

ISSN 2734-1437(오프라인)
ISSN 2765-1851(온 라 인)



2022
Vol.3 No.5

GTC FOCUS

공간단위 탄소중립 전략 수립 동향 및 향후 과제

이민아, 박신영, 최유영

공간단위 탄소중립 전략 수립 동향 및 향후 과제

이민아, 박신영, 최유영

탄소중립, 공간단위, 지자체, 온실가스 감축 잠재량 평가

1	서론	03
2	국내 공간단위 탄소중립 전략수립 현황	07
3	국외 공간단위 탄소중립 전략수립 현황	13
4	공간단위 탄소중립 프로그램 사례	18
5	향후 과제	24
■	참고문헌	26

요약



- ▶ **본 포커스는 국내·외 공간단위에서의 탄소중립 전략수립 현황을 조사 및 분석하고, 공간단위 탄소중립 기술 적용 온실가스 감축 프로그램 조사를 통해 향후 과제 및 해결방안을 모색하고자 함**
 - 2050년 국가 탄소중립 목표 달성을 위해서는 지자체별(공간별) 다양한 온실가스 경로 설계가 필요하며, 도시 공간에서 배출되는 온실가스를 조속히 제어하는 것이 탄소중립 목표 달성에 핵심
 - 본 포커스에서는 ‘공간’에 대한 범위를 지자체로 설정하여 현황을 살펴보고 향후과제를 도출하고자 함
- ▶ **각 지자체에서는 기상환경, 에너지수급 형태 등을 종합적으로 고려한 지역 맞춤형 2050 탄소중립 전략을 수립하고 발표하였으며, 일부 지자체에서는 2050년 이전에 탄소중립을 실현하려는 강한 의지를 표출**
 - 2050 탄소중립 실현을 위한 정책수립을 위해서는 지자체별 온실가스 배출량을 정확하게 산정하는 것이 매우 중요하며, 온실가스종합정보센터에서는 ‘2022 시·도 온실가스 인벤토리 산정 지침’을 배포
 - 지역단위 온실가스 배출량을 산정하기 위한 절차는 기초자료 수합, 활동자료 추가확보, 지역별 활동자료 확정, 온실가스 배출량 산정 및 정합성 분석, 지역 배출량 최종 확정 순
- ▶ **국가단위에서 뿐만 아니라 지역단위에서의 탄소중립 이행을 위한 글로벌 움직임이 활성화되고 있으며, 지역단위에서 온실가스 배출량 산정을 위한 방법론 구축 노력도 함께 수반되고 있음**
 - 현재 기준으로 120여개 국, 474개 도시 등 2,289개의 기후변화 주체가 기후목표상향연맹에 참여하였으며, C40 도시기후리더십 그룹은 대도시의 온실가스 감축활동에 대한 구체적인 계획 수립을 의무화하고, 세계자원연구소(WRI)와 함께 도시에 대한 GHG(Greenhouse Gas) 프로토콜을 개발하여 국제표준 제시
- ▶ **국내·외 주요 공간단위 탄소중립 프로그램별 공간적 범위는 단일 에너지 시스템부터 국가 전체에 이르기까지 광범위함**
 - 분석 대상 공간의 단위가 작을수록 입·출력 데이터의 구체성과 정확도가 높은 반면, 도시, 국가 등을 대상으로 하는 경우 포괄적 단위의 분석을 시행하지만 해당 공간의 탄소중립 실현을 위한 정책적 의사결정에 도움이 되는 정보를 제공함
- ▶ **녹색기술센터는 2022년부터 공간단위 탄소중립 기술적용 평가 및 단계별 기술 도입 전략을 위한 분석정보를 제공할 수 있는 ‘탄소중립 기술시나리오 모형(CATAS)’을 개발 중에 있음**
 - 분석 대상 공간의 탄소중립 목표를 달성하기 위하여 탄소중립 부문별(전환, 산업, 수송, 건물 등)로 온실가스 감축 기술을 적용했을 경우 온실가스 감축효과 분석 및 경제성 분석 결과와 함께, 분석 대상 공간에서의 최적화된 기술적용 시나리오에 대한 정보를 제공할 예정임
 - CATAS-BASIC의 경우에는 올해 베타버전 출시를 목표로 '24년까지 고도화하여 운영/관리할 예정이며, CATAS-PRO는 '25년 이후 개발 예정

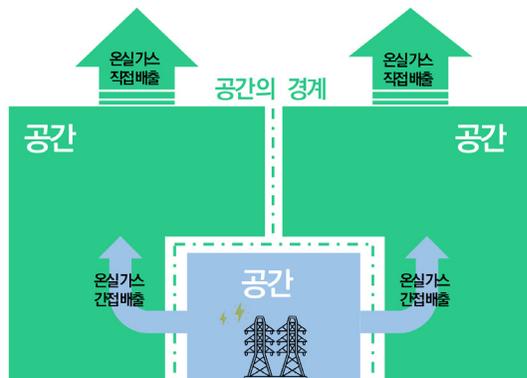
1

서론

1.1 본 포커스 작성 목적 및 공간의 정의

- ▶ 본 포커스는 국내·외 공간단위에서의 탄소중립 전략수립 현황을 조사 및 분석하고, 공간단위 탄소중립 기술 적용 온실가스 감축 프로그램 조사를 통해 향후 과제 및 해결방안을 모색하고자 함
- ▶ 본 포커스에서의 ‘공간’의 정의 및 범위
 - 본 포커스에서는 ‘공간’을 탄소중립 전략 수립이 필요한 물리적·지역적 공간으로 정의하며, 이에 따라 공간은 지구 전체, 국가 및 지자체, 또는 마을 및 건물 단위로 구분될 수 있음
 - 탄소중립의 달성은 일정 공간범위 내에서 온실가스 배출량과 흡수량을 제로(Net Zero)로 만들어 대기 중 추가적인 온실가스 증가를 막는 것을 의미하므로, 배출량과 흡수량을 측정·관리할 공간 범위의 설정이 요구됨
 - 공간의 경계는 내부와 외부, 육지와 해양, 국가와 국가, 도시와 농어촌, 국가와 지자체 등으로 공간의 자연 환경적 특성, 공간의 활용 목적 등에 따라 다양하게 구분될 수 있음
 - 그림 1-1과 같이 온실가스 배출원은 공간 경계의 내부에서 온실가스 배출될 때는 직접배출원, 직접적인 온실가스 배출은 없으나 전기, 열 등의 소비로 유발되는 온실가스 배출은 간접배출로 정의함
 - UNFCCC 당사국은 IPCC 가이드라인에 따라 온실가스 배출량에 대한 국가별 통계보고서를 제공할 의무를 가지고 있으며, 이에 따라 현재 각 국가들은 온실가스 직접배출원에 대한 통계만을 생산하고, 이에 대한 온실가스 감축목표를 수립하고 있음

[그림 1-1] 공간의 경계에 따른 온실가스 직접/간접배출원



1.2 지자체 온실가스 배출 현황

▶ 2050년 국가 탄소중립 목표 달성을 위해서는 지자체별(공간별) 다양한 온실가스 감축경로 설계가 필요

- 기존 중앙 정부 위주의 탄소중립 정책 추진방식보다는 지자체 스스로 탄소중립 감축 목표를 설정하고, 이행계획을 수립하는 것이 효과적임
- 그 이유는 지자체마다 자연환경, 경제산업 등 여건에 따라 온실가스 배출 특성에서 많은 차이를 보이고 있기 때문에 탄소중립 목표를 효과적으로 달성하기 위한 다양한 경로 설계가 필요함
 - 아래 표 1-1과 같이 서울과 같은 경우에는 건물 및 수송에 대한 배출 비중이 높은 반면에 석탄화력발전소가 집중되어있는 충청남도, 경상남도과 같은 경우에는 에너지전환 부분에 대한 배출이 많음을 알 수 있음

▶ 도시 공간에서 배출되는 온실가스를 조속히 제어하는 것이 탄소중립 목표 달성에 핵심

- 도시의 에너지소비량이 연간 글로벌 온실가스 배출량에서 차지하는 비중은 70%이며, 도시에서 탄소중립 정책을 수립하면 2050년까지 90%의 온실가스 배출량이 줄어드는 것으로 예측¹⁾
 - 우리나라 인구의 43%가 살고 있는 7대 광역지자체^{*}에 공급되는 최종에너지는 국가 전체의 31%임에 따라, 향후 도시의 인구 증가에 따라 지구온난화에 더 많은 영향을 미칠 것으로 온실가스 배출 관리가 필요²⁾
- * 서울특별시, 부산·대구·인천·광주·대전·울산광역시

[표 1-1] 2019년 17개 광역지자체별 온실가스 직접 배출량 현황

(단위: 백만CO₂eq.)

구분	분야별								순배출량
	전환	산업	건물	수송	농축수산	폐기물	탈루	LULUCF	
전국	248.7	256.0	48.5	101.0	24.9	16.9	5.3	-39.6	661.8
서울	1.6	2.8	10.6	8.8	1.1	2.1	0.9	-0.1	27.9
부산	2.5	3.0	2.7	5.2	0.2	0.7	0.2	-0.2	14.4
대구	1.3	1.0	2.0	3.8	0.1	0.3	0.2	-0.3	8.3
인천	41.1	4.2	2.4	5.3	0.2	0.1	0.3	-0.1	53.4
광주	0.3	1.0	1.2	2.8	0.1	0.3	0.1	-0.1	5.7
대전	0.2	0.9	1.4	2.4	0.0	0.8	0.1	-0.2	5.7
울산	4.4	28.9	1.2	2.5	0.4	0.6	0.6	-0.4	38.0
세종	1.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.1	0.0	-0.2	2.0
경기	25.8	15.3	10.3	26.6	3.0	3.1	0.9	-2.6	82.5
강원	16.2	25.5	2.2	4.0	1.2	0.5	0.4	-11.4	38.7
충북	0.4	18.0	1.8	4.9	1.4	1.2	0.1	-2.9	24.8
충남	95.5	45.0	2.2	6.3	3.6	1.8	0.4	-1.7	153.1
전북	1.0	2.1	2.0	4.7	3.1	0.8	0.1	-3.0	10.9
전남	14.1	63.7	1.8	5.2	4.5	1.1	0.5	-3.1	87.9
경북	0.8	41.0	3.1	7.9	3.4	1.7	0.2	-8.5	49.6
경남	41.3	3.3	2.9	8.0	2.1	1.4	0.2	-4.4	54.8
제주	1.0	0.1	0.7	2.1	0.4	0.2	0.0	-0.5	4.1

