

저탄소 녹색도시 구현을 위한 탄소배출영향요인 분석

- 경기도 탄소배출량을 중심으로

An Analysis of Factors, Influencing Carbon Emissions to Realize a Low-carbon Green City

- A Case Study based on the Carbon Emissions of Gyeonggi-Do Province

유윤진* · 김도년** · 손세형***

*성균관대학교 U-City 공학과 박사과정 / **성균관대학교 건축학과 · U-City 공학과 교수 /

***성균관대학교 건축학과 교수

Ryu, Yoon-Jin* · Kim, Do-Nyun** · Sohn, Sae-Hyung***

●●● 국문요약

기후변화의 원인 중 탄소배출이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타나고 있으며 탄소배출 감소의 필요성이 전 세계적으로 제기되고 탄소배출을 저감하기 위한 국제적 움직임이 가속화되고 있다. 본 연구는 저탄소 녹색도시 구현을 위해 경기도 31개 시·군을 대상으로 탄소 배출량과 오염원을 조사하여 회귀분석을 통해 전체 탄소배출에 영향을 미치는 요인을 도출하였다. 탄소 발생은 첫째, 자동차 등 도로교통에 의한 오염원이 탄소배출에 가장 큰 영향을 미치고 있으며 둘째, 가스, 전기 등 도시 생활에 의한 오염원과 셋째, 폐기물 처리, 제조업 등 산업에 의한 오염원이 전체 탄소 배출에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이를 저감하기 위해서는 정보 인프라를 기반으로 탄소저감 생활 서비스, 통합 에너지 관리 시스템 등 IT 기술을 활용한 도시 생활 서비스가 필요하며 주민이 실천할 수 있는 실천방안(Action Plan) 등 제도적 기반이 필요하다.

●●● Abstract

Since carbon emissions are recognized as a biggest contribution to climate changes, the needs and efforts to reduce carbon emissions are emphasized internationally. To realize a low-carbon green city, this study investigated the amount of CO₂ emissions and pollution sources on 31 cities and counties in Gyeonggi-do Province, and induced effects of the whole carbon dioxide discharge through the regression analysis. Carbon generation is caused, firstly, by the pollution source like vehicles - the major source of carbon emissions; secondly, by the city living energies such as gas, electricity, etc; and lastly, by industries like waste treatment, manufacturers and so on. To reduce carbon production, city living services, such as low-carbon living services and integrated energy management systems, should be proposed and institutionalized as action plans for citizens through Information Technologies and infrastructures.

주제어 : 저탄소 녹색도시, 경기도 탄소, 탄소배출량, 회귀분석, 오염원

Keywords : Low Carbon Green City, Gyeonggi-do Carbon, Carbon Emissions, Regression Analysis, Pollution Sources

본 연구는 국토교통부 첨단도시연구개발사업의 연구비지원(11첨단도시G04)에 의해 수행되었습니다. 또한 이 논문은 국토교통부의 u-City 석박사 과정 지원사업으로 지원되었습니다.

Corresponding Author : Sohn, Sae-Hyung, Dept.of Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon, Gyeonggi-Do, Korea, Tel : +10-9551-9551, E-mail : sohn6969@gmail.com

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

코펜하겐 세계기후변화협약(‘09.12.29)에서 논의된 녹색성장의 문제는 국가의 이해득실을 초월해 인류의 생존과 직결되어 화두되고 있으며 자동차 등 이동오염원에서 배출되는 이산화탄소 및 대기오염물질이 기후변화 및 인체건강에 미치는 영향이 범지구적인 문제로 대두되면서 이를 줄이려는 노력이 다각도로 이루어지고 있다¹⁾. 또한 기후정상회담(Copenhagen Climate Summit for Mayors)에서는 기후 변화 대응을 위해 ‘도시’의 역할이 중요하다고 강조하고 있으며 전 세계적으로 에너지의 60%~80%를 도시에서 소비하고 절반 이상이 탄소를 배출하고 있다고 설명하였다. 이러한 기후변화는 2009년말~2010년초 북반구에서 기록적인 폭설과 한파 발생, 남반구에서는 폭우가 쏟아지는 등 전 세계적으로 기상이변이 급속하게 증가하였으며 한국도 기상기변의 피해가 급속도로 늘어나고 있는 추세이다. 이러한 기상이변은 대기 중 온실가스 증가에 의해 발생하는 것으로 지난 2009년말~2010년초에 나타난 기상이변은 극단기후현상의 전형적인 사례라고 할 수 있다²⁾.

