

성 명	박정혁	직 급	서기관
훈 련 국	미국	훈련기간	2022.12.29.~2024.10.28.(22개월)
훈련기관	조지워싱턴대학교	보고서 매수	113 매
훈련과제	2050 탄소중립에 대응하는 도시정책 방향 연구		
보고서 제목	2050 탄소중립에 대응하는 도시정책 방향 연구		
내용요약	<p><b>I. 서론</b></p> <p>최근 세계 곳곳에서 기후변화는 많은 생태적, 경제적, 사회적 문제를 발생시키고 있다. 화석연료 등으로 인해 촉발된 지구의 온난화는 홍수, 폭염, 가뭄 등 커다란 재난 재해로 이어지고, 이는 인명과 재산에 많은 피해를 발생시키고 있다. 이러한 신호들에서 볼 수 있듯이 기후변화에 결정적인 조치를 취할 때이며, 미국 등 선진국들은 기후문제에 적극 대처하기 위해 2021년에 파리 협정에 가입하고, 2030년까지 순 온실 가스 배출량을 50-52% 줄이고 2050년까지 최종 순 제로 배출 목표를 세웠다. 또한, 미국은 이에 따라 2021년 11월 'The Long-Term Strategy (LTS) of The United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050'라는 장기 전략을 세웠다. 바이든 행정부는 2050년까지 순제로를 달성하려면 경제의 모든 부문에서 조치를 취하고 지속 가능하고 회복력 있는 경제를 구축해야 한다고 강조하고 있는데, 이 같은 탄소중립 전략에 대해 각 분야별로 살펴볼 필요가 있다.</p> <p>본론에 앞서 탄소중립이란 용어의 개념부터 명확히 정의할 필요가 있다. 우리는 흔히 탄소중립과 온실가스 순배출 제로를 혼용하여 사용하고 있다. 정부의 공식 보고서나 논문, 언론 등에서 미국에서는 'net-zero'라는 용어가 더 많이 쓰이며, 한국에서는 '탄소중립'이라고 쓰는 경우가 많다. 엄밀히 말하면, 온실가스는 탄소를 포함하는 개념이며, 탄소는 대표적인 온실가스 중 하나인 CO2를 포함한 개념이다. 미국</p>		

환경보호청(EAP)에 따르면, 메탄은 이산화탄소보다 지구 온난화 잠재력이 25배 이상인 강력한 온실가스로, 기후위기에 대응하기 위해서는 CO<sub>2</sub> 이외에도 모든 온실가스를 줄이기 위한 노력이 필요하다. 따라서 이 페이지에서는 이산화탄소와 온실가스(GHG)는 포함개념으로 구분하여 사용하되, 한국의 용례와 같이 온실가스의 '순배출 제로'를 '탄소중립'과 같은 용어로 사용할 계획이다.

나는 탄소중립을 달성하기 위한 수송, 건물분야 전략들과 이를 총망라한 도시 정책이 나아가야 할 방향을 알아보기 위해, 우선 한국과 미국의 탄소배출 현황과 정책 방향을 조사하고 수송, 건물, 도시분야의 탄소중립 정책에 대해 미국 사례를 중점적으로 분석하여 시사점을 도출하고자 한다.

## II. 온실가스 배출 현황 및 정책 방향

### 1. 글로벌 현황

글로벌 GHG 배출량은 최근 2020년 COVID-19 팬데믹으로 인한 배출량 감소를 제외하고는 대체로 지속적으로 증가하였다. 2021년에서 2022년 사이에 GHG 배출량이 1.2% 증가하여 57.4기가톤 CO<sub>2</sub> 상당(GtCO<sub>2</sub>e)의 새로운 기록을 세웠습니다. 화석연료 연소 등에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량이 현재 GHG 배출량의 약 3분의 2를 차지하며 약 4분의 1을 차지하는 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 및 불소화 가스(F-가스)의 배출량 역시 빠르게 증가하고 있습니다.

UN의 보고서에 따르면(UNEP, 2023), 대부분의 온실가스 배출량은 소수 국가에서 발생합니다. 상위 5대 배출국(중국, 미국, 인도, 유럽연합, 러시아 연방)은 2021년 온실가스 배출량의 약 60%를 차지했습니다. 20개국(아르헨티나, 호주, 브라질, 캐나다, 중국, 프랑스, 독일, 인도, 인도네시아, 이탈리아, 일본, 대한민국, 멕시코, 러시아, 사우디아라비아, 남아프리카공화국, 터키, 영국, 미국, 유럽연합)은 전 세계 온실가스 배출량의 약 76%를 담당합니다. 반면 최빈개도국은 전 세계 배출량의 약 3.8%를 차지합니다.

