

ENERGY FOCUS

에너지포커스

2021년 겨울호

#에너지경제연구원 개원 35주년 기념 좌담회
#2050 탄소중립 실천을 위한 방안



권두칼럼

탄소중립 이행: 도전과 응전

특별기획

에너지경제연구원 개원 35주년 기념 좌담회

이슈와 시선: 2050 탄소중립 실천을 위한 방안

한국의 2050 탄소중립 시나리오: 내용과 과제
해외의 탄소세 운용 동향 및 탄소가격에서의 시사점
정의로운 전환을 위한 제언
에너지 지표로 살펴보는 한국의 탄소중립

동향과 분석

국내 구역전기사업 지속을 위한 제도개선 방안
무탄소 신전원 활용기술과 해외 활용사례 - 일본을 중심으로
영국의 2050 탄소중립 전략 수립 동향

인포그래픽

연구원 소식

연구원 사람들

연구원 뉴스

교육서비스



에너지경제연구원

CONTENTS

Clean⁺

KEEPi

ENERGY FOCUS

2021년 겨울호 Vol.82

「에너지포커스」는
에너지 정책 수립 관련
정보를 담은 매거진입니다.

권두칼럼

04
탄소중립 이행: 도전과 응전
양의석 에너지경제연구원 부원장

특별기획

06
에너지경제연구원 개원
35주년 기념 좌담회

발행일 2021년 12월 30일
발행인 임춘택
편집인 이성재
기획위원 이호무, 김지효, 김강, 김성균, 김지현, 김병조(동서발전)
발행처 에너지경제연구원
44543 울산광역시 중구 중가로 405-11(성안동)
Tel. 052-714-2234
디자인 효민디앤피 Tel. 051-807-5100



이슈와 시선

주제: 2050 탄소중립 실천을 위한 방안

18

한국의 2050 탄소중립 시나리오:
내용과 과제

윤순진 서울대학교 환경대학원 교수

34

해외의 탄소세 운용 동향 및
탄소가격에서의 시사점

이동규 서울시립대학교 조교수

48

정의로운 전환을 위한 제언

여형범 충남연구원 연구위원

64

에너지 지표로 살펴보는 한국의 탄소중립

노지은 한국에너지정보문화재단 주임
강창식 한국에너지정보문화재단 실장
김택원 동아에스앤씨 수석연구원 부장



동향과 분석

80

국내 구역전기사업 지속을 위한
제도개선 방안

신동현 에너지경제연구원 연구위원

94

무탄소 신전원 활용기술과 해외 활용사례
- 일본을 중심으로

김재엽 에너지경제연구원 부연구위원

108

영국의 2050 탄소중립 전략 수립 동향

김창훈 에너지경제연구원 부연구위원



연구원 소식

126

[인포그래픽](#)

132

[연구원 사람들](#)

134

[연구원 뉴스](#)

138

[교육서비스](#)

탄소중립 이행: 도전과 응전



양의석 에너지경제연구원 부원장

2021년 우리나라가 설정한 중장기 온실가스 감축목표는 국제사회에서 널리 주목되고 있다. 에너지집약적 산업구조 및 높은 해외수입 의존도를 보유한 우리나라가 2050년 탄소중립 목표를 설정하는 한편, NDC를 통해 2030년까지 이산화탄소(CO₂) 배출을 40%까지 감축하겠다는 계획을 국제사회에 천명하였기 때문이다. 탄소중립을 선언하고 이를 법제화한 전 세계 국가 중에서 에너지소비 및 이산화탄소(CO₂) 배출 비중이 1.0%를 능가하는 국가는 독일 이외에 우리나라(에너지소비 비중: 2.1%, 2020년 전 세계 대비; 이산화탄소(CO₂) 배출 비중: 1.8%)가 최초라는 점이 더욱 주목받는 이유가 되고 있다.

우리나라는 지난 수년간 에너지전환에 주력하여 왔으나, 에너지집약적 산업구조와 자연·지리·환경적 요인으로 인하여 신재생에너지로 대표되는 청정에너지 확충에 속도를 발휘하지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고 우리나라가 국제경제 무대에서 전개될 경제환경



변화에 선도적으로 대응하고, 신질서(탄소중립 사회, ESG 경영, 기술의 자원화 등) 체제에서 경쟁력을 확보하기 위해 국가 차원에서 과감하게 온실가스 감축목표를 설정하고, 이를 법제화한 것은 국제적으로 주목받을 가치가 있다. 문제는 지금부터이다. 정부가 제시한 경제성장 방식과 탄소중립 이행 약속을 차질없이 이행하기 위해서는 청정에너지 체제 구축에 요구되는 세부 정책수단 발굴·집행, 기술개발, 투자 촉진 활동 등에 산업, 학계, 연구기관, 정부가 해안을 모아야 할 시점이다.

정부가 제시하고 있는 탄소중립 실현을 위한 에너지정책 핵심기조는 산업·건물 등에서 에너지효율 증진을 통해 에너지수 증가를 억제하는 한편, 발전부문의 연료전환을 위해 전원구조를 개편하며, 수송에너지의 전력화 및 수소화를 촉진하고, CCUS를 통해 배출된 이산화탄소(CO2)를 흡수·처리하는 것으로 설계되어 있다. 우리나라가 구상하고 있는 탄소중립 및 에너지전환 정책 수단의 기술적 잠재력과 시장적 확장 가능성은 현재 다소 의문을 제기 받고 있으나, 이는 우리나라만의 문제가 아니며, 세계 주요국이 해결을 위해 매진하고 있는 영역이기도 하다. 청정에너지 체제 하에서 전개될 환경 및 신기술 편익이 우리나라가 미래사회 변화를 주도하고, 국제경제 무대에서 경쟁력을 확보하는데 얼마나 크게 기여할지 가늠하는 것은 다소 시기상조이다. 그러나 청정에너지 체제로의 전환에 대한 사회적 합의에 근거하되, 조기 이행하는데 필요한 요건은 명확하다. 우선 경제주체(소비자, 생산자, 정부, 시장 등)가 청정에너지의 가치를 인정하고, 이에 대해 추가적인 비용 부담을 감내해야 함을 인식할 필요가 있겠다. 이는 시장경제의 핵심 원리이기에 새로이 주장할 이유도 없다. 정부의 역할은 중장기 국가 정책목표가 달성될 수 있도록 세부적인 정책수단을 지속적으로 발굴해야 한다. 또한 정책수단별 성과를 객관적이고 과학적인 방법론에 의해 평가, 이의 결과가 차년도 정책수단 조정에 환류될 수 있도록 정책추진 체계(거버넌스 정비)를 정비하는 것이 선행되어야 하겠다. 한편, 현재 탄소중립 수단으로 제시되고 있는 대안기술들(ESS, 수소·



암모니아, CCUS, 산업공정 원료의 탈화석화 등)이 상용화 단계에 이르지 못한 점을 고려하여, 기술적 성숙도 제고를 위해 R&D부문에 대폭적인 투자를 확대하는 것이 필수적 요건이다. 이는 미국이 차세대 에너지기술(ESS, 수소연료 전지 발전, SMR 등) 및 脫탄소기술(CCUS 등)을 국가 전략 과제로 설정하고 있다는 점에서도 확인되고 있다. 미국 바이든 행정부가 청정에너지기술 개발 및 시장 확충을 통해 청정에너지기술 수출국가로 전환을 지향하며, 성장방식의 전환(청정성장 체제)을 도모하는 것의 시사점은 간과되지 않아야 할 것으로 판단된다.

한편, 기업과 자본은 탄소중립과 연계된 세계 경제의 가치사슬(Value Chain) 변화를 인지하여, 청정에너지 부문에 대한 투자인식을 근본적으로 전환해야 할 때이다. 청정에너지 개발 투자수익을 전통적인 손익계산법으로 산정하는 것은 더이상 의미있어 보이지 않는다. 청정에너지 기술개발 투자를 통해 선도·우월적 기술을 확보하는 것은 미래 에너지신시장을 창출하고 지배력을 선점하는 것으로 인식되어야 한다. 이는 탄소중립 시대에서는 첨단 청정에너지기술 보유자가 최고의 에너지공급 잠재력을 보유하게 되기 때문이다. 즉, 탄소중립 체제에서 에너지공급 잠재력과 시장지배력의 원천은 바로 에너지 신기술임을 의미한다. 이에 세계적으로 심화되고 있는 탄소중립 체제에 우리나라가 청정에너지기술 분야에서 기술적 우위를 선점하기 위해 기업과 자본에게 세계 국가의 변화를 민감하게 인식하고, 투자활동을 중장기적·국제적 시각에서 전개할 것을 주문해 본다.

에너지경제연구원 개원 35주년 기념 좌담회

KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE 35TH ANNIVERSARY



임춘택
에너지경제연구원장



안녕하십니까, 에너지경제연구원장 임춘택입니다. 오늘 좌담회에서는 탄소중립 달성을 위해서 부문별로 어떤 실천을 해야 할 것인지에 대해 네 분의 패널 분들과 이야기를 나눠보고자 합니다. 먼저 산업 부문에 대해서는 주현 산업연구원장님께 질문을 드리겠습니다. 글로벌 탄소중립 추진에 따라 철강, 석유화학, 정유 등 대표적인 에너지다소비산업에 대해서 우리가 어떻게 대비를 해야 할지, 특히 관련 제도나 정책에 어떤 변화가 필요한지에 대해서 자유롭게 말씀 부탁드립니다.

주현
산업연구원장



우리나라는 기후변화 대응 노력의 결과를 지난 글래스고에서 있었던 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 국제사회에 공개적으로 발표했습니다. 또한 산업 부문도 ‘탄소중립을 위한 2050년까지의 여정을 이제 시작했다’라고 볼 수 있겠습니다. 지난 1년 동안은 과연 탄소중립을 위해서 온실가스를 ‘얼마나’ 감축해야 할까에 방점을 두어서 논의했다면, 이제부터는 ‘어떻게’ 탄소중립을 추진해 나갈 것인가에 대한 논의에 집중해 나갈 시기라고 생각합니다.

본격적인 말씀을 드리기 전에 먼저 산업 부문에서 탄소중립이 얼마나 중요한 부분인가에 대해서 간단하게 말씀을 드려야 할 것 같습니다. 우리나라는 제조업의 비중이 굉장히 높은 나라입니다. 중국과 더불어 우리나라 GDP에서 제조업이 차지하는 부분이 약 28% 정도, 연도마다 좀 다르지만, 다른 어느 선진국보다도 제조업의 비중이 높습니다. 2018년 기준으로 우리나라 온실가스 배출량이 7억 3천만 톤인데 산업 부문에서의 온실가스 배출 비중은 그중에 2억 6천만 톤, 36%를 차지합니다. 방금 말씀드린 수치는 직접 배출만을 말씀드렸고, 전기 소비를 포함한 간접 배출까지 고려하면 전체 우리나라 온실가스 배출의 53%나 됩니다.

산업 부문의 온실가스 감축 목표는 2030년까지 14.5% 감축하는 것인데, 다른 부문에 비해서 감축 폭이 조금 적다고 느낄 수가 있습니다. 또한, 우리가 탄소중립을 궁극적으로 2050년에 달성한다고 하더라도 산업 부문에서는 여전히 5천만 톤 정도의 탄소를 배출하게 됩니다. 제조업에서는 에너지원으로만 쓰는 것이 아니라, 철강 업종에서의 유연탄처럼 원료로 사용되는 경우가 있기 때문입니다. 그렇기 때문에 제품 생산을 위해서는 부득이하게 탄소를 배출하게 됩니다. 이러한 부분은 온실가스를 배출하지 않는 완전히 혁신적인 새로운 공정이 개발되어야지만 바뀔 수 있는데 그런 혁신적인 공정을 개발하는 것이 쉬운 일은 아닙니다. 그렇기 때문에 2030년까지는 제조업에서 14.5%만 감축하겠다는 목표를 설정할 수밖에 없는 것입니다.

제조업 중에서도 온실가스를 많이 배출하는 몇몇 산업들이 있습니다. 가장 많이 배출하는 것이 철강, 그다음은 석유화학, 시멘트, 정유가 있는데, 이런 업종은 온실가스 직접 배출이 많은 업종입니다. 이 4개 업종이 제조업에서 배출하는 온실가스의 거의 대부분을 차지한다고 해도 과언이 아닙니다. 그런데 이런 업종들은 대부분 다 화석연료

를 쓰고 있습니다. 철강에서는 유연탄이 환원제로 사용되고, 석유화학에서는 석유제품이 플라스틱의 원료로 사용됩니다. 그리고 생산 공정에서 CO₂가 배출되다 보니 생산량과 CO₂ 배출에 직접적인 관련이 있습니다.

그래서 연구개발을 통해 우선적으로는 에너지 효율을 높여야 합니다. 하지만, 우리나라 제조업의 공정 효율성과 에너지 효율성은 이미 다른 나라에 비해서 매우 높은 편입니다. 그럼에도 불구하고 공장 스마트화 도입 등 새로운 기술 개발을 통한 효율 혁신의 노력이 지속적으로 필요합니다.

또한, 방금 말씀드린 에너지다소비산업들은 코로나19를 겪으면서 현재 엄청난 호황을 누리고 있습니다. 호황에 따른 이익 재원을 탄소중립을 위한 기술 개발이라든가 에너지 효율을 높일 수 있는 설비 개발 등에 투자해야 합니다. 중장기적으로는 일반적인 기술개발이 아닌 100년, 200년에 한 번 나올법한 혁신적인 기술개발을 이루어내지만 산업 부문에서 탄소중립을 달성할 수 있습니다. 철강 산업의 경우에는 수소환원제철기술, 석유화학 산업의 경우에는 바이오 기반의 기초유분생산기술(원유를 가공을 해서 화학제품을 만드는 것이 아닌 바이오를 통해서 화학제품을 만드는 기술) 등을 상용화할 수 있도록 많은 연구개발이 필요합니다.

산업구조 역시 바뀌어야 합니다. 철강 산업은 전기로를 통해 고품질의 철강을 만들 수 있는 기술을 개발해서 전기로 비중을 높여야 하고, 정유 산업은 원유가 아닌 바이오연료나 최근에 부각되는 이퓨얼(E-fuel)이라는 대체 제품의 생산 시설들을 확대해나가야 합니다.

정부는 이런 방향에 맞춰 정책들을 잘 실행해야 합니다. 앞서 말씀드린 부분들은 사실 개별 기업이 해결하기에는 너무나 큰 난제들이기 때문에 기업들이 노력하고 정부가 뒷받침하는 형태로 나아가야 합니다. 정부는 탈탄소 기술 투자, 특별법 제정 등의 지원을 해야 하며, 산업계 역시 탈탄소화로의 전환에 적극적인 자세를 취해야 합니다.

임춘택
에너지경제연구원장



현재 탄소중립을 추진함에 있어 가장 어려움이 많은 부문이 산업 부문이고, 그 어려움을 각 분야별로 상세하게 잘 설명해주신 것 같습니다. 그리고 그 대책으로 기술개발이나 그 외에 제도적인 지원도 필요하다는 말씀을 해주셨습니다. 무엇보다도 산업 부문에는 전기화, 수소화 같은 것들이 필요한 것 같습니다. 철강협회 같은 경우에는 2050년까지 수소화로 제철공법을 95% 이상 바꾸겠다고 스스로 결의했습니다. 앞으로 탄소중립이 산업 부문 전반에 큰 임팩트를 가져오게 될 것 같습니다. 그렇게 되려면 산업구조 자체가 변화해야 합니다. 이와 관련하여 에너지 관점에서 탄소중립을 고려한 신산업을 육성한다면, 어떤 분야가 있을까요?

주현
산업연구원장



방금 말씀하신 것처럼 산업 자체가 앞으로 엄청나게 변화가 있을 것입니다. 예컨대 정유 산업의 경우에는 기존 석유제품의 수요는 대부분 수송 부문이 담당했는데, 앞으로 전기차같은 다른 연료를 사용하는 운송기기로 전환될 것이기 때문에 정유 산업은 설 자리가 없어지게 될 것입니다. 또 화학제품을 만드는데 반드시 석유가 필요한 것은 아닙니다. 다른 나라에서는 석탄이나 LNG로도 만드는데 앞으로는 석탄, 석유, LNG가 아닌 바이오원료를 이용한 화학제품을 만드는 기술이 나오면서 산업 전반에 변화가 있을 예정입니다.

또한, 기존 산업 구조의 변화와 함께 새로운 산업이 등장하게 될 것입니다. 이런 신산업들은 선진국도 우리와 같이 출발점에 있기 때문에 우리가 크게 두려워할 부분은 아니라고 생각합니다. 신산업에는 태양광, 풍력과 같은 신재생에너지 산업, 수소를 생산·운송·저장하는 부분, ESS와 같이 신에너지 인프라 관련 산업도 있을 수 있습니다. 또한 무공해 수송기기(전기차, 친환경 선박 등), 저전력 반도체, 바이오 에너지, 폐기물 처리·가공업, 기후 서비스 관련 산업 등 이런 부문들 모두가 앞으로의 산업구조에서 큰 비중을 차지할 산업이라고 볼 수 있습니다. 이 중에서 친환경 선박, 반도체, 이차전지 등 우리가 이미 선진국들에 비해서도 굉장히 높은 경쟁력을 가지고 있는 산업입니다. 하지만, 앞서 말씀드린 산업 중에 다른 부분들은 선진국에서 앞서있고 우리는 이제 시작 단계인 산업들도 있습니다. 앞으로 이런 부문에 대한 연구개발과 투자를 늘려 많은 기업들이 생겨나고, 고용창출이 될 수 있는 긍정적인 파급효과가 나타날 수 있도록 국내 산업 생태계 확보가 시급하다고 볼 수 있습니다.

이때 정부의 역할도 대단히 중요합니다. 요즘 미·중 기술패권 경쟁으로 인해 공급망 부문이 굉장히 중요한 문제로 부각되지 않았습니까? 그래서 새로운 신산업 부문에 있어서의 원료나 소재에 대한 공급망 안정화 노력이 정부의 몫이라고 볼 수 있습니다. 또한 이런 부문에 민간투자가 계속 유입될 수 있도록 생태계를 잘 조성하고 유지해야 합니다. 기업가정신이 낮아지지 않도록 여건을 잘 마련해야 하고, 시장이 없어 잘 팔리지 않는 새로운 제품에 대해서는 공공조달 정책을 통해 정부가 먼저 구입해주는 방식을 활용하거나, 수입대체를 하는 노력들이 필요합니다. 신산업이라고 해서 완전히 새로운 산업만을 의미하는 것은 아닙니다. 기존 산업에서도 새로운 제품군이 얼마든지 나올 수 있습니다. 철강은 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 경량 강판이 있을 수 있고, 시멘트는 친환경적인 혼합시멘트 같은 새로운 제품이 나올 수 있습니다. 신제품의 기술 개발을 통해서 다가올 수 있는 산업, 제품, 시장이 얼마든지 많이 있기 때문에 우리의 노력에 따라서 새로운 미래시장을 열어나갈 수 있다는 기대를 해도 좋을 것 같습니다.

임춘택
에너지경제연구원장

신산업 분야뿐만 아니라 신산업을 어떻게 육성할 수 있는지 그 방향까지 아주 자세하게 잘 짚어주셨습니다. 다음으로는 오재학 원장님께 질문 드리겠습니다. 저희 온실가스 감축에 있어

서 5대 분야를 이야기한다면 그중에서 수송 분야가 차지하는 비중도 굉장히 큼니다. 수송 분야는 온실가스 감축의 문제뿐만 아니라 수송산업 자체에도 큰 변화가 있을 것 같습니다. 그래서 탄소 중립을 다룰 때 단순히 전기차, 수소차로 바꾸는 문제, 탄소중립을 어떻게 할 거냐 이런 문제만이 아니라 수송산업의 변화를 같이 고민해야 할 것 같습니다. 그런 점에서 한 번 폭넓게 짚어주십시오.

오재학
한국교통연구원장



수송 부문의 온실가스 배출량은 2018년 기준 약 9천 8백만 톤 정도입니다. 전체 배출량의 약 13.2%에 해당합니다. 미국이 수송 부문의 온실가스 배출이 많은 나라 중에 하나인데 미국은 우리나라의 두 배 이상입니다. 그런 관점에서 우리나라 수송 부문의 에너지 효율성은 경쟁력 있다고 평가할 수 있습니다.

수송 부문은 여객 파트와 화물 파트로 나눌 수가 있는데, 여객 파트가 약 68%, 화물 파트가 약 32% 정도 점유하고 있습니다. 우리나라 여객 파트의 중요한 특징 중에 하나는 대중교통체계가 상당히 발달되어 있다는 것입니다. 특히, 대도시 지역의 대중교통이 잘 발달되어 있어서 국제적으로 1인당 온실가스 배출 규모에서도 경쟁력이 있습니다. 하지만 여객 파트에서 발생하는 온실가스 배출량이 전체 수송 부문의 68%를 점유하고 있으니 앞으로 감축을 해나가야 할 부분도 많다고 할 수 있습니다. 여객 파트에서 발생하는 어려움 중에 하나는, 국민적인 동의와 협력이 전제되어야 한다는 것입니다. 그렇기 때문에 국민들과의 소통, 협력체계 구축과 같은 사회적인 합의체계를 구축하는 것이 상당히 중요하다고 생각합니다. 결과적으로는 여객 파트의 경우에는 통행수요 관리 측면에서 대중교통으로의 수단 전환을 이뤘으면 좋겠다는 생각을 합니다.

화물 파트는 온실가스 감축을 위해서 철도를 이용한 화물 수송이 많이 이루어지면 좋겠는데 철도를 이용한 화물 운송은 굉장히 미미한 편이고 거의 95% 이상 화물차를 이용하기 때문에 도로 부문에서 온실가스 배출이 많습니다. 이런 점에서 예전에 임춘택 원장님께서 철도 투자, 철도의 고속화, 철도 서비스의 고도화 등에 대해서 상당히 좋은 이야기를 하셨습니다. 저 역시도 그 부분에 대한 투자는 필요하다는 입장이고, 특히 지방 대도시의 경우에는 광역고속철도를 활용해서 승용차로 인한 온실가스 발생을 다소 흡수할 수 있으면 좋겠다는 생각입니다. 앞으로 화물의 전기화를 위해 어떤 노력을 할 것인지, 철도 수송 비율을 어떻게 늘려갈 것인지에 대해서도 고민해봐야 합니다. 물론 비용구조적인 측면에서 헤쳐나가야 할 점이 많은 것은 알지만, 향후에 탄소세, 탄소가격 구조가 달라지면 또 이야기가 달라지지 않을까 생각합니다.

또한, 기후위기가 온실가스 감축이라는 이슈가 어떻게 보면 global externality, 즉, 온실가스 배출로 인한 기후위기로 인해 불특정다수가 피해를 입는다는 그런 논리인데, '교통에너지환경세'가 이런 논리에서 출발한 목적세입니다. 교통 SOC가 부족하면 교통 혼잡이 발생하고, 교통 혼잡으로 인한 외부비용을 어떻게 최소화할 것인지를 연구



하기 위해 한국교통연구원에서는 매년 교통혼잡비용을 추계합니다. 최근 추계비용은 연간 약 70조 원 정도 됩니다. 교통 부문에서의 환경비용이 정확하진 않지만 약 35조 원 정도 추계되는데 여기에 국민들도 교통 혼잡 및 정체로 인한 여러 가지 피해, 불편함을 겪기 때문에 휘발유나 경유에 교통세를 부과하는 것이죠. 앞으로 ‘탄소세’에 대한 논의가 활발히 진행될 텐데, ‘교통에너지환경세’와 ‘탄소세’의 관계 문제가 중요하게 대두가 될 것이라고 생각합니다.