기후이변, 기후변화에서 탄소성분은 최근 들어 대기질 및 기후변화와 관련된 주요 원인 물질로 알려지면서 수많은 연구가 수행되고 있다. 탄소성분은 직·간접적으로 빛을 흡수 또는 산란시킴으로써 기후변화에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다³⁾. 기후변화의 원인이 온실가스⁴⁾로 지적하고 있지만, 대기오염은 지역적 오염물질(Local pollutants)이며 그 피해가 단기적이고 직접적인데 비해 온실가스는 지구적 오염물질(Global pollutants)이며 그 피해가 장기적이고 간접적이라는 것이다⁵⁾.

대기오염물질의 주요 배출원인 산업, 가정 및 상업, 수송의 에너지 부문은 온실가스인 이산화탄소와 공통의 배출원을 갖고 있다. 따라서, 에너지 사용 배출원에서의 온실가스 저감대책은 대기오염물질 저감과도 연계된다⁶⁾. 결국 이를 통해 기존의 전통적 대기오염물질 배출량 조사에 덧붙여 온실가스 관리는 통합적으로 관리하는 것이 효율적이며 이미 선진국에서는 대기오염통계 또는 대기오염물질과 온실가스를 통합적으로 다루고 있으며 온실가스를 포함하여 연계하는 방안을 마련하고 있다⁷⁾.

따라서 본 연구에서는 도시로의 인구집중, 자동차 보급대수의 증가 및 에너지 소모량 증가로 인해 대기질이 점차 악화⁸⁾되고 있는 문제점을 바탕으로 경기도 전체 시·군을 대상으로 전체 대기질에서의 탄소량을 통해 기후변화에 영향을 미치는 오염원을 도출하고 저탄소 녹색도시 구현을 위한 방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

1.2.1. 연구의 방법

본 연구는 경기도 전체 31개 시·군을 대상으로 탄소배출에 가장 영향을 미치는 오염원을 도출하고 저탄소 녹색도시 구현시 오염원에 대한 저감 방안을 제시하는 데 목적을 둔다. 이를 위해서는 첫째, 이론적 고찰에서 저탄소 녹색도시의 개념 및 정의, 저탄소 녹색

1) 이태우 2010, “실제 도로상의 배출가스 측정을 이용한 자동차의 이산화탄소 및 대기오염물질배출계수 산정방법 연구”, 인하대학교 박사학위논문, p.2.

2) 하광우 2011, “광역상수도 탄소배출특성 및 저감방안”, 충북대학교 석사학위논문, p.2.

3) 정원삼 2011, “광주지역의 대기질 특성에 관한 연구”, 조선대학교 박사학위논문, p.2.

4) 기후변화 홍보포털사이트, www.gihoo.or.kr

5) 한국환경정책평가연구원 2009, “국내 대기오염규제의 온실가스 저감효과 제고방안”, p.3.

6) 환경부 2003, “기후변화대응 환경부분 종합 계획”, p.106.

7) 대한민국 국회 2003, “수도권대기환경개선대책 사업평가”, p.71.

8) 환경부 2009, 환경백서,

도시 현황, 선행연구 고찰을 실시하여 연구의 방향 및 기존 연구와의 차별성을 제시하고 둘째, 경기도 전체 31개 시·군의 탄소배출량을 통계 연보를 통해 지역별 탄소배출에 대해 조사하였다. 셋째, 국립환경과학원에서 제공하는 탄소배출에 영향을 미치는 오염원 8가지 항목⁹⁾에 대해 오염원당 발생하는 탄소량을 조사¹⁰⁾하였으며 회귀분석을 실시하여 전체 경기도에서 탄소배출에 영향을 미치는 오염 요인을 도출하였다.

1.2.2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 경기도 전체 31개 시·군¹¹⁾을 대상으로 탄소배출량과 탄소 배출에 영향을 미치는 오염원을 8개 항목으로 구분하여 조사를 실시하였다. 시간적 범위는 2009년 통계연보 및 국립환경과학원의 대기오염물질 배출량에 대한 측정데이터를 활용하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. 저탄소 녹색도시 개념 및 정의

저탄소 녹색도시에 대한 정의는 명확하게 구분되어 있지 않으며 정부기관 또는 연구자별로 각기 다르게 정의 및 개념을 정립하여 설명하고 있다.

정부기관별로 환경부(2010)에서는 저탄소 녹색도시를 “도시인프라와 생활양식을 저탄소형으로 개편하여 온실가스와 환경오염을 줄이고 신성장동력과 일자리 창출하여 녹색성장을 견인하는 도시”로 정의하고 있다. 국토해양부(2012)는 “저탄소”와 “녹색도시”의 합성어로 정의하여 “저탄소란 화석연료에 대한 의존도를 낮추고 청정에너지의 사용 및 보급을 확대하며 녹색기술의 적용 및 탄소흡수원 확충 등을 통하여 온실가스를 적정수준 이하로 줄이는 것”이라고 설명하여 “녹색도시란 압축형 도시공간구조, 복합토지이용, 대중교통 중심의 교통체계, 신재생에너지 활용 및 물자원순환구조 등의 환경오염과 온실가스 배출을 최소화한 녹색성장의 요소들을 갖춘 도시”라고 설명하고 있다. 녹색성장위원회에서는 “저탄소”와 “녹색성장”의 정의를 통해 녹색도시를 설명하고 있으며 저탄소와 녹색성장을 추구하는 도시로 정의하고 있다.

