <sub>2</sub> /person)	(kg CO <sub>2</sub> /per son)	(kg CO <sub>2</sub> /per son)	(kg CO <sub>2</sub> /m)
Geoje	245,754	95,837	564,977	2,612	1,019	94	1,042	544.95
Gimhae	542,338	207,272	806,562	2,272	868	63	960	948.82
Miryang	104,831	45,948	655,313	3,016	1,322	72	1,055	272.02
Sacheon	111,105	46,540	598,559	2,714	1,137	136	1,128	210.17
Yangsan	352,229	138,629	742,938	1,996	786	54	916	627.19
Jinju	348,096	146,660	915,172	2,560	1,078	113	1,046	351.60
Changwon	1,036,738	409,688	1,805,171	2,014	796	269	951	528.39
Tongyeong	128,293	53,758	657,045	2,376	996	66	1,263	131.75
Geochang	61,502	25,874	406,734	2,738	1,152	73	898	160.57
Goseong	51,361	22,039	491,266	3,158	1,355	80	1,124	225.14
Namhae	42,958	19,501	299,047	2,742	1,245	134	1,292	131.73
Sancheong	34,857	15,611	466,280	3,181	1,425	72	1,074	229.93
Uiryeong	26,800	12,321	386,517	2,579	1,185	122	1,039	78.66
Changnyeong	61,301	26,908	517,391	3,412	1,498	70	1,355	375.78
Hadong	44,785	19,435	523,383	2,954	1,282	50	968	159.50
Haman	64,182	26,634	417,160	2,609	1,083	53	1,557	730.16
Hamyang	39,080	17,361	428,846	3,123	1,388	75	910	258.02
Hapcheon	44,006	20,139	518,280	3,126	1,431	50	1,018	131.29



**Fig. 3** Carbon emissions per person in settlement space

- 4) 주거지 에너지 소비(전력+석유)에 의한 탄소배출량을 가구수로 나눈 값
- 5) 주거지 에너지 소비(전력+석유)에 의한 탄소배출량을 인구수로 나눈 값

지 않는 특성을 보였다. 단위 면적별 배출량을 살펴보면 (Table 7, Fig. 2), 정주지 단위 배출량은 창원시, 김해시, 양산시 순으로 나타났으며 가장 큰 값을 가진 창원시는 가장 작은 단위 배출량을 보인 의령군에 비해 5배 이상의 값을 나타내었다. 도로에 대한 면적단위배출량의 경우 양산시, 김해시, 창원시 순으로 정주지에서 가장 높은 단위 배출량을 보인 지역과 동일하게 나타났으며 합천군의 도로에 의한 단위 배출량은 다른 지역에 비해 매우 작게 나타났다. 이는 합천군의 면적이 넓어 도로면적 또한 넓으나 통행량이 많지 않기 때문으로 예상된다.

지역의 면적뿐 아니라 활동주체인 가구와 인구수에 의해서도 탄소배출량이 변화하므로 주거의 경우에는 가구수, 공공과 상업 공간의 배출량은 인구수, 도로 배출량은 도로길이로 나누어 단위 배출량을 비교하였다. 정주지 공간별 단위 배출량 결과는 Table 8과 같이 나타났으며, Fig. 3과 같이 시각화하였다. 비교 결과, 주거지 에너지 소비에 의한 탄소 단위배출량은 양산시, 창원시 지역이 가구당 배출량과 인구당 배출량 모두에서 가장 낮게 나타나 도시지역의 경우 인구와 가구수가 많아 전체 배출량 규모는 크지만 집적효과로 인하여 단위 배출량은 적게 나타난 것으로 보인다. 이에 반해 창원군, 산청군, 고성군 지역이 가구당 배출량이 가장 큰 것으로 나타났다.