다음으로 현재 전기차나 수소차와 더불어서 자율주행, 공유차가 실질적으로 우리 삶에 가깝게 와있습니다. 앞으로 자동화, 전기화, 공유화가 동시에 일어나면서 자동차시장 생태계가 재편될 것이고 자동차 산업도 재편이 될 것이라고 예상합니다. 우리나라가 일 년에 한 380만 대 정도 자동차를 생산하는데 약 180만 대 정도는 국내에서 소비를 하고 나머지는 수출을 한다고 알고 있습니다. 국내에서 생산되는 180만 대 정도가 매년 전기차로 대체된다면 쉽게 전기화가 이루어지겠죠. 제가 알기로는 지금 전기차에 대한 여러 가지 비용 손익관계라든지, 가장 중요한 걸림돌이라고 생각되는 자동차 생산능력 면에서 전기차나 수소차가 기존 내연기관차를 따라갈 수 없는 상황입니다. 그런 문제를 어떻게 극복해 나갈 것인지도 앞으로 연구가 진행되어야 하는데, 세계적인 글로벌 자동차 생산기업에서는 2050년 정도면 내연기관차와 전기차 사이의 가격경쟁력이 똑같아

질 것이라고 전망하고 있습니다. 현대자동차에서는 그것보다 이른 2030년으로 전망하고 있다고 기사에서 봤습니다. 제 생각에는 2025년이나 2030년 사이 정도가 되면 전기차에 대해 별도의 보조금을 주지 않고도 시장에서 경쟁이 될 것이라고 생각합니다.

이런 시장의 변화에 발맞춰서 앞으로 우리나라의 전기차 생산 경쟁력을 확보하는 것과 동시에 소비 여건을 조성하는 것이 굉장히 중요합니다. 전반적인 충전 인프라 문제라든지, 국가 보조금 제도라든지, 자동차 이용에 따른 여러 가지 운행규제라든지 이런 것들이 복합적으로 설계가 되어야 한다고 생각합니다. 온실가스 감축이나 기후위기 극복과 같은 단순한 도덕적인 절실함에서 호소하는 것도 중요하지만, 시장에서 전기차를 이용함으로써 편익이 발생하는 시장 생태계를 만들어주는 것이 더 중요합니다. 우리 국책연구기관에서 함께 머리를 맞대고 국민들에게 그런 전환에 따른 명확한 메시지를 줄 수 있는 시장 생태계를 만들기 위한 연구와 노력이 필요하다고 강조해서 말씀드리고 싶습니다.

임춘택
에너지경제연구원장

네, 잘 알겠습니다. 다음은 손정락 MD님의 의견을 좀 들겠습니다. 현장에서 누구보다도 탄소중립 관련된 기술지원이나 사업화를 앞장서서 행거오셨는데요. 탄소중립이 가져올 산업의 변화, 전반적으로 어떻게 보시는지 의견을 부탁드립니다.

손정락
산업통상자원
R&D 전략기획단
에너지산업MD



큰 변화가 예상됩니다. 지난해 탄소중립이 선언되고, 산업부에서 탄소중립에 어떻게 대응할 것인가에 대한 고민을 시작했고, 그 고민의 한가운데 저도 들어가서 여러 가지 활동을 해왔습니다만 탄소중립은 관련된 난제로 큰 분류로는 13개 세부 분류로는 45개 정도 나올 정도로 매우 어려운 과정입니다. 그럼에도 불구하고 2050 탄소중립이라는 것은 인류 공존이라는 공익적인 목적과 우리나라 산업에 기회 요인으로 작용할 수 있기 때문에 산업의 큰 변화를 너무 부정적으로만 보지 말고 새로운 기회로 보고 이를 적극적으로 활용하자고 주장하고 있습니다. 미래에는 ESS 등 에너지 저장분야가 상당히 큰 산업으로 구상될 것 같고, 지난해부터 수소경제가 화두가 되고 있기 때문에 수소와 관련된 산업도 신산업으로 계속 발굴될 것 같습니다. 또한 CCUS에 대해서는 논란의 여지가 있지만 우리가 더 이상 감축할 수 없는 상황에서는 마지막 도구로 CCUS도 고려되어야 하기 때문에 탄소를 저장하는 것부터 시작해서 탄소를 이용하는 것까지 새로운 산업에 대한 고민을 해야 할 것 같습니다. 물론 산업 쪽에서는 우리 산업연구원 원장님이 말씀하신대로 탄소 다배출 업종인 제철, 시멘트, 석유화학 등의 산업에서 앞으로 큰 변화가 있을 것인데 어떤 모습으로 변할까에 대해서는 앞으로 지켜봐야 할 것 같습니다.

임춘택
에너지경제연구원장

저희가 당초 미리 준비해 주십사 한 내용하고는 벗어난 것입니다만 손정락 MD님은 가스 터빈 쪽에 전문가이시기도 합니다. 국내 최고의 전문가라고 생각을 하는데 가스 터빈하고 항상 같이 시장에서 유사하게 경쟁하는 것이 연료전지부문 아니겠습니까? 현재로서는 둘 다 가스를 쓰는데, 나중에 탄소중립이 본격화되면서 양쪽 모두 수소만 써서 발전하게 되면 온실가스를 배출하지 않을 수도 있습니다. 그래서 양쪽 모두가 세계적으로도 그렇고 국내에서도 기술개발 지원도 하고 있고 사업화 지원도 하고 있지 않습니까? 이 부분만 국한시켜놓고 봤을 때 탄소중립의 로드맵 속에서 이 두 기술이 어떻게 앞으로 바뀌어 나갈지 거기에 대해서 굉장히 어려운 질문인 것 저도 알고 있습니다만 어떻게 생각하시는지요?

손정락
산업통상자원
R&D 전략기획단
에너지산업MD



그 사실은 원장님 말씀하신 대로 제가 지금 가스 터빈 관련해서 30년 동안 국내에서 일을 했고, 특히 작년에 에너지 MD를 맡으면서 산업부에서 처음에 저한테 맡긴 이슈가 국내 가스 터빈 산업 경쟁력 강화를 위한 정책을 만들어 내는 것이었습니다. 일년 동안 고생해서 사실 국내 가스 터빈 생태계를 육성시키는 전략을 정리하고 나니까 탄소중립 이슈가 터졌습니다. 국내에서 쓰는 가스 터빈은 LNG를 쓰기 때문에 석탄 대비 온실가스 배출량이 한 25% 수준이긴 하지만, 그래도 온실가스를 배출하기 때문에 결국에는 탄소중립 상황에서는 궁극적으로 좌초될 가능성이 높아서 상당히 실망했습니다. 어쨌든 논의를 이어가다 보니 결국 수소라는 수단이 지난해 이슈화되면서 이제 우리나라가 수소경제를 선점하게 되었고, 탄소중립이라는 이슈가 전 세계적으로 퍼지면서 수소의 가능성에 대해서 이제는 보편적으로 받아들이는 입장이 되었습니다. 그래서 결국에는 가스 터빈이 LNG에서 수소로 가야 한다는 방향이 정해졌습니다. 사실 탄소중립 상황에서 수소를 이용한 가스 터빈의 역할이 가장 중요한 것은 무탄소 발전 수단으로서의 관성 확보 수단입니다. 재생에너지가 확대됨에 따라 관성이라는 이슈가 있기 때문에 그래도 관성이라는 이슈를 조금이라도 지켜줄 수 있는 역할이 아마 수소 터빈일 것 같고, 그런 측면에서 수소 터빈의 역할은 작은 분산 발전보다는 주로 국가적인, 전체적인 전력망에 기여할 수 있을 정도의 대형 발전원으로 자리를 잡아야 할 것 같습니다. 반면에 연료전지의 경우 관성 이슈는 사실 없습니다. 그러니깐 무관성 전원임에도 불구하고 연료전지가 갖고 있는 소규모 발전에서의 고효율화라든지 열생산화 이슈가 있기 때문에 연료전지는 나름대로 분산발전, 소형발전에서 상당한 장점이 있습니다. 수소 터빈도 그렇고 연료전지도 그렇고 수소를 연료로 사용한다는 공통점은 있지만 두 수단은 분산발전 쪽에서의 어떤 고효율화 수단으로서는 연료전지, 대형 발전의 관성확보 수단으로서는 수소 터빈 이런 쪽으로 시장을 잡아놓을 것 같습니다. 정리하자면, 수소를 이용한 발전의 두 가지 중요한 발전수단으로 소형과 대형으로, 연료전지와 수소 터빈이 자리를 잡아 나갈 것으로 예상하고 있습니다.

임춘택
에너지경제연구원장

손정락
산업통상자원
R&D 전략기획단
에너지산업MD



답변 감사합니다. 한 가지 더 질문드리고 싶은 것이 있습니다. 우리가 에너지전환 속도가 너무 빨라도 문제이지만 늦은 경우에는 사실 더 큰 위기가 찾아옵니다. 우리처럼 산업을 기반으로 무역에 의존하는 국가에서 에너지전환 속도가 산업에 미치는 영향에 대해서도 한 번 짚어주실 수 있겠습니까?

이제 2050년까지 우리가 30년 남았지 않았습니까? 30년 남았는데 앞으로 30년을 생각하기 전에 과거의 30년을 생각해 보면 사실 지금 상황에서 과거의 30년은 1991년 상황이고, 1991년은 제가 가스 터빈 국산화를 막 시작할 시점이었습니다. 그 시점부터 지금의 30년 동안 가스 터빈은 이제야 국산화 기술이 거의 완성되어서 상용화 진입 단계입니다. 이렇게 보면 사실 앞으로 30년이라는 시간은 결코 긴 시간이 아닙니다. 그렇기 때문에 조금 더 속도감 있게 우리가 준비하지 않으면 사실 30년이라는 타임프레임을 맞추기 쉽지 않을 것 같습니다. 예를 들어 전기자동차 같은 경우에는 그래도 탄소 중립 이슈가 있기 전에 그나마 성숙되어 있기 때문에 향후 10년 동안 상당히 큰 역할을 해 나갈 것으로 예상하고, 물론 교통연구원 원장님께서 말씀하신 대로 국가적인 정책이 뒷받침되어야 하겠지만, 수소화는 제철 산업의 지난 30년과 앞으로의 30년을 예상하면 과연 이게 녹록한 시간은 아닌 것 같다는 생각을 합니다. 빨리 서둘러야 할 그런 상황인 것 같습니다.

R&D 차원에서 기술개발을 한 번 하고 나면, 예를 들어 수소와 관련된 기술이 어느 정도 상용화 시점이 되면, 인프라를 갖춰 실제로 상용화되는 시점까지 10년이 걸린다고 합니



다. 그래서 이런 개념을 볼 때는 속도 문제에 대해 앞으로 관심을 더 가져야 할 것 같습니다. 기술개발 측면에서는 제가 요즘 이야기하는 단어가 목적 지향형 R&D입니다. 지난 30년간 했던 R&D 속도를 가지고서는 탄소중립 달성에 필요한 기술 달성이 어렵기 때문에 전투를 하는 마음으로 목적지향적인 기술 확보 체계가 필요합니다.

임춘택
에너지경제연구원장

R&D와 상용화 전 실증 단계의 중요성을 강조해주셨는데, 우리 탄소중립 관련 기술들도 똑같이 해당이 될 거라고 생각합니다. 감사드리고요. 마지막으로 권필석 소장님께 마이크를 넘겨드리겠습니다. 우리 탄소중립에 여러 분야들이 있는데, 거기에서 우리의 과제들을 한 번 짚어 주시면 감사하겠습니다.

권필석
녹색에너지전략
연구소장



손정락 MD님께서 말씀하신 것처럼 30년이라는 기간은 굉장히 짧습니다. 30년이라는 기간 동안 우리가 해야 할 것들이 굉장히 많은데 그 부분에 대해서 제가 말씀드리는데 가장 강조하고 싶은 것은 에너지전환입니다. 특히 발전 부문에서 큰 변화가 있어야 합니다. 탄소중립 시나리오에 나와 있는 전환 부문 재생에너지 목표량을 달성하기 위해서는 태양광과 풍력이 2050년까지 500~600GW만큼 우리 국토에 설치되어야 됩니다. 30년으로 나눠보면 17~18GW가 매년 설치되어야 우리가 탄소중립을 할 수 있습니다. 사실 재생에너지에 장점이 하나 있는데, 태양광이나 풍력 같은 경우에 인허가를 제외하고 설치하는 기간만 보면 수개월 만에 설치가 가능하다는 것입니다. 그러나 전력망을 확대하고 재생에너지에 맞도록 전력망 시스템을 개편하는 데 있어서 시간이 많이 걸리기 때문에 선제적으로 투자를 해야 한다고 생각합니다. 그렇지 않으면 나중에 재생에너지 보급이 본격적으로 확대되더라도 전력망으로 인해 보급에 문제가 발생할 수 있습니다.

두 번째로는 건물 부문입니다. 건물 부문도 기술적으로만 생각하면 굉장히 쉬워 보입니다. 왜냐하면 건물 부문은 난방에너지 혹은 열에너지를 쓰는 부분에서 건물의 외벽이나 창문, 문에 단열을 강화하면 되는 것이고, 그다음에 모든 에너지를 전기화하면 탄소를 줄일 수 있기 때문입니다. 그러나 건물 부문이 사회적 이슈로 나오게 되면 굉장히 힘든 문제가 될 것입니다. 여러분도 아시다시피 부동산 문제가 대한민국에 가장 큰 이슈인 것처럼 만약에 건물 외벽을 강화하고 단열을 강화한다는 문제에 있어서 세입자와 집주인과의 관계는 어떻게 할 것인지, 그것을 투자했을 때 집주인의 재산가치만 계속 늘어나게 되는 문제는 어떻게 할 것인지에 대해서 고민해봐야 합니다. 또한, 건물 부문에서 난방기기를 바꾸는 문제가 있습니다. 지금 유럽이나 다른 국가에서는 2030년이나 2035년 등 특정 시점을 정해서 그때부터 신규 난방기기를 설치하지 못하도록 규정하고 있습니다. 우리나라도 그런 문제에 대해서 일찍이 정책을 준비하지 않는다면 소비자들이 엉뚱한 피해를 보지 않을까하는 생각을 하게 됩니다.

수송 부문도 오재학 원장님께서 말씀하신 것처럼 전기자동차나 수소자동차가 굉장히 중요한 이슈인데요. 특히 전기자동차의 확대를 위해서는 전기자동차 충전 인프라 확대가 굉장히 중요합니다. 이 충전 인프라를 설치하는 문제에 있어서도 사실 건물 부문하고 관련이 있습니다. 그러니까 주로 목적지가 건물이기 때문에 건물 주변에 주차를 하고 또 건물 주변에 주차할 때 충전기가 있으면 굉장히 전기자동차를 사용하는데 편합니다. 이렇게 건물 부문과 수송 부문은 우리가 살고 있는 공간에 대한 인프라가 바뀌는 문제이기 때문에 선제적으로 준비를 해야 겨우 달성할 수 있을 정도의 시간밖에 남아있지 않다고 생각합니다. 그리고 우리나라는 재생에너지의 잠재량이 태양광에 좀 더 많은 편이고, 태양광은 설치하기가 좀 더 수월한 편이라, 2050년에 태양광이 많아지게 되면 낮 시간에 분명히 잉여전력이 발생할 것으로 예상합니다. 잉여전력 발생 시점과 그와 연계된 전기차 충전기 설치 위치, 전기자동차 주차 시간 및 위치 등을 고려해야 잉여 전력을 효율적으로 사용할 수 있습니다. 이와 같은 세밀한 조정을 위해서는 우리나라도 기후에너지부와 같은 기후변화, 탄소중립에 대한 목표를 가진 컨트롤타워로서의 정부부처가 생겨야 한다고 생각합니다. 산업 부문에서는 우리나라가 이례적으로 자원이 거의 없는 상황에서 자원을 수입하고 자원을 가공해서 수출하는 나라이기 때문에 원료부분에 있어서 탄소중립 달성이 굉장히 어렵습니다. 사실 그런 문제는 우리뿐만 아니라 다른 제조업 기반의 국가들에도 직면한 문제이기 때문에 탄소중립의 목표를 위해 어떤 연구를 해야 할지를 고민해야 합니다.

임춘택
에너지경제연구원장



여러 부문에 걸쳐서 잘 짚어주셨습니다. 결국 관건은 건물 부문, 수송 부문, 또 산업 부문에서 필요한 전기와 수소를 생산하려면 결국 다 그 근원이 발전 부문으로 가지 않겠습니까? 전체 에너지의 절반 이상까지 전기로 가야 되고 또 발전 부문에 있어서는 재생에너지가 80~90%를 차지해야 하는데, 에너지 기후 분야에서 보수적이라고 평가받는 IEA조차도 최근에 88%까지 제시했습니다. 지금 우리나라의 탄소중립 시나리오에서는 71%로, 이것도 높다고 그러는데 사실 세계적인 추세로 볼 때는 상당히 낮다고 생각합니다. 우리나라가 국토도 비좁고 상대적으로 재생에너지 확대가 굉장히 어렵다는 인식도 많은데, 재생에너지를 확대하는데 가장 걸림돌이 되는 것은 어떤 것이고, 또 재생에너지 확대를 위해 어떤 것을 중점적으로 개선해야 할까요?

권필석
녹색에너지전략
연구소장

재생에너지 확대의 가장 걸림돌이라고 할 수 있는 것이 전력망 확대가 안 되는 부분이 하나 있고, 두 번째로는 주민수용성이 굉장히 어렵다는 것입니다. 저는 먼저 전체적인 국민인식의 변화를 위해서 탄소중립 달성 당위성에 대한 더 좋은 설명이 많이 필요하다고 생각합니다. 사실 기후변화하면 우리가 딱 생각하듯이 코카콜라 광고에 나오는 북극곰이 얼음 위에 둥둥 떠 있는 것이나 도시가 물에 잠기는 극단적인 기후위기, 기후재

난에 대해서 설명하는데 저는 그것과는 조금 다르게, 우리나라가 일상적으로 돈을 버는 과정에서 에너지를 얼마나 사용하고 있는데 우리나라 전력 생산에서 재생에너지 비중이 6%로 굉장히 낮은 수준이고, 2050년까지 얼마나 빨리 재생에너지를 확대해야 하는지 그런 부분에 대해서 하나하나 우리의 사정을 정확히 진단하고, 우리가 목표를 달성했을 때 갖는 이익과 그렇지 못했을 때 지불해야 하는 비용에 대해 공유하고 구체적인 비전을 제시해야 한다고 생각합니다. 국민들의 인식 전환이 먼저 이뤄진다면 주민 수용성 부분도 훨씬 나아질 거라고 생각합니다. 물론 주민수용성 부분에 대해서 우리가 조금 더 조심해야 될 부분도 있습니다만 지금 우리나라가 가야 될 탄소중립에 대해서 국민의 이해를 구하는 것이 가장 중요하다고 생각합니다.

임춘택
에너지경제연구원장



여론조사를 봐도 탄소중립에 대한 이해는 상당히 높아진 것 같습니다. 그러나 우리에게 부족한 분야가 '그거 하면 나한테 뭐가 이익인데? 나한테 손해만 나는 거 아냐? 전기요금 올라가고 또 불편함 강요하고' 이런 인식도 있습니다. 그런데 '나한테 이익이 된다'고 피부로 느끼는 것이 제일 중요할 것 같습니다. 주민 수용성 해결을 위해서도 물질적으로 충분한 보상을 해주거나 그린뉴딜 펀드를 통해서 보상을 하거나 다양한 방법이 있지 않습니까? 주민수용성 해결에 관해서 간단한 코멘트 부탁드립니다.

권필석
녹색에너지전략
연구소장



그런 부분에 대해서 많은 고민이 있는 거 같은데 저희 연구소에서도 그런 연구를 하고 있습니다. 사실 원칙은 재생에너지를 통해 발생하는 프로젝트에서 발생하는 수익을 주민과 함께 나누고, 그 과정에서 주민이 어떻게 참여할 것인가에 대한 많은 고민이 있는 것 같습니다. 주민들이 직접 투자에 참여할 수 있는 그런 여력이 있다면 참여해서 그것에 대해서 충분히 보상받는 부분이 가장 바람직하다고 생각합니다. 다만, 우리나라 지역주민들이 다 그런 여유 있는 상황에 있지 않은 것이 좀 유감입니다. 또 우리나라가 예를 들면 부동산을 소유했을 때 벌어들이는 엄청난 수익률에 비해서 재생에너지 수익률은 그렇게 크지 않습니다. 이제 그런 부분에 있어서는 투자를 하고 수익을 버는 것이 아니라 공익적인 목적에서 각자 할 수 있는 만큼 투자를 해서 국가에 어떤 장래를 위해서 투자를 한다는 그런 생각이 좀 있어야 하는데 아까 그건 말씀드린 것처럼 인식변화가 가장 중요하다고 생각합니다.

임춘택
에너지경제연구원장

말씀 감사합니다. 이것으로 에너지경제연구원 개원 35주년 기념 좌담회를 마치도록 하겠습니다. 끝까지 참여해주시고 그리고 토론해주신 패널 분들 그리고 시청해주신 분들 모두 감사드립니다.