연구자별로는 이은엽(2009)은 “저탄소 녹색도시 정책동향과 경기도 적용 방안 연구”에서 한국형 녹색도시를 도시를 저탄소형으로 개편하여 환경오염과 온실가스를 최소화시키면서 녹색일 자리를 창출하는 녹색성장을 견인하는 도시로 정의하고 있다. 최정은(2011)은 “도시 신진대사 관점에서 본 저탄소 녹색도시 계획특성 및 사례 분석연구”에서 1차적으로 도시 자체의 화석에너지 의존도를 낮추고 2차적으로 화석에너지(최소량)의 사용으로 인한 탄소를 자연적 요소, 재생에너지 이용 등을 통해 상쇄시키는 도시를 의미한다고 하였다. 권용우(2010)는 “해의 저탄소 녹색수변도시”연구에서 온실가스 배출에 따른 지구의 기후변화 문제에 적극적으로 대응하기 위하여 탄소 완화를 위해 가능한 발생하는 탄소를 저감시키고 발생하는 탄소를 최대한 흡수하고자 하는 개념의 도시로 정의하고 있다.

9) 8개 오염원 : 도로이동오염원, 비산업 연소 오염원, 비도로이동오염원, 생산공정에 따른 오염원, 에너지산업연소에 따른 오염원, 제조업 연료 오염원, 폐기물 오염원, 기타

10) 국립환경과학원 대기오염물질 배출량 참고(www.airmiss.nier.go.kr)

11) 수원시, 성남시, 안양시, 부천시, 광명시, 평택시, 안산시, 과천시, 오산시, 시흥시, 군포시, 의왕시, 하남시, 용인시, 이천시, 안성시, 김포시, 화성시, 광주시, 여주군, 양평군, 의정부시, 동두천시, 고양시, 구리시, 남양주시, 파주시, 양주시, 포천시, 연천군, 가평군

〈표 1〉 녹색도시 개념 및 정의

구분		개념 및 정의
정부기관	환경부	· 도시인프라와 생활양식을 저탄소형으로 개편하여 온실가스와 환경오염을 줄이고 신성장동력과 일자리 창출하여 녹색성장을 견인하는 도시
	국토해양부	· ‘저탄소’와 ‘녹색도시’의 합성어로 정의 · (저탄소) 화석연료에 대한 의존도를 낮추고 청정에너지의 사용 및 보급을 확대하며 녹색기술의 적용 및 탄소흡수원 확충 등을 통하여 온실가스를 적정수준 이하로 줄이는 것 · (녹색도시) 압축형 도시공간구조, 복합토지이용, 대중교통 중심의 교통체계, 신재생에너지 활용 및 물자순환구조 등의 환경오염과 온실가스 배출을 최소화한 녹색성장의 요소들을 갖춘 도시
	녹색성장위원회	· 저탄소와 녹색성장의 합성어로 저탄소와 녹색성장을 추구하는 도시 · (저탄소) 녹색성장기본법 제2조 1항에서 정의 · (녹색성장) 녹색성장기본법 제2조 2항에서는 에너지 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 새로운 성장동력을 확보하여 새로운 일자리를 창출해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장
연구자별	이은엽(2009)	· 한국형 녹색도시는 도시를 저탄소형으로 개편하여 환경오염과 온실가스를 최소화 시키면서 녹색일 자리를 창출하는 녹색성장을 견인하는 도시
	최정은(2011)	· 1차적으로 도시 자체의 화석에너지 의존도를 낮추고 2차적으로 화석에너지(최소량)의 사용으로 인한 탄소를 자연적 요소, 재생에너지 이용 등을 통해 상쇄시키는 도시
	권용우(2010)	· 온실가스 배출에 따른 지구의 기후변화 문제에 적극적으로 대응하기 위하여 탄소완화를 위해 가능한 발생하는 탄소를 저감시키고 발생하는 탄소를 최대한 흡수하고자 하는 개념의 도시