출처: 2021년 지역별 온실가스 인벤토리(1990-2019)(온실가스종합정보센터) 수정³⁾

1) 출처: IEA. "Empowering "Smart Cities" toward net zero emissions". <https://www.iea.org/news/empowering-smart-cities-toward-net-zero-emissions>. 2022년 5월 23일 접속

2) 출처: BBC. "How cities are going carbon neutral". <https://www.bbc.com/future/article/20211115-how-cities-are-going-carbon-neutral>. 2022년 5월 23일 접속

3) 출처: 환경부, 온실가스종합정보센터 (2021) 2021년 지역별 온실가스 인벤토리(1990-2019)

1.3 지자체의 탄소중립을 위한 역할 강화

▶ 국가 탄소중립 목표 달성을 위한 지자체 역할에 대한 중요성이 더욱 강조

- 228개 전국 모든 기초지자체 기후위기 비상선언('20.6월) 및 17개 광역지자체 탄소중립 선언('20년 7월)에 따라 국회 기후변화포럼은 「기후위기 비상대응 촉구 결의안」을 발의
 - 주요 내용은 기후위기 비상상황 선언을 통해 2030년 온실가스 감축목표를 상향하고 2050년 탄소중립을 위한 전략을 수립하는 것임
 - 또한 국회 내 '기후위기 대응을 위한 특별위원회'를 설치하고, 국제적으로 탄소배출을 줄이기 위한 정부와 협력 등에 대한 내용도 포함되어 있음
- 국가는 2050 탄소중립을 선언('20.10월)하고, 지역사회 역할을 강조
 - 「대한민국 2050 탄소중립 전략('20.12월)」에서 탄소중립을 달성하기 위해서는 “사회 전반의 저탄소 인식을 확대하고 전환의 동력을 확보하기 위해서는 지방정부의 역할이 필수적”이며 “중앙정부와 지방정부의 성격과 역할을 고려”하여 탄소중립 정책을 추진하는 방안을 모색하여야 함을 강조

▶ 최근 제정된 탄소중립 기본법에서는 지자체의 온실가스 감축 이행을 위한 제도적 기반이 마련됨

- 「기후위기 대응을 통한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법, '21.9월 제정·'22.7월 시행)」은 탄소중립 목표 달성을 위한 지자체 역할을 강조하고 있으며, 향후 지자체 단위에서의 탄소중립을 위한 관련 계획 수립, 온실가스 통계 현황 공표 등에 대한 의무를 부여
 - (지자체 탄소중립 기본계획 수립) 시·도 지자체는 국가기본계획이 수립된 날부터 6개월 이내에 지자체는 10년을 계획 기간으로 하는 탄소중립 녹색성장 기본계획을 수립해야 하며, 시·군·구는 시·도 계획이 수립된 날부터 6개월 이내에 기본계획을 수립해야 함
 - (기본계획 추진상황 점검) 지자체는 탄소중립 기본계획에 대한 주요성과를 매년 점검하여 환경부에 제출해야하는 의무가 있으며, 환경부는 지역별 검토보고서를 작성하여 탄소중립 위원회에 보고함
 - (탄소중립 지원센터의 설립·운영) 지자체는 탄소중립 지원센터를 통하여 탄소중립 기본계획 수립, 지역 온실가스 통계 산정 등에 대한 지원을 받을 수 있음

【표 1-2】 탄소중립 기본법 내 지자체 관련 주요 조항

조항	주요내용
제11조(시·도 계획의 수립) 제12조(시·군·구 계획의 수립 등)	국가기본계획과 관할 구역의 지역적 특성 등을 고려하여 10년을 계획 기간으로 하는 시·도 탄소중립 녹색성장기본계획을 5년마다 수립·시행하여야 한다.
제22조 (2050 지방탄소중립 녹색성장위원회의 구성 및 운영)	① 지방자치단체의 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장의 추진을 위한 주요 정책 및 계획과 그 시행에 관한 사항을 심의·의결하기 위하여 지방자치단체별로 2050 지방탄소중립 녹색성장위원회를 둘 수 있다.
제36조 (온실가스 종합정보관리체계의 구축)	③ 시·도지사 및 시장·군수·구청장은 지역별 온실가스 통계 산정·분석 등을 위한 관련 정보 및 통계를 매년 작성하여 제출하는 등 적극 협력하여야 한다
제68조 (탄소중립 지원센터의 설립)	탄소중립 지원센터의 주요 업무는 시·도 계획 또는 시·군·구 계획의 수립·시행 지원, 지방기후위기적응대책의 수립·시행 지원, 지방자치단체별 에너지 전환 촉진 및 전환 모델의 개발·확산 등과 같다.

1.4 공간단위 온실가스 감축 전략의 필요성

▶ 공간마다 토지, 산업, 교통, 환경 등 조건이 다르기 때문에 다양한 탄소중립 전략이 수립될 수 있음

- 도시와 같은 경우에는 주택, 건물에서의 에너지 효율성 제고와 소비량 절감을 위한 정책 또는 내연 기관차에서 전기 또는 수소자동차로 전환 등 교통 부문에서의 탄소중립 전략이 필요
- 농촌지역은 논 농업 재배방식을 탄소 배출을 저감할수 있도록 개선하거나, 친환경 가축 사육방식 및 사료로 확대 등에 대한 온실가스 감축 전략이 포함되어야 함
- 중화학공업 단지가 조성된 공업 지역과 같은 경우에는 탄소중립을 위한 산업공정의 효율화, 대체연료 개발 등에 대한 기술개발이 필요

▶ 지역은 배출권거래제도에 따른 재정수익 확보를 통해 탄소중립 가속화 가능

- 만약 광역/기초지자체 등 지역의 온실가스 배출량이 산정될 수 있다면, 국가는 지역에 배출권을 할당하고, 평가를 통해 여유가 있거나 부족한 배출권에 대해 다른 지역과 배출권을 거래할 수 있도록 하는 제도 수립이 가능
- 배출권거래제도에 따라 확보된 재정수익은 향후 지역 내 탄소중립 정책 목표를 달성하기 위한 활동에 활용하여 탄소중립을 가속화하는데 기여할 수 있음

▶ 공간단위 온실가스 배출량 현황은 탄소중립에 대한 시민의 인식 제고에 도움

- 탄소중립은 도전적인 목표로서 일부 관계자뿐 만 아니라 전 국민의 참여와 지지가 필요하며, 시민사회가 탄소중립에 대한 중요성을 인식하였을 때 정부 및 지자체 정책입안자와의 협력을 통해 온실가스 감축 가속화가 가능
- 따라서 국가보다 좁은 범위의 광역 및 기초지자체, 마을, 건물 등 공간단위의 온실가스 배출량 현황을 공표하는 것은 시민 스스로가 속한 공간에 대한 온실가스 배출량을 인식하고 감축하는데 도움이 될 수 있음

1.5 소결

- 본 포커스에서는 ‘공간’을 탄소중립 전략 수립이 필요한 물리적·지역적 공간으로 정의하며, ‘공간’에 대한 범위를 지자체 단위에서 현황을 살펴보고 향후과제를 도출하고자 함
- 2050년 국가 탄소중립 목표 달성을 위해서는 지자체별(공간별) 다양한 온실가스 경로 설계가 필요하며, 도시 공간에서 배출되는 온실가스를 조속히 제어하는 것이 탄소중립 목표 달성에 핵심
- 국가 탄소중립 목표 달성을 위한 지자체 역할에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있으며, 최근 제정된 탄소중립 기본법에서는 지자체의 온실가스 감축 이행을 위한 제도적 기반이 마련됨
- 공간마다 토지, 산업, 교통, 환경 등 조건이 다르기 때문에 다양한 탄소중립 전략이 수립될 수 있으며, 지역은 배출권거래제도에 따른 재정수익 확보를 통해 탄소중립 가속화가 가능하고, 공간단위 온실가스 배출량 현황은 탄소중립에 대한 시민의 인식 제고에 도움이 되므로 공간단위 온실가스 배출 감축 전략이 필요

2

국내 공간단위 탄소중립 전략수립 현황

2.1 지자체 탄소중립 선언 현황

▶ 기초지자체 기후위기 비상선언 선포

- 전국 226개 기초지방자치단체는 기후위기 비상상황으로 선포('20.06.05)하고, 기후위기와 재난에 가장 먼저 대응하는 주체로 온실가스 감축목표를 세우고 취약계층을 위한 대응계획을 수립하고 실행하고자 함
 - 지구 평균온도가 1.5℃이상 상승하지 않도록 온실가스 감축 목표를 설정하고 적극적으로 실천할 것을 선언하였으며, 전국 지자체의 동시 기후위기 비상선언은 국제적으로 최초이자 최대규모

▶ 탄소중립 지방정부 실천 연대 발족

- 환경부('20.07.07)는 지방정부의 온실가스 감축사업 및 이행 분위기 확산을 위한 협력적 관계를 구축하고, 지자체 탄소중립 전략수립 우수사례를 공유하기 위해 탄소중립 지방정부 실천연대를 발족
 - 81개 광역·기초 지자체는 탄소중립을 공동 선언하여 지방정부의 선도적 역할을 강화
 - 탄소중립 지방정부 실천연대의 목표는 (1) 2050년까지 탄소중립을 실현, (2) 기후위기로부터 안전하고 행복한 삶을 영위하도록 적극 노력, (3) 탄소중립 사업 발굴과 지원을 최우선 추진, (4) 지역의 지속가능한 발전과 탄소중립이 실현될 수 있도록 노력, (5) 국민적 합의와 공감대 확산을 위해 소통·공동 협력, (6) 탄소중립을 위해 선도적인 기후행동 실천 확산

▶ P4G 전국 지자체 탄소중립 선언

- 2021 P4G 서울 녹색미래 정상회의를 통하여 모든 지자체(17개 광역, 226개 기초)는 탄소중립 지방정부 실천연대에 참여하고, 2050 탄소중립 달성 선언식을 실시
 - 전국의 지자체는 선언식을 계기로 탄소중립 이행계획 수립에 착수하였으며, 정부는 지자체 계획 수립 지원 및 지역균형 뉴딜을 활용한 재정지원 등의 협력을 약속함

[표 2-1] 지자체 탄소중립 대응 경과

① 기초지자체 기후위기 비상선언 선포	② 탄소중립 지방정부 실천 연대 발족	③ 국회 기후 위기 비상대응 촉구 결의안 채택	④ 2050 국가 탄소중립 선언	⑤ P4G 전국 지자체 탄소중립 선언
'20.06.05.	'20.07.07.	'20.09.24.	'20.10.28.	'21.05.24.