한국의 2050 탄소중립 시나리오: 내용과 과제¹⁾

윤 순 진 서울대학교 환경대학원 교수
2050 탄소중립위원회 민간공동위원장(ecodemo@snu.ac.kr)



1. 서론

기후위기는 이제 현실이 되었다. 세계 곳곳에서 발생하는 이상기후에 따른 재난과 피해는 기후위기가 더 이상 먼 미래의 일이 아니라 이미 지금도 일어나고 있는 현재진행형의 문제임을 드러낸다. 또 북극곰이나 저기 아프리카의 어디 먼 곳에서만 일어나는 일이 아니라 여기 이 땅에서도 일어나고 있는 일이다. 기록을 갱신하는 폭염과 최장 기간의 장마, 갈수록 빈번해지는 태풍과 산불은 우리가 사는 한반도도 예외가 아님을 보여준다. 게다가 정도의 차이는 여전히 존재하지만 가난한 사람들이나 국가들에만 국한되는 문제가 아니다. 누구도 기후위기로부터 벗어날 수 없는 우리 모두의 안전을 위협하는 문제이자 어떤 이도 기후위기 유발 책임으로부터 자유롭지 않은 우리 모두의 문제다. 시간이나 공간, 종의 차원을 가로지르며 여기 지금 우리 모두에게 일어나고 있는 현실 그 자체다. 미래세대가 져야 할 부담, 치르게 될 비용은 오늘 우리의 결정과 실천에 달려 있다. 기후위기의 심각성이 점점 더 깊어지고 있는만큼 기후위기 대응의 시급성 또한 더욱 분명해지고 있다. 바로 이 맥락에서 탄소중립(Net Zero 또는 Carbon Neutrality) 개념이 등장했고 이제 우리 사회나 국제사회에서 ‘탄소중립’은 광범위한 공감대와 합의를 기초로 국제규범이 되었다. 지난 10월 31일부터 11월 14일까지 영국의 글래스고에서 열렸던 제26차 당사국총회(Conference of Parties, COP)에서 채택한 글래스고 기후 합의(Glasgow Climate Pact)에서 국제사회는 2015년 COP-21에서 채택했던 파리협정(Paris Agreement)보다 한 걸음 더 나아가 산업화 이전 대비 1.5°C 온도 상승 억제 목표에 대한 국제사회의 합의를 재확인하고 이를 위해 2050년 탄소중립을 할 수 있도록 2030년 국가온실가스감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC)를 보다 강화해 나가기로 하였다. 한국에너지정보문화재단이 여론조사기관 한국갤럽에 의뢰해 지난 10월 20일에서 25일 사이에 전국 만 18세 이상 국민 1,509명을 대상으로 조사(면접원을 통한 일대일 전화조사, 표본 오차는 95% 신뢰수준에 $\pm 2.5\%p$, 응답률(협조율) 15.1%)한 결과, 탄소중립에 대해 ‘알고 있다’고 답한 응답자는 69.0%이며 대다수인 91.5%가 ‘탄소중립이 필요하다’고 답했다. 이제 탄소중립은 국제사회의 규범이 되었다. 거스를 수 없고 움직일 수 없는, 모두가 지켜야 할 시대적 과제이자 인류가 달성해야 할 목표가 되었다. 이 글에서는 탄소중립이 이러한 국제규범이 되기까지의 과정에 대해 살펴보고 우리나라에서 탄소중립이란 개념이 확산되고 국정 방향으로 제시되기까지의 과정도 살핀다. 이후 한국의 2050 탄소중립 시나리오의 의미와 내용, 그러한 시나리오를 달성하기 위해 우리가 풀어야 과제들에 대해 다루고자 한다.

2. 탄소중립이 국제규범이 되기까지

기후변화에 대한 국제사회의 관심은 국제 사회에서는 점점 더 심각해질 기후변화에 대한 인식을 기초로 거의 30년 전인 1992년 브라질의 리우데자네이루에서 열린 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)에서 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)을 채택하였다. 1988년에 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)와 유엔환경계획(United Nations Environmental Program, UNEP)

1) 본고에서 탄소중립 시나리오의 내용과 관련된 부분은 2050 탄소중립위원회가 발표한 내용을 요약 정리한 것이다.

주관으로 설립된 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Inter-governmental Panel on Climate Change, IPCC)가 1990년에 발표한 제1차 기후변화 평가보고서(the First Assessment Report, FAR)가 이러한 합의의 중요한 근거로 작용했다. 기후변화 문제는 전 지구적 문제이기에 국제사회 구성원 모두가 참여해야만 한다는 데 뜻을 모으고 모든 국가의 참여에 대한 합의를 마련했음에도 UNFCCC는 모든 당사국들이 국가보고서(National Communication)를 제출해야 한다는 일반의무와 부속서 I 국가(OECD 국가들과 경제이행국들)은 1990년 수준으로 온실가스 배출을 안정화하는 특별의무를 부여했지만 별다른 강제성 없는 느슨한 수준의 합의였다.

UNFCCC의 느슨한 합의를 넘어 역사적 배출 책임이 큰 부속서 I 국가들에 대해 의무적인 감축목표를 부여할 필요가 있었다. 이러한 논의 결과 채택된 것이 교토에서 열린 COP-3의 결과물인 교토의정서(Kyoto Protocol)였다. 발효조건(협약당사국 55개 이상 비준, 비준국의 온실가스 배출량 합계가 1990년 세계 온실가스 배출량의 55% 이상)이 까다로웠던 교토의정서는 2005년에서야 발효되었다. 교토의정서에서는 선진국들인 부속서 I 국가들에게만 2008~2012년 사이 5년 동안 평균 배출량이 1990년 배출량의 5.2%를 감축하도록 의무 감축 목표를 부여했다. 각국의 감축목표는 공통적이지만 차별화된 책임 원칙과 능력에 입각한 부담 원칙을 기초로 협상을 통해 1990년 배출량 대비 -8%에서 +10%까지 다양하게 결정되었다. 교토의정서는 부속서 I 국가로 한정하고 감축 목표가 충분하지 않았지만 국가 단위의 온실가스 감축 의무를 처음으로 부여한 합의였다는 점에 의의가 있다. 미국의 교토의정서 탈퇴가 있었지만 제1차 교토의정서 이행 기간 동안 부속서 I 국가들은 감축목표를 달성했음에도 불구하고 세계 전체 온실가스 배출량은 지속적으로 증가해왔다. 개도국의 참여 없이 세계 온실가스 배출을 감소시키기 어렵다는 사실을 확인하게 되었다. 게다가 제2차 교토의정서 의무감축 기간(2013~2020년)에는 미국은 물론이고 캐나다와 러시아, 일본, 뉴질랜드가 불참을 선언함으로써 교토의정서체제 참여국들의 배출량은 전 세계 배출량의 15%에 불과해 교토체제로는 전 지구적 기후 완화가 어렵게 되었다. 개도국의 참여 필요성이 갈수록 중요해졌다.

드디어 2015년 파리에서 열린 제21차 기후변화 당사국총회(Conference of Parties, COP)를 통해 선진국과 함께 개도국들도 온실가스 배출 감축에 참여하기로 한 파리협정(Paris Agreement)이 채택되었다. 파리협정에서는 인류사 최초로 지구 온도 목표에 합의하였다. 지구 평균 온도 상승을 산업화 이전에 비해 2℃ 훨씬 아래(well below), 더 노력해서 1.5℃를 넘지 않도록 하자는 합의가 이뤄졌다. 이를 위해 선진국들만이 아니라 개발도상국들도 포함해서 모든 국가들이 자발적으로 감축 목표를 설정해서 온도 목표를 달성해가기로 했다. 이후 2018년 10월에는 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Inter-governmental Panel on Climate Change, IPCC)가 “지구온난화 1.5℃ 특별보고서”를 발표하여 온도 상승 억제 목표를 1.5℃로 권고하였다. 이를 위해 2050년까지 세계 탄소 순배출량이 0이 되는 탄소 중립(Net-zero)을 달성해야 한다고 제안하였다. 특히 2050년 탄소중립을 위해서는 2030년까지 2010년 대비 이산화탄소 배출을 45% 줄여야 한다고 권고하였다. 그리고 2019년 9월, 안토니우 구테흐스 UN 사무총장이 기후행동 정상회의(Climate Action Summit)를 개최한 이후 세계 각국의 탄소중립 선언이 이어졌다. 칠레는 이 유엔회의에서 민·관을 불문한 모든 부문의 협력을 강조하면서 탄소중립을 지향하는 국가, 기업 등으로 구성된 ‘기후목표 상향동맹(Climate Ambition Alliance)’ 발족을 선언하였다. 이후 세계 여러 국가들이 기후목표 상향 동맹에 참여하기 시작해서 2019년에는 EU, 2020년 9월에는 중국, 10월에는 일본과 한국, 2021년 1월에는 미국이 2050년(중국은 2060년) 탄소중립을 선언하



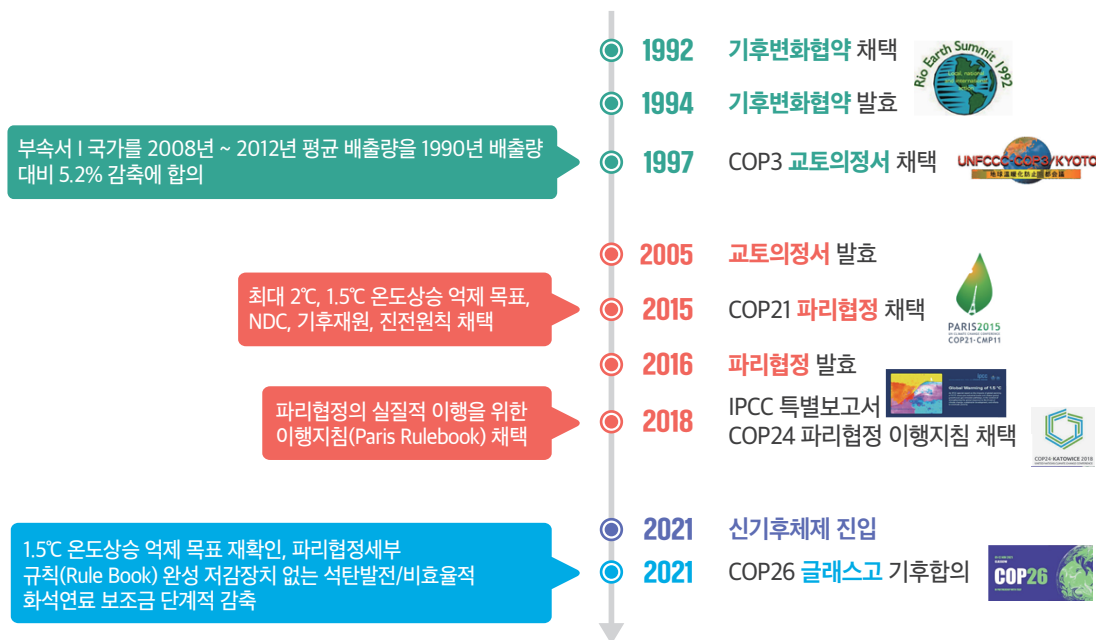
였다. 이 동맹에는 2021년 10월 말까지 136개국, 4,468개 기업 등이 참여하고 있다. 2021년 8월에는 IPCC의 제 6차 평가보고서(The 6th Assessment Report, AR6) 가운데 제1실무그룹이 작성한 기후변화의 과학적 기초편이 발표되어 1.5°C 목표와 2050 탄소중립의 필요성을 재확인하였다. 특히, 지금까지의 추세를 유지한다면 1.5°C 도달 시점이 2018년 특별보고서에서는 2030~2052년경이었으나 AR6에서는 2021~2040년경으로 10년 이상 앞당겨져 전망되어 위기의식이 한층 강화되었다.

영국의 글래스고에서 COP-26이 열리기 직전인 10월 말까지 탄소중립을 선언한 국가들은 모두 136개국이었다. 이 국가들의 온실가스 배출량 합계는 세계 총 배출량의 88%를 점하며 세계 GDP(ppp)의 90%, 세계 총인구의 85%에 달한다. 탄소중립 목표 상태는 국가마다 다른데 법제화를 한 국가가 있는가 하면 정책 문서로 제시하거나 선언 상태인 국가들도 있고 이미 달성했다고 밝힌 국가들도 있다. 탄소중립을 법제화한 국가는 EU를 포함해서 모두 17개국(캐나다, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 헝가리, 아일랜드, 일본, 한국, 노르웨이, 뉴질랜드, 포르투갈, 스웨덴, 과테말라, 네덜란드)이다. 탄소중립 목표연도도 국가마다 다른데 가장 빠른 시기는 우루과이의 2030년이다. 핀란드는 2035년, 아이슬란드와 오스트리아는 2040년, 스웨덴과 독일은 2045년을 탄소중립 목표연도로 한다. 반면 중국은 2060년, 인도는 2070년을 목표연도로 제시하였다. 탄소중립 선언 국가의 44%는 2041~2050년을 목표연도로 하였으며 2050년 이후가 55%를 차지한다.

1995년부터 매해 열렸던 당사국총회(COP)는 COP-26의 경우 한 해 연기되어서 2020년이 아니라 2021년에 열렸다. 코로나19 대유행 탓이었다. 그리고 코로나19 대유행 사태를 통해 기후위기와 질병위기(감염병 확산)가 맞물려 있다는 사실이 새롭게 인식되었다. 코로나19로 인한 경제 침체를 극복하는 과정에서 그린 뉴딜이 세계적인 화두가 되었고 과거와 달리 온실가스 배출을 저감하는 녹색성장 전략에 대한 세계적 관심이 확대되었다.

2021년에 영국 글래스고에서 열린 COP-26에서는 글래스고 기후 합의(Glasgow Climate Pact)를 결정문으로 채택하였다. 더 이상 2°C를 언급하지 않고 1.5°C를 지구 온도 상승 억제 목표로 제한하고 기후행동을 강화해나가기로 합의하였다. COP-26가 열리기 직전인 2020년 10월 말까지 193개 당사국들 가운데 166개국이 제출한 가장 최신 2030 NDC를 UNFCCC 사무국에서 분석한 데 따르면 2030년 NDC를 모두 달성한다면 2030년 배출량이 2019년 배출량 대비 5.9% 상승할 전망이다(UNFCCC, 2021). 이러한 감축 노력이 없을 경우는 13.9% 상승할 것으로 예상되는 데 비해서는 7.8%p 감축하는 효과가 있지만 IPCC의 권고(2010년 대비 -45%)에는 미치지 못한다. 당사국들은 1.5°C 목표 달성을 위해 2030년 NDC를 다시 상향 제출하기로 하였다. 글래스고 기후 합의 가운데 주목할 만한 것은 COP 합의문 최초로 “저감장치 없는 석탄발전(unabated coal)과 비효율적인 화석연료 보조금의 단계적 감축(phase down)”을 합의 문구로 포함하였다는 점이다.

그림 1 주요 국제 기후변화 협상의 전개



탄소중립을 향한 노력은 정부에 국한되지 않는다. 기업도 변화 중이다. 애플, 구글, BMW 등 주요 글로벌 기업들이 100% 재생에너지 전력만 사용하겠다는 선언에 참여하고 있다. 2021년 11월 현재 세계 굴지의 342개 기업이 참여 중이다. 이들 기업뿐 아니라 전 세계에 있는 수많은 협력업체들도 탄소중립의 흐름에 합류하는 결과를 낳고 있다. 금융 또한 변화 중이다. 세계 최대 규모 자산운용사인 블랙록(Blackrock)이 최우선 투자 고려요소로 기후위기와 지속가능성을 제시하고 있고 JP모건과 골드만삭스 등 주요 투자은행들도 탈석탄 투자를 선언하는 등 국제금융은 온실가스 감축을 주요 투자 우선순위에 두게 되었다.

3. 한국의 2050 탄소중립 선언과 시나리오 수립 과정

우리나라는 문재인 대통령이 2020년 10월 28일 국회에서 가진 2021년 예산안 시정연설에서 2050 탄소중립을 최초로 발표하였다. 이후 12월 10일에 국민 전체를 대상으로 ‘2050 탄소중립 비전’을 선포하였다. 이러한

선언은 문 대통령의 갑작스러운 결단에 의해서라기보다 그 이전에 일련의 여러 사건들이 있었다. 정부는 파리 협정에 따라 모든 당사국들이 2020년 말까지 유엔에 제출해야 하는 장기저탄소발전전략(Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDS)을 준비하기 위해 2019년 초부터 사회비전포럼을 구성해서 1년 정도 운영하였다. 민간전문가들의 의견을 충분히 수렴해서 LEDS에 반영하기 위해 정부, 산업계, 시민사회 등 각 분야의 추천을 받아 기후·에너지 전문가들로 사회비전포럼을 구성하였다. 총 69명이 참여하였는데 총괄분과에 13명, 전력, 산업, 건물, 수송, 비에너지(농축수산·산림·폐기물), 청년의 6개 개별 분과에 56명이 참여하였다. 개별 분과 가운데 청년분과가 설치된 것은 새로운 시도였다. 목표연도가 2050년 인 만큼 미래 사회 주역인 청년들의 의견을 담기 위해서였다. 아울러 온실가스 감축 시나리오 분석 결과를 제공하는 등 포럼의 의사결정을 기술적으로 지원하기 위해 국책연구기관 소속 연구원들로 기술작업반을 별도로 구성해서 운영하였고 총괄은 온실가스종합정보센터에서 맡았다.

이 포럼에서 1년여 기간의 논의를 거쳐 5개 기본 시나리오와 탄소중립을 담은 추가 시나리오 안이 마련되었다. 이러한 시나리오 초안은 정부 내 논의와 다양한 이해관계자들의 의견, 일반 국민 의견 수렴 등 사회적 논의를 위한 기본자료로 사용되었다. 사회적 논의는 크게 설문조사와 심층 토론회, 국민 토론회 등의 형태로 이루어졌다. 2020년 6월부터 7월까지 2개월간 누구나 참여할 수 있는 온라인 설문조사(약 3천 명 참여)가 실시되었고 여론조사기관의 전문적인 설문조사, 산업계와 시민사회, 학계 등 전문가가 참여하는 심층 토론회(5회), 관심 있는 누구라도 참여 가능한 온라인 국민 토론회 등으로 진행되었다. 국민 토론회 후 LEDS 비전에 대한 설문조사를 실시했는데, 2050년 탄소중립 사회 지향에 참가자 91%가 동의하였고, 탄소중립을 위한 비용부담에도 88%가 동의하였다.

그 사이 지자체와 국회에서도 기후위기 대응과 탄소중립에 대한 의견이 모아졌다. 2020년 6월 5일 환경의 날에는 225개 기초지방정부가 기후위기비상선언을 선포했고 7월 7일에는 17개 광역지자체들이 탄소중립을 선언하였다. 2020년 7월 14일에는 정부가 한국판 뉴딜 종합계획을 발표하였고 여론 수렴과정 중에 있었기에 목표연도를 확정하지 않은 채 탄소중립을 목표로 제시하였다. 이어 9월 24일에는 국회에서 기후위기 비상대응 촉구 결의안을 의결하였다(찬성률 97.7%). 그 후 10월 28일 문재인 대통령은 그간의 여론 수렴 결과와 지자체 및 국회의 기후위기 비상 대응 의지를 기반으로 하여 국회연설을 통해 2050년 탄소중립을 선언하였고 12월 7일에는 관계부처 합동으로 「2050 탄소중립 추진 전략」을 발표하였으며 10일에는 「2050 탄소중립 비전」을 선포하였다. 12월 30일에는 2050 탄소중립 목표를 담은 LEDS를 UN에 제출하였다.

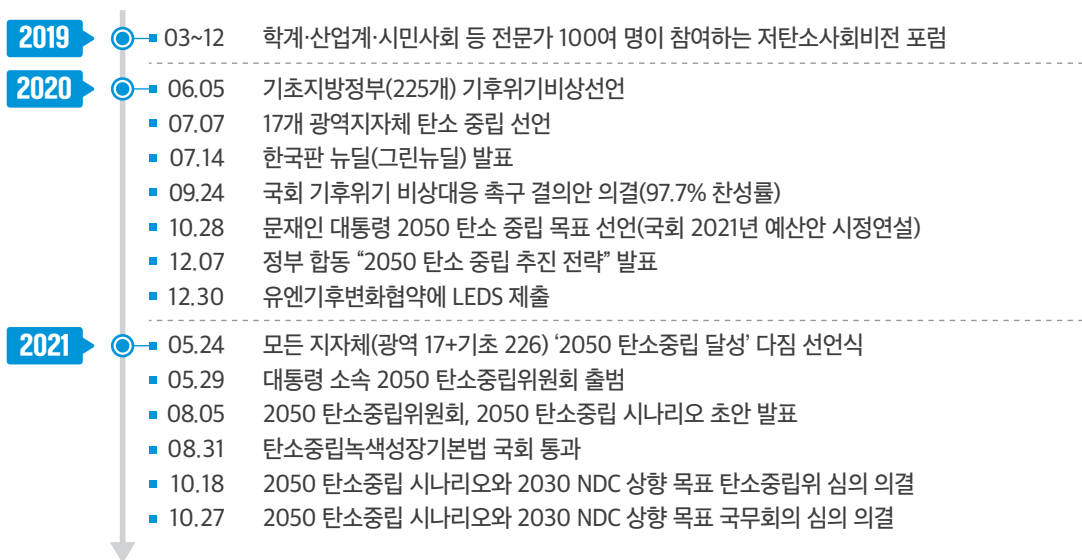
정부는 「2050 탄소중립 추진 전략」을 통해 2050 탄소중립 이행을 위한 세부전략 수립을 위한 2050 탄소중립 시나리오를 마련하기로 하였다. 이에 2021년 1월부터 11개 부처가 추천한 45개 국책연구기관 소속 전문가로 기술작업반을 구성해서 국내외 최신 정책과 기술개발 동향, 2050년 경제·사회 전망, 이미 발표된 에너지기본계획 등의 정부계획을 토대로 감축 잠재량을 분석하였고 이 결과를 바탕으로 관계부처와 협의하고 감축 수단별 경쟁 등을 조정하여 기술작업반 시나리오(안)를 마련하였다.

그 사이 2021년 5월 24일에는 P4G 회의를 앞두고 모든 지자체(광역 17개와 기초 226개 지방정부)가 탄소중립 달성을 다짐하는 선언식을 가졌고 29일에는 탄소중립 정책의 수립, 이행, 평가 등의 컨트롤타워 역할을 수행하는 대통령 소속의 민관합동 탄소중립 추진기구로 2050 탄소중립위원회(이하 탄중위)가 출범하였다. 탄중위는 출범 후 6월에 기술작업반 시나리오를 제출받아 약 두 달간 총 54회의 분과위원회와 전문위원회 회의(총괄기획위 4회, 분과위 30회, 전문위 20회)를 통해 압축적이고 심도 있는 검토 실시한 후 수정의견을 담아 8월 5일

에 세 개의 시나리오로 구성된 2050 탄소중립 시나리오 초안을 발표하였다.

이후 이해당사자 단체 및 기관들과 분야별 협의체를 구성해서 간담회를 진행하고 탄소중립시민회의의 숙의과정, 공개적인 온라인 시민토론회 등 사회적 논의과정을 통해 여론을 수렴하여 초안을 수정하는 작업을 거쳤다. 탄중위는 산업계, 노동·농어민계, 시민사회(교육·종교·소비자·생협·환경·에너지), 청년, 지자체 등 이해관계기관이나 단체를 대상으로 협의체를 구성해서 20회의 간담회를 개최하였다. 이 과정에 총 115개 협회·기관 등이 참여하였고 그중 94개 단체의 의견서를 공식 접수하여 홈페이지에 공개하였으며 의견을 종합적으로 반영하였다. 또한 직접적인 이해당사자들을 넘어 일반 시민과 직접 소통하고 의견을 듣기 위해 ‘탄소중립시민회의’를 구성하고 학습과 토론, 숙의과정을 진행하였다. 탄소중립 시민회의는 일반 국민을 대표할 수 있도록 전국 15세 이상 남녀를 대상으로 지역별, 성별, 연령별로 할당한 후 무작위 선정 절차를 거쳐 500여 명으로 최종 구성하였다. 탄소중립 시민회의 참여 시민들을 대상으로 출범식과 오리엔테이션, 자료집과 온라인 자가학습, 전문가와의 시민탄소교실, 시민 대토론회 등의 과정을 진행하고 이 과정에서 네 차례의 설문조사를 실시하여 마지막 설문조사 결과를 시나리오 초안 수정에 반영하였다. 이러한 과정을 거쳐 A안과 B안으로 구성된 2050 탄소중립 시나리오 최종안을 마련한 후 탄중위 전체회의의 심의, 국무회의의 심의를 거쳐 확정하였다.

