

탄소중립시대 탈탄소 도로정책 방향 제안

특집 02

권수안 | 한국건설기술연구원 선임연구위원

1. 서론

1.1 지구온난화와 국제 협정

지구온난화는 인간이 인위적으로 배출한 온실가스로 인해 전 지구 평균 지표온도(Global Mean Surface Temperature, GMST)가 상승하는 것을 의미한다. 온도 상승으로 발생하는 해수면 상승 등으로 기후 시스템이 변화하고 있으며, 이로 인해 폭염, 폭우, 태풍 등의 기후 영향이 빈번하게 발생하고 있다. 특히, 산업화 이후 2000년대 초까지 지구온도가 0.87℃ 상승하였다고 발표하였다.

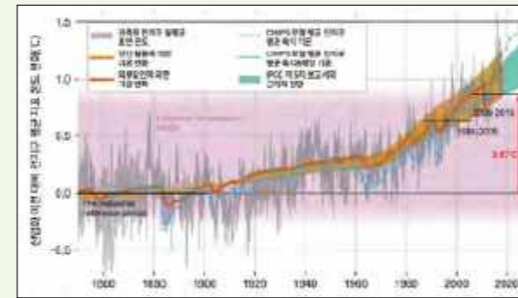
국제사회는 1979년 지구온난화에 대한 경고가 나온 뒤 이를 막기 위한 국제적 논의가 시작되었다. 1987년 스위스 제네바에서 열린 제1차 세계기상회의에서 정부 간 기후변화패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)을 결성했으며, 1992년 6월 브라질 리우에서 “기후변화에 대한 국제연합 기본협약(United Nations Framework Convention on Climate, UNFCC)”을 체결하였다. 당시에는 강제사항이 없는 협약

이었기 때문에 실질적 시행령을 작성한 1997년 교토의정서가 많이 인용되었다. 교토의정서는 기후변화 협약의 목표를 달성하기 위한 구체적 의무사항을 명시했을 뿐 아니라 6대 온실가스를 규정하였으며, 특히 선진국에 구속력있는 온실가스 감축목표를 규정한 의미 있는 협약이었다.

2015년에는 기존 교토의정서 체제의 한계를 극복하고 선진국과 개발도상국이 모두 참여하는 새로운 기후변화 대응체계로써 “파리협정”을 채택하였고, 산업화 이전 대비 지구 평균상승 온도를 2℃ 보다 아래로 유지하고, 나아가 1.5℃로 억제하기 위한 노력을 목표로 하였다. 파리협정의 목표를 달성하기 위해 IPCC는 2018년에 1.5℃ 특별보고서를 발간하였으며, 전 지구적으로 2050년까지 탄소중립을 달성해야 한다는 경로를 제시하였다. 이를 계기로 기후행동 정상회의 등을 비롯해 탄소중립에 대한 국제사회 논의가 확산되고 있다.

탄소중립(Carbon Neutrality)이란 인간의 활동에 의한 온실가스 배출량을 최대한 줄이고, 남은

(그림 1) 산업화 이전 대비 관측된 전 지구 월평균 지표 온도 변화¹⁾



온실가스는 흡수·제거해서 실질적인 배출량을 0(Zero)으로 만드는 것을 의미한다. 최근 빌 게이츠의 ‘기후재앙을 피하는 법’이라는 저서에서는 “전 세계 온실가스 배출량을 이산화탄소 배출량으로 환산한 이산화탄소환산톤(Carbon Dioxide Equivalents)으로 측정하면 약 510억 톤 정도이며, 매년 산업화 발전에 따라 지속적으로 증가하고 있다”고 하였다. 또한 전 세계 온실가스 배출원의 구성을 다음과 같이 표현하였다.²⁾

- 전기생산 : 510억 톤의 27%
- 제조 : 510억 톤의 31%
- 사육과 재배 : 510억 톤의 19%
- 교통과 운송 : 510억 톤의 16%
- 냉방과 난방 : 510억 톤의 7%

1.2 국제 협정에 적극적으로 대응해야 하는 이유

지구온난화에 대한 피해는 크게 두 가지로 나누어 생각해 봐야한다. 하나는 인간의 기본 인권에 대한 피해이고, 다른 하나는 국가의 산업적·경제적 영향 측면이다.