2022년에 에너지 공급은 20.9GtCO<sub>2</sub>e(전체의 36%)로 글로벌 GHG 배출량 중 가장 큰 원천이다. 산업은 직접 배출량(14.4GtCO<sub>2</sub>e, 전체의 25%)을 기준으로 할 때 두 번째로 큰 부문이며, 그 다음으로 농업 및 LULUCF CO<sub>2</sub>(10.3GtCO<sub>2</sub>e, 18%), 운송(8.1GtCO<sub>2</sub>e, 14%), 건물(3.8GtCO<sub>2</sub>e, 6.7%) 순입니다. 그러나 전력 부문 배출량을 전기 및 열 사용(즉, 수요 관점을 강조하는 간접 배출량)에 따라 최종 부문으로 재할당하면 산업 부문은 34%, 건물 부문은 16%로 증가한다 (Lamb et al. 2021).

## 2. 미국의 탄소배출 현황 및 정책 방향

미국의 GHG 배출량은 2022년 현재 6.0 GtCO<sub>2</sub>eq로 2005년 7.1 GtCO<sub>2</sub>eq에 비해 약 15% 감소하였다. 이는 세계 전체의 GHG 배출량의 약 11.2% 수준이며 세계 2위수준이다. 가장 많은 배출량을 가진 국가는 중국(15.7 GtCO<sub>2</sub>eq)이며 세계 배출량의 29.2%를 차지하고 있다. 다만, 1인당 배출량을 보면 중국은 10.95 tCO<sub>2</sub>eq, 세계 평균 1인당 배출량은 6.76 tCO<sub>2</sub>eq인데 비해 미국은 17.90 tCO<sub>2</sub>eq로 매우 높은 수준이다.

미국은 2016년 바락 오바마 대통령 재임 당시 파리협약에 가입하였으나, 트럼프 대통령은 이는 산업에 대한 과도한 규제라는 이유를 들어 2019.11.4일 파리협약을 탈퇴하였다. 바이든 대통령은 대선 공약으로 파리협약에서 탈퇴한 트럼프 대통령의 조치를 취소할 것임을 밝혔고 2021.1월 대통령 취임과 함께 행정명령 1호로 파리협약 복귀를 발령한 바 있다.

이후 바이든 대통령은 2021.11월에 장기 전략을 발표하였다. 여기서 설정한 탄소감축 목표는 크게 두 가지로 대표된다. 바로 2030년까지 2005년 배출량 대비 50~52% 감축, 2050년 net-zero이다. 미국 정부는 2050년 순제로 배출 목표를 달성하기 위한 경로에 5가지 핵심 변환을 제시하였다. 첫째, 전기의 탈탄소화. 미국 정부는 2035년까지 100% 깨끗한 전기를 목표로 설정하였고 태양광 및 풍력 기술 비용의 하락, 연방 및 하위 국가 정책이 이를 가속화하고 있다. 둘

째, 최종 용도를 전기화하거나 다른 깨끗한 연료로 전환. 자동차에서 건물, 산업 공정에 이르는 경제의 대부분을 저렴하고 효율적으로 전기화하는 것이며, 항공, 운송 및 일부 산업 공정 등에서 탄소 없는 수소 및 지속 가능한 바이오 연료와 같은 깨끗한 연료를 우선시한다. 셋째, 에너지 낭비를 줄이는 전략. 더 효율적인 가전제품, 새 건물과 기존 건물에 에너지 효율성을 높이는 것, 지속 가능한 제조 공정 등을 통해 달성. 넷째, 메탄 및 기타 비 CO2 배출 감소. 석유 및 가스 시스템에 대한 메탄 누출 탐지 및 수리, 냉각 장비의 기후 친화적 작동 유체로 전환하는 것 등 다양한 방안이 제시되었다. 다섯째, CO2 제거 확대. 2050년까지 앞선 전략으로 에너지 생산으로 인한 배출량은 거의 0에 가까워질 수 있지만 농업에서 발생하는 비-CO2와 같은 경우 완전히 탈탄소화하기 어려우므로, 토지 탄소 흡수원과 엔지니어링 전략이 필요하다.

### 3. 한국의 탄소배출 현황 및 정책 방향

EDGAR (2023)에 따르면, 한국의 GHG 배출량은 2022년 현재 725,743.6 KtCO<sub>2</sub>eq로 2005년 582,519.8 KtCO<sub>2</sub>eq에 비해 약 25% 증가하였다. 이는 세계 전체의 GHG 배출량의 약 1.35% 수준이며 세계 13위 수준이다. 이는 인구 수에 비해 매우 높은 순위이며, 1인당 배출량을 보면 세계 평균 1인당 배출량은 6.76 tCO<sub>2</sub>eq인데 비해 한국은 14.01 tCO<sub>2</sub>eq로 매우 높은 수준이다. 따라서 배출량 증가추세나 1인당 배출량 등을 감안할 때 우리나라는 온실가스 배출의 순제로의 난이도가 매우 높은 편이므로, 탄소중립 정책을 선제적이고 적극적으로 추진할 필요가 있다.