그림 2 한국의 2050 탄소중립 선언과 2050 탄소중립 시나리오 수립 과정



4. 한국의 2050 탄소중립 시나리오의 의미와 내용

가. 2050 탄소중립 시나리오의 의미와 비전, 원칙

2050년 탄소중립을 달성한 우리 사회는 어떤 모습일까? 탄소중립을 이루려면 무엇을 어떻게 바꿔야 하는 걸까? 우리 사회 온실가스 배출의 86.9%(2018년 기준)가 에너지 부문에서 배출되기에 에너지전환을 통한 탈탄소화가 핵심적인 내용이 될 것이다. 하지만 에너지전환만으로 탄소중립을 달성할 수는 없다. 광범위한 사회적 변화가 수반되어야만 한다. ‘2050 탄소중립 시나리오’란 탄소중립이 실현되었을 때 각 부문별 전환 내용을 전망해서 담은 우리 사회 미래 모습이다. 이 시나리오를 통해 사회 각 부문별 세부적인 정책 방향과 전환 속도 등



을 가늠할 수 있다. 이번 시나리오는 국내외적으로 이행에 대한 법적 구속력은 없다. 하지만 2050 탄소중립 달성을 위한 중간목표로서 2030년 NDC나 중장기 에너지 계획 등과 같은 후속 계획의 수립, 온실가스 감축 기술 개발 지원 방향, 사회 전환 속도 등 부문별 세부 정책에 대한 방향성을 제시하는 나침반 역할을 할 수 있다. 탄소중립 시나리오를 수립할 때는 다양한 요소들을 고려한다. 탄소중립을 위한 기술 혁신과 해당 기술의 상용화 가능성, 국민 인식과 생활양식 변화에 대한 고려, 경제적 비용과 편익, 일자리 변화와 식량·에너지 안보, 국제사회에서의 역사적 책임과 요구 등을 종합적으로 고려할 필요가 있다. 탄소중립 관련 이러한 사회·경제·기술적 여건이 급변하고 있기 때문에, 시나리오는 일정 기간마다 변화된 상황을 반영하여 갱신할 필요가 있다. 2050 탄소중립 시나리오 초안은 앞서 기술한 기술작업반에서 작성하였고 이를 2050 탄소중립위원회에서 검토 과정을 거쳐 정부와의 협의를 통해 수정된 초안을 구성하였다. 우선, ‘기후위기로부터 안전하고 지속가능한 탄소중립 사회’를 비전으로 제시하면서 책임성, 포용성, 공정성, 합리성, 혁신성의 다섯 가지 원칙을 시나리오 수립 원칙으로 제시하였다.

나. 온실가스 배출 현황과 추세

우리나라의 2018년 국가 온실가스 총 배출량은 727.6백만 톤CO₂eq이다. 분야별 직접 배출량을 살펴보면, 전환 부문에서 269.6백만 톤(37.1%), 산업 부문에서 260.5백만 톤(35.3%), 수송 부문에서 98.1백만 톤(13.5%),

건물 부문에서 52.1백만 톤(7.2%), 농축수산·폐기물 등 기타 부문에서 47.4백만 톤(6.6%)을 배출한다. 전환 부문에서 생산된 전력 소비에 따른 간접 배출량까지 포함하면 산업 부문 배출이 54.0%(392.9백만 톤)로 절반을 넘고 건물 부문이 24.6%(179.2백만 톤), 수송 부문이 13.7%(99.6백만 톤), 농축수산·폐기물 등 기타 부문이 7.7%(55.9백만 톤)를 차지한다. 산업과 건물, 농축산부문의 배출량과 비중이 증가하게 된다.

표 1 2018년 우리나라 온실가스 부문별 배출량

(단위: 백만 톤 CO₂eq 달러)

구분	배출량(직접)	총 배출량 대비 비율	배출량(직접+간접)	총 배출량 대비 비율
전환*	269.6	37.1%	269.6	(37.1%)*
산업	260.5	35.8%	392.9	54.0%
건물	52.1	7.2%	179.2	24.6%
수송	98.1	13.5%	99.6	13.7%
폐기물	17.1	2.4%	17.1	2.3%
농축산	24.7	3.4%	33.2	4.6%
탈루 등	5.6	0.8%	5.6	0.8%
흡수원	-41.3	-5.7%	-41.3	-5.7%
총 배출량	727.6	100%	727.6	100%
순 배출량	686.3	94.3%	686.3	94.3%

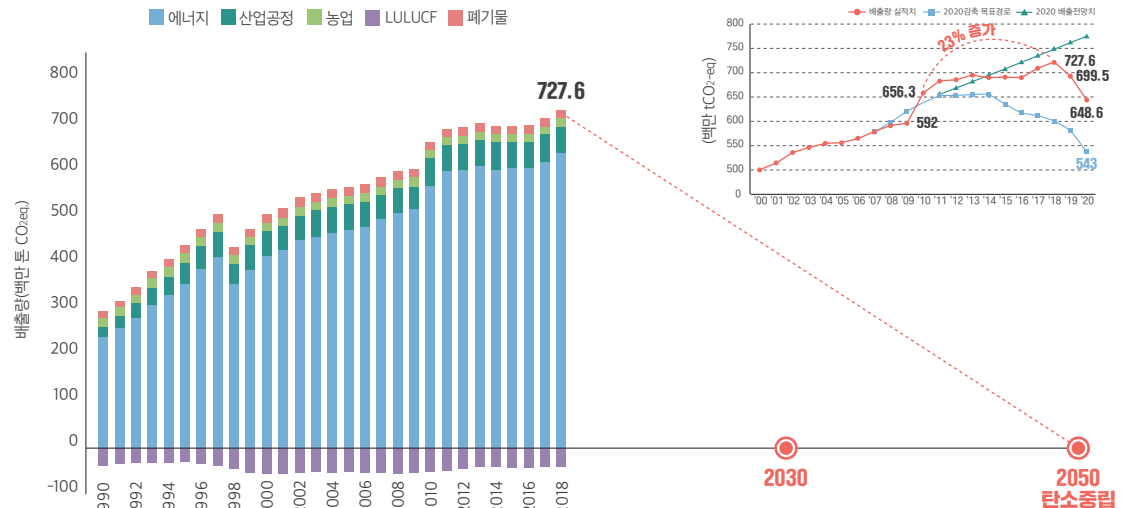
주: *전환은 직접 배출과 간접 배출을 모두 합한 배출량 합산에는 포함되지 않음.

우리나라의 2018년 온실가스 총 배출량은 세계 전체 배출량 가운데 약 1.51%로 추정되는데 전 세계 11위에 해당한다. 배출 비중이 높은 3대 국가인 중국(26.1%), 미국(12.7%), EU(7.5%)의 합계 배출량이 46.3%, 10대 다 배출 국가들의 합계 배출량이 68%에 달하는 반면 저배출 100대 국가들의 합계 배출량이 전 세계 배출량의 3%에 불과해 국가 간 배출량 편차가 상당히 큼을 알 수 있다. 우리나라의 경우, 인구가 전 세계 인구의 0.7%인 데 비해 온실가스 배출량 비중이 2배 이상 높다. 산업혁명이 시작된 1750년대부터 현재까지 누적 배출량에 있어서 우리나라는 세계 누적 배출량의 1%를 차지하면서, 순위로는 미국, 중국, 러시아, 일본, 인도, 캐나다, 우크라이나, 남아공 등에 이어 세계 18번째(EU를 하나의 배출 단위로 볼 때는 14번째)에 해당한다(Our World in Data, 2021). 다만 순위가 높은 3대 국가의 누적 배출량 비중이 약 70%(미국 25%, EU+영국 22%, 중국 12.7%)에 달하고 5대 국가(3대 국가+러시아 6%+일본 4%)의 누적 배출량이 80%에 달하기에 순위에 비례해서 역사적 누적 배출 책임이 그만큼 무겁다고 보기는 어려운 측면이 있다.

우리나라 온실가스 배출은 꾸준히 증가해왔다는 점에서 2050 탄소중립 목표는 달성이 쉽지 않다고 할 수 있다. 국제 기후변화 협상에서 비교 기준으로 주로 사용되는 1990년의 총 배출량 292.2백만 톤에서 2018년 배출량(727.6백만 톤)은 149% 증가한 것이다. 2019년과 2020년 추정 배출량은 각각 699.5백만 톤과 648.6백만 톤으로 2018년 대비 3.8%, 10.9% 감소한 것으로 나타났다. 하지만 이러한 배출량 감소에도 불구하고 2009년

에 선언한 2020년에 배출량을 543백만 톤으로 감축하는 감축목표(배출 전망치 대비 30% 감축)를 달성하지 못했다. 이제 2018년부터 2050년까지 32년 동안 1990년 이후 배출 증가분은 물론 그 이전의 배출량도 최대한의 감축과 흡수, 제거를 통해 탄소중립을 달성해야 한다.

그림 3 한국의 2050 탄소중립 목표 실현 가상 경로(왼쪽 아래)와 역사적 배출 추세(오른쪽 위)



다. 2050 탄소중립 시나리오의 전제와 내용

1) 2050 탄소중립 시나리오의 전제

2050 탄소중립 시나리오 수립을 위한 주요 변수의 2050년 전망치는 2020년에 수립한 LEDS에서 활용한 것을 사용하였다. 인구 추이는 통계청의 「장래인구추계: 2015~2065」를 따랐는데, 우리나라 인구는 2031년 5,296만 명을 정점으로 서서히 감소하여 2050년 4,943만 명이 될 전망이다. GDP 성장률은 한국개발연구원(KDI) 추정치에 근거한다. 이에 따르면, 우리나라 GDP 성장률은 2018년부터 2040년까지는 연평균 1.9%, 2040년부터 2050년까지는 연평균 1.0%이며 2050년에는 0.9%로 예측된다. 국제유가는 제3차 에너지기본계획(2019~2040)의 전제조건이 2050년까지 유지되는 것으로 가정해서 도출한 결과 2050년 국제유가는 배럴당 136달러로 추정되었다. 산업구조는 산업연구원 전망치(2019)를 활용하였다. 2050년에는 2018년에 비해 서비스업의 비중은 65.9%에서 69.6%로 제조업 비중은 32.0%에서 29.2%로 다소 하락하지만 생산액은 511조 원에서 786조 원으로 증가할 것으로 전망되었다.

에너지 수요량의 경우, 2050년에는 2018년 225.8백만 TOE 대비 5.0%가량 감소하여 222.6백만 TOE이 될 것으로 가정하였다. 2018년에 부문별 에너지 수요는 산업 부문(62.1%), 건물(20.8%), 수송(15.9%), 농축수산(1.2%) 순이었다. 최종에너지 기준으로 원별 소비를 보면, 석유(48.7%), 전력(20.1%), 석탄(14.2%), 도시가스(11.7%), 신재생에너지(4.0%), 열에너지(1.2%) 순이었다. 2050년에는 주로 건물, 수송 분야에서 에너지 수요가 감소하는 반면 이산화탄소의 포집 및 저장·활용(CCUS), 수소 생산과 같은 신기술에서 에너지 수요가 늘어날

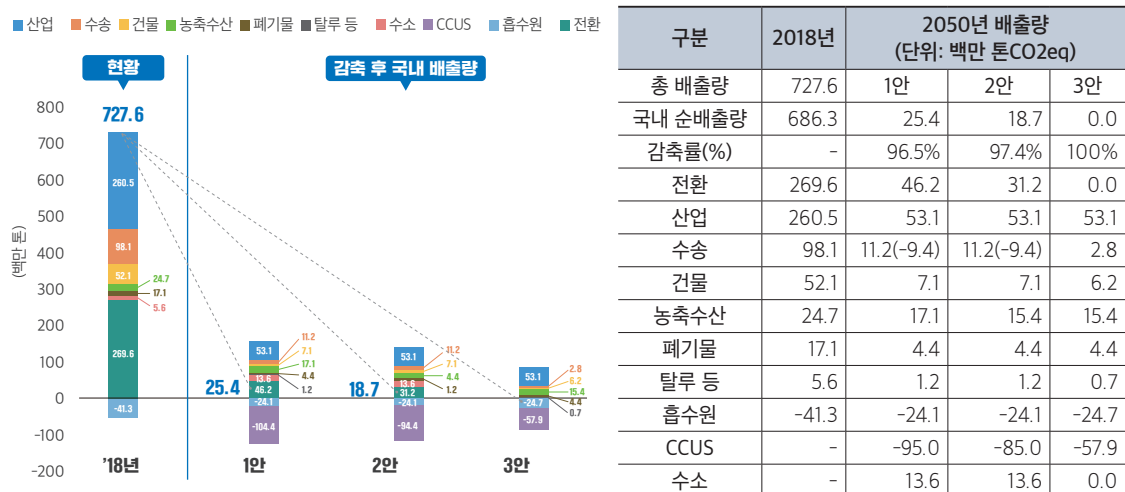
것으로 예측된다. 최종에너지 경우, 석탄·석유·도시가스 등 화석연료 소비는 크게 감소하고, 전력과 신재생에너지, 수소 수요가 크게 늘어날 것으로 전망되었다.

2) 2050 탄소중립 시나리오의 구성과 내용

우선 앞서 기술한 대로, 2021년 8월 5일 3개 시나리오로 구성된 2050 탄소중립 시나리오 초안이 공개되었다. 3개 안은 모두 탄소중립을 목표로 하면서 화력발전(석탄, LNG) 유무, 전기·수소차 비율, 건물 에너지 관리, 축산 관리, CCUS·흡수원 확보량, 수소 공급방식 등 핵심 감축수단을 다르게 적용해서 구성한 것이다. 1안은 기존 체계와 구조를 최대한 활용하면서 기술발전, 원·연료 전환 등을 고려한 것이고 2안은 기술발전, 원·연료 전환에 생활양식 변화를 추가적으로 고려하여 온실가스 배출을 더욱 줄인 것이다. 3안은 화석연료 소비를 더욱 과감하게 줄이고 수소를 전량 그린수소로 공급하는 등 획기적으로 감축하는 방안이다.

3개 시나리오의 가장 큰 차이는 전환 부문에서 발생한다. 2018년 526.1 TWh였다. 2050년에는 사회 전반적으로 전력화가 진행되면서 2050년 전력수요는 2018년 전력소비량 대비 221.7~230.7% 증가한, 1,166.5~1,213.7 TWh로 추정하였다. 1안은 석탄발전을 설계수명으로 30년을 인정해서 지속적으로 유지하는 안이고 2안은 LNG 발전만 일부 유지하는 안이다. [그림 4]에 제시된 것처럼 3개 안 모두 탄소중립 달성을 목표로 하지만 1안과 2안은 석탄과 LNG를 둘 다 남겨두거나 LNG를 남겨두는 안이어서 CCUS로 95백만 톤과 85백만 톤으로 처리하는데도 각각 국내 잔여 배출량이 25.4백만 톤과 18.7백만 톤이 남아(국내 온실가스 감축률 각각 96.5%와 97.4%) 해외조립이나 국제탄소시장 등 국제협력을 통해 잔여 배출량을 해결하는 방식이다. 3안은 재생에너지 70.8%에 무탄소 전원으로 전환하여 전환 부문 배출이 0이 되고 CCUS로 57.9백만 톤을 처리하여 해외협력 없이 국내에서 탄소중립을 달성하는 안이다.

그림 4 2050 탄소중립 시나리오 초안



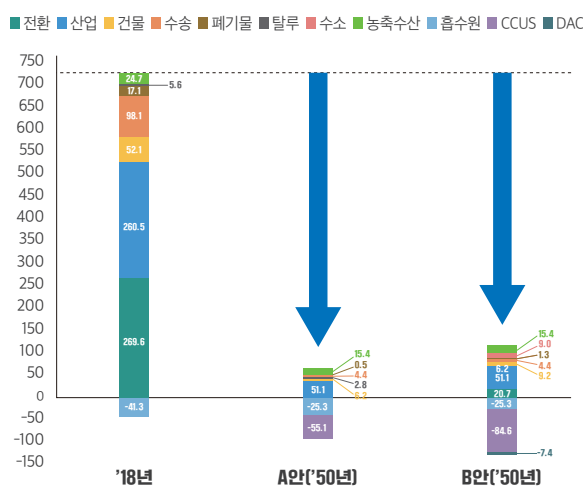
출처: 2050 탄소중립위원회, '2050 탄소중립 시나리오 초안' 재구성

하지만 초안 발표 후 이해당사자와 국민 여론 수렴 과정을 통해 국내에서 탄소 중립을 달성하지 못하는 시나리오 초안 1, 2안에 대한 시민사회의 강력한 문제제기가 있었을 뿐 아니라 특히 2050년에도 석탄발전을 유지하는 1안에 대한 사회적 수용성이 상당히 낮다는 사실을 확인하게 되었다. 탄중위의 탄소중립 시민회의의 숙

의과정을 통해서도 2050년 이전에 석탄발전을 중단해야 한다는 의견이 79.3%에 달했다. 수명대로 가동한 후 폐쇄해야 한다는 의견은 16.3%에 불과했다. 따라서 시나리오 최종안에서는 근거 법률과 보상방안 마련을 전제로 해서 석탄발전을 포함한 초안의 1안을 폐기하고 나머지 두 안을 남겨 놓되 IPCC 1.5℃ 특별보고서를 토대로 모든 국가가 2050년에 탄소중립을 추진한다는 전제에서 국외 감축분 없이 국내 순배출량을 0으로 보다 강화해서 2개의 시나리오로 구성하였다.

두 시나리오는 전환과 수송, 수소, 탈루에서 차이가 있으며 그 외 부문에서는 동일하다. 배출을 최대한 줄이고 남아 있는 배출량(A안에서는 80.4백만 톤, B안에서는 108.3백만 톤)에 대해서는 산림 등 흡수원과 CCUS 등 제거기술을 통해 온실가스를 흡수·제거하여, 최종 순배출량은 영(0)이 되는 것으로 가정하였다. 첫 번째 시나리오(A안)에서는 전환 부문에서 화석연료 발전을 전면 중단해서 전환 부문 배출을 0으로 하였으며 수송 부문에서도 전기차와 수소차를 97%까지 확대하고 수소는 그린수소로만 생산해서 배출을 최소화했다. 두 번째 시나리오(B안)에서는 A안과 마찬가지로 석탄발전은 중단되지만 유연성 전원 용도로 LNG 발전은 일부 유지하는 것을 가정하였다. 또한 수송 부문에서는 대체연료(e-fuel 등) 개발이 이루어져 내연기관차도 일부 남아 있는 것으로 가정하였다. B안은 A안에 비해 배출이 많지만 CCUS 등의 흡수·제거 기술을 보다 적극적으로 활용하여 최종 순배출량은 0이 된다.

그림 5 최종 2050 탄소중립 시나리오



출처: 2050 탄소중립위원회, '2050 탄소중립 시나리오' 재구성

(단위: 백만 톤)

구분	부문	'18년	2050년	
			A안	B안
배출량		686.3	0	
분야별 배출	전환	269.6	0	20.7
	수송	98.1	2.8	9.2
	수소	-	0	9
	탈루	5.6	0.5	1.3
	산업	260.5	51.1	
	건물	52.1	6.2	
	농축수산	24.7	15.4	
	폐기물	17.1	4.4	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-25.3	
	CCUS	-	-55.1	-84.6
	직접 공기포집	-	-	-7.4

A안과 B안에서 정도의 차이는 있지만 재생에너지 확대는 필수적이다. 전환 부문의 경우 A안에서는 재생에너지가 70.7%, B안에서는 60.9%까지 재생에너지 비중이 확대된다. 원자력 발전은 설계수명 동안 운전하면서 점진적으로 감축하기 때문에 일정 수준의 발전량은 유지된다. A안과 B안의 원전 비중 차이는 이용률 차이에 기인하는데 A안에서는 지난 10년간 세계 원전 평균 이용률인 77%를, B안은 안전조치 강화를 전제로 87%를 적용하였기에 각각 발전량의 6.1%와 7.2%를 점한다. 이에 더해 아직은 상용화되지 않았지만 수소 이용 연료전지와 무탄소 신전원 터빈 등도 발전의 일부를 담당한다.

표 2 2050년 탄소중립 최종안의 전환 부문 온실가스 배출량과 발전원별 발전량(비중)

구분	A안	B안
배출량(백만 톤 CO ₂ eq)	-	320.7
전력 발전량(TWh)	1,257.7(100%)	1,208.8(100%)
- 원자력	76.9(6.1%)	86.9(7.2%)
- 석탄	-	-
- LNG	-	61.0(5.0%)
- 재생에너지	889.8(70.7%)	736.0(60.9%)
- 연료전지	17.1(1.4%)	121.4(10.0%)
- 동북아 그리드	-	33.1(2.7%)
- 무탄소 가스터빈	270.0(21.5%)	166.5(13.8%)
- 부생가스	3.9(0.3%)	3.9(0.3%)

출처: 2050 탄소중립위원회, “2050 탄소중립 시나리오” 재구성

전환 부문은 탄소중립에 핵심이다. 하지만 전환 부문의 전환만으로 탄소중립을 달성할 수는 없다. 온실가스 배출의 36%(간접배출까지 합하면 54%)를 차지하는 산업 부문의 배출 감축 역시 중요하다. 2050 탄소중립 시나리오는 A, B안 모두 산업 부문 배출을 2018년 260.5백만 톤CO₂eq를 51.1백만 톤CO₂eq로 80.4%를 줄인다. 연료는 물론 원료와 공정의 전환이 필요하다. 하지만 산업 부문 배출은 A안과 B안의 총 배출량 중 각각 63.6%와 47.2%를 차지해서 2018년의 35.8%에 비해서 비중은 늘어나게 된다. 건물 부문의 경우, 건축물 에너지 효율 향상, 고효율기기 보급 등을 통해 2018년 소비량 46.9백만 TOE에서 36.0백만 TOE으로 약 23% 감소하며 온실가스 배출은 52.1백만 톤CO₂eq에서 6.2백만 톤CO₂eq로 88.1%를 줄여야 한다. 그 외 농축산 부문은 24.7백만 톤CO₂eq에서 15.4백만 톤CO₂eq로 37.7%를, 폐기물 부문은 17.1백만 톤CO₂eq에서 4.4백만 톤CO₂eq로 74.3%를 줄여야 한다.