인권에 대한 피해는 생명권, 생계권, 건강권, 식량권, 물권리, 위생권, 주거권, 복지권, 교육권

1) 기상청(2019), 지구온난화 1.5℃, 기상청
 2) 빌 게이츠(2021.3), 기후재앙을 피하는 법, 김영사
 3) 조호제(2020.12), 탄소사회의 종말, (주)북이십일 21세기북스

등 우리 사회의 모든 권리에 침해를 입기 때문에 이에 대한 적극적 대응이 필요하다는 것이다. 예를 들어 우리는 매년 태풍과 폭염 등으로 사망 또는 실종 등의 피해를 입는데, 2011년~2019년 폭염에 의한 사망자는 134명이라고 한다. 최근 들어서는 코로나19 팬데믹으로 2022년 2월까지 사망자가 8,000여 명이 발생하고 있으며 언제 종식될지도 모르는 상황이다. 또한, 바닷물의 온도가 상승하면 우리나라에 서식하고 있는 어종들이 변하고, 식물, 과일 등의 생산량도 변하게 된다. 현재 한국은 물 부족 위험국가 55위인데, 지구 온도가 2℃ 상승하게 되면 전 세계적으로 10억 ~ 20억 명이 물 부족을 겪을 것으로 추산된다. 이렇듯 기후 변화는 우리 생활의 모든 분야의 권리와 인권에 대해서 직접적으로 영향을 준다.³⁾

산업적·경제적 측면에서 보면 모든 산업에서 직접적으로 영향을 받는다. 유럽과 미국을 중심으로 글로벌 규제가 강화됨에 따라 경제 질서가 재편될 움직임이 있다. 반면, 우리나라는 제조업 비중이 28.4%로 철강, 석유화학 등의 주력 산업이 탄소 다배출 업종이다. 에너지원 구성 측면에서도 석탄발전 비중이 40% 이상을 차지하여 탄소중립 이행과정 중에 산업경쟁력 약화, 일자리 감소 우려가 있다. 한편 EU는 ‘탄소 국경세’를 도입하여 자동차 배출규제 상향, 플라스틱세 신설 등을 추진하고 있기 때문에 수출을 위주로 경제를 운영하는 우리나라 입장에서는 상당한 타격이 예상되므로 이에 대한 적극적인 대비가 필요하다.

2. 국내외 탄소중립 추진 전략 및 정책

2.1 국내 정책

2018년 10월 IPCC가 지구 온도 상승을 섭씨 1.5℃ 이내로 유지하기 위해 세계 모든 국가들이 2050년까지 탄소중립을 달성해야 한다고 발표함에 따라 우리나라도 적극적으로 대응을 하였다. 환경부 발표에 따르면, 우리나라에서 발생하고 있는 온실가스 배출량은 2019년 기준 7억 137만 톤이다. 이 중 도로분야와 주로 관련된 것은 수송 분야와 제조업 및 건설업 분야이다. 특히, 도로수송은 당연히 도로를 주행하는 자동차가 될 것이고, 제조업 및 건설업 분야는 도로건설 및 관리에 사용되는 시멘트, 아스콘, 철근 등 주요 자재의 생산 및 시공이 포함될 것이다.