한국 정부는 2020년 12월 2050 탄소중립 비전을 국내외에 선언하고, 2021년 9월 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법’을 제정하였다. 또한 2018년 수준(7억2,760만 톤) 대비 온실가스 배출량을 40%(2억9,100만 톤) 감축하는 2030년 4억3,660만 톤의 NDC(Nationally Determined Contribution) 목표를 설정하였다. 위와 같은 목표를 달성하기 위한 ‘탄소중립 녹색성장 국가 전략’을 2023년 4월 국무

회의 심의의결로 최종 확정하였다. 이에 따르면, 수송분야는 2018년 대비 37.8%, 건물분야는 32.8% 감축한다는 목표다.

#### 4. 탄소배출에 미치는 여러 요인에 대한 통계적 분석

CO<sub>2</sub> 배출에 영향을 미치는 요인들 중 개인소비지출, 소비자물가지수, 유가 등에 대해 여러 모델을 설정하여 시계열 분석을 실시하였다. 그 결과, CO<sub>2</sub> 배출량의 시계열 변화는 CO<sub>2</sub> 배출량의 기존 경로와 소비자 지출, 소비자 물가 지수, 유가의 시간적 경로에 의해 유의미한 영향을 받습니다. 개인 소비지출은 CO<sub>2</sub> 배출량에 양의 영향력을 주며, 이는 소비자 지출이 증가함에 따라 에너지 소비와 제품 생산으로 인한 CO<sub>2</sub> 배출량이 증가한다는 변수 간의 상관관계에 대한 우리의 직관과 일치한다. 또한, 가솔린 가격이 내려가면 CO<sub>2</sub> 배출이 증가한다고 분석되는데, 탄소중립 추진에 따라 가솔린 수요가 줄어들고 이것이 가솔린 가격 하락으로 이어진다면, 탄소배출 증가로 이어지는 위협요인이 될 수 있다.

### Ⅲ. 수송부문의 탄소중립

#### 1. 미국의 수송분야 탄소중립 정책 개괄

수송 부문은 미국에서 가장 큰 온실가스 배출원이며, 모든 배출량의 약 3분의 1을 차지합니다. 미국 정부는 탄소중립의 핵심 부문으로 수송 부문을 지목하고, 2023년 1월 에너지부(DOE), 교통부(DOT), 환경보호청(EPA), 그리고 주택도시부(HUD) 관계부처 합동으로 'The U.S. National Blueprint for Transportation Decarbonization'를 발표하였다. 이 청사진은 2050년까지 지속 가능한 수송 시스템으로 전환하는 데 필요한 전략과 목표를 설명합니다.

이 청사진이 설명하는 핵심 전략은 세 가지이다. 첫째, 시스템 수준 및 설계 솔루션을 구현하여 편의성을 높인다. 지역 설계 및 토지 이용 계획을 지원하여 편의성을 높이는 전략으로, 이에 대해서는 V장에서 도시 및 지역 부문 탄소중립 전략 파트에서 자세히 다루겠다. 둘째, 교통 모드 전환 및 보다 효율적인 차량을 통해 효율성을 개선한다. 대중교통 및

철도와 같이 저렴하고, 접근 가능하고, 효율적이며, 신뢰할 수 있는 옵션을 확대하고 모든 차량의 효율성을 개선하여 효율성을 개선한다. 대중교통 등을 통해 이동 시 에너지 소비를 줄이면 비용을 절감하고 국가 안보를 강화하며 GHG 배출을 줄일 수 있다는 논리다. 셋째, 제로 배출 차량 및 연료를 배치하여 깨끗한 옵션으로 전환해야 한다. 자동차, 상업용 트럭, 대중교통, 보트, 비행기 등에 무공해 차량과 연료를 배치하여 깨끗한 옵션으로 전환한다. 이를 통해 대기 오염을 방지하며, 교통수단에서의 GHG 배출을 없애는 것이다.

