

온실가스 배출량과 배출원의 상관관계로 본 탄소중립도시 여건

박종훈
건축공간연구원 부연구위원

김혜인
건축공간연구원 연구원

기성도시와 탄소중립의 중요성

21세기에 들어서면서 기후변화는 인류가 직면한 가장 시급한 문제로 부상하였다. 과학자들은 지구온난화의 주요 원인으로 인간 활동에서 발생하는 온실가스, 특히 이산화탄소(CO₂) 배출을 지목하고 있으며, 이로 인해 전 세계적으로 폭염·홍수·가뭄과 같은 극심한 기상이변이 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 현상들은 인류의 생존과 번영을 심각하게 위협하고 있다.

이러한 상황에서 기후변화의 영향을 완화하고 미래 세대를 보호하기 위한 필수적인 전략이 바로 탄소중립이다. 탄소중립이란 인간 활동으로 배출되는 온실가스의 양을 줄이는 동시에, 이를 상쇄하기 위한 다양한 방법을 통해 순배출량을 '0'으로 만드는 것을 의미한다. 이를 달성하기 위해 재생에너지로의 전환, 에너지 효율화, 탄소포집 및 저장(CCUS) 기술의 도입, 산림 복원과 같은 자연 기반의 솔루션이 주요 수단으로 활용된다. 2015년 파리협정에서는 산업화 이전 수준 대비 지구 평균 기온 상승을 1.5도 이하로 제한하기 위해 전 세계가 탄소중립을 목표로 삼을 것을 합의하였다.

특히 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 기성도시를 탄소중립 실현의 핵심적인 수단으로 활용해야 함을 강조하고 있다(Cong et al., 2024; Cao et al., 2022). 기성도시는 이미 형성된 인프라와 경제 구조로 인해 온실가스 배출이 집중되는 지역으로, 도시화와 산업화의 결과로 에너

지 소비가 많고 교통·산업·건물 부문 등에서 높은 에너지 소비와 온실가스 배출을 기록하고 있다. 이러한 도시들이 탄소중립 목표를 달성하지 못하면, 국가 전체의 목표 달성 역시 불가능해질 것이다. 따라서 기성도시의 탄소중립 전환은 우리나라뿐만 아니라 전 세계적인 기후변화 대응 전략에서 중요한 역할을 한다.

그러나 기성도시에서 이미 구축된 인프라를 변화시키고 기존의 경제 구조를 탄소중립에 맞게 전환하는 것은 큰 도전이 따른다. 충청남도는 이러한 전환의 중요한 사례를 제공하는 지역 중 하나로, 이 글에서는 충청남도의 사례를 통해 기성도시가 가진 온실가스 배출 특성을 분석하고, 탄소중립 도시로 전환되기 위한 여건과 방향성을 제시하고자 한다.

충청남도의 온실가스 인벤토리와 부문별 특성

우리나라에서는 기성도시의 탄소중립 모델을 구축하고 확산하기 위한 시범사업들이 활발하게 진행되고 있다. 2022년에는 환경부가 탄소중립 그린도시 사업 대상지로 경기도 수원시와 충청북도 충주시를 선정하여 사업을 시작하였고, 2024년 현재 환경부와 국토교통부는 탄소중립 선도도시 사업을 추진하기 위해 대상 도시를 선정하고 있다. 이러한 사업들의 출발점은 기성도시가 가지고 있는 온실가스 인벤토리, 즉 배출 특성을 분석하는 것이다.

국가 온실가스 인벤토리 산정 부문에서는 ‘에너지’, ‘산업공정’, ‘농업’, ‘폐기물’, ‘토지이용, 토지이용 변화 및 산림(Land Use, Land-Use Change, and Forestry: LULUCF)’으로 구분되며, 특히 탄소중립 실현을 위해서는 온실가스 배출원에 따른 배출량 분석을 명확히 하여 기성도시를 진단할 필요가 있다. 충청남도는 기성도시의 온실가스 배출 특성을 명확히 파악할 수 있는 대표적인 사례를 제공한다. 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물, LULUCF 부문별로 온실가스 인벤토리를 통해 배출량과 배출원의 상관관계를 제시한다.