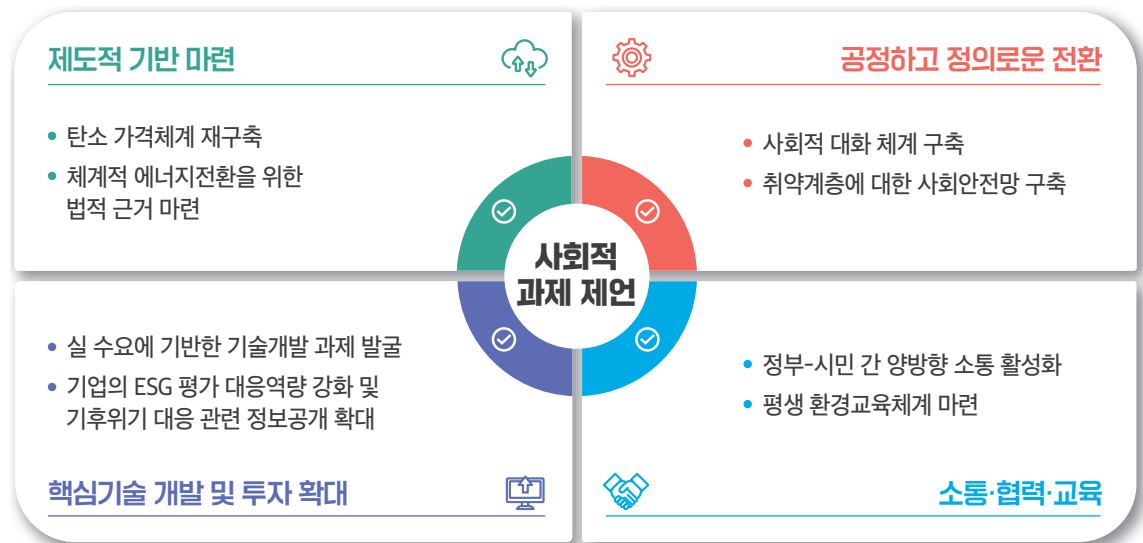
4. 향후 추진과제

2050년 탄소중립은 이제 모두가 지켜야 할 국제사회의 거스를 수 없는 규범으로, 다른 선진국들에 견줘왔을 때 우리에게 더욱 도전적인 과제다. 우리의 경우 온실가스 배출 정점이 2018년인 것으로 추정되고 있어 2050년까지 약 한 세대 동안이라 부를 수 있는 32년 만에 탄소중립을 달성해야 하기 때문이다. 특히 우리나라의 경우 다른 주요 선진국들에 비해 에너지 다소비 제조업 비중이 월등히 높은 데다 재생에너지 비중은 2020년 7%대로 OECD 국가들 가운데 가장 낮은 상태다. 그만큼 어려운 조건에 놓여 있다. 하지만 국제사회가 기후변화 협약 당사국총회를 통해 1.5°C 목표와 이를 위한 탄소중립에 합의한 이상 가야만 하는 길이 되었다. 피할 수 없는 길이라면, 오히려 좀 더 빠르게 목표를 달성하는 것이 현명하다.

2050 탄소중립 달성을 위해서는 전 사회적 변화가 필요하다. 국내 온실가스 배출의 86.9%를 에너지부문이 차지하고 있기에 에너지전환이야말로 탄소중립에 핵심적이다. 기존 에너지체제의 물리적 인프라는 수명이 있는 데다 기존 에너지체제에 고용되거나 관련 업무로 생계를 영위하는 이해당사자들이 적지 않고 일반 시민들 또한 기존 에너지체제가 제공하는 풍부하면서도 값싼 서비스에 익숙한 만큼 에너지전환은 쉽지 않은 일이다. 최근까지 우리 사회가 가진 법·제도·정책이나 행정체계, 인력과 예산, 시장 구조와 운영 체계, 인프라 등이 대부분 기존 에너지체제를 유지 확장하기 위한 것이었기에, 변화는 쉽지 않다. 특히 재생에너지에 대한 지역사회 주민 수용성이 높지 않은 현실은 재생에너지 확대에 커다란 장벽으로 작용하고 있다. 2050 탄소중립이란 목표가 정해진 만큼 이제 어떻게 그 목표를 달성할 것인지 보다 구체적인 전략과 이행계획, 이행과 점검 등을 통한 목표 달성이 중요하다.

[그림 6]은 <2050 탄소중립 시나리오>에 제시되어 있는 사회적 과제를 요약적으로 보여준다. 탄소중립을 위해서는 제도적 기반을 마련하고 공정하고 정의로운 전환 방안과 핵심기술 개발 및 투자 확대 계획이 필요하며 소통과 교육이 필요하다. 제도적 기반 마련의 기초가 되는 “기후위기 대응을 위한 탄소중립녹색성장기본법”이 지난 8월 말 국회를 통과해서 9월 24일 공포, 내년 3월 25일 발효를 앞두고 있다(조항에 따라 발효일이 다름). 탄소중립기본법으로 2050년 탄소중립 목표가 법제화되었을 뿐 아니라 기후대응기금 설치가 명문화되고 기후영향평가, 온실가스감축인지예산제, 정의로운 전환특구 지정 등의 제도 도입이 가능해졌다. 2050년 이전에 탈석탄을 완료하기 위해서는 현재도 건설 중인 석탄발전소의 건설 유지와 중단에 대한 사회적 논의가 필요하며 건설 중단이나 설계수명(30년) 이전 폐쇄를 위해서는 사회적 논의를 통한 법적 기초 마련과 사업자와 노동자, 지역에 대한 적절한 보상·지원방안을 마련해야 한다. 이와 함께 탄소 배출에 대한 비용 부담, 즉 탄소 가격 체계 구축을 위한 논의가 사회적으로 본격화될 필요가 있다.

그림 6 2050 탄소중립 시나리오 달성을 위한 사회적 과제



특히 전환 부문의 변화가 시급하게 요청되는데 탄소중립위원회에서는 탄소비용을 가격에 반영하는 것을 부처에 제안하였다. 유상할당 비율 상향, 환경급전 강화, 전기요금에 탄소비용 반영 등이 세부 내용으로 포함된다.

이런 상황 변화가 있을 때, 전력 수요관리 효과를 기대할 수 있게 된다. 재생에너지 이용을 확대하는 것이 무엇보다 중요한데 이를 위해서는 풍력 원스톱서비스, 계획입지제도 도입, 환경·산림·농지 등 국토이용 관련 규제혁신 등과 함께 주민 수용성을 높이기 위한 주민주도 사업 발굴·지원 및 주민참여형 이익공유를 활성화해야 할 것이다. 재생에너지 중심 전력체계는 전력망에 대한 선제적, 계획적 투자를 통한 재생에너지 수용량 확대와 함께 재생에너지의 간헐성과 변동성을 고려한 잉여 재생에너지 저장과 전환, 유연성 자원 확충을 통한 전력 공급의 안정성 확보가 필요하다. 아울러 보다 다양한 시장 참여자의 시장 진입을 열기 위한 전력시장 개방과 전력시장 전문 규제기관 설립도 고려해야 할 것이다.

2050 탄소중립을 체계적으로 이행해나가기 위해서는 구체적인 이행계획을 수립하고 충실하게 이행해나가야 한다. 본문에서 충분히 다루지 못했지만 재생에너지 확대, 친환경 연·원료 전환 및 에너지효율 개선, 그린리모델링 확대, 친환경차 보급 확대, 친환경농업 확산 및 가축관리, 폐기물 감량 및 재활용 확대 등 부문별로 제시된 감축수단 모두 어느 하나 달성이 쉽지 않은 난제들이다. 정부는 「탄소중립·녹색성장기본법」에 따라 20년을 계획기간으로 하는 국가기본계획을 내년 3월까지 수립하여야 한다. 이 계획에는 중장기감축목표 달성을 위한 부문별·연도별 대책, 기후변화 적응대책, 정의로운 전환 대책, 녹색기술·녹색산업 육성 및 녹색금융 활성화 등의 내용이 포함된다. 각 부처가 안을 마련하고, 탄소중립위원회에서 검토·논의할 예정이다. 이제 목표는 분명하다. 2050 탄소중립 목표 달성을 위해 전 사회적 노력을 경주해야만 한다. 이제 우리 겨우 이 엄청난 역사적 대장정의 출발점을 넘었을 뿐이다. 이제 다시 시작이다.

참고문헌

국내 문헌

- 2050 탄소중립위원회, 2050 탄소중립 시나리오, 2021
- 2050 탄소중립위원회, 2050 탄소중립 시나리오 초안, 2021

웹사이트

- UN 홈페이지, <https://www.un.org/en/climatechange>



해외의 탄소세 운용 동향 및 탄소가격에서의 시사점

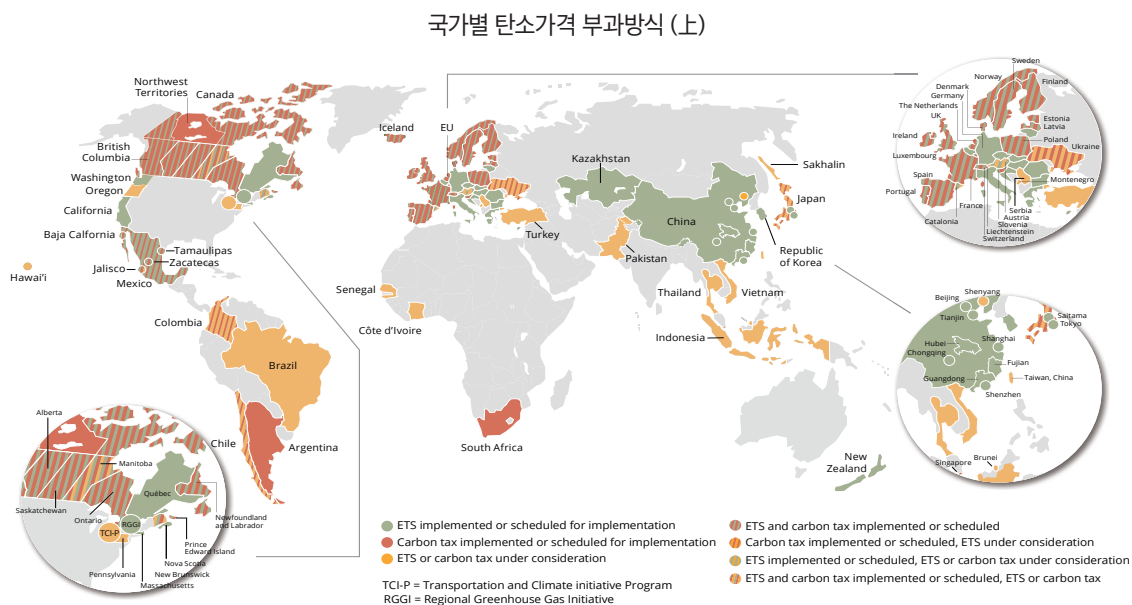
이동규 서울시립대학교 조교수(dgyi77@uos.ac.kr)



1. 서론

IPCC에서 2018년에 지구온난화에 대한 특별보고서(IPCC, 2018)를 발표한 이후, 지구 평균기온 상승폭을 2℃ 이내로 억제하려는 적극적인 움직임이 나타나고 있다. 탄소배출을 억제하기 위한 정책은 크게 배출과 관련한 환경기준을 정하고 준수하게 하는 직접 규제와 시장의 원리를 활용한 정책으로 구분된다. 이 중에서도 시장의 원리를 활용한 정책은 탄소에 가격을 부과하는 제도들로 탄소세로 통칭하는 탄소배출에 대한 각종 부과금이나 배출권거래제(Emission Trading Scheme; ETS)가 대표적이다. 탄소에 가격을 부과하는 제도는 시장 참여자들이 비용으로 인식함으로써 경쟁시장에서 누릴 것으로 기대되는 비용최소화의 효율성을 탄소배출에서도 유도하는 정책이다. 이러한 이유로 다양한 국제기구에서 각국의 탄소저감정책을 준비할 때 탄소가격정책을 도입할 것을 제안하고 있다. 2021년 4월 기준으로 세계 각국에서 탄소가격제도를 운영하는 사례는 [그림 1]과 같이 시각적으로 요약할 수 있다.

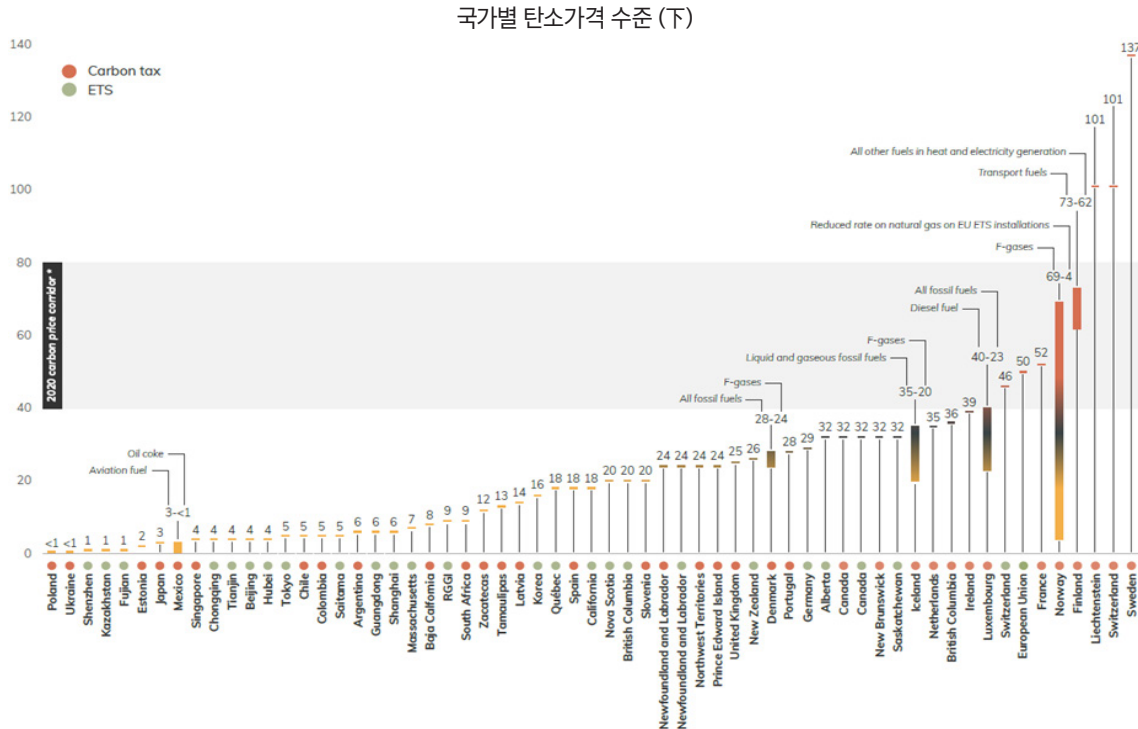
그림 1 탄소가격의 국제 현황



우리나라도 지난해인 2020년 10월, 국회 시정연설에서 대통령이 2050년 탄소중립을 선언하면서 탈탄소화를 향한 가파른 움직임을 가져가기 시작하였다. 이후, 2020년 12월에는 관계부처 합동으로 ‘2050 탄소중립 추진 전략’을 발표하였고, 여기에서 경제구조의 저탄소화, 신유망 저탄소산업 생태계 조성, 탄소중립 사회로의 공정 전환이라는 3대 정책방향과 탄소중립 제도적 기반강화라는 ‘3+1’ 전략을 제시하였다(관계부처 합동, 2020). 해당 전략에서 소개된 탄소중립 제도적 기반강화에 탄소가격 시그널을 강화하겠다는 목표가 포함되면서 탄소세 도입에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있다.

이에, 본고는 해외에서 운용되는 탄소세의 현황들을 살펴봄으로써 국내 도입과 관련한 논의에 시사점을 제공하는 데에 목적이 있다. 본고의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 해외의 탄소세 운용현황을 살펴보고, 3절에서는 해외 탄소세 제도에서의 시사점을 도출하며, 4절에서는 논의를 요약하고 국내에서 탄소세의 도입을 고려할 때 참고할 사항들을 제시하고자 한다.

그림 1 계속 탄소가격의 국제 현황

(단위: USD/tCO₂e)

주: 상·하단 패널에서 주황색은 탄소세 제도를, 회색은 ETS 제도를 운영하는 것을 의미함. 또한, 상단 패널에서 주황색과 회색의 빛금처리된 국가는 탄소세와 ETS 제도를 모두 운영하며, 노란색은 탄소가격제도의 운영을 고려 중인 국가임.

자료: World Bank, State and Trends of Carbon Pricing 2021, 2021 (p.10, p.13)

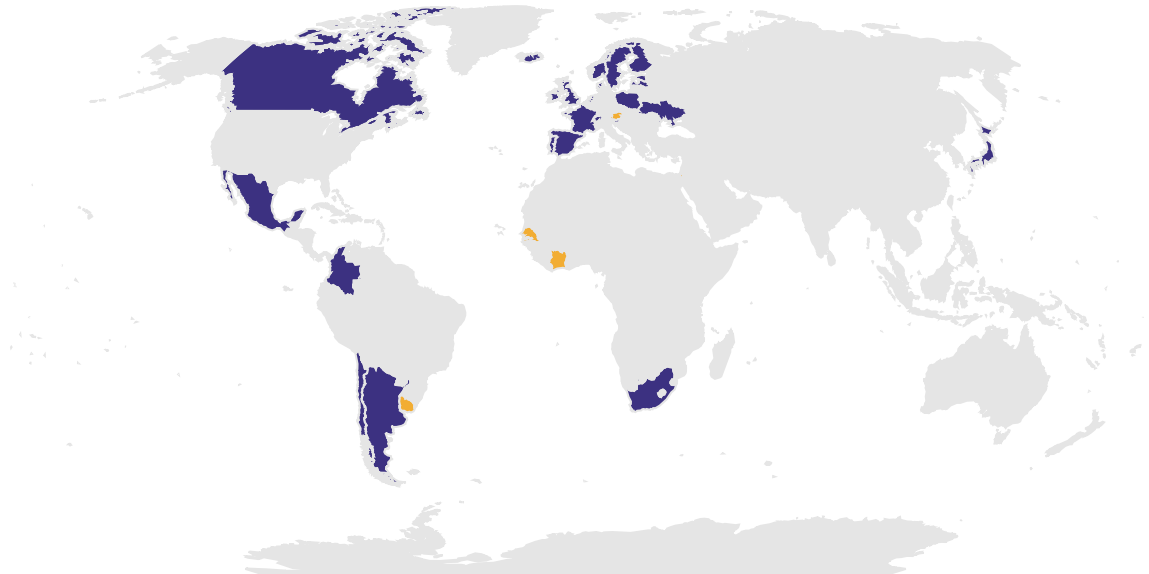
2. 해외의 탄소세 운용 동향

가. 전반적인 운용 현황

World Bank에서는 홈페이지에 Carbon Pricing Dashboard를 만들어 세계 각국의 탄소세 운용현황을 제시하고 있다. 본고의 해외 동향 정보는 기본적으로 World Bank의 자료를 중심으로 정리하였으며, 여기에 일부 여타 자료들을 추가하여 내용을 보완하였다. 먼저 국가단위로 탄소에 대하여 명시적으로 과세하는 탄소세를 운용하는 국가들은 2021년 4월 기준, 27개국으로 나타났다(그림 2 참조).¹⁾ [그림 2]에서는 코트디부아르와 세네갈을 노란색으로 나타내고 있으나, 해당 국가들은 아직 제도를 시행하지는 않고 있으며 탄소세를 도입하기 위해 제도적으로 준비를 하고 있는 국가들이라 할 수 있다. 참고로 바로 얼마 전인 2021년 11월에 인도네시아에서 탄소세를 도입하였으나, 아직은 운용 실적을 말하기 어려우므로 본고에서는 World Bank에서 분류한 27개국을 중심으로 살펴보고, 인도네시아에 대해서는 간략히 언급하도록 한다.

1) 일반 에너지세(excise tax on energy)도 종량제로 부과할 경우 탄소배출에 비례하는 과세가 이루어지기 때문에 OECD에서 실효탄소가격을 계산할 때는 일반 에너지세도 포함한다. 여기에서는 이러한 세금과 구별되는 명시적으로 탄소배출량에 따라 과세하는 세금만을 탄소세로 정의하고 있다.

그림 2 국가단위의 탄소세를 운용하는 국가 현황



주: 남색 국가들은 국가단위의 탄소세를 운용하고 있는 국가들이고, 노란색은 현재 탄소세 도입을 고려하고 있는 국가들을 의미함.
 자료: World Bank - Carbon Pricing Dashboard를 sorting하여 제공받음

탄소세를 운용하는 27개국은 유럽에서 19개국, 중남미 4개국, 아시아 2개국, 아프리카 1개국, 북미 1개국으로 구성되어 있다. 유럽 19개국 중에는 EU 회원국 13개국과 비 EU 회원국 6개국(노르웨이, 리히텐슈타인, 스위스, 아이슬란드, 영국, 우크라이나)이 포함되어 있다.²⁾ 27개국의 탄소세 세율은 [그림 3]과 같이 분포하고 있다. 27개국 전체의 평균세율은 32.8 USD/tCO₂e로 계산된다. 다만, [그림 3]에서 확인할 수 있듯, 국가별 세율의 수준이 상당히 차이가 난다. 유럽 선진국들의 경우 100 USD/tCO₂e를 넘나드는 높은 세율로 부과하고 있으나, 동유럽 국가들이나 비(非)유럽 국가들의 경우 이산화탄소톤당 10 USD에 미치지 못하는 것이 대부분이다. IMF에서 제안한 이산화탄소톤당 75 USD에 만족하는 국가는 스웨덴과 스위스, 리히텐슈타인 등 3개국에 불과하며 세율이 50 USD/tCO₂e를 넘는 국가도 6개 국가로 확인되었다.³⁾

전 세계의 탄소배출량 중 27개국의 탄소세에 의해 탄소가격이 부과되는 비중은 5.45%에 머무는 것으로 나타났다(<표 1>, <표 2> 참조). 이는 탄소 배출량상 최상위 국가들이 탄소세를 거의 활용하지 않는 것이 가장 큰 원인으로 보인다. 2019년 기준, 전 세계 이산화탄소 배출량의 절반을 차지하는 배출량 1위 ~ 4위에 해당하는 중국, 미국, 인도, 러시아는 모두 탄소세를 운용하지 않고 있다.⁴⁾ 배출량 5위로 알려져 있는 일본이 탄소세를 운영하고 있으나 6위부터 10위까지의 국가 중 탄소세를 운영하는 국가는 없다.⁵⁾

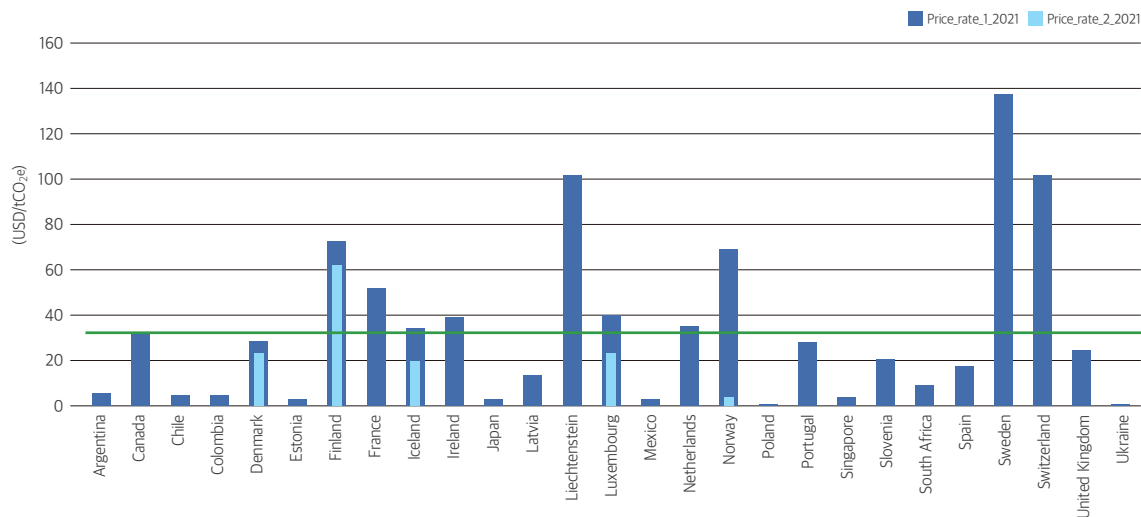
2) 영국은 2020년 EU를 탈퇴하였기 때문에 비회원국으로 구분하였다.