2.2. 저탄소 녹색도시 현황

저탄소 녹색도시는 녹색성장위원회의 생생도시, 환경부의 기후변화 대응 시범도시, 그린시티, 에코시티, 행안부·농림식품부·환경부·산림청의 저탄소 녹색마을로 4개의 도시 단위 사업과 1개의 마을단위 사업으로 구분된다. 녹색성장위원회의 생생도시는 국내여건과 특성에 맞는 저탄소 녹색도시 모델을 발굴하는 것으로 Energy, Commuting, Oasis, Recycle, Industry 등 7개 분야에 대해 저탄소 녹색도시 방안을 제시하였다. 환경부의 기후변화 대응 시범도시는 각 지자체별 온실가스 감축 목표 및 주요 테마를 설정하여 정부 기관과 협력사업을 하는 것으로 온실가스 감축을 위한 지자체의 기후변화 대응 실천전략 및 참여를 위한 사업이다. 그린시티는 지자체가 자발적으로 환경관리 역량을 제고하고 친환경 지방행정을 활성화하는 것으로 그린시티로 선정되면 지자체의 포상금, 환경예산 우선 지원 등 친환경 도시를 위해 실질적으로 지자체에 경제적 지원을 해주는 사업이다. 에코시티의 경우 낙후지역을 대상으로 환경보전 정책의 틀을 유지하면서 지역발전을 꾀하는 것으로 주민참여를 통해 친환경 도시를 실현하고 있다. 마을 단위의 행안부 저탄소 녹색마을은 농업 환경에 적합한 탄소저감 방안을 제시하는 것으로 바이오매스, 폐자원 활용 등에 대한 대안을 제시하고 지자체 시범사업을 실시하여 탄소저감 마을을 실현하고 있다.

〈표 2〉 저탄소 녹색도시 현황

구분		추진부처	주요 내용
도시	생생도시	대통령직속 녹색성장 위원회	· 국내여건과 특성에 맞는 도시모델의 발굴과 지원이 필요하며 자 치단체의 우수한 녹색성장 정책과 사례를 발굴하고 전국으로 확 산 추진 · Energy, Commuting, Oasis 등 7개 분야를 통한 녹색도시 구현 방안 제시
	기후변화 대응 시범도시	환경부	· 온실가스 감축을 위한 지자체의 기후변화 대응에 대한 관심 제고 · 각 지자체별 온실가스 감축목표, 주요 테마 등 실행방안 제시
	그린시티		· 지자체의 자발적인 환경관리역량 제고 및 친환경 지방 활성화 · 그린시티로 선정된 지자체는 각종 인센티브를 통해 사업을 추진
	에코시티		· 낙후된 지역을 대상으로 환경보전 정책의 틀을 유지하면서 지역 발전을 꾀함.
마을	저탄소 녹색마을	행안부, 농림식품부, 환경부, 산림청	· 폐자원 및 바이오매스 등 국가 신재생에너지 보급목표를 달성과 동시에 녹색뉴딜사업과 신성장동력사업으로 추진 · 시범도시를 통해 폐자원 활용, 바이오 매스 등 효율적 활용방안 등 대안 모색

2.3. 선행연구 고찰

염인섭(2011)은 사례연구와 전문가 설문을 통해 친환경 토지이용, 생태공간, 에너지 효율, 녹색교통에 대한 계획 기법이 필요하다고 하였으며 윤성식(2011)은 기존 저탄소 녹색 도시 계획 방안에 대한 연구 결과를 통해 신재생에너지를 활용한 녹색단지 및 건축 계획 요소가 중요한 방안이라고 하였다. 박상준(2011)은 저탄소 도시재생 기법을 적용하여 탄소 중립을 조성할 수 있는 방안을 모색하였으며 에너지 최적화 기술을 적용하여 저탄소 재생 기법의 계획요소를 재생사업지구에 적용하여 공간별로 유형화하는 것을 제시하였다. 이재준(2011)은 지방자치단체의 저탄소 녹색도시 정책방향을 도출하고 경기도 화성시에 적용가능한 저탄소 녹색도시 기법을 도출하였다. 녹색마을 조성 등의 녹색기반사업, 생활형 자전거 등 녹색교통, 친환경 로컬푸드 등 녹색 생활 사업에 대한 15개 정책이 필요한 것으로 나타났다.

이렇듯, 각 연구에서는 탄소발생 원인인 오염원에 대한 고려 없이 기존의 연구에 나타난 탄소저감 도시계획 요소를 분석하여 저탄소 녹색도시 계획 방안을 제시하고 있는 한계점이 공통적으로 나타났다. 뿐만 아니라 대기질과 탄소발생에 대한 연구는 미흡한 실정이며 연관성에 대해서도 나타나지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 전체 탄소배출량에서 어느 부분 또는 분야에서 탄소가 가장 많이 발생하는지 주요 오염원 도출을 통해 도시적 차원에서 저탄소 녹색도시 실현을 위한 저감 방안을 제시하고자 한다.