먼저, 에너지 부문은 충청남도의 온실가스 배출에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 연도별 추이를 보면 2016년부터 2017년까지는 한 해 1억 3,000만 톤 넘게 증가하다가, 이후 점차 감소하여 2020년에는 1억 1,000

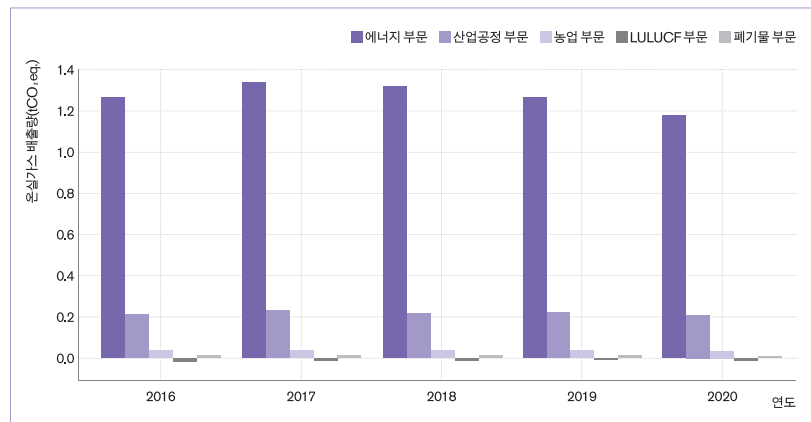
만 톤으로 줄었다. 이러한 감소 추세는 에너지 효율 향상, 재생에너지 확대, 또는 에너지 소비 패턴 변화와 같은 다양한 요인들에 의해 촉진되었을 가능성이 크다. 하지만 에너지 부문은 여전히 충청남도의 온실가스 배출에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

산업공정 부문 또한 주요 배출원 중 하나이다. 2016년 이 부문에서 약 2,066만 톤의 온실가스가 배출되었고, 2017년에는 2,208만 톤으로 증가하였다. 이후 몇 년 동안 산업 부문에서의 배출량은 비교적 일정한 수준을 유지하며, 2020년에는 2,101만 톤을 기록하였다. 이는 충청남도의 산업 공정에서 발생하는 온실가스 배출량의 지속적 관리가 필요함을 시사한다.

농업 부문은 비교적 낮은 수준의 온실가스 배출량을 기록하고 있다. 2016년부터 2020년까지 이 부문에서의 배출량은 대체로 비슷하며 2016년에는 약 378만 톤, 2020년에는 382만 톤의 온실가스가 배출되었다. 농업 부문은 전체 온실가스 배출에서 차지하는 비중이 작지만, 메탄가스와 같은 비산업적 배출원이 존재하기 때문에 지속적인 관리가 필요하다.

LULUCF 부문은 온실가스를 배출하기보다는 흡수하는 역할을 하고 있다. 2016년에 이 부문에서 약 237만 톤의 온실가스가 흡수되었고, 2020년에는 흡수량이 약 106만 톤으로 감소하였다. 이 부문에서의 흡수량 감소는 토지 이용 변화나 산림 관리의 변화에 기인한 것으로 볼 수 있으며, LULUCF 부문에서의 온실가스 흡수 능력을 유지하고 강화하기 위한 적극적인 관리가 필요하다.

충청남도 부문별 온실가스 인벤토리(2016~2020년)



출처: 이은석 외(2023, p.146)를 참고하여 재작성.

폐기물 부문에서는 배출량이 점진적으로 감소하는 추세를 보였다. 2016년에 약 80만 톤의 온실가스가 배출되었으나, 2020년에는 66만 톤으로 감소하였다. 이는 폐기물 관리의 개선과 폐기물 발생량 감소 덕분일 가능성이 크다. 비록 폐기물 부문이 전체 온실가스 배출에서 차지하는 비중은 작지만, 지속적인 배출 저감 노력은 여전히 필요하다.

충청남도의 온실가스 배출 감축을 위해서는 에너지 부문과 산업 부문에서의 구조적 변화와 기술 혁신이 필수적임을 시사한다.

충청남도 시·군의 온실가스 인벤토리 부문별 특성

당진시와 보령시는 에너지 부문에서의 온실가스 배출이 두드러지게 나타나는 곳이다. 당진시는 충청남도 내에서 가장 높은 온실가스 배출을 보이고 있는데, 대규모 화력발전소와 같은 에너지 다소비 시설을 다수 운영하기 때문이다. 보령시는 산업단지와 연료 소비가 많은 시설들이 주요 원인으로 작용한다.