## 2. 친환경 차량으로 전환

### 2.1. 미국 내 충전소 확대를 통한 EV 판매 촉진

미국의 조 바이든 정부 출범 이후 가장 중점적으로 추진하고 있는 수송 분야 정책은 전기자동차(EV; 배터리 전기자동차(BEV) 및 플러그인 하이브리드 전기자동차(PHEV)를 포함한 개념) 판매 촉진과 이를 뒷받침하는 전기차 충전소 확충계획이다. 바이든 정부는 교통 분야 탄소중립을 위해 2050년까지 탄소 배출 운송수단을 시장에서 퇴출하겠다는 목표와 2030년까지 미국 내 전기차 판매 점유율을 50%로 늘리겠다는 목표를 세우고 전기차 구매 시 최대 7,500달러의 보조금(세액공제)을 제공하는 인플레이션 감축법을 시행하고, 취임 전부터 공약으로 내건 공용 전기차 충전기 50만개 확충을 위해서 2021년 11월 일명 ‘초당적 인프라 법(the Bipartisan Infrastructure Deal)’ 통과와 함께 같은 해 12월 ‘전기차 충전 액션 플랜’을 발표하였다. 이에 대해 미국 정부는 바이든 대통령이 취임한 이후 전기차 판매량은 3배 늘었고 공용 충전 포트의 수도 40% 이상 늘었으며, 그 결과 현재 도로에는 300만 대 이상의 EV가 있으며, 미국 전역에는 140,000개 이상의 공용 충전기가 있다고 설명한다.

하지만, 전기차 위주 정책에 대해 우려의 목소리도 나타나고 있다. 2023년 현재 EV는 미국 내 차량 판매의 10%를 차지한다. 이는 세계 평균 18% 점유율과 중국 내 신차 판매량 중 38%가 EV인 것과 비교할 때 매우 낮은 수치이다. 또한

2024년 3월 20일 미 환경보호청은 2032년까지 판매되는 승용차 중 전기차(하이브리드 포함) 비율을 56%로 올리는 새로운 규제를 발표했는데, 이는 초안 기준 목표치는 '2030년까지 67%'였는데 목표 시점은 늦추고 비율은 낮춘 것이다. 충전 인프라 확충 속도는 전기차 확산 속도를 따라잡지 못하고 있다는 지적도 있다. 스탠더드앤드푸어스(S&P)는 미국에서 전기차 증가에 따른 충전수요를 충족하려면 충전소가 2년 내 4배, 2030년까지 8배로 증가해야 한다고 전망했으며, 국제에너지기구(IEA)의 자료에 따르면 전기차 대비 충전포트 비율이 2020년 현재 미국이 18:1로, 한국 2:1, 중국 6:1 등에 비해 매우 열악한 수준임을 보여준다.

## 2.2. 정책 효과성 및 집중 전략 선택

이같은 한계점에도 불구하고 EV 활성화는 탄소배출의 감소, 대기의 질 개선과 같은 환경적 이점뿐만 아니라 일자리 창출, 외국산 석유에 대한 의존도 감소, 친환경 차량 시장 성장 촉진과 같은 경제적 이점도 제공한다.

사람들이 EV를 채택하도록 장려하는 데에 어떤 정책이 효과적인지 문헌을 분석한 결과, 재정적 인센티브와 비금전적 지원 모두 효과적인 것으로 나타났다. EV에 대한 재정적 인센티브 정책에는 차량 구매에 대한 소득세 공제, 할인 및 판매세 면제, 운행 차량에 대한 유지관리 보조금이 포함된다. Jenn 등(2018)은 할인이나 세액 공제가 평균적으로 1,000달러당 약 2.6%의 통계적으로 유의미한 효과를 가진다고 주장했다. 또한, Narassimhan & Johnson(2018)은 세금 인센티브 내에서 할인이 세액 공제나 매출세 면제보다 PEV 도입에 더 큰 영향을 미친다고 분석하였다.

비금전적 인센티브로는 전기 충전소의 확충, EV에 대해 HOV 차선 접근 및 무료 주차 허용 등이 있습니다. Narassimhan & Johnson(2018)은 1인당 충전 포트가 하나 추가될 때마다 1인당 PEV 구매가 3%씩 증가한다고 주장했습니다. Jenn et al.(2018)은 HOV 차선 접근이 허용되었을 때 평균 차량 밀도 대비 PEV 등록이 0.04% 증가했다고 주

장했으며, Langbroek et al.(2016)은 무료 주차는 EV 도입을 위한 인센티브 효과가 있다고 주장했습니다.

### 2.3. EV 도입의 영향 요인에 대한 계량경제학적 분석

그렇다면 EVSE (EV supply equipment)를 확대하면 PEV (배터리 전기차 또는 플러그인 하이브리드) 수요가 증가하는지와 휘발유 가격 상승하면 휘발유 차량의 대체품으로서 PEV 채택이 증가할 것인지에 대해 미국의 주별 PEV 판매 데이터를 통해 직접 통계분석을 해보았다. 독립 변수는 1인당 EVSE 수와 휘발유 가격이고, 종속 변수는 1인당 PEV 등록대수이며, 통제 그룹으로 주별 개인 소득과 인구밀도 변수를 추가했으며 다중 회귀분석을 사용했다.