3. 저탄소 녹색도시 분석

3.1. 분석의 틀

경기도 전체 31개 시·군을 대상으로 전체 탄소배출량과 탄소배출 오염원을 분석하여 실질적으로 탄소배출에 영향을 미치는 요인을 도출하고자 한다. 전체 경기도 탄소배출량은 경기도 녹색에너지정책과에서 제공하는 경기도 탄소배출량을 참고하였으며 오염원은 국립환경과학원의 2009년 대기오염물질 배출량 참고하였다. 오염원은 국립환경과학원에서 분류한 총 8개 분야로 나누어 분야별로 탄소 배출에 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

〈표 3〉 탄소배출 오염원 구분

구분 (PS) 12)	분류	
	대분류	소분류
PS	도로이동오염원	승용차, 택시, 승합차, 버스, 화물차, 이륜차, RV, 화물차, 특수차
PS2	비산업 연소	상업 및 공공기관시설, 주거용 시설, 농업·축산·수산업 시설
PS3	비도로 이동 오염원	철도, 농업기계, 건설장비
PS4	생산공정	식음료 가공, 기타 제조업, 무기화학제품 제조업, 목재, 펄프 제조업, 제·철강산업
PS5	에너지 산업 연소	지역난방시설(보일러, 가스터빈 등), 공공발전시설, 민간발전시설(보일러), 석유정제 시설(공정로, 보일러 등)
PS6	제조업 연소	화합물 및 화학제품 제조업, 비금속광물제품 제조업, 음식료제품제조업, 가구 및 기타 제품 제조업, 공정로, 펄프, 종이 및 종이 제조업, 1차 금속산업, 고무 및 플라스틱 제조업, 광업, 봉제의복 및 모피제품 제조업, 의료, 정밀 광학기기 및 시계 제조업
PS7	폐기물 처리	사업장폐기물, 생활폐기물, 매립
PS8	기타 면 오염원	산불 및 화재(일반화재, 산불)

출처 : 국립환경과학원 대기오염물질배출량(2009)

3.2. 탄소 배출에 영향을 미치는 오염원 분석

3.2.1. 경기도 탄소 배출량 분석

경기도 31개 시·군을 대상으로 탄소 배출량을 조사한 결과 가장 많은 탄소가 배출되는 지역은 용인시이며 그 다음으로 성남시, 부천시로 나타났다. 탄소가 가장 적게 배출되는 지역은 여주군이며 그다음으로 동두천시, 양평군이 나타났다.

탄소발생이 많은 용인시의 경우 화학, 섬유, 기계, 식품 등의 생산업체가 많으며 반도체 산업 등 2,000여개의 기업체가 입주해 있는 지역적 산업 특성을 가진다. 성남시의 경우 성남산업단지에 조립, 금속, 섬유, 식품 등 총 45개의 업체가 입주해 있으며 농업비율은 2%에도 미치지 못하고 있다. 탄소발생이 적은 여주시의 경우 전국 평균을 웃도는 경지면적과 전자, 화학, 산업기계, 건축재료 등 약 250여개의 제조업체가 있는 지역의 산업적 특성을 가진다¹³⁾.

12) PS : Pollution Sources

13) 네이버 백과사전, 경기도 산업

〈표 4〉 경기도 탄소배출량 (CO₂ ton)

NO	지역	CO ₂ 배출량	NO	지역	CO ₂ 배출량
1	수원시	2,184	17	김포시	1,642
2	성남시	6,047	18	화성시	2,262
3	안양시	2,183	19	광주시	2,715
4	부천시	2,638	20	여주군	773
5	광명시	1,868	21	양평군	977
6	평택시	1,519	22	의정부시	1,266
7	안산시	1,842	23	동두천시	853
8	과천시	1,321	24	고양시	1,357
9	오산시	1,383	25	구리시	1,517
10	시흥시	2,184	26	남양주시	1,882
11	군포시	1,431	27	파주시	1,578
12	의왕시	1,237	28	양주시	1,875
13	하남시	1,592	29	포천시	1,364
14	용인시	6,240	30	연천군	1,034
15	이천시	1,859	31	가평군	1,264
16	안성시	1,330			

출처 : 국립환경과학원 대기오염물질배출량(2009)

3.2.2. 부분별 탄소 배출 오염원 분석

지역별 오염원이 탄소배출에 가장 영향을 미치는 요인을 도출하기 위해 다중회귀분석¹⁴⁾을 실시하였으며 도로이동오염원에 의해 가장 많은 탄소가 배출되는 지역은 성남시이며 그다음으로는 부천시로 나타났다. 비산업 연소에 의해 가장 많은 탄소가 배출되는 지역은 대기업 생산공장이 밀집해 있는 파주시이며 그다음으로는 고양시로 나타났다. 비도로 이동 오염원에 의한 탄소는 김포시가 가장 많이 나타났으며 생산공정에 의한 탄소는 생산공장이 밀집해 있는 여주시가 가장 많은 탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 에너지산업연소에 의한 탄소는 고양시, 제조업 연소의 경우 공장이 밀집해 있는 안산시가 가장 많이 탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 폐기물의 경우 도시화가 가장 활발하게 나타나고 인구수가 가장 많은 수원시가 가장 많은 탄소를 배출하는 것으로 나타났다.