(그림 2) 국가 온실가스 배출량 비중(2019년 기준)⁴⁾



4) e-나라지표(2022), 국가온실가스 배출량 비중

우리나라 정부는 2020년 12월 관계부처 합동으로 '2050 탄소중립 추진전략'을 발표하였으며, 탄소중립이 불가피한 이유, 탄소중립을 위해 해야 할 것, 탄소중립 추진전략 등의 계획을 제시하였다. 비전으로는 '적응적(Adaptive) 감축에서 능동적(Proactive) 대응으로 : 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상 동시 달성'을 제시하였으며, 이를 실행하기 위한 방안으로는 '3+1 전략'을 제시하였다. 본 계획에 따라 대통령령에 의해 '2050 탄소중립위원회'가 설립되었으며, 위원회에서는 탄소중립사회의 시행 및 녹색성장 추진을 위한 주요 정책·계획 등 관련 사항을 심의·의결하는 역할을 수행한다. 연이어 2021년 8월에는 세계 14번째로 2050 탄소중립을 이행하기 위한 '기후위기

(그림 3) 2050 탄소중립 추진 전략(2020.12, 관계부처 합동)



대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(약칭, 탄소중립기본법)'이 국회를 통과하였다. 법 제정에 따라 국가 주요계획과 개발사업 추진 시 ① 기후변화 영향을 평가하는 기후변화영향평가제도 ② 국가예산 수립 시 온실가스 감축 목표를 설정하고 점검하는 온실가스 감축 인지 예산 제도 ③ 기후대응 기금 제도 등이 추진될 예정이다. 아울러 우리나라의 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution)를 2018년 대비 40%로 대폭 상향하여 2030년에는 4억 3,660만 톤으로 줄일 계획이라고 밝혔다.

2.2 국외 정책

2015년 파리 기후변화 협정에 따라 각 국가에서는 다양한 법과 제도 등이 추진되고 있다. 특히 파리협정은 모든 국가들이 지향해야 할 3대 목표를 제시하고 있다. ① 21세기 말까지 산업화 이전 대비 지구평균 온도 상승을 2℃보다 아래로 유지해야 하고, 1.5℃까지 제한하도록 노력 ② 기후변화에 대한 적응력과 회복력 증진 ③ 금융 흐름을 저탄소 기후 탄력적 발전에 부합하도록 함 등을 제시하였다. 그리고 각국은 5년마다 국가온실가스감축목표(NDC)를 제출하여 이행 여부를 점검하도록 하고 있다. 이에 따라 스웨덴, 프랑스, 독일 등 EU국가와 영국, 일본 등 주요 선진국 등에서는 탄소중립을 이행하기 위해 법제화를 추진하였으며, 각 국가별로는 기업 및 시민사회의 참여를 독려하기 위해 민·관 협력 체계를 구축하고 있다. 예를

들어, 미국의 구글에서는 전 세계 지방정부와 제휴를 맺고 기후관련 과학기술을 제공하고 있으며, EU는 유럽연합위원회의 녹색소비 서약에 서명, 캐나다는 마이크로소프트와 협업하여 지속가능한 발전 및 기후행동 연구 등을 추진하고 있다.

특히, EU는 2019년 12월 탄소중립을 목표로 '유럽 그린딜'을 발표하였으며, 10년 간 1,400조 원을 투자해 그린 산업을 육성하겠다고 밝혔다. 또한 프랑스 탄소중립 선두주자로 주목받는 보르도 도시에서는 전기트램을 설치하고 자전거 도로를 확충하는 등 지속가능한 도시로 거듭나기 위해 노력하고 있다. 영국에서도 세계 최고의 해상풍력단지를 건설하여 해상풍력 발전량 1위를 차지하고 있으며, 이를 이용한 일자리까지 창출하고 있다.⁵⁾

도로건설 및 유지관리 분야에서 EU는 녹색발주제도(Green Public Procurement)를 도입하도록 관련 지침을 제시하여 운영 중이며, 유럽 연합 전체 발주의 50%를 목표로 하고 있다.⁶⁾ 대표적인 재료로 도로포장(표층, 기층 등)에 사용되는 재활용 포장, 중온아스팔트 포장(WMA, Warm Mix Asphalt), 상온아스팔트 포장(CMA, Cold Mix Asphalt), 보조시멘트재료(SCM, Supplementary Cementitious Materials), 가로등, 교통신호등, 차선 마킹, 교통관제시설 등이 포함되어 있다.