2.2 지자체 탄소중립 전략 사례

▶ 2050 탄소중립을 실현하기 위한 지자체 온실가스 감축 전략 발표

- 최근 국제사회 및 국내 정부의 2050 탄소중립 목표를 달성하기 위한 감축계획이 발표됨에 따라 각 지자체에서는 '2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 상향안(21.10)'과 연계한 온실가스 감축 전략을 발표함

▶ 지역특성을 고려한 지자체 맞춤형 탄소중립 추진 전략 제시

- 각 지자체에서는 기상환경, 에너지수급 형태, 경제발전 상황 등을 종합적으로 고려한 지역 맞춤형 2050 탄소중립 전략을 수립하고 실천하고 있으며, 일부 지자체(충청남도, 행복중심복합도시, 강원도)에서는 2050년 이전에 탄소중립을 실현하려는 강한 의지를 표출

[표 2-2] 지자체 탄소중립 추진전략 현황

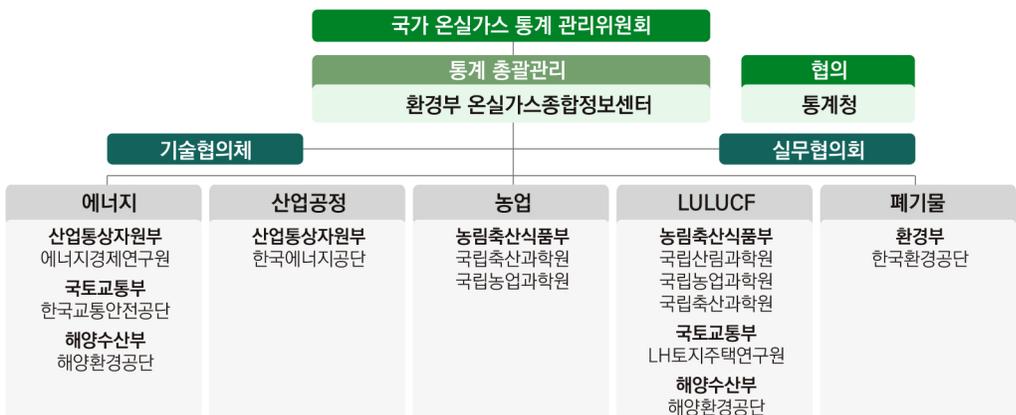
구분	추진전략	주요내용
서울특별시	서울시 2050 온실가스 감축전략(20,12)	• 서울시는 사람·자연, 미래가 공존하는 지속가능한 도시를 만들고자 국내 최초 도시로 2050년 탄소중립 목표를 담은 7대 온실가스 감축 전략을 수립하였으며, C40 도시기후리더십그룹에 추진계획 제출
부산광역시	2050 탄소중립 선도도시 부산(22.4)	• 부산이 탄소중립 선도도시가 될 수 있도록 '글로벌 기후 리더십 도시 탄소중립도시 부산'을 비전으로 삼고, 오는 2030년까지 온실가스를 2018년 대비 47% 감축, 2050년 탄소중립을 실현하기 위한 3대 분야, 10+1대 추진전략 마련
대구광역시	대구 2050 탄소중립 비전 및 전략(21.12)	• 2018년 온실가스 배출량 대비 2030년 45% 감축, 2040년 70% 감축, 2050년 탄소중립을 실현하기 위한 비전과 8대 핵심 전략을 제시
인천광역시	제3차 인천광역시 기후변화 대응 종합계획(21.4)	• 인천광역시는 2040년까지 2018년 대비 80.1% 온실가스 감축을 달성하는 목표로 신재생에너지 확충, 적응 체계 구축, 기반구축에 대한 3대 추진전략 수립
대전광역시	대전광역시 기후변화 대응 기본계획(22.3)	• 삶이 건강한 산소도시 대전을 만들기 위해 대전광역시 맞춤형 기후변화 대응 계획을 수립하였으며, 4+1 전략(건물, 수송, 에너지, 시민협력과 도시숲 부문)으로 2050 탄소중립 실현하고자 함
행복중심복합도시	행정중심복합도시 2040 탄소중립 추진 전략(21.9)	• 행복청은 정부목표보다 10년 앞당긴 탄소중립 실현을 위해 기존 정부 정책을 고려한 2040 탄소중립 추진 전략을 제시하였으며, 녹색 청정에너지를 조성하고자 5대 추진 전략을 계획
강원도	강원도 2040 탄소중립 추진전략 기본계획(21.2)	• '강원도 2040 탄소중립 추진전략 기본계획'을 통해 전국 최초 2040년까지 탄소중립을 선언하였으며, 2040년까지 4대전략, 12개 실천과제의 체계적 이행을 통해 34,347천t 이상의 온실가스 감축으로 탄소중립을 조기 달성하고자 계획 수립
충청남도	충청남도 2045 탄소중립 녹색성장 기본계획 초안(22.6)	• 2045년 탄소중립 달성을 목표로 '충청남도 2045 탄소중립·녹색성장 기본계획' 초안을 작성하였으며, 2018년 온실가스 배출량 대비 2035년까지 50% 감축하고 2045년 탄소중립을 실현하기 위한 4대 전략 제시
전라남도	주력산업 탄소중립 대응 전략(21.5)	• 전국 지자체 최초로 정부의 탄소중립 정책을 뒷받침하고 2050 전남도 탄소중립 종합비전을 실현하기 위한 탄소중립 대응 전략을 수립하였으며, 주력산업인 석유화학, 철강, 조선산업을 핵심 분야로 선정
경상남도	경남형 2050 탄소 중립 로드맵(21.12)	• 2030 국가 온실가스 감축 목표의 상향조정과 연계하고 2030년 경상남도 온실가스 60% 감축목표에 대응하기 위해 '경남형 2050 탄소중립 로드맵'을 발표하였으며, 기존 계획의 추진성과 시사점 및 개선·보완 필요사항을 반영한 7대 추진 전략 기반의 로드맵 제시
제주특별자치도	2050 탄소중립 위한 제주특별자치도 기후변화 대응 계획(안)(22.1)	• 정부가 제시한 '2050 장기저탄소발전전략'과 연계하고 '2030 온실가스 감축 로드맵'보다 상향된 감축전략으로 2050 탄소중립기후변화 대응계획을 제시하였으며, 4대 목표, 7대 부문별 전략을 수립하여 글로벌 리더 탄소중립 도시를 만들고자 함

2.3 지자체 온실가스 배출량 산정방식

▶ 2022 시·도 온실가스 인벤토리 산정지침⁴⁾

- 2050 탄소중립 실현을 위한 정책수립을 위해서는 지자체 온실가스 배출량을 정확하게 산정하는 것이 매우 중요하며, 2021년 12월 온실가스종합정보센터에서는 ‘2022 시·도 온실가스 인벤토리 산정 지침’을 배포함
 - 온실가스 인벤토리는 ‘저탄소 녹색성장 기본법 제 45조’의 규정에 따라 작성되었으며, 2011년 11월 국가 온실가스 통계관리 위원회 승인 이후 매년 온실가스 배출량을 산정 및 공표 중에 있음
- 국가 온실가스 통계 산정 및 공표를 위해 분야·부문별 배출량을 산정·제출하는 관장기관과 관장기관별 통계를 취합·검증·공표하는 총괄기관으로 이루어진 체계로 구성
 - 온실가스종합정보센터는 국가 온실가스 종합정보관리체계를 구축·관리하는 총괄업무를 담당하며, 탄소 녹색성장 기본법 시행령에 따라 분야별 관장기관은 소관 분야의 활동자료를 수집하고 온실가스인벤토리를 작성하여 온실가스종합정보센터에 제출하며, 온실가스종합정보센터는 분야별 배출통계를 취합하여 검증함

[그림 2-1] 국가 온실가스 인벤토리 작성 체계



출처: 2021년 국가 온실가스 인벤토리 보고서

- 17개 광역지자체 온실가스 배출량 산정은 지역별 활동자료에 기반하고 있음
 - 광역지자체별 활동자료가 확보 가능한 경우에는 해당 자료를 우선 적용하며, 동일 출처 내 별도의 지역별 자료가 없는 경우 타 유사 통계자료의 비율을 활용함. 만약 타 출처에도 활동자료가 부재한 경우에는 활동자료에 영향을 미치는 상관인자를 조사하여 추정
 - 국내 부문별 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료는 하향식(중앙기관 추계 에너지통계자료)과 상향식(지역 실사 보고자료)을 종합한 상호 검증을 통해 자료 수집 및 보완
 - 활동자료의 시계열 완전성을 확보하는 것이 중요하나 과거 자료의 경우 값이 부재하거나 국가 기준 총계만 제시되어 있는 경우에는 내삽 또는 이동평균(3년) 등을 활용하여 활동자료 확보

4) 출처: 환경부, 온실가스종합정보센터 (2021) 2022 시·도 온실가스 인벤토리 산정 지침

[그림 2-2] 지역 온실가스 배출량 산정 절차



출처: 2022 시·도 온실가스 인벤토리 산정지침

- 카테고리별 온실가스 배출량 산정방법은 '국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침'을 준용하며, 구체적인 온실가스 배출량 산정방법은 배출원별로 상이하나 기본적인 방법으로는 활동자료와 배출계수, 지구온난화 지수의 곱으로 산정
 - 활동자료는 에너지로 사용되는 연료사용량, 전력사용량, 제품생산량, 산림면적, 비료시비량, 폐기물 발생량 등이며, 국가 공식 통계, 관련 협회 자료, 목표관리제·배출권거래제 사업장 통계, 통계청 발표자료 등 다양한 형태로 수집함
 - 국가 배출량 통계에 활용되는 배출계수 및 매개변수를 준용하여 온실가스 배출량을 산정하며, 지구온난화지수는 'IPCC 제2차 평가보고서(IPCC, 1995)'에서 제시한 값을 적용
- 온실가스 배출량 산정 범위는 국가 배출량 통계와 동일한 분야에 간접배출량을 추가한 총 6개 분야(에너지, 산업공정, 농업, LULUCF, 폐기물, 간접배출량)에 해당함
 - 배출량을 산정하기 위한 기준은 1996 IPCC GL 기반으로 산정하였으나, 일부 부문은 IPCC GPG 2000, IPCC GPG-LULUCF 2003, 2006 IPCC GL 방법론을 적용