다양한 모델을 만들어 분석한 결과, 1인당 EVSE 증가와 휘발유 가격 상승은 모두 PEV 도입에 유의미하고 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석했습니다. 탄력성을 분석한 결과는 1,000명당 EVSE가 1년 전보다 1% 증가하면 1,000명당 PEV가 약 0.6% 증가합니다. 또한, 교차 탄력성이 높아 평균 휘발유 가격이 1% 상승하면 1,000명당 PEV 등록이 약 1.4% 증가합니다. 다른 조건을 고려하지 않은 극단적인 조치이기는 하지만 휘발유에 대한 세금을 인상하고 이 예산을 사용하여 EVSE를 확대하고 PEV 구매에 대한 인센티브를 제공함으로써 PEV 도입을 늘리는 데 효과적일 것으로 기대할 수 있습니다.

### 2.4. 수소차의 보급

수소 자동차는 연료 전지에서 수소와 산소가 결합해 물을 배출하기 때문에, 배기가스가 전혀 나오지 않아 환경에 친화적이고, 한 번 충전으로 일반적으로 500~700km를 주행할 수 있어, 장거리 운전에 적합하며, 연료 충전 시간이 3~5분 정도로 전기차의 급속 충전보다 훨씬 빠른 장점이 있다. 반면, 수소 충전을 가정에서는 쉽게 하기 어렵기 때문에 충전소 인프라가 중요하지만, 전기 충전소보다 충전소를 찾기가 더욱 어렵다는 단점이 있다. 많은 수소 운전자가 몇 가지 앱



을 사용하여 출발하기 전에 연료를 공급하는 곳을 매핑해야 하며, 많은 주유소에서 종종 2~5대의 차량에만 연료를 공급한 후 최대 30분 동안 재가압하기 때문에 대기가 길다.

미국에는 2024년 수소 연료 차량이 약 17,000대밖에 없으며, 모두 캘리포니아에 있다. 캘리포니아는 소매 수소 연료 충전소 네트워크를 갖춘 유일한 주다. 10년 전 계획에서는 캘리포니아가 지금까지 100개의 수소충전소를 갖추도록 했지만, 실제로는 60개 미만이 가동 중이다. 수소차 보급을 위해서는 차량 유형에 따라 다른 전략이 필요하며 앞서 살펴본 충전소의 네트워크 효과로 인해 충전소 확충이 수소차 보급에 매우 핵심적인 역할을 할 것이다.

### 3. 대중교통 활성화 및 교통 효율성 지원

미국 교통부(2023)에 따르면, 2018년 미국의 대중교통은 이산화탄소 배출 63백만톤을 절감했다. 미국 정부의 교통 탈탄소화 청사진의 핵심 전략은 철도, 버스 등 고효율 여행 옵션의 가용성을 개선하는 동시에 모든 차량, 특히 승차율이 낮은 승용차의 에너지 효율성을 개선하는 것이다. 미국은 자가용 의존도가 매우 높다. 네덜란드는 통근자의 36%가 자전거를 타고, 56%가 자동차를 선택하는 반면, 미국 통근자의 76%가 개인 차량을 사용한다. 이 같은 현황을 개선하기 위해서는 (i) 대중교통, 마이크, 걷기 등 효율적인 승객 및 화물 운송에 대한 더 많은 투자, (ii) 탄소 집약도가 낮은 옵션과 공유경제를 이용한 이동에 대한 인센티브 제공, (iii) 자동화 솔루션과 멀티모달 화물운송 등 운송 시스템 운영 개선, (iv) 경량화와 파이프라인 유출 등 비연소 배출 감소 등 차량의 에너지 효율성 개선, (v) 철도, 버스 등이 연계되는 캘리포니아 통합 여행 프로그램(Cal-ITP)과 같이 혁신적인 비즈니스 모델 및 솔루션을 지원해야 한다.

## IV. 건물 부문의 탄소 중립

### 1. 미국 건물 탄소 중립 정책 개요

주거 및 상업 건물은 미국에서 이산화탄소 및 기타 온실

가스(GHG) 배출의 가장 큰 원인 중 하나이며, 전기 소비를 통한 간접 배출을 포함하면 건물 부문은 미국 전체 GHG 배출량의 3분의 1 이상을 차지합니다. 연료의 직접 연소를 통한 배출량도 미국 전체 GHG 배출량의 12.7% 수준이다.

2024년 4월 미국 에너지부와 주택도시개발부는 공동으로 '2050년까지 탈탄소화: 건물 부문을 위한 국가 청사진'을 발표했다. 이 청사진(2024)은 2005년 대비 2035년까지 미국 건물의 GHG 배출량을 65%, 2050년까지 90% 줄이는 것을 목표로 하며, 다음 네 가지 전략을 핵심으로 제시했다.