공공용 에너지 소비에서의 단위배출량은 창원시가 가장 큰 값을 보였고 하동군과 합천군이 가장 작은 값을 나타냈는데, 창원시의 단위배출량이 가장 작은 지역의 5배 이상, 두 번째로 큰 값을 보인 사천시의 약 2배 정도로 나타나 도시 규모가 커짐에 따라 도시 관리에 쓰이는 공공에너지 소비가 증가함을 예상할 수 있었다.

상업지 탄소 단위배출량은 함안군, 창녕군, 남해군 통영시 순으로 배출량이 큰 것으로 나타났으며 각 지역의 주거지 단위배출량과 유사한 수치를 보였다. 그러나 통영시와 함안군이 주거지 단위 배출량 대비 상업지 단위 배출량이 큰 것으로 나타났으며 함양군과 합천군은 주거지 단위 배출량 대비 상업지 단위 배출량이 매우 작은 지역으로 나타났다.

도로의 단위거리당 탄소배출량은 지역별로 매우 큰 편차를 보였다. 도로연장은 시 지역이 군지역보다 더 길게 나타났으나 단위배출량에서는 군지역에서 시 지역보다 큰 값을 보이는 지역들이 존재하여 지역별 통행량 특성에 의한 결과로 판단되었다. 도로의 단위거리당 탄소배출량은 김해시, 함안군, 양산시, 거제시 순으로 크게 나타났다.

면적으로 나눈 탄소단위 배출량에서는 공간 분류에서는 정주지에서 가장 큰 값들을 보였다. 특히 정주지와 도로에서의 단위 배출량은 창원시, 김해시, 양산시, 거제시로 나타났으며 이들 도시화된 지역에서는 정주지 탄소배출 감소를 위한 제

로에너지빌딩 도입, 공공시설 옥상을 이용한 태양광 보급과 같은 신재생에너지 활용, 대중교통 활성화를 통한 자동차 주행거리 감소시키는 대응방안을 고려할 수 있을 것이다. 인구와 가수로 나눈 단위배출량에서 정주지 기능별로 비교한 결과에서는 주거의 경우 창녕군, 합천군, 산청군, 함양군, 고성군이 높은 단위 배출량을 보였는데, 이는 이들 지역의 가정용 석유소비가 크기 때문이다. 가정에서의 에너지원이 석유소비에서 도시가스와 열에너지로 대체되어 왔으나 농촌지역에서는 이러한 에너지원 전환이 더디게 이루어지고 있으므로 가정 취난방 에너지원 전환을 통한 탄소배출 감소 정책을 고려할 수 있을 것이다.

도로길이로 나눈 도로에서의 단위배출량은 군 지역 중 함안군과 창녕군이 큰 값을 보였는데, 이들 지역의 차종별 통행량은 화물차 통행량 비율이 35% 이상으로 높게 나타났다. 화물차량의 경우 지역 내 이동이라고 보기는 어렵기 때문에 지역 정책으로 감소방안을 마련하기는 어렵지만 탄소배출저감 장치나, 친환경 자동차 보급 정책 등 기술 발전과 더불어 탄소배출 감소를 기대할 수 있는 부분이라 생각된다.

## V. 결론

탄소배출량 감축을 위한 지자체 정책을 수립하기 위해서는 지역 탄소배출량 산정과 지역별 탄소배출 특성 분석이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 정주 및 농업생산 활동과 토지이용을 기반으로 탄소발생량을 산정하고 지역별 배출 특성을 분석하여 탄소중립을 위한 지역별 전략을 수립하는 방안을 제시하고자 하였다.

먼저 공간 기반 농촌의 탄소배출량 산정을 위해 농촌 공간을 토지이용을 중심으로 크게 정주지, 생산지, 녹지로 구분하였으며, 정주지는 주거지, 공공 및 상업지, 도로, 생산지는 농지와 축산용지, 녹지는 산림과 공원으로 구성하였다. 또한 각 토지이용별 탄소배출 주체 및 활동을 설정하여 탄소배출량 산정범위를 정하였다.