3) IMF(2019)에서는 지구온난화를 2°C 이내로 억제하기 위해서는 2030년까지 75 USD/tCO₂e의 전 세계적인 탄소세 부과와 같은 조치가 필요하다고 제안하였다. 한편, 탄소의 외부비용을 추정된 결과들을 살펴보면 대략 50 USD/tCO₂e 부근의 추정치가 발표되고 있다. 대표적으로 미국 백악관의 부처 간 실무그룹 기술적 지원 보고서(technical support document of interagency working group)는 2020년 3% 할인율을 적용할 경우 51 USD/tCO₂e로 추정하였다.

4) 본고에서 사용한 국가별 배출량과 그 순위는 Global Carbon Project에서 제공하는 국가별 이산화탄소 배출량(2019년 기준) 자료를 근거로 산정한 값이다.

5) 참고로 2019년 기준 Global Carbon Project의 자료에 따른 배출량 순위 6~10위 국가들은 각각 이란, 독일, 인도네시아, 대한민국, 사우디아라비아이며, 비록 인도네시아는 올해 11월 탄소세를 도입하였으나 본문의 비중 계산결과는 탄소세 운용 전(前)이기 때문에 탄소세를 운용하지 않는 것으로 처리하였다.

그림 3 국가별 탄소세 세율 현황



주: 초록색 수평선은 27개국의 평균세율을 의미함. Price_rate_1_2021은 2021년도의 기본 탄소세율을, Price_rate_2_2021은 2021년도의 기본 세율 이외의 세율 (예를 들어, 하류탄소세율이나 주요 과세대상이 아닌 연료에 대한 세율 등)을 각각 의미함.

자료: World Bank - Carbon Pricing Dashboard에 있는 각국 세율을 근거로 저자 작성

한편, 탄소세를 운용하는 각국에서 배출하는 온실가스 배출량 중 탄소세 과세대상이 차지하는 비중은 27개국 평균적으로 약 37% 정도를 차지하고 있다(<표 1>, <표 2> 참조). 탄소세 과세범위가 넓은 국가는 국내 배출량 중 80% 수준(싱가포르, 남아프리카공화국)에 이르기기도 하지만, 11개 국가에서 탄소세 적용범위가 30%에 채 미치지 못하고 있다. 대부분의 국가에서 배출권거래제 참여대상 부문은 탄소세를 감면해 주고 있으며, 일부 국가에서는 탄소세에 대한 상쇄(offset) 정책도 병행하고 있다. 이로 미루어 볼 때, 탄소세를 운용하는 국가들 상당수가 국내 배출을 광범위하게 통제하기 위한 수단으로 탄소세를 활용하기보다는 보조적인 수단으로 사용하는 것으로 판단된다.

나. 주요국 운용 현황

본 항에서는 탄소세의 운용방식을 국가별로 좀 더 구체적으로 살펴보고자 한다. 국가별 탄소세 운용방식을 국가단위로 상세히 다루게 되면 본고에서 다루기에 지나치게 많은 내용을 다루게 되므로, <표 1>과 <표 2>처럼 탄소세 운용국가들을 크게 북·서유럽 국가들과 그 외의 국가들로 구분하여 요약적으로 다룬다. <표 1>은 북유럽 및 서유럽 국가들의 주요 운용방식에 대하여 요약하였다. 북·서유럽에서 탄소세를 도입한 국가들은 대부분 상대적으로 높은 세율로 탄소세를 부과하고 있다. 또한, 스페인을 제외하고는 모두 EU-ETS에 참여하고 있으며, 영국의 경우 EU에서 탈퇴하기 전까지는 EU-ETS에 참여하다가 EU 탈퇴 이후에는 자국 ETS 체계인 UK-ETS를 운용하고 있다. <표 1>의 북·서유럽 국가들 중 ETS에 참여하는 국가들은 핀란드를 제외하고는 ETS와의 조화를 위해 탄소세 설계를 조정하고 있는 것으로 나타났다. 대부분은 ETS 참여부문에 대하여 일부 혹은 전부 탄소세를 감면하거나 아예 탄소세를 ETS 비할당부문에 한하여 운용하는 방식을 채택하고 있다. 즉, 이중부담을 배제하는 방식을 취하고 있다.

표 1 북유럽 및 서유럽 국가들의 탄소세 운용 현황

순 번	국가 (‘21.4월 기준)	도입 연도	세율(USD/tCO ₂ e) (‘21.1월 기준)	세수입 (백만 USD) (‘20년 기준)	ETS와 중복여부	ETS와의 중복처리방법	상쇄 제도 여부	전 세계 GHG 중 대상 비중 ¹⁾	탄소세 대상 GHG 비중 ²⁾
1	핀란드	1990 (최초)	수송연료: 72.8 이외 화석연료: 62.3	1,420	O (EU ETS)	ETS와 중복과세	X	0.074%	36%
2	노르웨이	1991	상류: 69 하류: 4	1,374	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제(근해 원유 생산 제외)	X	0.091%	66%
3	스웨덴	1991	137 (매년 재산정)	2,284	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제 (열병합 아닌 난방 제외)	X	0.081%	40%
4	덴마크	1992	화석연료: 28 불화가스: 24 (매년 재산정)	520	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제(지역 난방, 쓰레기 소각장 제외)	X	0.041%	35%
5	스위스	2008	101	1,239	O (Switzerland ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제	O	0.033%	33%
6	리히텐 슈타인	2008	101	6	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제	O	0.0001%	26%
7	아이슬란드	2010	불화가스: 20 화석연료: 35	57	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제	X	0.005%	55%
8	아일랜드	2010	39	580	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 부분 감면	X	0.059%	49%
9	영국	2013	25	948	O (UK ETS)	ETS의 가격변동 보완 (가격 위에 추가)	X	0.248%	23%
10	프랑스	2014	52	9,632	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제	X	0.317%	35%
11	스페인	2014	18	70	X	N.A.	X	0.017%	3%
12	포르투갈	2015	28 (매년 재산정)	276	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제(단, 석 탄발전, 열병합발 전은 EU ETS 목표 가격과 탄소세율 차이의 50% 과세 (약 USD1/tCO ₂ e))	X	0.043%	29%
13	룩셈부르크	2021	경유: 40, 휘발유: 38, 나머지 화석연료: 23	N.A.(‘21년 164.44 이상 예상)	O (EU ETS)	ETS 제외 산업에 부과	X	0.013%	65%
14	네덜란드	2021	35	N.A.	O (EU ETS)	EU ETS 가격 위에 추가로 부가	X	0.047%	12%

주: 1. ‘전 세계 GHG 중 대상 비중’은 전 세계의 GHG 배출량 중 해당 제도의 대상이 되는 배출량의 비중을 의미함.

2. ‘탄소세 대상 GHG 비중’은 탄소세 적용 국가 내 GHG 배출량 중 탄소세의 대상이 되는 배출량의 비중을 의미함.

자료: World Bank – Carbon Pricing Dashboard, 한국조세재정연구원(2020)의 내용을 정리하여 저자 작성

ETS 제도와의 중복문제를 비교적 독특한 방식을 취하고 있는 나라가 있는데 그것은 영국과 네덜란드이다. 영국의 경우, ETS의 가격변동성이라는 단점을 보완하는 수단으로 탄소세를 활용하고 있다. 영국은 탄소에 대한 가격하한제(Carbon Price Floor; CPF)를 운영하고 있다. CPF는 발전부문에 한정하여 운영하며, UK-ETS에서 거래되는 배출권의 가격이 정부에서 정한 가격하한보다 낮을 경우 배출권 가격과 정부의 가격하한값의 차이만큼 탄소가격지지세(Carbon Price Support)를 기후변화세(Climate Change Levy; CCL)에 추가하여 부과한다. 이 탄소가격지지세가 영국의 탄소세에 해당하며, 해당 제도는 석탄화력발전의 퇴출을 유도하기 위해 시행하고 있으며, 정책목적이 달성될 때까지 한시적으로 운용할 계획으로 도입하였다.

네덜란드의 경우, ETS에서 할당된 목표감축량에 미달할 경우 탄소세를 부과한다. 즉, 목표 배출량을 초과하여 온실가스를 배출하는 사업자는 ETS에서 배출권을 구입하는 비용에 탄소세까지 추가로 부담하게 되어 탄소비용이 더 가중된다. 그 대신, 목표감축량보다 초과하여 배출감축을 달성할 경우, 그 초과감축분만큼 과거에 납부했던 탄소세를 최대 5년치까지 거슬러 환급받을 수 있는 권리를 부여한다. 해당 권리는 당사자가 그대로 사용할 수도 있고 다른 사업자에 판매할 수도 있다. 이상에서 볼 때, 대부분의 북·서유럽 국가들은 EU-ETS 참여 사업자들에게 이중부담을 배제하는 방식으로 탄소세를 운용하고 있다. 영국과 네덜란드는 배출권 가격에 탄소세를 추가하는 방식으로 탄소가격을 강화하고 있으나, 모든 ETS 참여 사업자에게 부과하는 것이 아니라 온실가스 배출량이 많은 특정 사업자들을 대상으로 한다는 점에서 또 다른 형태의 ETS 보완수단으로 탄소세를 활용한다고 말할 수 있다.

다음으로 동유럽 및 비(非)유럽 국가들의 탄소세 운용 동향을 정리해 보면 <표 2>로 요약할 수 있다. 해당 국가들은 슬로베니아(20 USD/tCO₂e), 라트비아(14 USD/tCO₂e), 캐나다(32 USD/tCO₂e)를 제외하고는 모두 이산화탄소톤당 세율을 10 USD 미만으로 운용하고 있다. 그러다 보니 일본이나 캐나다를 제외하고서는 탄소세 세수입이 그리 많지 않음을 확인할 수 있다. 또한, 동유럽 국가들은 EU-ETS에 참여할 경우 대부분 참여 사업자에 대하여 탄소세를 감면하고 있어 이중부담을 배제하고 있음을 알 수 있다. 비(非)유럽 국가들은 실질적으로 ETS를 도입하지 않은 경우가 대부분이다. 슬로베니아, 멕시코, 콜롬비아, 남아프리카공화국의 경우, 상쇄제도를 병행하고 있어 탄소가격을 과도하게 부과하지 않게 하기 위해 제도적으로 상당히 신경 쓰고 있음을 미루어 짐작할 수 있다.

표 2 동유럽 및 비(非)유럽 국가들의 탄소세 운용 현황

순 번	국가 (‘21.4월 기준)	도입 연도	세율(USD/tCO ₂ e) (‘21.1월 기준)	세수입 (백만 USD) (‘20년 기준)	ETS와 중복여부	ETS와의 중복처리방법	상쇄 제도 여부	전 세계 GHG 중 대상 비중 ¹⁾	탄소세 대상 GHG 비중 ²⁾
1	폴란드	1990	0.08	6	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제	X	0.030%	4%
2	슬로베니아	1996	20	81	O (EU ETS)	ETS와 중복 시, 탄소 누출에 노출되어 있거 나 에너지집약적인 사업자 탄소세 면제	O	0.020%	50%
3	에스토니아	2000	2	2	O (EU ETS)	중복 시 면제여부 확인 안 됨	X	0.003%	6%

순 번	국가 (‘21.4월 기준)	도입 연도	세율(USD/tCO ₂ e) (‘21.1월 기준)	세수입 (백만 USD) (‘20년 기준)	ETS와 중복여부	ETS와의 중복처리방법	상쇄 제도 여부	전 세계 GHG 중 대상 비중 ¹⁾	탄소세 대상 GHG 비중 ²⁾
4	라트비아	2004	14	9	O (EU ETS)	ETS와 중복 시 탄소세 면제	X	0.001%	3%
5	우크라이나	2011	0.3	31	X	N.A.	X	0.409%	71%
6	일본	2012	3	2,365	O (Tokyo CaT, Saitama ETS)	중복 시 면제여부 확인 안 됨	X	1.862%	75%
7	멕시코	2014	상류: 3 하류: 0.4	230	X	N.A.	O	0.347%	23%
8	칠레	2017	5	165	X	N.A.	X	0.107%	39%
9	콜롬비아	2017	5	29	X	N.A.	O	0.082%	24%
10	아르헨티나	2018	6 (분기별 재산정)	0.5	X	N.A.	X	0.163%	20%
11	캐나다	2019	32	3,407	X	N.A.	X	0.332%	22%
12	싱가포르	2019	4	144	X	N.A.	X	0.083%	80%
13	남아프리카 공화국	2019	9	43.3	X	N.A.	O	0.946%	80%

주: 1. ‘전 세계 GHG 중 대상 비중’은 전 세계의 GHG 배출량 중 해당 제도의 대상이 되는 배출량의 비중을 의미함.

2. ‘탄소세 대상 GHG 비중’은 탄소세 적용 국가 내 GHG 배출량 중 탄소세의 대상이 되는 배출량의 비중을 의미함.

자료: World Bank - Carbon Pricing Dashboard, 한국조세재정연구원(2020)의 내용을 정리하여 저자 작성

한편, 탄소세를 감면해 주는 사례를 정리해 보면 다음과 같이 요약할 수 있다. 국가별로 탄소세를 감면하는 경우가 많은 사례는 크게 세 가지로 나뉜다. 첫 번째, 상술했던 내용이기도 하지만 ETS 참여자들에 대한 감면이다. ETS에 참여하고 있는 대부분의 국가들은 국내 참여 사업자에 대하여 탄소세의 일부 또는 전액을 감면하고 있다. 영국과 네덜란드가 ETS 가격에 탄소세를 추가하는 형태라고는 했으나, 이는 특수한 조건을 만족하는 경우에 적용되며 일반적으로 ETS 시장에서 목표감축량을 잘 따라가는 사업자의 경우 탄소세를 적용받지 않으므로 두 국가에서도 이중부담은 기본적으로 배제된다고 볼 수 있다. 그렇다면 실질적으로 ETS 가격과 탄소세 모두를 이중으로 부담시키는 국가는 확인된 범위 내에서는 핀란드가 거의 유일하다고 할 수 있다. 두 번째는 발전용 연료에 대하여 탄소세를 감면해 주는 사례이다. 특히, 유럽의 경우 전력에 대하여 직접 과세하는 국가가 많다 보니 발전용 연료에 대한 과세가 이중부담으로 간주될 수 있다. 그래서 일반 에너지세(excise tax)도 전력에 대한 과세가 이루어지는 나라에서는 대부분 발전용 연료에 대해서는 부분적으로나 전체적으로 감면해 준다. 발전용 연료에 대하여 탄소세를 면제해 주거나 탄소세의 과세대상에 포함시키지 않는 나라에는 덴마크, 아일랜드, 룩셈부르크, 프랑스, 스웨덴 등이 있으며, 핀란드는 열병합 발전의 경우 50% 감면해 주고 있다. 스위스는 발전부문이 과세대상이지는 하나 대형 화석연료 발전소에 대해서는 예외 적용하고 있으며, 영국도 발전용 연료에 대해서는 면세였다가 2013년부터 저율과세를 적용하고 있다. 명시적으로 발전 부



문의 연료에 대하여 탄소세를 면제하지 않더라도 발전 부문이 ETS 할당부문이어서 탄소세의 면제 대상인 경우도 있기 때문에 실제로는 상술한 내용보다 더 많은 국가에서 발전용 연료에 대하여 탄소세를 감면하고 있다고 보아야 할 것이다.

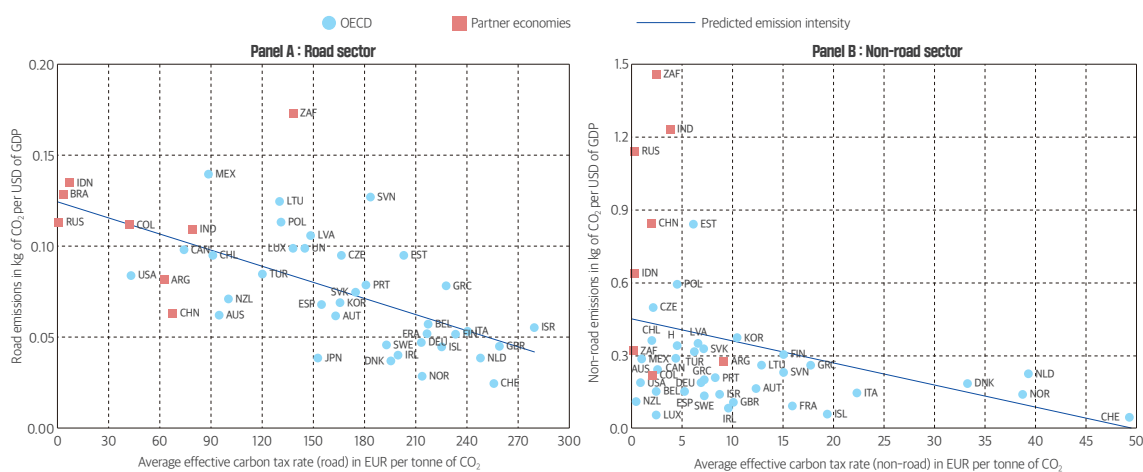
마지막으로는 수송 및 운송 부문에 대한 감면이다. 탄소세를 운용하고 있는 국가 중 여러 국가에서 특정 수송수단이나 운수산업에 대하여 탄소세를 부분적으로나 전체적으로 감면해 주는 사례를 발견할 수 있다. 특정 수송수단으로는 보통 기차, 선박, 항공이 대표적인 감면대상 교통수단이며, 이 중에서 특히 항공에 대한 감면이 많이 이루어진다. 프랑스에서는 항공에 대한 감면과 더불어 대중교통과 화물 수송에 대하여 감면해 주고 있다. 운수산업 중에서는 국제 항공운송에 대한 감면이 가장 흔하게 나타난다(노르웨이, 덴마크, 아르헨티나, 캐나다 등).

3. 해외 운용 사례의 시사점

본 절에서는 2절에서 살펴본 국가별 탄소세 주요 운용 현황과 OECD(2019, 2021) 및 Parry et al.(2021) 등의 내용을 결합하여 해외의 탄소가격 운용수단으로써 탄소세를 활용하는 측면에서의 시사점을 다루고자 한다. 먼저, 탄소세의 세율 수준과 관련한 특징을 정리하면 다음과 같다. 이미 앞에서 언급한 바와 같이 동유럽 국가들이나 비유럽 국가들에서 탄소세 세율은 북·서유럽 국가들에 비해 상대적으로 낮게 책정되고 있다. 이러한 특징은 EU를 중심으로 EU-ETS의 배출권 가격과 비슷한 수준에서 탄소세 세율을 조정하는 과정에 있기 때문이 아닌가 하는 생각이 든다. 한편, 탄소세가 ETS보다 더 먼저 도입되었는지의 여부는 세율상 눈에 띄는 차이를 가져오지는 않는 것으로 보인다. 핀란드(72.8 USD/tCO₂e)나 노르웨이(69 USD/tCO₂e) 스웨덴(137 USD/tCO₂e)의 경우는 탄소세를 빠르게 도입한 국가들에 속하지만 세율은 매우 높다. 그러나 마찬가지로 빨리 탄소세를 도입한 국가들 중 폴란드(0.08 USD/tCO₂e)나 덴마크(28 USD/tCO₂e) 등은 상대적으로 세율이 낮은 수준이다.

가장 최근의 도입한 국가들도 일정한 양상을 보이지는 않는다. 2019년 이후로 탄소세를 도입한 국가 중에는 캐나다(32 USD/tCO₂e)나 룩셈부르크(40 USD/tCO₂e), 네덜란드(35 USD/tCO₂e) 정도가 상대적으로 세율이 높은 편에 속하고, 싱가포르(4 USD/tCO₂e), 남아프리카공화국(9 USD/tCO₂e)은 세율이 낮다. 올해 11월에 탄소세를 도입한 인도네시아도 세율이 2.1 USD/tCO₂e 수준으로 매우 낮다. 따라서 시기적으로 늦게 도입했다고 세율이 더 낮거나 높다고 말하기는 어렵다. 오히려 세율은 각국의 탄소집약도와 상관성이 있는 것으로 나타나고 있다. OECD(2019)에서는 OECD 회원국과 주요 개발도상국들을 묶어 각국의 실효탄소세율과 탄소집약도 사이의 관계를 살펴보았다. 그 결과 대략적인 음의 상관관계를 발견할 수 있었다(그림 4 참조). 이것은 탄소집약도가 높은 국가에서는 탄소에 대한 실효세율이 낮은 경향이 있음을 보여준다. 주의할 것은 이것이 인과관계를 의미하는 것은 아니라는 점이다. 즉, 탄소에 대한 세율을 높여서 탄소집약도가 낮아졌다고 해석하는 것은 적절하지 않다. 그보다는 탄소집약도가 높은 국가에서 산업에 부담을 줄이기 위해 낮은 실효세율을 적용하고 있다고 보는 편이 현실에 대한 해석으로 더 적절할 것으로 보인다.

그림 4 주요국의 실효탄소세율과 탄소집약도의 상관성

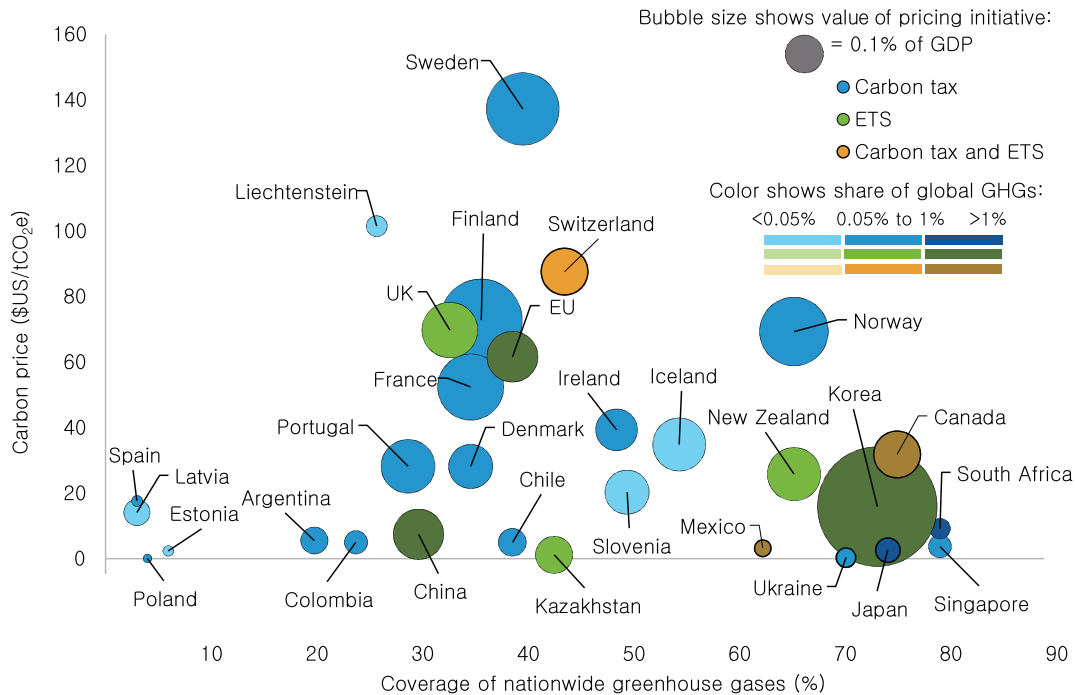


주: 좌측 패널(Panel A)은 도로부문에 대한 산포도이며, 우측 패널(Panel B)은 비도로부문에 대한 산포도임.