14) $Y_i = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i$ 여기서 Y_i 는 종속변수를, X_i 는 독립변수를 나타내며 ϵ_i 는 오류를, α 는 상수항으로 절편을, β 는 추정되어야 할 모수 즉 기울기를 나타낸다.

〈표 5〉 지역별 오염원별 탄소 배출량

구분	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7	PS8
1 수원시	5369345	506043	190957	139	36641	7882	90915	93384
2 성남시	9299055	428613	996469	162	1046517	3374	88198	88477
3 안양시	5775490	224543	266114	226	477511	46498	27465	64833
4 부천시	8763958	301357	234915	220	547403	20187	51305	65278
5 광명시	3120933	148592	95843	36	0	13100	39907	27510
6 평택시	4666629	383899	916515	507	778470	112109	20802	100075
7 안산시	3515941	119767	105287	2089	289131	621303	34979	100224
8 과천시	685907	65470	69212	16	0	229	12483	6974
9 오산시	1627687	59585	144019	25	26975	16440	6290	18439
10 시흥시	4256971	185735	432567	551	27813	170268	51397	76134
11 군포시	2168278	47608	293896	158	0	12796	15185	28402
12 의왕시	1190082	81417	75648	23	0	1165	0	18799
13 하남시	1338235	156030	216204	176	0	16994	1071	30586
14 용인시	8108145	363639	806988	198	42462	34779	53176	66669
15 이천시	3214332	291859	340998	3845	65337	20642	43797	40572
16 안성시	3203249	238725	379323	446	0	22784	10506	55763
17 김포시	2892555	229293	1383873	435	0	8938	249	42082
18 화성시	5150554	321373	866485	940	681325	77502	2970	91153
19 광주시	3273276	187708	361137	902	0	12125	3018	50707
20 여주시	1778668	282424	211905	83885	0	134254	1562	39291
21 양평군	1195432	320159	286286	0	0	1001	7354	35821
22 의정부시	4091848	268512	72569	74	0	4519	27392	28848
23 동두천시	1098957	201647	130357	1	0	8829	5082	16060
24 고양시	8550580	555149	1193849	344	1157202	8299	41330	92045
25 구리시	2054651	130051	54450	31	0	3826	36662	24387
26 남양주시	4727971	428844	1119840	293	0	9206	37	52973
27 파주시	3764406	566164	1068886	516	0	41834	19980	58761
28 양주시	2262846	245841	295583	138	0	184443	10467	42787
29 포천시	2603217	479760	225527	529	0	74343	9232	66927
30 연천군	741272	328548	112389	3	0	7962	406	24325
31 가평군	926144	245949	234145	6	0	3210	0	21703

출처 : 국립환경과학원 대기오염물질배출량(2009)

전체 경기도 탄소 배출량에 따라 가장 많은 영향을 미치는 오염원을 분석하기 위해 통계적으로 유의한 회귀분석을 실시하였으며 통계적 유의성 검증 절차를 3가지 방법으로 실시하였다. 첫 번째로 모형의 유의성을 검증하기 위해 t-test¹⁵⁾를 실시하였으며 두 번째로 모형의 자동상관 검증(Durbin-Watson)¹⁶⁾을 실시하였다. 세 번째로 다중공선성 검증(Tolerance/VIF)¹⁷⁾을 실시하여 통계적으로 유의한 최적 모형을 결정하였다.

회귀분석을 위해 요소간 공통성이 있는 요인을 통합하여 분석을 실시하였다. 이는 변수들간의 잠재요인(latent factor)이 있어 개별 변수들을 설명하고 있음을 통계적으로 도출하고자 하였다. PS1, PS3은 도로에서 발생하는 오염원으로 ‘도로교통에 의한 오염원’으로

15) t 절대값이 1.96값 보다 크면 계수값은 의미가 있는 것으로 판단

16) Durbin-Watson 값이 1.5~2.5이내 값을 가지면 자동상관이 없는 것으로 판단

17) 0.1이상, 100이하의 값을 가지면 다중 공선성이 없는 것으로 판단하였으며 R²이 1에 가까울수록 좋은 것으로 판단

명명하였으며 PS2, PS5는 도시 용도별로 보일러, 가스 등 도시 생활에 의해 발생하는 오염으로 ‘도시 생활에 의한 오염원’으로 명명하였다. PS4, PS7은 산업 생산으로 인해 발생하는 오염으로 ‘산업에 의한 오염원’으로 명명하였으며 기타 산불, 화재에 의한 오염원은 ‘기타’로 명명하였다.