경상남도 시군을 대상으로 정주 및 농업생산 활동에서의 탄소배출량을 산정하였다. 그 결과, 대부분의 토지이용에서 시 지역이 높은 배출량을 보였다. 이는 시 지역에 상업기능을 포함한 중심지가 넓게 분포하며 인구가 많고 대지가 넓게 분포하기 때문이다. 특히 마산시, 진해시, 창원시가 통합된 창원시는 정주지에 해당하는 대지 및 도로면적이 가장 넓게 나타났으며, 공공용지에 의한 배출이 큰 특성을 보였다.

지역별 공간별 배출원단위 비교를 위해 각 지역의 인구수, 가구수, 면적을 적용한 단위 탄소배출량을 비교하였다. 면적으로 나눈 단위배출량에서는 창원시, 양산시, 김해시와 같은

도시지역이 정주지 배출량에서 높은 수치를 보였으나 인구 및 가구수로 나눈 단위배출량에서는 창녕군, 함양군, 남해군, 산청군이 높게 나타났다. 탄소중립을 위해 도시지역의 경우 제로에너지 기술 등 에너지 사용저감정책과 공공기관건물을 활용한 신재생에너지 발전 등이 적용될 수 있을 것이며, 군지역의 경우 가정용석유 소비량을 줄이는 취사난방에너지원 전환을 위한 정책이 고려될 수 있을 것이다. 도로 단위배출량에서는 면적 기준으로 양산시, 김해시, 창원시, 거제시 순으로 높게 나타났으며 도로길이 기준에서는 김해시, 함안군, 양산시, 거제시, 창원시 순으로 큰 값을 보였다. 도시화된 지역의 경우에는 승용차 통행량 감소를 위한 대중교통정책들을 활용할 수 있을 것이며, 함안군과 같이 화물차 통행이 많은 지역은 지역정책보다는 친환경 자동차 보급과 같은 정부정책으로 개선될 수 있을 것이다.

본 연구는 공간구성에 따른 탄소배출 구조를 설정하고 공간에 따른 지역별 배출 특성을 분석한 데 의의가 있으며, 이러한 분석 방법은 지역별 탄소배출량 저감정책을 수립하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구의 한계로는 지역 내 폐기물과 토지이동을 다루지 못하고 도시가스 및 열에너지 소비자료를 확보하지 못하여 연구 범위에 포함하지 못한 점과 지목 단위 토지이용이 실제 토지이용과 차이를 보일 수 있다는 점이다.

## 감사의 글

본 연구는 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2022R1A2C1004302).