[표 2-3] 온실가스 배출량 산정방법

온실가스 배출량 (Emission)	활동자료 (Activity Data)	배출계수 (Emission Factor)	지구온난화지수 (GWP)
<ul style="list-style-type: none"> • 직접/간접 배출량 • CO₂ 환산 배출량 • 6대 온실가스 	<ul style="list-style-type: none"> • 연료사용량 • 제품생산량 • 산림면적 • 비료 시비량 • 폐기물 매립량 • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • 연료별 배출계수 • 발열량/산화율 • 장내발효 배출계수 • Biomass 확장계수 • 메탄보정계수 • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ : 1 • CH₄ : 21 • N₂O : 310 • HFCs : 140-11,700 • PFCs : 6,500-9,200 • SF₆ : 23,900

출처: 2022 시·도 온실가스 인벤토리 산정지침

2.4 국내 온실가스 보고 시스템

▶ 국가 온실가스 종합관리시스템(NGMS)⁵⁾

- 우리나라는 국가 온실가스 종합관리시스템(National Greenhouse-gas Management System, NGMS)으로 배출권거래제·목표관리제 등 온실가스에 대한 종합적인 정보를 관리하고 있음
- 온실가스·에너지 목표관리제*는 일정 수준 이상의 온실가스를 배출하고 에너지를 소비하는 업체 및 사업장을 관리업체로 지정하여 온실가스 감축목표, 에너지 절약목표를 설정하고 관리하기 위한 제도
 - * 저탄소 녹색성장 기본법에 따른 국가 온실가스 감축 목표('30년까지 2017년도 배출량의 1000분의 244 감축)를 달성
 - 국토부, 산업부 등 부문별 관장기관은 관리업체와 명세서 이행계획 실적보고를 받고, 목표설정·감축지원·이행평가를 하고, 관리업체는 온실가스 및 에너지정보를 온실가스 종합정보센터에 제공함
- 공공부문 온실가스·에너지목표관리제는 중앙행정기관, 지자체, 공공기관, 지방공사·공단 등 대상기관이 매년 온실가스 감축 및 에너지 절약에 대한 목표를 설정하고 지속적으로 감축활동을 이행하는 제도
 - 공공부문 온실가스·에너지 목표관리제 대상기관(시설)은 NGMS를 통하여 시설정보 및 시설별 감축 이행결과(시설개선내역, 행태개선내역, 에너지이용합리화추진결과)를 작성하여 보고해야 함
- 온실가스 배출권거래제는 온실가스를 배출하는 사업장을 대상으로 연단위 배출권을 할당하여 할당범위 내에서 배출행위를 할 수 있도록 하고, 할당된 사업장의 실질적 온실가스 배출량을 평가하여 여분 또는 부족분의 배출권에 대하여는 업체 간 거래를 허용하는 제도임
 - 온실가스 배출권거래제 대상업체는 배출량 산정 계획(사업장 일반정보, 활동자료 모니터링 방법, 배출활동 산정등급, 배출량 산정보고 담당자 현황 등), 배출권 할당 신청서 작성 및 제출 등을 NGMS를 통해 진행할 수 있음

[그림 2-3] 국가 온실가스 종합관리시스템(NGMS)



5) 출처: 국가온실가스종합관리시스템(NGMS), <https://ngms.gir.go.kr>, 2022년 11월 11일 접속

2.5 소결

- 국내에서는 '기후위기 비상선언 선포('20.05) → 탄소중립 지방정부 실천 연대 발족('20.07) → 기후위기 비상대응 촉구 결의안 채택('20.9) → P4G 전국 지자체 탄소중립 선언('21.05)'을 통하여 모든 광역지자체가 2050년 탄소중립 실현할 것을 다짐
- 'P4G 전국 지자체 탄소중립 선언('21.05)'을 계기로 전국 지자체에서는 탄소중립 이행계획 수립에 착수하였으며, 정부는 계획 수립 지원, 재정지원 등의 협력을 약속
- 최근 국제사회 및 국내 정부기관의 2050 탄소중립 달성 계획이 발표됨에 따라 각 지자체에서는 '2030 국가온실가스 감축 목표(NDC) 상향안'과 연계한 온실가스 감축 전략을 발표
- 각 지자체에서는 기상환경, 에너지수급 형태 등을 종합적으로 고려한 지역 맞춤형 2050 탄소중립 전략을 수립하고 발표하였으며, 일부 지자체에서는 2050년 이전에 탄소중립을 실현하려는 강한 의지를 표출
- 2050 탄소중립 실현을 위한 정책수립을 위해서는 지자체 온실가스 배출량을 정확하게 산정하는 것이 매우 중요하며, 온실가스종합정보센터에서는 '2022 시·도 온실가스 인벤토리 산정 지침'을 배포
- 지역 단위 온실가스 배출량을 산정하기 위한 절차로는 기초자료 수합, 활동자료 추가확보, 지역별 활동자료 확정, 온실가스 배출량 산정 및 정합성 분석, 지역 배출량 최종 확정 순이며, 일반적으로는 활동자료와 배출계수, 지구온난화 지수의 곱을 통해 배출량 산정이 가능

3

국외 공간단위 탄소중립 전략수립 현황

3.1 글로벌 지자체 탄소중립 선언 현황

▶ UN 기후행동정상회의와 기후목표상향연맹의 발족

- 2019년 6월 안토니오 구테흐스 UN 사무총장이 개최한 유엔 기후행동 정상회의(UN Climate Action Summit)에서 COP25의 의장국인 칠레는 탄소중립을 국가, 기업, 투자자, 도시, 지역 등으로 구성된 기후목표 상향연맹(Climate Ambition Alliance) 발족을 선언하고 2020년에 시작
- 기후목표상향연맹에 더 많은 참여를 독려하기 위하여 2020년 6월부터 Race to Zero 캠페인을 시작하였으며, Race to Zero 연맹에 참여하면 자동으로 기후목표상향연맹에도 가입되는 구조임
- 2021년 10월 기준으로 국가 120개, 도시/지역 474개 등 2,289개의 기후변화 주체가 연맹에 참여함

[표 3-1] UN 기후목표상향연맹의 참가자 수 (2021년 10월 19일 기준)

구분	국가	도시/지역	교육기관	기업	금융기관	합계
가입수	120	474	549	1,101	45	2,289

※ 출처: Climate Initiatives Platform⁶⁾▶ C40 도시기후리더십 그룹은 대도시의 온실가스 감축 활동에 대한 구체적인 계획 수립을 의무화⁷⁾

- 2005년 케네스 리빙스턴 前런던시장의 주최로 세계온실가스 80%이상을 배출하고 있는 18개 대도시가 참여한 “대도시 기후리더십 그룹 (Large Cities Climate Leadership Group)”의 제1차 총회가 개최되었으며 이듬해 2006년 회원도시를 40개로 확산하면서 “C40”로 개칭함
- C40의 미션은 회원도시가 온실가스 배출량을 10년 이내에 절반으로 줄이는 동시에 형평성과 회복력을 개선하여 모든 사람이 어디에서나 잘 살 수 있는 조건을 만드는 것에 있음
- 회원도시가 기후변화 대응에 구체적으로 어떻게 기여했는지에 대하여 정기적으로 운영위원회(Steering Committee)가 평가하며, C40 기준에 미달할 경우에는 회원도시로서의 자격에 박탈당하게 됨
- 2021년 기준으로 런던, 베를린, 뉴욕, 도쿄, 델리 등 97개의 도시가 C40에 가입되어 있으며, 한국의 경우에는 서울이 2006년 가입하여 현재까지 회원자격을 유지하고 있음

6) 출처: UNEP Climate Initiatives Platform. “Climate Ambition Alliance”. https://climateinitiativesplatform.org/index.php/Climate_Ambition_Alliance:_Net_Zero_2050. 2022년 5월 19일 접속7) 출처: C40. “About C40”. <https://www.c40.org/about-c40/>. 2022년 5월 19일 접속

3.2 국제 지역단위 온실가스 배출량 인벤토리 산정 지침

▶ 지역단위 온실가스 배출량을 산정하기 위한 국제표준인 GHG 프로토콜⁸⁾

- 세계자원연구소(WRI)^{*}와 세계지속가능발전기업위원회(WBCSD)^{**}는 1990년대 후반 기업의 온실가스 회계처리 및 보고기준에 대한 국제 표준의 필요성을 제기하고 2001년 첫 기업표준을 제정한 이래로 도시, 감축, 정책 및 이행, 공급망, 제품 등 다양한 분야에서의 GHG(Greenhouse Gas) 프로토콜을 개발
 - * 세계자원연구소(WRI)는 1982년 미국에서 설립된 글로벌 비영리조직으로서 기후변화대응과 관련된 세계적인 연구기관 중 하나
 - ** 세계지속가능발전기업위원회(WBCSD)는 1995년에 다국적 기업이 참여하여 설립된 비영리조직이며, 경제·환경·사회의 지속가능한 발전을 추구하는 것을 목표로 함
 - C40 기후리더십 그룹, ICLEI와 함께 개발한 도시에 대한 GHG 프로토콜^{*}은 지역 단위에서 총배출량과 최대 배출원 파악을 통해 온실가스 감축목표를 설정하고 성과를 추적할 수 있도록 표준화된 도구로서 활용할 수 있음
 - * Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities
 - 기후행동계획을 지원하기 위하여 도시가 스스로 온실가스 인벤토리를 개발할 수 있도록 지원
 - 국제적으로 공인된 온실가스 회계 및 보고 원칙에 따라 도시 간 온실가스 배출량을 일관되고 투명하게 측정하고 보고 가능
 - 도시 인벤토리를 하위 국가 및 국가 수준에서 집계할 수 있도록 하고, 기후변화에 대처하는 데 도시가 수행하는 중요한 역할을 보여주고 비교 가능한 데이터의 벤치마킹 및 집계를 통해 통찰력을 촉진할 수 있음
 - 국제표준인 GHG 프로토콜에 대한 세가지 인식방법은 ‘검토(Review by the GHG Protocol)’, ‘기반(Built on GHG Protocol)’, ‘공동개발(Joint development by the GHG Protocol)’임
- ※ 한국환경공단은 2009년 ‘지자체 온실가스 배출원 및 배출량 통계자료(인벤토리) 구축사업’을 통하여 ‘지자체 온실가스 인벤토리 산정지침’을 개발하고, 지속적으로 수정·보완하여 2019년 GHG 프로토콜의 인증(Built on GHG Protocol)을 획득