〈표 6〉 오염원 재분류

최종 분류	오염원
Factor1. 도로교통에 의한 오염원	PS1. 도로이동오염원
	PS3. 비도로 이동 오염원
Factor2. 도시 생활에 의한 오염원	PS2. 비산업연소
	PS5. 에너지 산업 연소
Factor3. 산업에 의한 오염원	PS4. 생산공정
	PS7. 폐기물 처리
Factor4. 기타	PS8. 기타 면 오염원

회귀분석 결과 t 절대값이 1.96보다 크게 나타났으며 Durbin-Watson은 1.68로 나타나 자동상관은 무시할 수 있는 것으로 분석되었다. 공차한계(Tolerance)는 0.1이상, 분산팽창 계수(VIF) 값은 10 이하로 다중공선성은 없는 것으로 나타났다. R²는 표준화된 회귀식의 적합도 값으로 .824로 82%의 설명력을 가지는 것으로 나타나 본 연구에서 도출된 오염원 간 탄소배출량 영향 회귀식은 통계적으로 유의한 것으로 판단할 수 있다.

〈표 7〉 오염원별 탄소배출 영향 회귀식

R	R ²	Adjusted R Square	Durbin-Watson
.908	.824	.486	1.681

Model	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t	Collinearity Statistics	
	B	Beta		Tolerance	VIF
(Constant)	1780.78		3.44		
도로교통에 의한 오염원	930.367	.293,16	3.17	.328	3.045
도시생활에 의한 오염원	494.923	.310,5218	2.57	.293	3.417
산업에 의한 오염원	406.468	.185,452	2.19	.821	1.219
기타	-.003	.058	.26	.391	2.554

In (Carbon Emissions) regression equation

$$\begin{aligned}
 &= 1780.78 + 930.36(\text{도로교통에 의한 오염원}) + 494.92(\text{도시생활에 의한 오염}) \\
 &\quad (3.17) \qquad\qquad\qquad (2.57) \\
 &+ 406.46(\text{산업에 의한 오염}) - \text{기타} \\
 &\quad (2.19) \qquad\qquad\qquad (.26)
 \end{aligned}$$

분석결과 도로교통에 의한 오염원이 전체 경기도 탄소 배출에 가장 큰 영향 요소로 나타났으며 이동성이 있는 자동차, 철도 등이 주요 오염원으로 분석된다. 그 다음으로는 도시 생활에 의한 오염원이 나타났으며 상업 및 주거 등에서 사용되는 난방, 가스, 전기 등 에너지 사용으로 탄소가 많이 배출되는 것으로 판단된다. 산업에 의한 오염원은 생산 공장 등에서 배출되는 탄소를 비이동성 오염원으로 판단된다. 반면 산불, 화재로 인한 오염원은 전체 경기도 탄소 배출량에 영향을 크게 미치지 않는 것으로 나타났으며 이는 빈번하게 나타나는 발생원이 아니라 전체 탄소배출량에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 기후변화에 대응하는 저탄소 녹색도시 구현을 위해 온실가스를 저감해야 한다는 이슈를 바탕으로 대기오염물질 배출량에서 탄소 오염원을 분석하여 탄소배출에 가장 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

그 결과 자동차 등 도로교통에 의한 오염원에서 가장 많은 탄소가 배출되는 것으로 나타났으며 그다음으로 주거 및 상업시설에서의 난방, 가스 등 도시 생활에 의한 오염원이 탄소배출에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 산업 제조업, 폐기물 처리 등 산업에 의한 오염원이 탄소배출에 영향을 미치는 것으로 나타났으나 산불 및 화재에 대해서는 탄소배출에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 탄소배출에 영향을 주는 오염원을 대상으로 다음과 같은 저탄소녹색도시 방안을 모색할 수 있다.