## REFERENCES

- 2050 Carbon Neutrality Commission, 2021. 2030 National Greenhouse Gas Reduction Target (NDC) Upgrade Plan (in Korean).
- Been, E., 2017. A comparative study on Greenhouse Gas Emissions between those of Central Government and Provincial Government. Master's thesis, University of Seoul (in Korean).
- Electric Power Data Open Portal, Korea Electric Power Corporation, <https://bigdata.kepco.co.kr>, accessed August 24, 2022.
- Kang, H., J. Park, E. Lim, Y. Ahn, M. Jo, E. Yoon, Y. Lee, J. Park, and N. Hong, 2021. Greenhouse gas reduction strategy for local governments and space units. Land Issue Report 51. (in Korean).
- Kim, H., and J. Kim, 2010. Calculating carbon dioxide emissions in the city and key sectors for low-carbon city. *Journal of Korea Planning Association* 45(1): 35-48. (in Korean).
- Kim, I., K. Oh, and S. Jung, 2011. Carbon emission model development using urban planning criteria - Focusing on the case of Seoul. *Journal of Korea spatial information society* 19(6): 11-18. (in Korean).
- Korea Energy Agency, 2021. 2021 Automotive Energy Consumption Efficiency Analysis, Ulsan (in Korean).
- Korea Environment Corporation, 2017. Guidelines for local Government Greenhouse Gas Inventories (Ver.4.1), Incheon (in Korean).
- Korean Statistical Information Service (KOSIS), Statistics Korea, <https://kosis.kr/>, accessed 16 Aug. 2022.
- Lee, D.-H., H.-Y. Choe, J.-Y. Kim, Y.-K. Cheong, and S.-H. Kil, 2022. Carbon neutrality potentials in local governments under different forest management - The Study Case of Paju and Goseong -. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 25(3), 17-28. doi: 10.13087/KOSERT.2022.25.3.17. (in Korean).
- Lee, I., and E. Jang, 2009. Basic Research for Estimating CO<sub>2</sub> Emissions in Administrative Regions, Chungnam Institute, Gongju (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2021. 2050 Agri-food carbon neutral promotion strategy, Sejong, Korea (in Korean).
- Ministry of Environment, 2021. Guidelines for Reporting and Certification of Emissions from the Greenhouse Gas Emissions Trading System, Sejong, Korea (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020. Road Pavement Rate (City/City/County/Gu), [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1YL20721&conn\\_path=I3](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1YL20721&conn_path=I3). accessed 30 Aug. 2022.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 「Statistics of Cadastral Land」, 2020. State of Land Use by Administrative District and Land Category\_Si, Gun, and Gu, [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=116&tblId=DT\\_MLTM\\_2300&conn\\_path=I3](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=116&tblId=DT_MLTM_2300&conn_path=I3). accessed 30 Aug. 2022.
- Ministry of Public Administration and Security, 「Resident Registration Population Status」, 2020. number of population by administrative district (si/gun/gu), [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1B040A3&conn\\_path=I3](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B040A3&conn_path=I3). accessed 30 Aug. 2022.



17. Na, S., J. Park, and J. Park, 2010. Estimation of carbon absorption distribution by land use changes using RS/GIS method in green land. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* 52(3): 39-45. doi: 10.5389/KSAE.2010.52.3.039. (in Korean).
18. Nam, K., B. Choi, and M. Won, 2010. A study on the energy policy guidelines for Korean cities based on energy consumption characteristics. *Journal of Korea Planning Association* 45(1): 237-250. (in Korean).
19. Oh, Y-G., 2011. An assessment of green house gas emissions in cropland and forest considering land-use change affected by climate change. Ph.D. diss., Seoul National University (in Korean).
20. Oh, Y-G., J-Y. Choi, S-H. Yoo, T-S. Lee, and N. Park, 2011. Estimation of GHG emissions by flooding water depth in a rice paddy soil using DNDC. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*: 462, Korea Water Resources Association (in Korean).
21. Park, J., H. Kim, K. Song, and S. Yi, 2017. A study on greenhouse gas emissions characteristics of local government for the achievement of the national reduction goal. *Journal of Climate Change Research* 8(3): 247-255. doi: 10.15531/ksccr.2017.8.3.247. (in Korean).
22. Petronet, Korea National Oil Corporation, <https://www.petro.net.co.kr>. Accessed 30 Aug. 2022.
23. Public Data Portal, <https://www.data.go.kr>, Accessed August 16, 2022.
24. Shin, M-H., J-R. Jang, C-H. Won, D-H. Kum, Y-H. Jung, S-I. Lee, K-J. Lim, and J-D. Choi, 2014. Simulation of GHG emission from paddy field using DNDC model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(2): 47-57. doi: 10.5389/KSAE.2014.56.2.047. (in Korean).
25. Statistics Korea, 「Agricultural Area Survey」, 2020. paddy rice cultivation area by city and county, [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1ET0033&conn\\_path=I3](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0033&conn_path=I3). accessed 30 Aug. 2022.
26. Statistics Korea, 「Census of Agriculture, Forestry and Fisheries」, 2020. number of livestock breeding farms and livestock, [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1AG20501&conn\\_path=I3](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1AG20501&conn_path=I3). Accessed 30 Aug. 2022.