[표 3-2] GHG 프로토콜의 인식(recognition) 방법

구분			방법	
1	검토	Review by the GHG Protocol	문구 삽입	최소한의 인증요건을 만족하면 아래와 같은 문구 삽입 가능 "This [sector guidance] has been reviewed by the GHG Protocol and is consistent with the [specific title] Standard"
2	기반	Built on GHG Protocol	마크 부여	제3자 검증에 따라 GHG 프로토콜에 부합되면 인증마크 부여 
3	공동개발	Joint development by the GHG Protocol	마크 부여	개발시작부터 세계자원연구소(WRI)가 완전히 개입되는 경우 인증마크 부여 

출처: Approaches and branding guidelines to develop GHG Protocol(GHG Protocol) 수정⁹⁾

8) 출처: WRI & WBCSD. "GHG Protocol". <https://ghgprotocol.org>. 2022년 8월 18일 접속

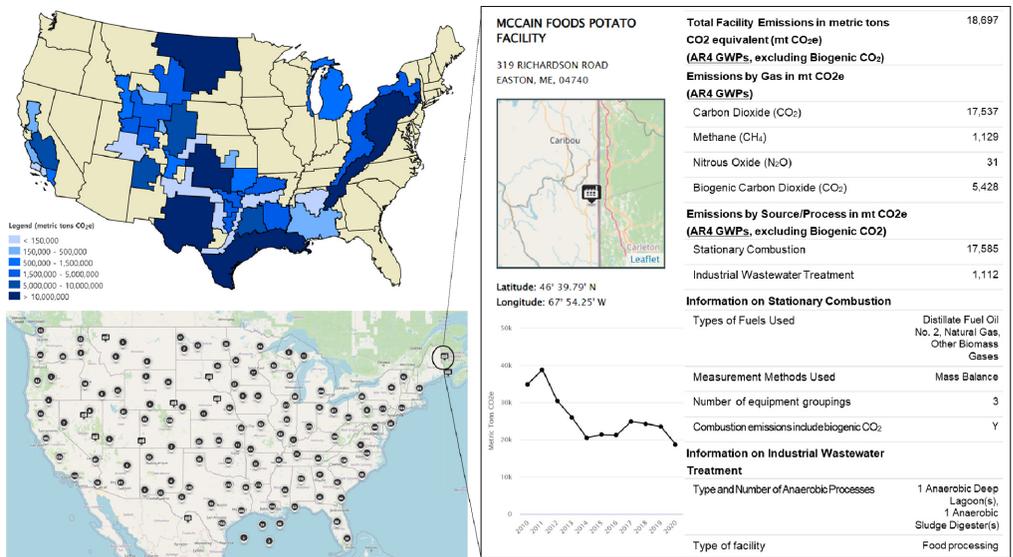
9) 출처: GHG Protocol, "Approaches and branding guidelines to develop GHG Protocol". <https://ghgprotocol.org/review-service>. 2022년 8월 25일 접속

3.3 국외 공간단위 온실가스 배출량 지도

▶ 미국의 시설 단위 온실가스 보고시스템

- 미국 환경보호청(United States Environmental Protection Agency, US EPA)에서는 온실가스 보고 프로그램(Greenhouse Gas Reporting Program, GHGRP)으로 지역별 주요 배출원의 온실가스 배출정보를 공간화하여 제공함
 - 미국 통합세출법(Consolidated Appropriation Act)에서는 연간 25,000톤 이상의 이산화탄소 배출 환산량(MTCO₂e)을 배출하는 시설이나 발전시설, 활용과정에서 온실가스를 배출하는 제품의 공급자 등은 매년 EPA에 온실가스 배출량을 의무적으로 보고하도록 규정하고 있음
 - 이에 따라 2010년부터 매년 온실가스 배출량 데이터를 수집·갱신하고 있으며, 국가·주·지역·부문·시설 등 다양한 공간적 범위에서 대규모 배출시설의 온실가스 배출 정보를 웹 기반 시스템인 Facility Level Information on Green House gases Tool (FLIGHT)를 통해 지도, 도표, 그래프 등 가시화된 형태로 제공함¹⁰⁾
 - 온실가스 배출량에 대한 정확하고 최신의 자료를 대중, 정책 결정자 등 이해당사자들에게 제공하여 특정 산업 및 개별 시설의 배출량, 배출량에 영향을 미치는 요인 및 온실가스 감축 조치를 파악함으로써 감축 촉진을 지원함

[그림 3-1] 미국의 시설 단위 온실가스 배출량 제공 현황('22년 8월 기준)



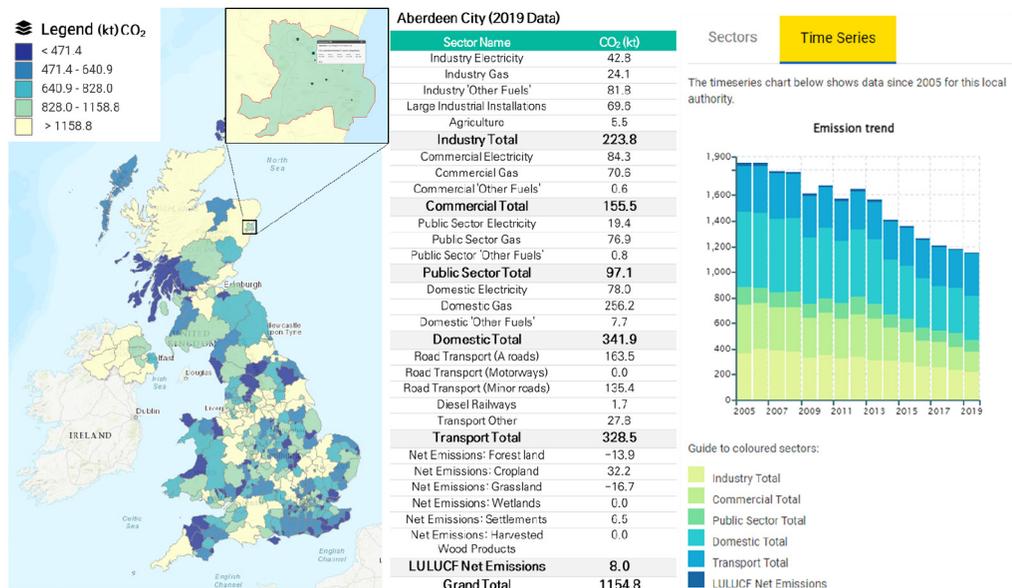
출처: 미국의 Facility Level Information on Green House gases Tool(<https://ghgdata.epa.gov/ghgp/>) 정보를 저자가 재구성

10) 출처: US EPA. 'Facility Level Information on Green House gases Tool'. <https://ghgdata.epa.gov/ghgp/>. 2022년 8월 17일 접속

▶ 영국의 공간단위 온실가스 배출량 추정

- 영국 기업에너지산업전략부(Department for Business, Energy & Industrial Strategy, BEIS)에서는 지역 단위의 온실가스 배출량 추정치를 생산하여 통계자료 및 지도화된 형태로 제공함으로써 온실가스 배출량을 지속적으로 모니터링하고, 감축 전략 수립에 유용한 정보를 제공함¹¹⁾
 - 국가 온실가스 인벤토리의 CO₂, CH₄, N₂O 배출량을 기준으로 지자체별 배출현황과 시계열 변화 정보 및 지자체 내의 주요 배출원의 상세 정보를 웹 기반으로 제공하고 있음
- ‘최종사용자(End User)’를 기준으로 배출량을 산정하는 방식을 적용하여 공간화를 실시하며, 이는 연료의 생산과 처리, 전기 생산 시 발생하는 온실가스 배출량을 전력·제품 등 최종사용자에게 재할당하는 방식임
 - ‘최종사용자’ 기준 배출량 산정 방식은 ‘배출원’ 기준 산정 방식과는 달리, 가스 및 전력 소비통계, 폐기물 발생 자료, 토지이용, 토지이용변화 및 임업(LULUCF) 지역 자료 등 다양한 활동정보를 수집하여 에너지 사용지역의 배출량을 추정함
 - 이는 에너지를 생산지역이 아닌 사용지역의 배출을 중요하게 고려하는 방식으로 에너지 공급(전력을 포함하는 에너지의 전환과 공급), 사용(거주지, 산업, 교통 등) 및 기타(농업, 산업 공정, 토지이용변화 및 폐기물 등) 부문으로 구분해서 산정하고 있음
 - 예를 들어 폐기물로 인한 온실가스 배출량의 경우, 각 지역에서 발생하는 폐기물량을 기반으로 온실가스 배출량을 재할당하며, 에너지 공급자가 전력을 사용하는 경우 전력 공급원에서 발생하는 배출량이 에너지 공급자 배출량으로 이전되고, 이는 다시 최종 에너지 사용자에게로 재분배되는 방식임

[그림 3-2] 영국의 지역별 온실가스 배출량 제공 현황(‘22년 8월 기준)



출처: 영국의 National Atmosphere Emissions Inventory(<https://naei.beis.gov.uk/laco2app/>) 정보를 저자가 재구성

11) 출처: UK National Atmospheric Emissions Inventory. CO₂ Interactive Map. <https://naei.beis.gov.uk/laco2app/>. 2022년 8월 17일 접속