(i) 건물 에너지 효율성 증가: 2035년까지 건물 내 현장 에너지 사용 강도를 2005년 대비 35%, 2050년까지 50% 감소시키는 등 건물 에너지 효율성 증가, (ii) 현장 배출 감소 가속화: 2035년까지 건물 내 현장 GHG 배출을 2005년 대비 25%, 2050년까지 75% 감소, (iii) 그리드 가장자리 변환: 2050년까지 2020년 대비 수요 유연성 잠재력을 3배로 늘려 전기 인프라 비용 절감, (iv) 구체화된 수명 주기 배출 최소화: 2050년까지 건축 자재 및 시공으로 인한 구체화된 배출을 2005년 대비 90% 감소.

## 2. 건물의 수명 주기 배출

건물 탄소배출을 생애주기로 분석한 결과, 2019년 건물운영과 건설 과정에서 배출한 탄소는 전 세계 탄소배출의 39%를 차지한다. 이 중 11%는 자재 및 건설 공정과 관련된 내재적 탄소배출에서 발생하는 반면, 건물의 운영 중 배출은 28%를 차지한다. 내재적 탄소의 경우, 건설 유형별로는 주거용·상업용 건물은 총 탄소 배출량의 약 90%, 도로, 다리, 철도 등 인프라 시설 건설이 약 10%이며, 건설 자재별로는 시멘트를 많이 사용하는 콘크리트가 내재적 탄소의 50~85%를 차지하고, 철근은 약 5%를 차지한다.

## 3. 건축 자재 및 시공에서 내재된 배출 최소화

건설은 전 세계 시멘트의 거의 대부분, 모든 강철 생산의 절반, 알루미늄과 플라스틱의 약 4분의 1을 사용하는데, 이

모든 것이 매년 엄청난 양의 배출물을 뿜어낸다. 시멘트 생산에 연간 전 세계 온실가스 배출량의 8%가 발생한다. 따라서 탄소중립을 위해 콘크리트를 대체할 탄소 포집 콘크리트나 저탄소 콘크리트의 개발 및 상용화가 필수적이다.

오프사이트 건설은 영구 구조물의 신속하고 효율적인 건설을 지원하기 위해 최종 설치 위치가 아닌 다른 위치에서 건물 요소를 계획, 설계, 제조 및 조립하는 것을 말한다. 이를 통해 건설 폐기물과 배출물을 기존 건물에 비해 최대 50%까지 줄일 수 있다고 분석된다. 공장에서 부품을 조립한 다음 현장으로 운반하여 폐기물을 줄이는 모듈식 건설도 주목을 받고 있는데 이를 통해 공기 단축, 비용 절감과 더불어 탄소배출 감축도 추진 가능하다.

#### 4. 건물 에너지 효율성 증가: 제로 에너지 건물

제로에너지빌딩은 단열 및 기밀성을 개선하여 에너지 사용량을 최소화하고, 보일러, 기계 및 전기 설비의 효율을 개선하여 에너지 사용량을 줄이며, 최종적으로 최소화된 에너지 사용량에 해당하는 재생 에너지를 생산하는 빌딩이다. 미국 에너지부와 환경보호청은 건물의 에너지 효율성을 높이는 기준을 제시하고, 제로에너지빌딩 관련 기술에 대한 R&D에 적극 투자하고 있다. 미국의 건물 내 에너지 효율성 증가를 위한 핵심 조치로 고성능 건물 외피 및 패시브 설계, 리모델링 접근 방식과, 히트펌프 등 고성능 전기 장비 및 가전제품이 반드시 필요하다고 봤다. 주별로는 캘리포니아 주는 특정 건축 자재에 탄소강도 한도를 부과하고, 뉴욕 주는 건물이 신재생 에너지 시설 및 에너지 절감과 같은 다양한 기술로 설계될 수 있도록 'Net Zero Housing Program'을 지원하고 있다.

주요 선진국들의 노력도 계속되고 있다. 유엔은 건물의 제곱미터당 에너지 강도에 대한 목표 감소율을 2030년까지 약 30%로 설정했다. EU는 2021년부터 모든 신축 건물이 '에너지 성능 인증서(EPC)'를 제출하도록 의무화했고, 영국은 2025년부터 신축 주택이 최소 75% 적은 탄소를 생산하도록 요구하는 법안을 통과시켰다. 이탈리아 정부는 친환경 리노

베이션의 전체 비용을 충당하고 세액 공제를 제공하겠다고 발표했으며, 네덜란드는 일부 대형 건물에 대한 전 수명 탄소 평가를 요구했다.