자료: OECD, Taxing Energy Use 2019: Using Taxes for Climate Action, 2019 (p.70 Figure 3.3)

다음으로, 탄소세의 적용범위에 대한 시사점이다. 앞에서 살펴본 것처럼 대부분의 탄소세 도입국가들은 이중 부담을 배제하는 방향으로 탄소세를 운용하고 있다. 이를 보았을 때, 우리나라는 탄소세를 별도로 도입하여 추가적인 탄소가격을 부과해야 할 필요성이 상대적으로 높지 않다고 평가할 수 있다. 우리나라는 이미 K-ETS를 통해 국내 온실가스 배출량의 약 80%가량에 대해 탄소가격을 부과하고 있다. 게다가 이미 국내총생산(Gross Domestic Product; GDP) 대비 탄소가격으로 부과되는 총액이 차지하는 비율은 탄소가격제도를 운용하는 대표적인 30개 국가 중 가장 높은 수준이다(그림 5 참조). 이는 우리나라는 K-ETS만으로도 연간생산성 대비 가장 높은 수준의 탄소비용을 부담하고 있다는 것이다. 심지어 EU-ETS에도 참여하고 있고 탄소세를 ETS 참여사업자들에 중복해서 부과하는 핀란드보다도 GDP 대비 탄소가격 부과율이 더 높은 상황이다. 이것으로 볼 때 굳이 지금 수준에서 탄소세를 추가로 도입하여 탄소가격으로 부담하는 비중을 더 높이는 것이 시급한 상황은 아니라는 판단을 할 수 있다. 만약 탄소세를 부과한다면 K-ETS에서 제외되어 있는 부문에 대하여 제한적으로 운영하는 것이 적절할 것이다.

그림 5 주요국의 탄소가격제도 현황



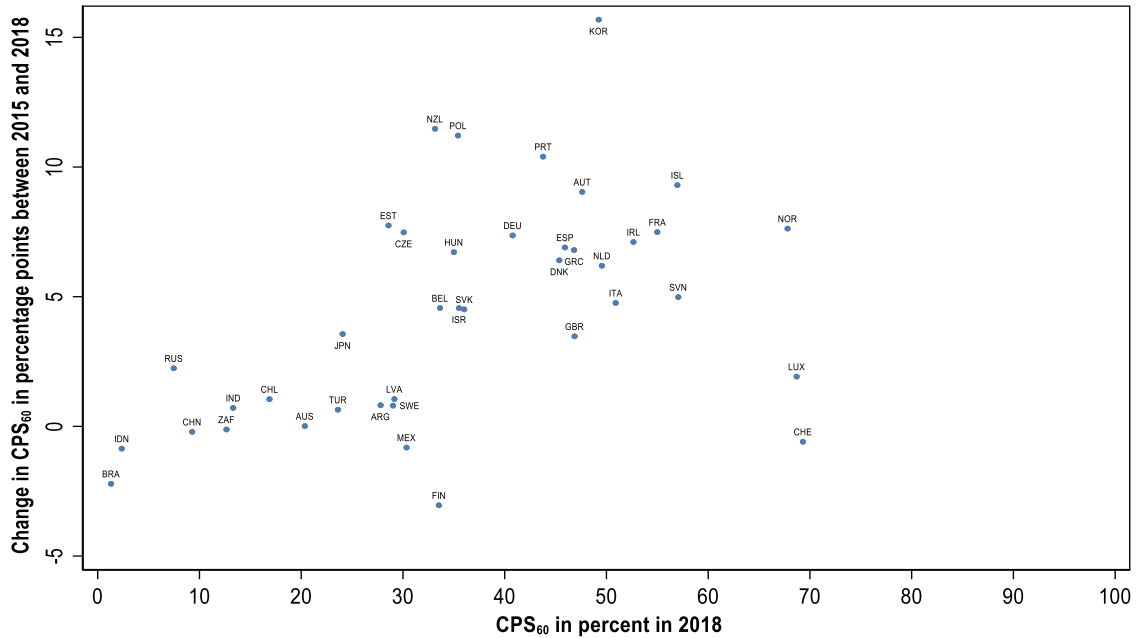
주: 파란색 계열은 탄소세를 운용하는 국가를, 초록색 계열은 ETS를 운용하는 국가를, 주황색 계열은 두 제도 모두 운용하는 국가를 각각 의미함. 각 계열별로 색이 짙을수록 전 세계 온실가스 배출량에서 차지하는 비중이 높은 국가이며, 원의 면적이 넓을수록 자국 GDP에서 탄소가격제도에 의한 비용지불 규모가 차지하는 비중이 높은 국가를 의미함.

자료: Parry et al., Carbon Pricing: What Role for Border Carbon Adjustments?, IMF STAFF CLIMATE NOTE 2021/004, 2021(p.3 Figure 1)

이와 같은 내용을 지지하는 추가적인 자료를 보여주고자 한다. [그림 6]은 OECD(2021)에서 OECD 회원국들과 주요 개발도상국 파트너 국가들 44개국을 대상으로 분석한 국가별 탄소가격 부과 수준에 대한 결과이다. [그림 6]의 CPS(Carbon Pricing Score)는 탄소가격을 특정 수준(하첨자 숫자) 이상 부과하고 있는 비중을 의미한다. 예를 들어, 한 국가의 CPS60이 70이라고 한다면, 이는 해당 국가에서 전체 탄소배출에 대하여 탄소가격이 60유로 이상 부과되는 탄소배출량이 70%의 비중을 차지하고 있음을 의미한다. 우리나라는 2018년 CPS60이 전체 44개국 중 상위 10번째에 해당되었다(49%). 게다가 2015년의 CPS60보다 2018년에 CPS60의 증가분은 전체 분석대상국 중 1위를 차지하였다. 이것은 우리나라의 탄소가격 반영 수준이 낮지 않음을 보여준다. OECD의 보고서는 탄소가격을 추산할 때 세 가지 제도에서 부과되는 금액을 포함하였다. (무상할당을 포함한) 배출권거래제의 가격과, 탄소에 대하여 명시적으로 과세하는 탄소세 세율, 그리고 마지막으로 탄소에 명시적으로 과세하지는 않으나 탄소배출량에 비례적으로 과세하는 세목의 세율이다. 여기 나오는 세 번째 항목은 종량제로 운영되는 일반 에너지세를 포함하며, 우리나라의 기존 에너지세제도 OECD의 탄소가격에 포함됨을 알 수 있다.

특히, 우리나라의 수송 부문은 CPS120이 93에 이른다. 이는 이미 수송 부문에서는 탄소가격으로 120 EUR/tCO₂e 이상 부과되고 있는 비중이 93%에 달함을 의미한다. 이것은 배출권거래제에서 빠져 있는 부문 중 수송 부문도 탄소세를 도입하여 추가적으로 과세할 여지는 크지 않음을 암시한다.

그림 6 주요국의 탄소가격점수(CPS) 현황



주: 가로축은 2018년도 기준의 CPS₆₀을, 세로축은 2015년과 2018년도의 CPS₆₀ 수치의 변화분(%p)을 각각 의미함.

자료: OECD, Effective Carbon Rates 2021: Pricing Carbon Emissions through Taxes and Emissions Trading, 2021(p.22 Figure 4.2)

4. 결론

지금까지 해외의 탄소세 운용 사례를 통해 도출한 특징들을 국내 탄소세 도입과 연관 지어 탄소세 도입 이슈에 적용해 보면 몇 가지 의미 있는 시사점을 제시할 수 있다. 첫째는 국내에서 탄소세를 도입하게 될 경우 그 부과대상 누구냐이다. 국제적으로 탄소가격의 반영수단은 탄소세뿐만 아니라 ETS의 가격도 포함되며 탄소세 이외의 일반 에너지세도 포함된다. 그리고 탄소세를 도입한 대부분의 국가들은 ETS 참여자에 대하여 과세대상에서 제외하거나 세율을 감면해 주고 있다. 이러한 점에서 탄소세를 국내에 도입하더라도 탄소세의 대상은 제한적인 수준에 머무르게 될 가능성이 높다. ETS에서 비할당부문은 대표적으로 수송, 건물 부문이나 소규모 사업장 정도로 요약할 수 있는데, 그 중 수송 부문은 이미 기존 에너지세제에 의해 상당한 수준의 탄소가격이 부과되고 있다. 따라서 현재의 상황이라면 탄소세 과세대상은 건물 부문이나 소규모 사업장 등 정도가 후보가 될 수 있겠다. 혹은 K-ETS에서 무상할당 대상 업종에 대하여 탄소세를 부과하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. ETS의 문제점이 여러 관점에서 지적되고 있는 데에 대한 대응으로 무상할당 대상 업종에 ETS 대신 탄소세를 부과하는 방안이다. 물론 이것도 하나의 대안이 될 수 있겠으나, ETS 제도를 폐기하지 않고 계속 수정·보완하려 한다면 굳이 무상할당 대상 업종에 탄소세라는 신설 제도를 도입하여 적용하기보다 기존의 ETS를 보완하여 유상할당 전환 등의 방식으로 대응하는 편이 행정적인 비용을 더 줄일 수 있는 방안이 될 것이다. 둘째는 탄소세 도입 시 적정세율 수준이다. 비록 지구온난화를 2℃ 이내로 억제하기 위해서 더 강력한 탄소가격을 부과해야 한다고 하지만, 현실적으로는 각국의 경제상황에서 감당할 수 있는 수준에서 세율은 결정될 것이다. 특히, 우리나라는 석유화학, 정유, 철강, 시멘트 산업과 같이 탄소다배출산업의 국가경제에 대한 기여도

높다는 점을 고려할 때 세율을 지나치게 높게 결정하기는 쉽지 않으며, 적절해 보이지도 않다. 게다가 우리나라는 이미 ETS를 통해 GDP 대비 가장 높은 수준의 탄소가격을 지불하고 있다. 이러한 점을 고려할 때 탄소세를 도입하더라도 탄소세의 세율은 제한적으로 결정해야 할 것이다. 참고로, 우리나라도 영국의 사례처럼 탄소세를 ETS의 가격 불안정성 아래에서 탄소가격의 하한을 보장하기 위한 수단으로 활용하는 것을 고려해 볼 필요가 있다. 그렇지만 우리나라에서 각 세목의 세율은 조세법률주의에 따라 세법의 개정을 통해 결정한다는 점을 감안하면, ETS 가격의 변동성에 맞춰 세율을 수시로 조정할 수 있을지 실무적으로 어려움이 있을 것으로 보인다. 끝으로, 탄소세를 도입할 때 기존 에너지세는 어떻게 해야 하느냐의 문제이다. 기존 에너지세를 탄소세로 아예 전환하자는 주장도 등장하고 있으나, 탄소세가 기존 에너지세를 완전히 대체하기에는 충분치 않아 보인다. 에너지세의 부과목적은 외부비용의 내재화뿐 아니라 산업보호, 응능원칙에 따른 세수 확보, 특정 부문에 필요한 안정적인 재원마련 등 다양한 요소가 존재한다. 에너지세를 교정적 기능에 초점을 맞춰 생각하더라도 에너지 사용에 따른 외부비용은 단지 온실가스 배출로 인한 기후변화만 있는 것이 아니다. 단적인 예로, 수송 부문의 경우 다양한 환경비용과 더불어 혼잡비용과 사고위험비용 등이 모두 외부비용에 속한다. 탄소세는 사실상 환경과 관련한 외부비용만을 대표할 수 있을 뿐 다른 과세목적을 충족시키기는 어렵다. 따라서 탄소세를 도입한다고 가정하면, 기존 에너지세를 완전히 탄소세로 대체하는 것보다는 기존 에너지세 세율의 일부를 탄소세로 대체하여 세금 총액은 크게 바꾸지 않으면서 기존 에너지세를 에너지 소비세와 탄소세로 단순화시키고 통합하는 방식이 보다 적절하다고 판단된다. 탄소세가 기존 에너지세를 좀 더 단순명료화시키고 효율적으로 운영하도록 개선하는 수단으로 활용하는 편이 보다 합당하다고 생각한다.

참고문헌

국내 문헌

- 관계부처 합동, 「2050 탄소중립」 추진전략, 2020.12.7.

외국 문헌

- IMF, Focus Monitor: How to Mitigate Climate Change, 2019.10
- IPCC, Special Report: Global Warming of 1.5°C, 2018
- OECD, Effective Carbon Rates 2021: Pricing Carbon Emissions through Taxes and Emissions Trading, 2021
- OECD, Taxing Energy Use 2019: Using Taxes for Climate Action, 2019
- Parry et al. Carbon Pricing: What Role for Border Carbon Adjustments?, IMF STAFF CLIMATE NOTE 2021/004, 2021

웹사이트

- Global Carbon Project 홈페이지, <https://www.globalcarbonproject.org/>
- World Bank 홈페이지, <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>



정의로운 전환을 위한 제언¹⁾

여 형 범

충남연구원 연구위원(hbyeo@cni.re.kr)

1. 서론

탄소중립과 관련하여 정의로운 전환은 ‘탈탄소 세계로 이행하는 과정과 결과가 공정하고 정의로워야 한다’라는 명제를 원칙으로 둘 수 있다. <표 1>은 정의로운 전환과 관련하여 대체로 합의된 원칙이다. 탈탄소 전환, 노동자와 지역사회 지원, 환경피해 복원 및 기업의 책임, 기존의 불평등 해소, 모든 이해당사자의 실질적인 참여 등이 포함된다(<표 1> 참고).

표 1 정의로운 전환에 대한 공유된 원칙

- 적극적으로 탈탄소화를 고취하기
- 해당 부문에서 탄소 잠김과 더 많은 패배자를 만들어내지 않기
- 영향받는 지역들을 지원하기
- 폐쇄나 축소에 영향받는 노동자, 가족과 더 넓은 공동체를 지원하기
- 환경 피해를 복원하고, 관련된 비용들이 민간 부문에서 공공 부문으로 이전되지 않도록 보장하기
- 기존의 경제적 및 사회적 불평등을 해결하기
- 포괄적이고 투명한 계획 절차를 보장하기

자료: Aaron Atteridge and Claudia Strambo, Seven principles to realize a just transition to a low-carbon economy, SEI policy report, 2020.

다만 정의로운 전환이라는 개념은 사용하는 사람에 따라 포괄하는 범위가 매우 다르다. 정의로운 전환은 미국에서 1980년대부터 환경정책 강화에 대한 노동조합의 요구 사항이었으며, 2000년대를 거쳐 2015년 파리 기후변화협약 및 지속가능발전목표라는 전 세계적 약속에 포함되었고, 최근에는 사회 불평등 해소를 위한 사회적 전략으로 확장되고 있다. 이 글은 정의로운 전환 개념이 탄생하고 확장되는 과정과 국내·외 정의로운 전환 정책 사례들을 살펴보고, 국내 정의로운 전환 정책이 보다 진전되기 위해서 개선되어야 할 지점들을 제안하고자 한다.

2절에서는 정의로운 전환의 개념을 정리한다. 정의로운 전환 개념을 ‘노동자를 위한 슈퍼펀드’, ‘죽은 지구에는 일자리가 없다’, ‘누구도 뒤처지게 두지 않겠다’, ‘기후 변화가 아닌 시스템 변화’라는 슬로건을 중심으로 정리한다. 3절에서는 정의로운 전환 관련 국내·외 정책 사례들을 살펴본다. 4절에서는 정의로운 전환 정책 추진을 위한 추가적인 논의사항들을 제안하도록 한다.

2. 정의로운 전환 개념의 탄생과 확산

1) 노동자를 위한 슈퍼펀드(superfund for workers)

1978년 미국 러브커널이라는 도시에서 화학물질 불법매립으로 인한 최악의 토양오염 사건이 발생했다. 미국 정부는 러브커널 비상사태를 선포하고, 1980년 화학산업에 대한 환경규제를 강화하는 법을 제정하여 오염된 토지를 복원하기 위해 화학산업에 세금을 부과하는 제도를 마련하였다. 일명 슈퍼펀드라 불리는 제도이다.²⁾ 대상이 되는 오염토양은 제조업 설비, 화공플랜트, 폐기물 매립장, 광산부지 등을 포함한다. 미국 슈퍼펀드 제도의 핵심은 오염 원인자가 오염토양 복원을 책임져야 한다는 것이다. 다만 책임질 주체를 확정할 수 없는 경우 정부가 슈퍼펀드를 이용하여 오염부지를 정화하는 역할을 수행한다.

슈퍼펀드 도입 당시 환경규제 강화로 인한 화학산업 위축에 대해 노동조합은 어떻게 반응했을까? 화학산업의 변화 필요성을 받아들이면서 퇴직 또는 이직해야 하는 노동자들이 안정적으로 새로운 삶의 시작할 수 있도록 돕는 슈퍼펀드 제도 마련을 요구하였다. 1993년 미국 석유·화학·원자력노조(OCWA)의 토니 마조치(Tony Mazzocchi)는 “오염토양을 위한 슈퍼펀드가 있을 수 있다면, 노동자를 위한 슈퍼펀드도 있어야 한다”고 주장하였다. 오염산업규제로 인한 비용을 노동자들이 퇴직 또는 조기은퇴로 감당하는 것이 아니라, 사회 전체가 공정하게 나누어 부담해야 한다는 것이다.³⁾ 미국 정부는 ‘노동자를 위한 슈퍼펀드’ 제안을 받아들이지 않았지만, 노동조합은 이를 지속적으로 요구하였다. 1990년대 중반부터 노동조합은 ‘노동자를 위한 슈퍼펀드’ 대신

1) 이 글은 여형범(2021)의 내용을 보완한 것임.

2) 슈퍼펀드는 1980년 12월 개정된 ‘종합적 환경 대응, 보상, 책임법(The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act)’의 약칭이다. 슈퍼펀드에 대한 더 자세한 내용은 다음 자료를 참조하면 된다. 김주영, 2020, US EPA 슈퍼펀드 프로그램의 최신 운영성과, KEITI 국내외 IP 분석보고서. 미국 환경청 슈퍼펀드 홈페이지(<https://www.epa.gov/superfund>)

3) ‘노동자를 위한 슈퍼펀드’ 주장 이전에도 산업전환 과정에서 노동자를 지원하는 정책을 마련할 필요성은 제기되었다. 특히 ‘노동자를 위한 슈퍼펀드’를 주장한 토니 마조치는 1970년대 냉전 종식 이후 군수산업 노동자 및 퇴역군인을 위한 지원 제도를 요구된 바 있다.

‘정의로운 전환’을 공식적인 용어로 사용하기 시작했다.⁴⁾ 1997년에는 조직된 노동자들과 최전선에 있는 공동체 대표들이 함께 정의로운 전환 동맹(Just Transition Alliance)을 설립하였다. 정의로운 전환 동맹을 통해 환경정의 그룹도 정의로운 전환의 개념과 의제를 공유하고자 노력했다.

정의로운 전환 개념은 2000년대를 거치면서 국제노동기구 및 국제노동조합의 노력으로 전 세계적으로 공유되고 확산되었다. 대표적으로 국제노동조합연맹(ITUC)의 전신인 국제자유노련(ICFTU)은 2000년부터 정의로운 전환 개념을 문서에 사용하였다⁵⁾. 국제노동기구(ILO)도 2008년부터 녹색일자리와 정의로운 전환을 다루는 프로그램을 개발해 왔다. ILO가 2008년 유엔환경계획(UNEP), 국제사용자기구(IOE), ITUC 등과 함께 발간한 보고서인 <녹색 일자리(Green Jobs)>는 녹색경제의 출현이 일자리에 미칠 영향을 검토하면서 정의로운 전환의 필요성을 강조하였다. ILO는 정의로운 전환과 관련하여 2013년 「지속가능발전, 괜찮은 일자리, 녹색일자에 관한 총회 결의안」을 채택했다. 당시 결의안에 괜찮은 혹은 양질의 일자리(decent work)를 위한 4개의 원칙·기둥(pillar)을 ①사회적 대화(Social dialogue), ②사회적 보호(Social protection), ③노동 권리(Rights), ④적극적 노동시장정책(Active labour market policies)으로 제시하였다. ILO는 2015년 「모두를 위한 환경적으로 지속가능한 경제와 사회를 향한 정의로운 전환 지침」(Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all)을 통해 정의로운 전환에 관한 11개의 비전을 제시하고 7개의 이행 원칙(지침 제13조) 및 9개의 핵심 정책영역(지침 제14조)을 제시하고 있다(ILO, 2015; 김종진, 2021).

표 2 ILO 정의로운 전환 지침의 일곱 가지 이행 원칙

- 지속가능성을 위한 목표와 경로에 대한 강력한 사회적 합의
- 작업장에서의 권리를 존중하는 정책
- 환경적 도전과 기회에 있어서 성별 차원에 대한 강력한 인식 및 공정한 결과를 촉진하기 위한 정책적 고려
- 전환을 위한 환경을 창출하기 위해 경제, 환경, 사회, 교육, 훈련, 그리고 노동 영역을 포괄하는 통일성 있는 정책의 마련
- 전환이 고용에 미치는 영향의 예측, 실직과 해고와 관련된 사회적 보호, 직업능력개발, 단결권과 단체교섭권을 포함하는 사회적 대화
- 정책과 프로그램을 만들 때 각 국가의 발전단계, 경제부문, 기업 업종과 규모 등 특수한 조건을 고려함 (모든 경우에 들어맞는 하나의 정책은 없음)
- 국가 간의 국제적 협력의 중요성

자료: ILO, Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all, 2015.

2) 죽은 지구에는 일자리가 없다(no jobs on a dead planet)

국제노동단체들의 노력으로 정의로운 전환이 파리 기후변화협약 등 기후와 환경 의제에 포함되는 성과를 이

4) 토니 마조치에 대한 자서전을 집필한 레스 레오폴드에 의하면 환경단체들은 ‘슈퍼펀드’라는 명칭이 부정적인 의미를 연상시킨다는 점에서 다른 용어로 바꿀 것을 요구했고, 이런 요구에 따라 ‘정의로운 전환’이라는 명칭을 사용하게 되었다고 말한다. Les Leopold, 2007, The Man Who Hated Work and Loved Labor (White River Junction, VTP Chelsea Green).

5) ITUC 및 ILO 등 국제노동기구 및 국제노동단체의 정의로운 전환에 관한 보다 자세한 내용은 노라 래첼-데이비드 우젤(2019)를 참고하면 된다.