3.4 소결

- 2019년 UN 기후행동정상회의 개최 및 기후목표상향연명 발족을 통해 현재 기준으로 120여개 국, 474개 도시 등 2,289개의 기후변화 주체가 연맹에 참여함
- C40 도시기후리더십 그룹은 대도시의 온실가스 감축활동에 대한 구체적인 계획 수립을 의무화하고, WRI와 함께 도시에 대한 GHG 프로토콜을 개발하여 국제표준을 제시
- 미국 환경보호청(US EPA)은 온실가스 보고 프로그램(Greenhouse Gas Reporting Program, GHGRP)으로 지역별 주요 배출원의 온실가스 배출정보를 공간화하여 제공함
- 영국 기업에너지산업전략부 (BEIS)에서는 지역 단위의 온실가스 배출량 추정치를 생산하여 통계자료 및 지도화된 형태로 제공함으로써 온실가스 배출량을 지속적으로 모니터링하고, 감축 전략 수립에 유용한 정보를 제공함

4

공간단위 탄소중립 프로그램 사례

4.1 국내 공간단위 탄소중립 프로그램

▶ 한국에너지공단 EG-TIPS 탄소중립 시뮬레이터¹²⁾

- 영국 정부의 Mackay Carbon Calculator를 벤치마킹하여 개발됨
 - 발전 (전원 믹스 변화, 송배전 손실 감소), 산업 (철강산업 감축, 석유화학산업 감축, 시멘트산업 감축, 정유산업 감축, 기타산업 감축), 가정, 상업, 수송, 공공 부문의 2050 감축경로를 단계별로 제공함
 - 사용자가 감축 부문별 시나리오 단계를 설정할 수 있게 하고, 이에 따른 2050년까지의 최종 에너지 수요와 온실가스 배출량을 보여줌
- 부문별 감축경로는 총 4단계로 구분되며, 현 수준이 유지되는 단계(BAU)부터 점차적으로 신재생 전력원 및 열원의 사용이 확대되는 등의 시나리오로 구성되어 있음
 - 예시로 발전 부문의 '전원 믹스 변화'의 단계별 시나리오를 살펴보면, 1단계는 현재 수준의 감축정책 유지로 2050년까지 전력의 18%를 신재생으로 생산하는 것이고, 2단계는 신재생 기반 전력을 50%까지 확대하는 경로임. 3단계와 4단계는 각각 신재생으로 전력의 68%와 72.5%를 생산하는 것과 더불어 수소와 암모니아 등을 포함한 무탄소 발전의 비중을 늘리는 시나리오로 설정되어 있음
- EG-TIPS 탄소중립 시뮬레이터는 모든 배출 부문에 일괄적 시나리오를 적용하는 것이 아닌, 각 부문별로 감축경로가 단계별 설정되어 있어 동일 기간 내(2050년까지) 온실가스 배출량 감소 전략을 달리 구성하여 시뮬레이션 할 수 있음
- 하지만 공간과 기술적 정의가 포괄적이므로 지자체 등 공간 단위의 특성을 반영한 시나리오 분석에는 한계가 있음
 - 예를 들어 공간의 경우 전국을 대상으로 하였으며, 기술의 경우 부문별 세부내용의 차이는 있으나 주로 '효율 향상 저탄소 연료 전환', '고효율 기기 보급' 등 큰 단위의 방향성을 제시하는 시나리오로 구성되어 있음
 - 시뮬레이터 사용자가 설정한 2050 탄소중립 시나리오에 따라 가정, 상업, 철강, 석유화학, 시멘트, 정유, 여타산업, 수송 및 공공 부문의 최종 에너지 수요 예측과 더불어 가정, 상업, 산업, 수송, 공공, 지역난방 열병합발전, 신재생발전 및 화석연료발전 부문의 온실가스 배출량 전망을 결과값으로 제공함
- 신·재생에너지 기술의 세부적 적용 또는 경제성 분석은 제공되지 않음

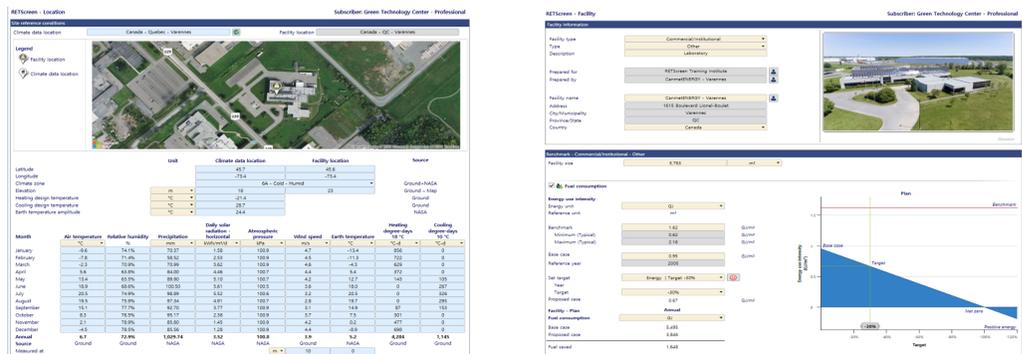
12) 출처: 한국에너지공단. 'EG-TIPS'. https://tips.energy.or.kr/carbon/carbon_cal.do. 2022년 7월 15일 접속

4.2 국외 공간단위 탄소중립 프로그램

▶ 캐나다 천연자원부 RETScreen Clean Energy Management Software¹³⁾

- 1997년 캐나다 천연자원부 (Natural Resources Canada)가 프로그램 형태로 개발
 - 재생에너지, 에너지 효율 및 열병합 발전 프로젝트의 기술 및 재정적 실행 가능성 분석을 목적으로 하며, 기술적 범위는 기존 에너지원과 연료전지, 가스터빈, 지열, 수력, 태양광, 태양열, 풍력, 해양에너지 등을 다룸
 - 주 대상 사용자는 개발자, 공학자, 연구원, 설비업체 등으로 에너지 분석, 비용 분석, 배출 분석, 재무 분석 및 민감도. 위험 분석을 통해 연간, 월간 및 시간별 출력, 용량 계수, NPV, 투자 회수, 수익 수치 등의 정보를 제공함
- 개별 주택에서 대규모 산업 시설을 아우르는 다양한 규모의 공간에 대해 에너지 효율, 난방 및 냉방(바이오매스, 열펌프, 태양열 공기/수열 난방), 전력(태양광, 풍력, 수력, 지열 등 재생 에너지 포함), 가스/증기 터빈을 포함한 에너지 프로젝트의 분석을 지원함
 - 기본적으로 제공되는 산업 벤치마크와 비교를 통해 에너지 시스템의 실현 가능성 (Feasibility) 분석을 수행함
 - 또한 방대한 양의 정보를 가진 데이터베이스 (NASA에서 제공하는 기후 데이터베이스 및 기술별 제품 및 비용 정보)를 제공하여 사용자가 대상 프로젝트에 대한 제한적 정보를 가지고 있어도 분석을 시행할 수 있도록 지원함
- 분석 대상 공간을 선택하면 연계된 기후 데이터가 자동으로 로딩되고, 사용자가 프로젝트의 기술 및 비용 정보를 입력할 수 있는데, 이때 프로젝트에 대해 가지고 있는 정보에 따라 직접 입력 혹은 프로그램이 제공하는 디폴트 수치의 사용이 가능함
 - 입력된 정보를 바탕으로 기술적, 경제적 및 위험 분석이 수행되며, 현재 가동되고 있는 시스템 대비 새롭게 만들려고 하는 에너지 시스템을 비교하여 프로젝트의 실현 가능성을 가늠할 수 있음
 - 배출정보의 경우, 단위 에너지 당 배출 계수를 사용하여 CO₂, CH₄, N₂O에 대한 배출량을 계산함.

[그림 4-1] 캐나다 천연자원부 RETScreen 구동화면

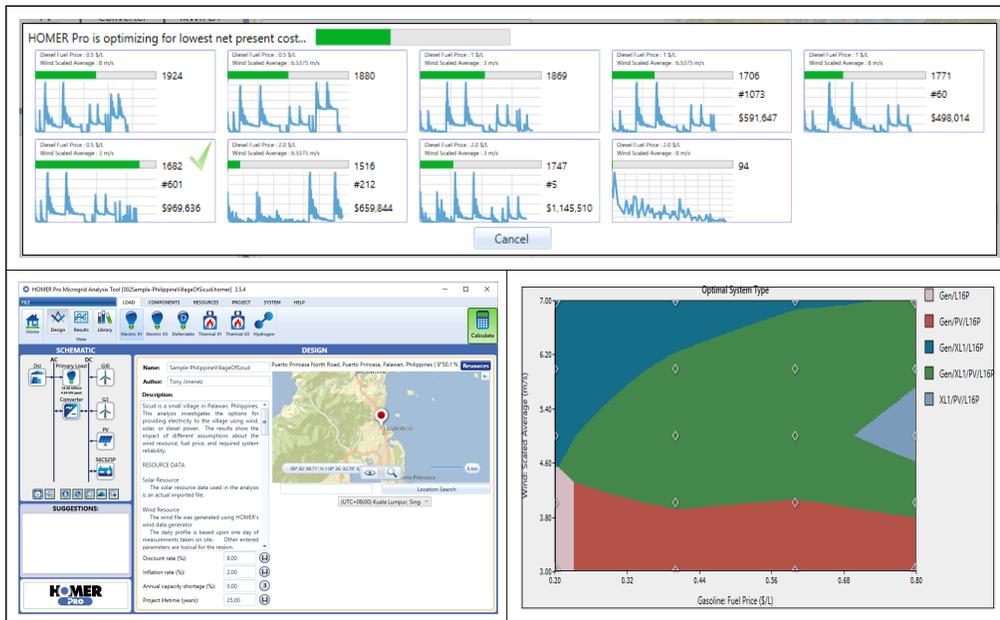


13) 출처: Government of Canada. "RETScreen". <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>. 2022년 7월 15일 접속

▶ 미국 재생에너지 국립연구소 HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources)¹⁴⁾