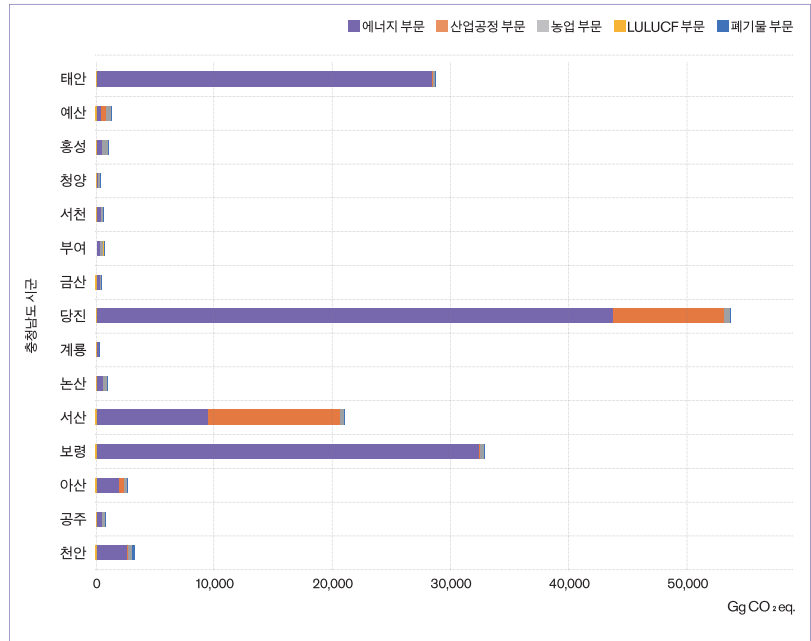
산업공정 부문에서 두드러지는 지역은 서산시와 당진시이다. 서산시는 석유화학 산업단지가 위치해 있어 관련 공정에서 다량의 온실가스가 발생하며, 당진시는 철강 및 중공업과 같은 고에너지 수요산업에서 높은 온실가스 배출량을 보인다. 이러한 산업공정 부문에서의 높은 배출량은 해당 지역의 산업 구조가 환경에 미치는 영향을 명확히 보여준다.

농업 부문에서는 당진시와 홍성군이 주요 배출 지역으로 나타난다. 이들 지역에서 배출되는 온실가스는 축산업에서 발생하는 메탄가스와 농작물 재배 과정에서 발생하는 CO₂가 주된 배출원인이다.

LULUCF 부문은 대체로 다량의 온실가스 배출량에 비교하여 매우 작은 부문을 차지하고 있으며, 음의 값을 기록하고 있어 온실가스 흡수량으로 표현될 수 있다. 이는 산림과 토지 이용 변화로 인해 CO₂가 흡수되는 효과를 나타낸다. 금산군과 보령시가 대표적인 온실가스 흡수량을 보이는 도시로서, 이 지역에서의 산림 보존 및 관리가 온실가스 흡수에 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

마지막으로 폐기물 부문에서는 서산시와 보령시가 다른 지역들보다 높은 배출량을 보인다. 이는 인구 밀집도가 상대적으로 높은 지역에서 폐기

충청남도 시·군의 부문별 온실가스 인벤토리(2020년)



출처: 이은석 외(2023, p.165)를 참고하여 재작성.

물 관리에 따른 배출량이 더 많이 발생할 수 있음을 시사한다. 대부분의 다른 지역에서는 폐기물 부문의 배출량이 비교적 낮게 나타난다.

기성도시의 탄소중립도시 여건과 전략

충청남도는 지역별로 다양한 인벤토리 특성을 보여주었다. 이러한 특성을 반영한 탄소중립도시 조성사업은 온실가스 배출을 줄이는 데 중요한 역할을 한다. 기성도시에서 가장 효과적인 감축 전략을 수립하기 위해서는 해당 지역의 주요 배출원과 배출량의 관계를 정확히 파악하는 것을 시작으로 하여 주요 탄소중립 여건이 고려된 맞춤형 사업을 추진해야 한다. 이에 기성도시의 인벤토리 부문 특성에 맞는 탄소중립도시 조성사업을 통해 온실가스 배출저감 전략을 제시해 본다.

에너지 부문에서 높은 온실가스 배출을 기록하고 있는 기성도시들의 탄소중립도시 여건은 긍정적이지 않다. 특히 충청남도는 화력발전소가 집

중되어 있고, 온실가스 배출량이 전국에서 압도적 1위로 최다 배출되고 있다. 충청남도 온실가스 주요 배출원은 전기 및 열 생산을 위한 연료 연소에 따른 것으로, 이로 인한 배출량이 상당 부분을 차지한다. 화력발전소와 철강 산업 등 고배출 산업이 주된 부정적 원인이 되기 때문이다. 이와 같은 지역의 온실가스 배출을 줄이기 위해서는 먼저 재생에너지 발전소 확대가 필요하다. 현재 화력발전소의 단계적 조기폐쇄 계획(2025~2030년)에 따라 기존의 화력발전소 부지를 활용하여 태양광·풍력 등의 재생에너지 발전소로 전환하는 프로젝트가 요구된다. 또한 수소에너지 규제특구 지정, 수소항만선도사업, 수소도시 지정 등 다양한 신재생에너지를 생산 및 저장할 수 있는 기술을 현실화함으로써 화석연료 사용을 줄이고, 지속가능한 에너지 원으로의 전환을 가속화해야 한다.