## V. 도시 및 지역수준의 탄소중립 전략=건물+수송+α

### 1. 도시 부문의 탄소 중립 대응 전략

도시와 지역 수준의 탄소중립 전략은 앞서 살펴본 수송 및 건물분야 등의 탄소중립 청사진의 단순 합이 아니다. 그보다 더 넓은 범위의 도시 전체의 탈탄소화 기반이 되는 거시적 공간전략이 되어야 한다. 도시 및 지역 수준의 전략은 교통, 건물, 산업, 발전 등 탄소배출의 주요 분야를 아우르고 탄소흡수원을 만들어내는 전략이 되어야 하며, 지역주민들의 삶의 질 확보를 위해 보다 수요 친화적인 정책을 수립해야만 한다.

수송 측면에서는, 도시의 합리적 설계와 지역 수준의 정책을 통해 대중교통 이용 활성화와 자전거, 걷기 등 친환경 이동 수단으로의 이용 유도, 전기차와 수소차와 같은 친환경 차량의 보급 확대를 위한 충전 인프라 구축하는 것이 중요하다. 에너지 효율적인 화물 운송이 가능하도록 물류시설을 도심지와 가까운 곳에 배치하는 등 탄소배출을 줄이는 도시 설계가 필요하다.

건물 측면에서는, 에너지 효율을 높인 친환경 건축을 의무화하는 도시 규제가 가능하며 새로운 건물뿐 아니라 기존 건물의 리모델링을 통해 단열 강화, 고효율 냉난방 시스템 설치, 스마트 에너지 관리 시스템 도입 등을 추진하고, 노후화된 건물이 많은 지역은 도시정비와 리모델링 등을 활용하여 도시에 활력을 불어넣는 동시에 에너지 효율성도 챙기는 전략이 필요하다.

발전 분야에서도 신재생 에너지 확보를 위해 도로변에 태양광 패널을 설치하거나 기후에 따라 건물 옥상에 태양광 패널을 설치하거나, 풍력 발전소를 주변 지역에 도입하는 방안 등도 가능하다. 또한, 도시 내 에너지 소비와 공급을 실시간

으로 모니터링하고 최적화할 수 있는 스마트 그리드 시스템을 구축하여 에너지 사용을 효율적으로 관리해야 한다.

한편, 탄소를 배출하는 자원의 효율적 사용과 탄소흡수원 확보도 도시 정책에서 이루어져야 하는 부분이다. 사람들의 동선을 최적화한 도시 설계와 공공 인프라의 배치가 중요하며, 도시 내 녹지 및 숲을 조성하고 건물 옥상에 녹화를 의무화하는 등 탄소흡수 능력을 제고할 필요가 있다.

이와 함께 지역 중심의 탄소배출 규제나 탄소세 도입 등이 이루어질 수 있으며, 중앙정부와 지방정부가 협력하여 시민 참여와 교육, 캠페인 등을 통해 탄소중립에 대한 국민들의 인식을 제고할 수 있다.

## 2. 미국 도시 및 지역의 탄소 중립 전략

미국 경제의 탈탄소화 청사진(2023) 중 도시 정책에 시사점이 큰 일곱 가지 정책 방향에 대해 알아보겠다. 첫 번째, 도시 및 지역 수준에서 토지 이용 계획 및 교통 시스템 설계를 변화시켜 편의성을 높인다. 두 번째, 새로운 기술을 통해 더 나은 이동성과 접근성과 함께 배출량 감축을 이루어내야 한다. 세 번째, 새로운 인프라를 건설하기 전에 인프라를 수정하는 투자와 기존 인프라를 개선하는 현대화 프로젝트를 우선시한다. 네 번째, 주와 지방 자치 단체는 도보 가능하고 교통 중심 지역에 주택 공급을 늘리기 위해 지역 규정과 구역 정책을 개혁한다. 다섯 번째, 교통 수요 관리(TDM)을 통해 여행수요를 줄이고 안전한 도보 및 자전거 통행을 유도한다. 여섯 번째, 도로 등 교통 통행 장소 등을 활용한 신재생 에너지 확보 등 기후변화 대응이 필요하다. 마지막으로 나무와 수풀을 전략적으로 심어 탄소를 격리하고 대기 오염을 줄이는 것이 중요하다.

## 3. 탄소 제로 도시, 수소 도시와 같은 새로운 도시 개념

IEA (2021)에 따르면, 2019년 현재 도시는 모든 에너지 소비의 3분의 2를 차지했으며 에너지 관련 온실가스 배출량의 70%를 생성하였다. 현재 전 세계 인구의 50% 이상이 도

시에 거주하고 있으며 이 비율은 2050년까지 70%, 2080년까지는 거의 80%로 증가할 것으로 예상되므로 도시 중심의 탄소중립 대안이 필요한 상황이다. 최근 가장 활발히 논의되고 있는 탄소 제로 도시는 좁은 의미에서는 사용하는 것만큼 또는 그 이상의 탄소 없는 지속 가능한 에너지를 생성하는 도시이며, 넓은 의미에서 재생 에너지를 사용하여 탄소 배출을 최소한으로 줄이는 도시를 말한다.