- 미국 재생에너지 국립연구소(National Renewable Energy Laboratory, NREL)에서 개발하여 HOMER Energy 사에 의해 항상 업그레이드 및 배포되는 프로그램
 - 마을이나 섬의 전력 시스템에서 캠퍼스 및 군사 기지의 그리드 연결에 이르기까지 모든 부문에서 마이크로 그리드(Microgrid) 설계 최적화를 지원함
 - 시뮬레이션, 최적화, 민감도 분석과 경제성 분석을 제공하며 태양광, 풍력, 수력, 바이오매스, 수소, 에너지 저장, 천연가스 발전에 범위를 둠. 주 사용대상자인 개발자, 공학자, 연구원, 그리고 설비 업체에게 비용 요약, 현금흐름, 전력량, 온실가스 배출량 정보를 제공함
- 그리드의 여러 구성 요소와 설계 결과 및 비용 경쟁력을 비교하여 프로젝트의 위험을 최소화하는 동시에 에너지 손실을 줄일 수 있는 최적화 조합을 제시함
 - 시스템 시뮬레이션을 통해 마이크로 그리드 및 다른 종류의 분산 발전 시스템 설계에 있어 사용자가 고려하는 기술 및 장비들의 모든 조합에 대한 실행 가능성을 분석하여 최적화 알고리즘을 적용해 최소 비용이 드는 설계 프로세스를 식별함
 - 시스템의 최소 운영 비용을 계산하는 데 있어 자본 비용, 이자율, 프로젝트 수명 등을 고려하여 계산된 순현재가치를 기준으로 실행 가능성이 높은 시스템 구성을 도출해 내는 반면 균등화 발전비용 (LCOE)을 기준으로 한 시스템 최적화는 제공하지 않음. 그리드 시스템의 환경 영향 평가 측면으로는 연료 연소 기반 기술들의 온실가스 직접 배출량을 제공함

[그림 4-2] 미국 재생에너지 국립연구소 HOMER 구동화면

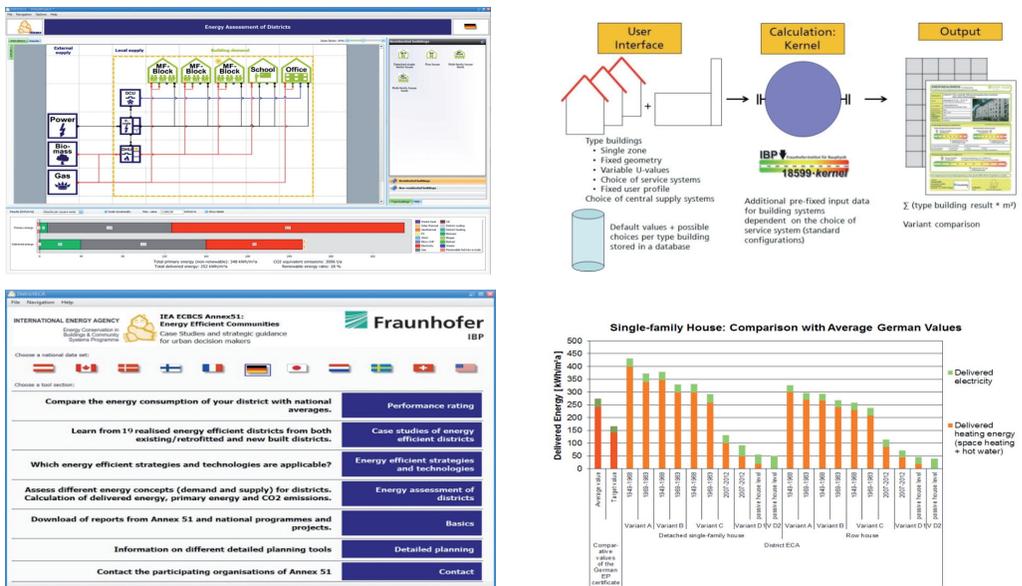


14) 출처: National Renewable Energy Laboratory. 'HOMER Energy'. <https://www.homerenergy.com/>. 2022년 8월 18일 접속.

▶ 독일 연방경제기술부 District Energy Concept Adviser (DECA: 지역 에너지 콘셉트 어드바이저)¹⁵⁾

- 독일 연방 경제 기술부(German Federal Ministry for Economy and Technology)에서 출범한 에너지 효율 도시(EnEff:Stadt) 이니셔티브의 일환으로 프라운호퍼 건축물리 연구소 (Fraunhofer Institute for Building Physics)가 국제 에너지 기구(International Energy Agency,IEA)와 협력하여 개발한 프로그램으로, 건물을 단위로 이루어진 도시 및 지구(District)를 공간적 범위로 함
 - 건물 지구(Building district)의 고효율 에너지 공급 계획을 지원하는 소프트웨어로, 지역 에너지 공급의 초기 계획 단계에서 도시 계획자, 주택 회사, 개발자 및 지역 정치 의사 결정자를 대상으로 새로운 지역과 기존 지역의 에너지 공급 시스템 개조 및 재설계에 대한 전략적 지침을 제공함. 예를 들어 기존 건물의 중앙 에너지 공급 시스템의 효율 평가를 통해 에너지 절감 가능성 전략 수립을 지원함
- 프로그램 내의 '성능 평가 도구 (Performance rating tool)'는 에너지 절감 또는 친환경 지구 (District)의 에너지 효율성 개선 사례를 제공하여, 대상 지역의 에너지 사용을 독일 내 다른 유사한 지역의 평균과 비교할 수 있는 기능을 제공함
- 또한 지역의 에너지 수요와 공급 양 측면을 모두 고려한 다양한 형태의 '에너지 콘셉트' 평가를 통해 지역의 에너지 성과를 계산할 수 있음
 - 예를 들어 대상 공간의 에너지 공급 계획이 중앙 집중식(예: 지역 난방 네트워크용) 또는 분산형(예: 보일러 또는 열 펌프), 혹은 혼합 방식인 경우의 에너지 소비량과 탄소배출량을 계산하여 비교할 수 있음

[그림 4-3] 독일 연방경제기술부 DECA 구동화면

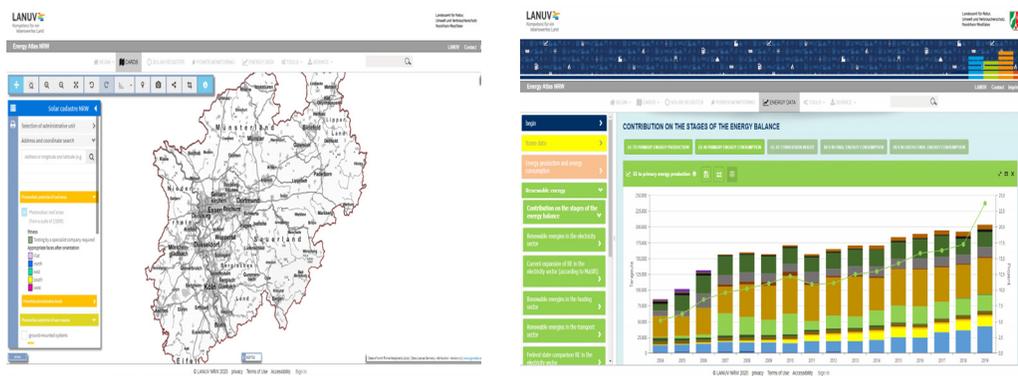


15) 출처: German Federal Ministry for Economy and Technology. 'District Energy Concept Adviser'. <https://www.district-eca.de/>. 2022년 7월 15일 접속

▶ 독일 노르트라인 베스트발젠 Energy Atlas NRW (NRW 에너지 지도)¹⁶⁾

- 독일 서부의 노르트라인 베스트발젠(North Rhine–Westphalia, NRW) 주정부에서 개발한 에너지 지도로 해당 지역의 에너지 전환 관련 정보를 제공함
- 해당 지역의 기후, 에너지 상황 정보를 제공하는 테마 지도 (Thematic maps), 전기 시장 모니터링, 에너지 전환 관련 데이터 등을 제공함
 - ‘태양 지도 (NRW Solar cadastre)’에서는 사용자가 해당 지역의 건물 지붕 위에 태양광 및 태양열 시스템 설치 계획을 세울 수 있도록 위치적 그리고 기후적 설치 가능성 정보를 지도상에 제공함
 - 전력발전 인벤토리 지도(Inventory card electricity)의 경우, NRW주 내의 풍력, 태양광, 바이오매스, 가스, 폐기물 소각, 수력, 석탄 및 기타 발전소들의 위치, 총 설비용량 그리고 총 전력 생산량 등의 종합적 정보를 제공함
- 에너지 데이터 섹션에서 국내 에너지 생산 및 수입량, 에너지 소비, 신재생에너지 생산 비중, 전기 및 열 사용량, 수송 관련 에너지 소비 그리고 온실가스 배출 정보를 제공함
 - 온실가스 정보의 경우 부문별 (에너지, 산업, 수송, 농업, 폐기물, 기타) 탄소 배출량 수치만을 제공하고 있음
- ‘시나리오 계산기 (Scenario calculator)’를 통해 사용자가 2030년 기준 목표 전력소비 감축량과 해당 지역의 풍력, 태양광, 바이오에너지 및 수력 예상 발전량을 설정하면, 재생에너지를 사용한 전기발전량 비중 및 온실가스 배출량 분석 정보를 제공함
 - 배출량 정보의 경우, 사용자가 설정한 재생에너지 사용 비중에 따른 탄소 감축량과 1990년 대비 온실가스 감축량을 제공함

[그림 4-4] 독일 NRW 에너지 지도 구동화면



16) 출처: North Rhine–Westphalia. “Energy atlas NRW.”. <https://www.energieatlas.nrw.de/site>. 2022년 7월 15일 접속.