산업단지 내 에너지 효율화도 중요한 과제이다. 스마트 그리드(Smart Grid) 시스템을 도입해 산업단지의 전력 소비를 최적화해야 하고, 에너지 효율화 기술의 도입도 필요하다. 산업단지가 많은 지역에서는 광물·화학·금속·전자산업 등 다양한 부문에서 생산공정에 의해 온실가스가 배출되는데, 생산원료의 화학적 또는 물리적 구조가 공정 과정에서 변환될 때 온실가스가 발생하기 때문이다. 따라서 산업공정에 따른 원료·소비·생산 방식에서 대체할 수 있는 대체에너지 사용, 저감설비 도입 등을 통해 전력소모를 줄이는 것이 필요하다. 이와 함께 고효율 촉매와 공정 최적화를 통한 배출가스 정화시스템 도입과 효과적인 이산화탄소 포집·저장이 가능한 CCUS 기술 활성화로 온실가스 배출을 획기적으로 줄일 수 있다. 이런 산업시설들은 탄소중립 산업 클러스터로서 녹색기술 기업을 유치하고, 지역경제를 활성화를 유도할 수 있다.

농업 부문에서 온실가스 배출이 큰 지역에서는 온실가스 감축을 위해서 스마트 농업 기술 도입이 필요하다. 가축을 기를 때 가축의 장내발효와 분뇨처리 과정에서 온실가스가 상당히 많이 배출된다. 또한 벼농사 과정에서 용수공급에 따라 온실가스가 발생하기 때문에 농업용 에너지 효율화를 위해 드론 및 IoT 기술을 활용한 스마트 농장을 조성하고, 저탄소 농업 기법을 도입할 필요가 있다. 축사에서 발생하는 메탄가스를 모아 에너지로 활용하는 바이오에너지 방식도 적극적으로 검토해야 농업 활동에서 발생하는 온실가스를 줄이고, 재생에너지 생산을 촉진할 수 있다.

LULUCF 부문에서 온실가스 감축이 필요한 기성도시에서는 온실가스 흡수를 도모해야 한다. 산림 보전 및 복원 프로그램을 통해 산림 면적을 늘리고, 훼손된 산림을 복원하여 이산화탄소 흡수를 증가시키는 등의 사업이 요구된다. 산림지는 그대로 유지된 상태에서 자연적으로 온실가스를 감축시키지만, 농경지와 습지에서는 반대로 온실가스가 배출되는 경향이 있다. 따라서 온실가스 흡수량을 극대화하기 위해 자연적 요소를 활용하는 탄소상쇄 프로그램을 개발하고, 산림 보전 활동을 통해 기업 및 개인이 탄소배출을 상쇄할 수 있는 기회를 제공해야 할 것이다. 이는 지역 경제에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 도시 숲 조성을 통해 도시 내 공원과 숲을 확장함으로써 온실가스 흡수를 확대할 수 있다. 특히 주민 참여형 도시 숲 조성 프로젝트는 주민들의 환경 인식을 높이고, 도시 내 생태계를 복원하는 데도 도움이 될 것이다.

폐기물 부문에서 높은 온실가스 배출을 보이는 기성도시에서는 폐기물 소각장에서 발생하는 열을 활용해 전기를 생산하거나, 폐기물 매립장에서 발생하는 메탄가스를 포집해 에너지로 전환하는 방식의 도입이 필요하다. 폐기물 관리 개선 프로그램도 필요한데, 재활용률을 높이기 위한 주민 교육과 자원순환센터 설립 등을 통해 폐기물 관리 시스템을 강화해야 한다.

나아가 우리에게 익숙한 전기차 인프라 확대, 재생에너지 확대, 그린리모델링을 통한 건물 에너지 효율화 등의 사업도 탄소중립 도시를 위해 모든 기성도시에서 고려되어야 한다.

결론적으로 하나의 기성도시를 탄소중립도시로 전환하기 위해서는 해당 지역의 온실가스 인벤토리 특성에 맞춘 온실가스 감축전략이 요구되며, 맞춤형 탄소중립도시 조성사업이 추진되어야 한다. 임박한 2030년, 멀게는 2050년 탄소중립사회 실현을 위해서 그 기반이 되는 탄소중립도시가 성공적으로 안착하고, 확산되길 기대한다.

참고문헌

- 1 이은석, 김성준, 지석환, 김보미, 김혜인. (2023). 국가 탄소중립 도시 지정 대응전략 및 지역별 조성방안 마련 연구용역. 충청남도청.
- 2 Cao, X., Lee, S., & Zhan, L. (2022). Carbon-neutral cities: Critical review of theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, 360, 132041. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132041>
- 3 Cong, C., Page, J., Kwak, Y., Deal, B., & Kalantari, Z. (2024). AI analytics for carbon-neutral city planning: A systematic review of applications. *Urban Science*, 8(3), 104. <https://doi.org/10.3390/urbansci8030104>