첫째, 도로교통에 의한 탄소 배출량을 저감하기 위해 대중교통 이용 활성이 중요하며 이를 위해서는 시민으로 하여금 대중교통 이용에 대한 정보를 쉽게 알릴 수 있는 방안이 필요하다. 이는 모바일폰, 웹기반으로 정보통신 인프라와 연계되어 손쉽게 대중교통 정보를 이용 및 활용할 수 있도록 하여 대중교통 이용을 활성화 시킨다. 또한, 친환경 저탄소 대중교통 개발로 대중적인 교통수단에서부터 탄소 저감을 실천하는 것이 필요하다. 둘째, 저탄소 녹색도시를 위해 난방, 가스, 전기 등 에너지 사용 절약이 중요하며 신재생에너지를 적극 활용하여 탄소배출을 저감하고 시민으로 하여금 탄소저감에 대한 인식을 고조화하기 위해 라이프스타일에 맞는 탄소저감 실천 제도 및 서비스가 필요하다. 셋째, 탄소배출을 제한할 경우 산업경제에 영향을 초래할 수 있으므로 신재생에너지를 활용한 산업 육성이 필요하며 탄소상쇄제도 및 인증·인센티브 제도로 저탄소 기업체에 혜택을 주는 정책적인 제도 기반이 중요하고 산업체의 탄소배출을 실시간으로 관리 및 운영할 수 있는 통합 시스템이 필요하다. 마지막으로 지속가능한 저탄소 녹색도시 관리를 위해서는 정부-지자체-주민간의 거버넌스 체계가 필요하다. 도시에서 배출되는 탄소를 실시간으로 유관 기관과 연계하여 관리 및 운영하고 주민과 지자체, 정부와 지속적인 커뮤니케이션을 통해 적극적인 탄소 저감을 위한 생활형 실천 계획이 필요하다. 정부 및 지자체는 실질적으로 탄소 저감을 할 수 있는 Action Plan을 지역 주민과 함께 수립하여 실현 가능한 저탄소 생활 실천 계획을 수립하고, 첨단 IT 기술을 통해 탄소를 저감할 수 있는 시스템 개발과 지역간 또는 가구 간 연계가 필요하다.

본 연구는 실질적으로 탄소 배출에 영향을 미치는 원인을 실데이터를 통해 도출함으로써 향후 저탄소 녹색도시 구현 시 고려되어야 하는 오염원을 사전에 파악할 수 있는 분석을 실시하였다. 하지만 연구의 방법 및 범위의 제약으로 인해 다음 사항과 같은 연구의 한계점이 있다. 첫째, 분석방법으로 회귀분석을 시도하였으나 복잡한 영향관계를 명확히

도출하기 위해 구조방정식(SEM : Structural Equation Modeling)을 도입한 연구가 필요하다. 둘째, 본 연구는 경기도만을 대상으로 하였으나 전국을 대상으로 지역별로 탄소 배출에 영향을 미치는 요소를 찾아 지역별 적합한 탄소저감 전략을 세우는 것이 필요하다.

참고문헌

1. 국토해양부 2011, “저탄소 녹색성장기본법”.
2. 국토해양부 2012, 『저탄소녹색도시조성을 위한도시계획수립지침』, 국토해양부.
3. 권용우·왕광익·유선철 2010, “해외 저탄소 녹색수변도시”, 『대한지리학회지』, 제45권, 제1호, 통권 136호, pp.1-10.
4. 대한민국 국회 2003, “수도권대기환경개선대책 사업평가”, 국회자료집, p.71.
5. 박상준 2011, “저탄소 녹색도시를 위한 도시공간의 재설계에 관한 연구”, 청주대학교 대학원 석사학위논문.
6. 염인섭 2011, “기후변화 대응 저탄소 녹색도시 계획체계 평가모형 개발 및 적용”, 충남대학교 대학원 박사학위논문.
7. 윤성식 2011, “저탄소 녹색도시 계획요소에 관한 연구”, 대구대학교 대학원 석사학위논문.
8. 이은엽 2009, “저탄소 녹색도시 정책동향과 경기도 적용 방안”, 『GYEONGGI RESEARCH INSTITUTE CEO REPORT』, NO.13, p.3.
9. 이재준·이원호·김도영 2011, “지방자치단체의 저탄소 녹색도시 정책방향 설정에 관한 연구”, 『국토지리학회지』, 제45권, 제2호, pp.295-308.
10. 이태우 2010, “실제 도로상의 배출가스 측정을 이용한 자동차의 이산화탄소 및 대기 오염물질배출계수 산정방법 연구”, 인하대학교 대학원 박사학위논문.
11. 정원삼 2011, “광주지역의 대기질 특성에 관한 연구”, 조선대학교 대학원 박사학위논문.
12. 최정은·김정곤·오덕성 2011, “도시 신진대사 관점에서 본 저탄소 녹색도시 계획특성 및 사례 분석”, 『한국생태환경건축학회 논문집』, 11권, 5호, 통권 51, pp.3-12.
13. 하광우 2011, “광역상수도 탄소배출특성 및 저감방안”, 충북대학교 대학원 석사학위논문.
14. 한국환경정책평가연구원 2009, “국내 대기오염규제의 온실가스 저감효과 제고방안”, 연구보고서, p.3.
15. 환경부 2003, “기후변화대응 환경부분 종합 계획”, p.106.
16. 환경부 2009, 『환경백서』, 환경부.
17. 환경부 2010, 『저탄소녹색도시 조성 가이드라인 및 평가지표 연구』, 환경부.
18. <http://terms.naver.com/>(2012.03.30).
19. www.gihoo.or.kr(2013.01.20).
20. www.airmoss.nier.go.kr(2012.11.18).

투고 2013.01.15

1차심사완료일 2013.02.02

게재확정일자 2013.03.26

최종본접수 2013.04.15