4.3 소결

- 국내·외 공간단위 탄소중립 프로그램을 주 대상 사용자, 공간적·기술적 범위, 경제성 분석 그리고 환경성 분석 요소를 기준으로 비교한 결과, 프로그램별 공간적 범위는 단일 에너지 시스템부터 국가 전체에 이르기까지 광범위하였음
 - 분석 대상 공간의 단위가 작을수록 입·출력 데이터의 구체성과 정확도가 높은 반면 도시, 국가 등을 대상으로 하는 경우 포괄적 단위의 분석을 시행하지만 해당 공간의 탄소중립 실현을 위한 정책적 의사결정에 도움이 되는 정보를 제공함
- 기존의 프로그램의 경우에는 NASA 등의 일사량, 풍속, 기온 등 기후정보를 NASA 등에서 제공하는 데이터를 활용하고 있는데 해상도가 낮기 때문에 재생에너지 생산량 예측을 하기에 불충분할 수 있음
- 온실가스 감축량 분석의 경우에는 기존의 신재생에너지 분석 프로그램의 경우 프로젝트 단위에서 IPCC 배출계수를 활용하여 온실가스 감축효과를 산정하고 있어, 국가별 특성을 반영하지 못하고 있음
 - 또한 전과정평가분석(LCA)는 주로 기업 생산에 대한 제품단위로 이루어지고 있어 국가 R&D 정책 및 전략 수립을 위한 기술단위의 LCA는 체계적으로 이루어져 있지 않음
 - 미래 탄소중립 시나리오에 따라 동적(Dynamic)으로 변화하는 온실가스 배출량 고려 필요

[표 4-1] 국내·외 공간단위 탄소중립 프로그램 비교

구분	국내	국외			
		RETScreen	HOMER	DECA	E-Atlas NRW
프로그램명	EG-TIPS	RETScreen	HOMER	DECA	E-Atlas NRW
개발사	한국에너지공단	캐나다 천연자원부	미국 재생에너지 국립연구소	독일연방 경제기술부	독일 NRW 주정부
주 사용자	유관 부문 전문가, 기업 등	개발자, 공학자, 연구원, 설비업체	개발자, 공학자, 연구원, 설비업체	도시 계획자, 주택회사, 개발자 및 지역정치 의사 결정자	도시 계획자, 지역 에너지 전환 관련 정책 입안자 등
공간적 범위	국가	건물·프로젝트	시스템(그리드)	건물 (Building district)	주(State)
기술적 범위	상세 개별기술이 아닌 저탄소 기술 및 연료 전환, 확대 등 정책경로	연료전지, 가스터빈, 지열, 수력, 융복합, 조류, 태양광, 태양열, 파력, 풍력	태양광, 에너지저장, 천연가스발전, 풍력	태양광, 태양열, 지열, 풍력, 천연가스, 석유, 바이오매스, 바이오가스, 바이오 연료	바이오매스, 풍력, 태양광, 열
경제성 분석	X	O	O	X	X
환경성 분석	감축경로 (1~4단계)별 최종에너지 수요 및 탄소 배출량	- Unit energy 생산당 배출계수 적용 - 기술 전과정 중 운영 단계 탄소배출량 정보만 제공	연간 연료사용량과 배출계수를 사용한 직접배출량	에너지 생산량 당 탄소 배출량	연간 부문별 탄소 배출량

5

향후 과제

▶ 탄소중립 사회로의 전환을 촉진할 수 있는 공간 단위 탄소중립 분석 도구 부재

- R&D 단위의 기술분류체계와 연동될 수 없으며 기술개발 전략 수립을 위해서는 기술 단위 및 시스템 단위 분석 필요
- 국가 단위 에너지 모형은 탄소중립 달성을 위한 거시적 단위에서 저탄소기술 기여도 분석이 가능하지만, 에너지 시스템에 대한 모델링이 불충분하여 기술분석을 위한 정밀 모형으로는 한계를 지님

▶ 미래 탄소중립 시나리오에 따른 동적(Dynamic)으로 변화하는 온실가스 배출량 고려 필요

- 전과정평가분석(LCA)는 주로 기업 생산에 대한 제품단위로 이루어지고 있어 국가 R&D 정책 및 전략 수립을 위한 기술단위의 LCA는 체계적으로 이루어져 있지 않음
- 기존의 신재생에너지 프로젝트 분석 프로그램 (예시: HOMER, RETScreen 등)은 프로젝트 단위에서 IPCC 배출계수를 활용하여 온실가스 감축효과를 산정하고 있어, 국가별 특성을 반영하지 못하고 있음

▶ 재생에너지의 간헐성을 고려한 기술실현 가능성(Technical feasibility) 평가가 중요해질 예정

- 재생에너지 기반 통합 에너지시스템은 365일 시시각각 변하는 기상요소에 따라 전력생산, 전력저장, 수소변환, 열 공급 등을 안정적으로 공급해야 하며 이에 대한 평가는 실제 설계 이전에 정책 단위에서도 고려되어야 함

▶ 기술 단위 온실가스 감축효과 평가 도구를 활용한 R&D 정책 효과성 향상

- 국가 단위가 예산투자 및 기술 보급계획(예: 그린스쿨, 태양광 보급계획 등)에 따른 감축량 산정과 탄소중립 이행계획과의 연계성 확보는 정책 수단의 목표 달성 효과성을 높일 것임
- 또한 특정 R&D · 원천기술의 상용화에 대한 시나리오와 핵심 저탄소기술 R&D 기술확보 및 상용화가 미치는 탄소중립 달성 기여도 분석은 장기계획 수립에서 정책 효율성을 높일 것임

▶ 기술개발 효과 및 R&D 기술 적용 평가를 위한 기술정책에 특화된 독자 모형의 개발

- 탄소중립 달성을 위한 기술개발에 대한 다양한 효과(경제성, 환경성, 기술실현 가능성)를 사전에 분석하여 정책 효과성을 높일 수 있는 특화된 모형 개발 필요
- 해외모형이나 소프트웨어들이 일부 기능을 제공하고 있지만, 한국형 데이터베이스(Database) 구축 및 수요에 따른 분석 능력 강화를 위해서는 독자모형 구축이 필요

▶ 2022년부터 탄소중립 기술 시나리오 모형(CATAS)을 개발 중에 있음

- 녹색기술센터는 2022년부터 공간단위 탄소중립 기술적용 평가 및 단계별 기술 도입 전략을 위한 분석정보를 제공할 수 있는 탄소중립 기술시나리오 모형(CATAS, Carbon neutrality Assessment based on Technology Application Scenario)을 개발 중에 있음
- 현재로서 탄소중립 사회로의 전환을 촉진할 수 있는 공간 단위 탄소중립 분석 도구 부재함. 유사 목적으로 개발된 도구들을 고찰한 결과, 다양한 공간단위에서 여러 기후기술도입에 따른 탄소중립 기여도를 평가하거나, 기술의 발전을 고려하여 경로를 도출하는 등의 정보를 제공하는 프로그램은 부재함
- 따라서 CATAS는 분석 대상 공간의 탄소중립 목표를 달성하기 위하여 탄소중립 부문별(전환, 산업, 수송, 건물 등) 온실가스 감축 기술을 적용했을 경우 온실가스 감축효과 분석 및 경제성 분석 결과와 함께, 분석 대상 공간에서의 최적화된 기술적용 시나리오에 대한 정보를 제공할 예정임
- 모형 사용자의 활용 목적에 따라 BASIC과 PRO로 구분하도록 하여 사용자 편의를 고려한 프로그램을 개발할 예정
 - ‘CATAS-BASIC’은 일반국민 또는 지자체 온실가스 감축정책 관련 담당자들이 탄소중립 정책 수립 및 이행점검을 용이하게 할 수 있도록 개발될 예정이며, ‘CATAS-PRO’는 탄소중립 R&D 기획·점검·성과평가의 목적으로 개발되어 탄소중립 기술전문가들이 활용할 수 있는 수준으로 고도화할 예정
 - ‘CATAS-BASIC’의 경우에는 올해 베타버전 출시를 목표로 ‘24년까지 고도화하여 운영/관리할 예정이며, ‘CATAS-PRO’는 ‘25년 이후 개발 예정

[그림 5-1] 녹색기술센터(GTC) 「탄소중립 기술시나리오 모형(CATAS)(알파버전)」 화면구성(안)



참고문헌

- 1) 환경부, 온실가스종합정보센터 (2021) 2022 시·도 온실가스 인벤토리 산정 지침
- 2) 환경부, 온실가스종합정보센터 (2021) 2021년 지역별 온실가스 인벤토리(1990-2019)
- 3) 한국에너지공단. 'EG-TIP'S'. https://tips.energy.or.kr/carbon/carbon_cal.do. 2022년 7월 15일 접속
- 4) WRI & WBCSD. "GHG Protocol". <https://ghgprotocol.org>. 2022년 8월 18일 접속
- 5) US EPA. "Facility Level Information on Green House gases Tool". <https://ghgdata.epa.gov/ghgp/>. 2022년 8월 17일 접속
- 6) UNEP Climate Initiatives Platform. "Climate Ambition Alliance". https://climateinitiativesplatform.org/index.php/Climate_Ambition_Allian
- 7) UK National Atmospheric Emissions Inventory. "CO2 Interactive Map". <https://naei.beis.gov.uk/laco2app/>. 2022년 8월 17일 접속
- 8) North Rhine-Westphalia. 'Energy atlas'. <https://www.energieatlas.nrw.de/site>. 2022년 7월 15일 접속
- 9) National Renewable Energy Laboratory. 'HOMER Energy'. <https://www.homerenergy.com/>. 2022년 8월 18일 접속
- 10) IEA. "Empowering "Smart Cities" toward net zero emissions". <https://www.iea.org/news/empowering-smart-cities-toward-net-zero-emissions>. 2022년 6월 20일 접속
- 11) Government of Canada. "RETScreen". <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>. 2022년 7월
- 12) GHG Protocol, "Approaches and branding guidelines to develop GHG Protocol". <https://ghgprotocol.org/review-service>. 2022년 8월 25일 접속
- 13) German Federal Ministry for Economy and Technology. 'District Energy Concept Adviser'. <https://www.district-eca.de/>. 2022년 7월 15일 접속
- 14) C40. "About C40". <https://www.c40.org/about-c40/>. 2022년 5월 19일 접속
- 15) BBC. "How cities are going carbon neutral". <https://www.bbc.com/future/article/20211115-how-cities-are-going-carbon-neutral>. 2022년 5월 23일 접속

본 내용은 녹색기술센터(GTC)의 주요사업(이민아, 박신영, 최유영, 최지혁 「공간 단위 탄소중립 기술적용 시나리오 모형 연구: 에너지전환기술 중심으로」)으로 수행한 내용을 요약·정리한 것입니다.



04554 서울특별시 중구 퇴계로173
남산스퀘어 빌딩 17층
Tel. 02.3393.3900
Fax. 02.3393.3919~20
www.gtck.re.kr

* 본 GTC FOCUS의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 센터의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.