제로 에너지 타운의 사례로, 독일 하이델베르크의 반슈타트 마을은 전기 대부분을 재생 에너지로만 공급하고 있다. 이 지역은 주거 및 상업 공간 모두를 포함한 대규모의 친환경 도시 프로젝트로서, 건물들이 자급자족할 수 있을 만큼의 에너지를 생산하거나 매우 적은 에너지를 소비하도록 설계되었다. 반슈타트의 모든 건물은 패시브하우스(Passivhaus) 기준을 충족하도록 설계되었으며 천막 대신 태양광 패널을 설치하여 건설 비용을 절감했다. 또한, 고밀도 단열재, 옥상 정원, 친환경 수로를 사용하여 에너지 소비량을 대폭 절감했다. 하이델베르크 시에 따르면, 반슈타트는 비슷한 도시 구역보다 난방에 최소 80% 적은 에너지를 사용한다.

수소도시는 도시의 에너지 공급 체계를 수소 기반으로 전환해, 친환경적이고 지속 가능성을 높인 도시를 말한다. 이 개념은 화석 연료 대신 수소를 주된 에너지원으로 활용하여 수소 생산과 저장 및 분배, 수소 자동차 활용 등을 통해 탄소 중립을 목표로 한다. 수소 생산 기술의 고도화와 경제성 확보가 중요하다. 특히, 수소 생산 방식으로, 온실가스가 배출되는 메탄 등 화석연료를 분해하는 대신, 태양광, 풍력, 수력 등 재생 에너지로 수소를 분해해 연료로 사용해야 한다. 수소를 안전하게 저장하고, 필요한 곳에 신속하게 분배하는 인프라도 중요하며, 수소 차량 및 버스, 트럭 등 운송수단을 활용하여 탄소배출 제로화를 추진한다.

## VI. 결론

이 글은 국외훈련 결과로써, 2050년 온실가스 순배출 제로라는 목표를 위한 수송 및 건물분야의 탄소중립 전략과 이

를 총망라하는 도시 및 지역의 탄소중립 정책에 대해 미국 사례를 중심으로 분석하였다. 탄소중립을 위한 국가 전략을 분석하면서 얻을 수 있었던 주요 시사점은, 탄소중립의 달성은 이제 선택사항이 아니라 이미 정해진 목표지점이며, 이를 위한 레이스는 이미 시작되었다는 점이다. 특히, ‘전기차 굴기’를 통해 세계 1위 전기차 판매 업체를 만들어낸 중국 사례와 같이 친환경차, 제로 에너지 건물을 비롯한 친환경 산업의 발전과 기술 개발 속도는 국가 경쟁력을 좌우하는 중요한 크리티컬 포인트가 될 것이다. 또한, 탄소중립 달성을 위해서 정부 내 부처간 협력, 중앙정부와 지방정부 간 역할 분담, 민간과 공공의 파트너십이 필수적이라는 점이다.

위의 연구는 주로 미국 사례를 바탕으로 도출한 전략이며 미국과 한국의 탄소중립 정책의 방향성에는 큰 차이가 없다는 생각이다. 하지만 미국과 한국의 다른 정책환경을 감안하여 정책의 세부 조정을 하는 것이 중요하다. 우선, 전체 온실가스 배출량 중 수송 분야는 미국이 29%로 전체 분야 중 가장 큰 분야인 반면, 한국은 약 14%이다. 건물분야의 전기사용으로 인한 간접 배출을 제외한 직접 배출은 미국이 12.7%이며 한국은 약 7.6%이다. 한국은 도시화율이 90.7%로 미국의 82.7%에 비해 높고, 인구밀도 역시 518 (km<sup>2</sup> 당 인구수)로 미국의 35에 비해 매우 높다는 점이 이러한 차이를 설명할 수 있겠다.

이 같은 차이점으로 인해 한국에서 특히 중점적으로 추진해야 하는 도시분야 탄소중립 정책에 대해 제안하고자 한다. 첫째, 국내 전기차 및 수소차의 보급을 과감하게 추진해야 한다. 둘째, 새로 만드는 신도시를 탄소중립 도시로 만들 필요가 있다. 셋째, 인구과밀과 높은 도시화율을 보완하기 위해 용산공원과 같은 도심 내 탄소흡수원을 더욱 강화할 필요가 있다. 마지막으로, 탄소중립 추진과 스마트 기술 발전의 서로 보완적이고 융합적 발전을 촉진할 필요가 있다. 우리나라의 발달된 정보통신 기술(ICT)을 활용하여 산업의 효율성을 높이고 삶의 편리함을 더하면서, 탄소중립 속도를 가속화하는 발전 방향이 필요하다.