산업계에서도 RE100(Renewable Energy) 캠페인이 추진되고 있다. 기업에서 사용하는 전력을 100% 재생에너지로 조달하는 것으로 애플

5) KBS(명견만리)제작팀(2021.5), 명견만리-우리가 만들어갈 미래의 가치를 말하다, 인플루엔셜

6) Elena Garbarino, etc.(June 2016), Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance, JRC Science for Police Report, European Commission

등 전 세계 글로벌 기업들이 RE100에 동참하고 있다. 이와 연계하여 유럽에서는 앞서 언급한 '탄소 국경세' 제도를 적극 도입하여 온실가스 배출량이 많은 국가의 수입품에 더 많은 관세를 부과하는 조세 정책을 추진하고 있다.

3. 도로분야 탄소중립 관련 기술개발 현황

3.1 생산 및 시공 측면

도로건설 분야에서 가장 많이 사용되는 주요 부자재는 철근, 시멘트, 아스팔트 등이며, 현장에 따라 상이하겠지만 수백에서 수천 종류의 자재들이 사용되고 있다. 특히, 건설소재 및 자재 생산에 따른 온실가스 발생뿐만 아니라 절토·성토운반, 포장공사 등 시공 중에도 온실가스가 발생한다. 그동안 도로분야에서는 주로 포장 분야에서 주로 탄소중립 관련 연구가 수행되어 왔다. 특히, 지금까지 사용되어왔던 가열아스팔트 포장(HMA, Hot Mix Asphalt)은 혼합물을 160℃ 내외에서 가열하여 생산하고 시공한 공법인데, 이때 발생한 온실가스를 저감시키기 위해 온도를 30℃ 내외로 저감시켜 생산 및 시공하는 중온아스팔트 포장(WMA, Warm Mix Asphalt) 공법의 연구와 실용화가 주로 수행되어 왔다. 중온아스팔트 포장 공법은 기존에 사용되던 다양한 가열아스팔트를 완전히 대체할 수 있는 기술로 전 세계적으로 매우 활성화되고 있는 상황이다. 더 나아가 아스팔트 포장의 혼합물을 상온에서 생산, 시공할 수 있는 상온아스팔트 포장(Cold Mix Asphalt) 공법도 개발되어 실용화 중이다. 현재는 일반 아스팔트 포장의 중간층, 기층 정도까지 적용이 가능하다고 알려져 있다.

시멘트 콘크리트 혼합물에 있어서도 시멘트를 대체하는 연구가 많이 수행되어 왔다. 일반적으로

시멘트 콘크리트 혼합물에 사용되는 시멘트 1톤을 생산하기 위해서는 0.87톤의 이산화탄소가 발생하기 때문에 대표적인 CO₂ 발생 산업으로 알려져 있다. 따라서 시멘트를 적게 사용하기 위한 연구와 시멘트 생산 시 CO₂ 발생을 억제하는 연구 등이 진행되고 있는 상황이다. 시멘트를 대체하기 위한 재료로 플라이애쉬, 메타카올린, 슬래그 등과 같은 SCM(Supplementary Cementitious Materials)이 대표적이며, 구조물에 따라 시멘트 대체 사용량이 20 ~ 50% 내외로 알려져 있다.

이외에도 철근, 시멘트, 아스팔트 등 자재를 생산하는 제조공장에서 수소를 활용하는 방법이 있다. 즉, 도시가스를 활용하여 수소를 생산하여 제조공장에 전기나 열을 공급하여 자재를 생산하는 연구 등이 진행되고 있으며, 건설기계에서도 유압과 디젤엔진 대신 전기를 활용해 탄소배출과 소음을 저감시킨 장비들이 개발되고 있다.

3.2 운영 및 관리 측면

도로운영 측면에서 탄소중립을 위한 대표적인 사업은 수소·전기차 충전소 설치 사업과 도로 유희부지 또는 도로변 부대시설 태양광 설치 사업 등이 있다. 앞으로 수소·전기차의 지속적인 보급을 위해 무선충전 시스템 및 관련 차량이 점차 확대될 것이며, 도로 주변 태양광 발전 사업도 늘어날 것이다.

또한, 도로의 기하구조, 평탄성, 교통 지정체 등도 이산화탄소를 발생시키는 주요 요인이다. 하지만 도심지 도로의 교통 신호관제 등으로 연료 소모량 및 오염물질의 발생을 저감시킬 수 있을 것이다. 관련하여 최은진(2021.12) 등은 도로의 구조와 주행특성에 따른 연료 소모와 CO₂ 배출 특성 연구를 통해 평면선형, 종단선형, 곡선반경의

변화로 차량의 주행 속도와 평균 연료 소모량이 변화된다는 것을 발표하였다.⁷⁾

4. 탄소중립 도로를 위한 정책 제안

기후위기를 다함께 벗어나기 위해서는 도로산업 분야에서도 탄소중립을 추진해야 하는 운명이다. 도로산업 분야에서 탄소중립을 위한 제도적, 기술적, 교육적 측면을 다음과 같이 제안하고자 한다.

4.1 탄소중립 도로 등급제 도입

① 도로설계 및 건설 시 해당 도로의 탄소발생량이 어느 정도 되는지 평가하고, 이를 등급화하여 나타낼 수 있는 '탄소중립 도로 등급 제도'의 도입을 제안한다. 이를 위해서는 도로건설 및 시공 시 사용하는 자재, 장비, 공법 등 CO₂가 어느 정도 발생하는지 정량화해야 한다.

② 최근 들어 새로운 재료, 공법 등이 지속적으로 개발되고 있지만, CO₂ 발생량을 객관적으로 인증하는 기관이나 체계가 없다. 이에 따라 개발자도 현장 기술적용이 어렵고, 발주기관도 사 용이 어려운 실정이므로 이를 위한 인증 체계가 필요하다.

③ 도로운영 및 관리 측면에서도 현재 도로의 CO₂ 발생량뿐만 아니라 향후 유지관리를 하거나 개선할 때에도 CO₂ 감소량 등을 알 수 있도록 기존 도로에도 등급제도가 필요하다.

4.2 탄소중립형 도로건설 공법 개발 및 활성화 추진


① 기존 CO₂ 저감을 위한 태양광 방음벽, 저탄소

중온아스팔트 포장 등 다양한 연구와 공법들이 개발되었다. 하지만 기존 공법과 개발된 공법의 탄소발생에 대한 정량적 평가를 실시하여 현장 적용에 미진한 이유 등을 검토해야 한다.

② 현재까지 도로건설에 사용되어 온 모든 건설 재료 및 공법 등은 앞으로 탄소중립형 재료로 점진적으로 대체해야 할 것이다. 이를 지원하기 위해 EU의 '녹색발주제도'와 같이 발주기관에서의 탄소중립형 건설 재료와 공법을 우선 사용해야 하며, 동시에 도로건설 분야에서도 재료 생산 공장에서 신재생에너지 활용을 촉진하는 RE100 운영 지원 방안 등을 추진하는 것을 권장한다.

③ 새로운 공법을 개발할 때에는 디지털 분야와 화학적 분야를 반영한 융·복합 기술 개발을 권장한다. 최근 들어 AI가 활성화되고 있고, 모니터링 등을 위한 센서 비용도 저렴하여 과거에 비해 훨씬 경제적으로 적용할 수 있다.

4.3 인재양성 및 교육체계

전 세계적으로 탄소중립에 대한 이슈로 상당히 많은 자재와 공법 등이 다양한 산업과 융·복합하며 개발되고 있어 기존 엔지니어가 따라가기 쉽지 않다. 따라서 신규 인력에 대한 교육 체계도 중요하지만 기존 엔지니어에 대한 교육도 매우 필요한 실정으로, 전문가 교육 체계에서 탄소중립과 디지털 부분을 적극적으로 반영하는 것을 권장한다. 

7) 최은진(2021.12), "탄소중립형 도로설계를 위한 도로의 구조와 주행특성에 따른 연료소모량 및 CO₂ 배출 특성 연구", 한국도로학회 논문집 제23권제4호, 한국도로학회