른다. 당시 국제노동조합은 “죽은 지구에는 일자리가 없다”는 슬로건을 사용하였다. 기후변화에 대한 즉각적인 대응이 필요하다는 점을 강조하면서, 노동자들이 이에 기여하기 위해서는, 사회안전망을 강화하고 좋은 녹색일자리 만들기 위한 대대적인 투자가 필요하다는 요구였다. 2015년 파리 기후변화협약 전문에 포함된 해당 내용은 <표 3>과 같다. 국제적인 기후운동과 노동운동 그룹은 정의로운 전환을 현장에서 현실화하기 위한 구체적인 제안을 만들어가고 있다.

표 3 파리 기후변화협약에 포함된 「정의로운 전환」

“당사자들이 기후변화뿐만 아니라 그에 대한 대응 조치에서 비롯된 여파에 의해서도 영향을 받을 수 있음을 인식하고, 기후변화 행동, 대응 및 영향이 지속가능한 발전 및 빈곤 퇴치에 대한 공평한 접근과 본질적으로 관계가 있음을 강조하며, (중략) 국가적으로 규정된 발전 우선순위에 따라 노동력의 정의로운 전환과 좋은 일자리 및 양질의 직업 창출이 매우 필요함을 고려함”

기후 정책의 영향을 받는 부문이나 지역들은 이미 다른 변화나 과제를 경험하고 있기도 하다. 어떤 산업은 지구화, 자동화, 다른 기술 발전에 따라 이미 상당한 일자리 상실을 보이고 있다. 지역적 관점에서, 특정 산업에 대한 의존도가 높은 지역은 그 산업이 위축되거나 없어지면 대규모 실업과 인구 감소 등의 문제를 겪게 된다. 새로운 일자리가 만들어질 가능성이 없는 지역이라면 이런 위험은 더욱더 커진다. 그리고 대부분의 국가에서 가장 직접적인 영향을 받는 그룹은 전통적인 중후장대형 산업에 근무하는 저숙련 노동자이다. 다만 지역적 특성과 산업적 특성에 따라 노동자와 지역사회 영향은 매우 상이할 것이다(NFS, FES and DGB, 2021).

이런 점에서 2018년 24차 기후총회에서 채택된 실레지아 선언은 노동자뿐만 아니라 지역사회와 다양한 이해 당사자들의 연대가 정의로운 전환에 중요하다는 점을 강조한다. 당시 발생한 프랑스 ‘노란조끼’ 사건 등에서 볼 수 있듯이 전환 과정에서 드러나는 사회적 불평등에 대응하지 않고서는 전환이 불가능하다는 인식이 있었다. 실레지아 선언은 파리 기후변화협약의 정의로운 전환 규정을 기본으로 지역경제와 지역공동체 활성화, 노동자와 지역사회의 참여, 다양한 이해당사자의 연대를 강조하였다.

2021년 11월에 개최된 제26차 기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 EU, 영국, 벨기에, 캐나다, 덴마크, 프랑스, 독일 등은 정의로운 전환 선언을 채택하였다. 정의로운 전환 선언은 전환 과정 노동자들의 새로운 일자리 지원, 사회적 대화와 이해당사자 참여를 지원 및 촉진, (저개발국, 개도국 등) 탄소 집약적 경제에서 탄소중립 경제로 전환할 수 있도록 지원, 지역의 포용적이고 좋은 일자리(local, inclusive, and decent work) 창출, 특정 산업뿐만 아니라 공급망 전체의 지속가능한 전환을 추진, 국가별 정의로운 전환 노력에 대한 정보를 NDC에 포함 등의 내용을 담고 있다.⁶⁾

3) 누구도 뒤처지게 두지 않겠다(leave no one behind)

정의로운 전환이 제기하는 문제의식은 기후와 환경 의제에만 국한되는 것이 아니다. 2015년 UN은 수년간의 준비를 거쳐 2030년까지 전 세계가 달성해야 할 17개의 목표를 담은 지속가능발전목표를 발표하였다. 서문에

6) 더 자세한 내용은 다음을 참조하라. <https://ukcop26.org/supporting-the-conditions-for-a-just-transition-internationally/>

서 “누구도 뒤처지게 두지 않겠다”는 슬로건이 반복되고 있다. 2030년까지 경제, 사회, 환경적 지속가능성을 달성하기 위한 전 세계적인 노력이 누군가의 삶을 개선하는 데는 기여하지 못하거나 오히려 피해만 입을 수 있다는 문제의식이 포함되어 있는 것이다. 정의로운 전환은 “누구도 뒤처지게 두지 않겠다”라는 UN 지속가능발전 목표의 문제의식과 맞닿아 있다.

UN 지속가능발전목표는 17개 목표가 서로 긴밀하게 연결되어 있다는 점을 강조하는데, 정의로운 전환은 기후대응(목표 13), 에너지(목표 7), 좋은 일자리와 경제성장(목표 8)뿐만 아니라 빈곤종식(목표 1), 건강(목표 3), 교육(목표 4), 지속가능한 소비(목표 12), 회복력 있는 도시(목표 11) 등과도 연관된다. 정의로운 전환이 산업정책과 노동정책에 그치는 것이 아니라 지속가능발전 관련 모든 분야에 연결되어야 한다는 점을 이해시킬 필요가 있다. 즉, 정의로운 전환은 기후뿐만 아니라 대전환 과정에서 사회 전체의 과제로 볼 수도 있을 것이다.

4) 기후가 아니라 시스템을 바꾸라(system change, not climate change)

위에서 설명한 지속가능발전목표와의 연결성을 고려하면, 정의로운 전환 원칙은 더욱 확장될 여지가 있다. 실제로 환경정의와 기후정의를 고민하는 그룹들은 사회·경제 시스템 자체를 지속가능하게 바꾸는데 기여하는 원칙으로 정의로운 전환 개념을 사용한다. 아래 <표 4>는 기후정의연합의 정의로운 전환 원칙이다.⁷⁾ 기존 산업 체계에서 소외되었거나 전환 과정에서 피해를 입는 지역이나 노동자를 지원하는 것에 그치는 것이 아니라, 재생가능한 생태 경제, 자결권, 자원과 권력의 공평한 재분배, 문화와 전통의 존중, 연대, 즉각적인 행동 등을 통해 사회와 삶을 전환하는 것을 정의로운 전환으로 표현하고 있다.

표 4 기후정의연합의 정의로운 전환 원칙

- 부엔 비비르: 다른 사람들의 희생을 요구하지 않으면서 더 나은 삶을 영위함
- 의미 있는 작업: 사람들이 역량껏 배우고, 성장하고, 발전할 수 있는 기회를 제공함으로써 인간의 잠재력 개발에 중점을 둠
- 자결권: 자신의 삶에 영향을 미치는 결정 과정에 참여할 수 있어야 함
- 자원과 권력의 공평한 재분배: 인종, 계급, 성 등 역사적이고 사회적인 불평등을 변화시키는 메커니즘을 구축하여 자원과 권력을 공평하게 재분배해야 함
- 재생가능한 생태 경제: 생태회복력을 개선하고 자원의 소비를 줄이며 생물다양성과 전통적인 삶의 방식을 복원하고 추출 경제를 끝내고 재생가능한 경제로 나아가는데 기여해야 함
- 문화와 전통: 모든 다양한 문화와 전통을 존중해야 함
- 연대: 모든 공동체는 상호연결되어 있음
- 즉각적인 행동: 우리가 필요한 세상을 지금 바로 구축하는데 나서야 함

자료 : Climate Justice Alliance, Just Transition Principles, 2018; 한빛나라 외. 2020 재인용(일부 용어 수정)

석탄발전소가 없고, 자동차내연기관 산업, 철강 산업 등이 없는 지역은 정의로운 전환과 관련이 없는 것일까? 최근 런던의 시민사회 그룹은 기후정책이 온실가스를 줄이는 것뿐만 아니라 빈곤, 불평등, 건강 등 광범위한 이슈를 해결할 수 있어야 한다고 주장하면서 런던시장에게 “정의로운 전환 도시, 런던”을 만들 것을 요구하고

7) 기후정의연합(Climate Justice Alliance)은 인종과 성, 계층과 지역에 따른 사회·경제적 불평등에 대항하고 기후정의를 실현하기 위한 목적으로 2013년 설립된 미국의 민간단체이다.

있다(<표 5>). 즉, 탄소중립이 사회 전체의 대대적인 전환을 요구한다면 정의로운 전환이라는 과제는 고탄소 산업이 밀집된 특정 지역에만 국한되지 않을 것이다. 온실가스 감축을 위해 자원을 소비하고 버리는데 익숙해진 도시 시스템 자체를 바꾸는 과정에서 나타나는 불평등을 다루어야 한다.

표 5 런던 시민사회의 「정의로운 전환 도시」 개념

정의로운 전환 도시는 “전환의 기회를 최대화하고 공정과 평등을 촉진하기 위한 정책들과 가장 가난하고 배제된 사람들의 필요를 일순위에 놓는 정책들을 추진함으로써 탄소중립 달성과 자연 회복을 위한 매우 빠르고 진지한 단계를 밟아나가는 도시임”

자료: IPPR, London, A Just Transition City, 2021.

환경정의와 기후정의 운동은 기후위기 대응을 불확실한 기술 또는 거짓 해법(false solutions)으로 미래로 미루는 것이 아니라 이미 기후변화로 고통받는 사람들을 위해 ‘지금, 여기’에 ‘뿌리내리는’ 해법을 실행할 것을 요구하였다.⁸⁾

앞서 ‘노동자를 위한 슈퍼펀드’ 주장의 배경이 되었던 슈퍼펀드 제도의 대상지는 환경오염 피해가 빈민, 유색인종, 선주민 커뮤니티와 겹친다. 환경정의 운동은 환경오염이 모든 지역사회에 동등하게 영향을 미치는 것이 아니라는 점에 주목해 왔다. 이러한 불평등을 표현하는 펜스라인 커뮤니티(fenseline community)나 희생 지역(sacrifice zones)과 같은 개념은 자신들이 야기하지 않았음에도 환경오염이나 피해를 과도하게 입는 계층과 지역이 존재함을 강조한다.⁹⁾ 자원개발, 에너지 이용, 기후변화와 관련해 최전선의 커뮤니티(frontline community)라는 표현도 자주 사용된다. 최전선에 놓인 커뮤니티는 기후변화로 인한 기상재해, 해수면상승, 폭염, 가뭄 등의 영향을 가장 직접적으로 받지만, 에너지나 기후변화 정책에서 의사결정의 주체나 정책 대상으로 고려되지 않는다는 점을 지적한다.

최근에는 온실가스 감축 대책뿐만 아니라 기후변화 적응 대책에서도 정의로운 전환 원칙이 중요하게 요구되고 있다. Adaptation Without Borders(2021)는 앞서 소개한 Atteridge and Strambo(2020)이 제시하는 정의로운 전환의 일곱 가지 공통된 원칙이 기후변화 완화(온실가스 감축)에 해당하는 내용으로 설명하며, 이를 기후변화 적응 관점에 맞추어 다음 <표 6>과 같이 수정하였다. 단지 국가 내 또는 지역 내의 불평등이 아니라 지구적 수준에서 기후 불평등을 해소하기 위한 대책을 요구하고 있다.

8) 기후정의 운동 그룹은 거짓 해법의 사례로 COP26에서 채택된 탄소거래제, 탄소포집및저장, 시장-기반 메커니즘을 꼽는다. 이들은 이러한 거짓 해법에 재원을 투자하는 대신 최전선 노동자와 커뮤니티를 위한 정의로운 전환에 투자해야 한다고 주장한다. 좀 더 자세한 내용은 It Take Roots의 COP26 결과에 대한 성명서를 참고하라. <https://climatejusticealliance.org/cop26-statement/>

9) 펜스라인 커뮤니티는 오염업체에 인접한 지역으로 소음, 악취, 화학물질 배출, 교통 등으로 인한 위험에 노출되어 있는 커뮤니티를 말한다. 희생 지역(sacrifice zone)도 비슷한 개념으로, 심각한 환경 변화나 기업의 철수로 영구적으로 손상된 지역이다. 펜스라인 커뮤니티나 희생지역에는 주로 빈민층, 유색인종, 소수자 커뮤니티가 거주한다.

표 6 정의로운 전환에 대한 일곱 가지 원칙 (기후적응 관점)

- 적극적으로 적응을 고취하기
- 적응 “패배자”를 만들거나 기후 리스크를 재분배하는 것을 피하기
- 국제적으로 취약 지역과 지역사회를 지원하기
- 적응 수단들에 부정적으로 영향을 받는 사람과 지역사회를 지원하기
- 위험이 민간 부문에서 공공 부문으로 이전되지 않도록 보장하면서, 기후 위기를 줄이고 적응 비용을 공정하게 부담하기
- 기후 위험의 분배를 포함하여 기존의 지구적 불평등을 해결하기
- 포괄적이고 투명한 계획 절차를 보장하기

자료: Adaptation Without Borders, A Just Transition for Climate Change Adaptation: Towards Just Resilience and Security in a Globalising World(2021), p.11.

3. 정의로운 전환 정책의 사례

1) 해외 국가와 지방정부 차원의 정의로운 전환 정책

현재 EU는 정의로운 전환을 공식적인 정책으로 추진하고 있다.¹⁰⁾ 하지만 정의로운 전환이 공식적인 정책 영역으로 들어오기까지는 수년의 시간이 걸렸다. 유럽위원회는 2015년 회원국들이 온실가스 배출권 거래제의 수익을 정의로운 전환 목적에 사용할 수 있도록 허용하였다. NGO들은 EU 수준에서 정의로운 전환 기금을 따로 설립할 것을 요구하였지만, 유럽 차원의 독자적인 정의로운 전환 기금 설립에 실패하였다. 대신 2017년 석탄 지역의 산업전환 및 지역 전환을 위한 대책을 논의하고 교류하기 위한 플랫폼(Initiative for Coal Regions in Transition)을 설립하였다. 2018년 탈탄소 전환 과정에서 영향을 받는 지방정부를 중심으로 정의로운 전환 시장 포럼(Forum of Mayors on Just Transition)이 구성되어 EU 차원에서 정의로운 전환을 위한 제도 마련을 요구하였다. 유럽의회는 EU 예산 2021-2027에 정의로운 전환을 재정지원하는 방안을 제안하였다. 2019년 제2차 정의로운 전환 시장 포럼이 개최되고 정의로운 전환 시장 선언을 발표하였다. 시장 포럼의 제안은 석탄지역전환 플랫폼에 소개되었다. 유럽차원의 정의로운 전환 제도 마련이 지연되는 동안 유럽 내 갈탄 및 무연탄 생산 지역의 쇠퇴가 계속되고 있다는 점이 강조되었다. 2020년 유럽 집행위원회는 그린딜과 정의로운 전환 메커니즘을 마련하였으며, 석탄지역전환 플랫폼은 정의로운 전환 메커니즘의 시행을 위해 지방정부를 지원하는 정의로운 전환 플랫폼으로 확장되었다(The GreenTank, 2020).

유럽 집행위원회는 유럽 그린딜의 원활한 이행을 위해 석탄산업 등 화석연료 산업에 의존하는 지역을 지원하는 정의로운 전환 메커니즘을 채택하였다. 정의로운 전환 메커니즘은 2030년까지 1천억 유로를 석탄지역에 지원하는데, 지역별 기준(탄소집약도, 석탄광산 고용자 수, 산업 고용자 수 등)에 따라서 국가별 최소 6유로/인의 금액에서 최대 20억 유로에 이르기까지 지원받게 된다. 폴란드처럼 석탄광산이 주요 산업인 지역이 더 많은 지원을 받게 될 것이다.

10) EU 정의로운 전환 메커니즘 도입 과정과 그리스와 폴란드 사례는 다음 문헌들을 인용한 것이다. The GreenTank, Just Transition: History, Development and Challenges in Greece and Europe, 2020. Emilia Ślimko, Territorial just Transition Plans for Polish Coal Regions, 2021.

하지만 EU의 정의로운 전환 메커니즘은 아무런 조건 없이 기금을 지원하는 것은 아니다. 각 지역은 정의로운 전환 계획을 수립해서 EU 집행위원회의 승인을 받아야 한다. 정의로운 전환 계획에 필수적으로 포함해야 할 내용은 <표 7>과 같다. 또한 EU는 국가나 지방정부가 일방적으로 수립하는 것이 아니라 모든 이해당사자가 함께 수립할 것을 요구하고 있다. EU가 요구하는 조건을 만족시키지 못할 경우 매년 지역별로 배당된 기금의 50%를 삭감하여 지원하게 되고 남은 기금은 기준을 만족한 다른 지역에 배분하게 된다. 정의로운 전환 기금으로 지원할 수 있는 프로그램도 제한하고 있다. 원전 건설이나 해체, 담배 관련 산업, 화석 연료 관련 투자, 중소기업 이외의 기업 지원 등에는 기금을 사용할 수 없다(충청남도, 2021).

표 7 유럽 집행위원회의 지역별 정의로운 전환 계획 작성 요구 사항

- 국가 수준의 전환 단계에 대한 로드맵
- 전환에 의해 부정적인 영향을 가장 크게 받는 지역을 확인하기 위한 근거
- 이 지역들이 마주하게 되는 문제들에 대한 평가(일자리 상실, 지역발전 목표와 수요 등)
- 이런 문제들을 해소하기 위해 정의로운 전환 기금이 만들어내는 기여 방안에 대한 설명
- 국가 수준의 전환 계획과 정의로운 전환 기금 지원의 일치성 평가
- 계획의 실행, 모니터링, 평가를 위한 거버넌스 체계 설명
- 기금 운영 방안 설명
- 중소기업 외 지원에 포함시키려는 기업이 있을 경우, 포함시켜야 할 기업의 목록과 지원 근거 제시
- 온실가스 감축을 위한 특정 활동에 투자하는 경우, 이 투자를 지원해야 하는 근거 제시
- 제시된 계획과 EU의 정의로운 전환 메커니즘 및 관련 프로그램의 시너지

자료: 충청남도, 노후석탄화력발전소의 단계적 폐쇄와 친환경에너지(발전소) 전환 타당성 연구(2차년도): 충청남도 정의로운 전환 전략과 과제, 2021.

국가별, 지역별로 정의로운 전환 계획을 수립하여 유럽 집행위원회에 제출하고 있지만, 정의로운 전환 계획의 수립 과정이나 내용에는 격차가 있다. 여기서는 그리스와 폴란드 사례를 살펴보도록 한다.

그리스는 유럽에서 탈석탄을 가장 먼저 선언하고 정의로운 전환 기금을 설립한 국가이다. 이러한 결정에는 석탄광산과 석탄발전소가 위치한 지방정부와 기후·환경단체의 지속적인 요구가 바탕이 되었다. 그리스에서는 2015년 5개 에너지 지역 지방정부들이 온실가스 배출권 거래제 수익으로 국가 정의로운 전환 기금을 설립하자는 제안을 하였으나 채택되지 못했다. 당시 그리스 환경에너지부는 갈탄 지역에 일자리 창출을 위해 기금을 지원하기 위해서는 해당 지역에 특별한 계획이 있어야 한다는 이유로 기금 설립을 거절하였다. 2016년 WWF 그리스는 서부 마케도니아 지역을 탈-갈탄 시대로 전환하기 위한 비용이 포함된 상세한 로드맵을 제출하였다. 2017년 그리스의 지방정부들은 그리스 공공전력회사 노동조합 및 체코와 루마니아의 지방정부와 협력하여 EU-ETS 제도 개혁의 일환으로 유럽 차원의 정의로운 전환 기금 설립을 제안하였다. 2018년 그리스 공공 전력회사 설비의 판매를 규정하는 법률을 제정하는 과정에서 지방정부가 요구한 정의로운 전환 기금 설립이 다시 표면화되었다.

2018년 그리스 정부는 지방정부의 정의로운 전환 기금 설치 제안을 받아들이고 기금 설립을 위한 준비를 시작하였다. 2019년 그리스는 2028년까지 갈탄 광산을 폐쇄하기로 결정하였고, 2023년까지 기존 갈탄발전소를 폐쇄하기로 하였다(신규 건설 중인 Ptolemaida V는 2028년까지만 운영). 이와 함께 그리스 정부는 온실가스 배출권 거래제 수익의 6%(2018년 기준 31.4백만 유로)를 갈탄지역에 지원하기로 결정하였다. 또한 2019

년 12월 부처 합동으로 탈석탄위원회를 설치하여 정의로운 전환 개발 계획(Just Transition Development Plan)을 수립하기로 하였다. 법적, 제도적 준비를 거쳐 2020년 5월 관계 부처와 기관, 공공전력회사 대표, 서부 마케도니아 지역정부 수장 등 34명의 위원으로 구성된 거버넌스가 구성되었다. 위원회 내에 전환 이슈(토양 복원, 기존 기반시설의 활용, 투자 평가 등)를 검토하기 위한 7개의 부문위원회가 설치되었다.¹¹⁾ 2020년 9월 정의로운 전환 개발 계획 초안이 발표되었다. 이와 별도로 그리스는 EU 정의로운 전환 메커니즘에 따라 지역 정의로운 전환 계획 수립을 진행하였다.

그리스의 지방정부는 국가와 EU 차원의 네트워크를 통해 논의를 확장해나갔다. 또한 노동조합, 환경단체, 지역사회 단체들이 참여하는 대중적인 토론회 입장을 정리하고 대안을 만들어내는데 도움이 되었다. 석탄산업 폐쇄가 닥쳐오는 지금, 석탄지역의 미래에 대한 더 많은 그룹과의 대화와 협력은 더욱 시급한 일이 되고 있다. 2023년까지 갈탄에 의존하던 그리스 석탄지역 경제가 체질전환 하기는 매우 어려울 것이다. 하지만 이 기간 동안 유럽과 국가 수준의 관심과 재정 지원을 바탕으로 앞으로 15~20년 동안 지속가능한 경로로 지역경제를 변화시키는데 필요한 준비를 할 수 있다. 단지 갈탄을 대신하는 거대한 경제활동이 아니라 다양한 부문의 차별화된 발전 모델들이 담겨야 한다. 지역 공동체를 위한 편익을 최대화할 필요가 있으며, 이를 위해 에너지 공동체 제도를 활용할 필요가 있다. 또한 갈탄 지역의 에너지 특성도 보존되어야 한다. 기존 갈탄 시설들을 전력 저장 설비(열원 형태)로 활용하거나 다른 에너지 저장 기술 개발(양수발전, 수소 등)을 개발하는데 활용할 수 있다. 이런 계획 수립과 실행에는 지역의 이해당사자들이 적극적으로 참여해야 할 것으로 보인다(The GreenTank, 2020).

유럽에서 석탄산업 규모가 가장 큰 폴란드에서도 정의로운 전환 계획 수립을 진행하고 있다(Slimko, 2021). 폴란드의 지역 정의로운 전환 계획 수립은 두 가지 경로로 이루어지고 있다. 하나는 국가 수준에서 기후환경부가 국가 정의로운 전환 계획(NJTP)을 수립하고 있다. 또한 여섯 개 주에서 지역 정의로운 전환 계획(TJTP)을 각기 준비하고 있다. 유럽 집행위원회는 컨설팅 회사인 PwC를 통해 지역 정의로운 전환 계획 수립을 지원토록 위탁하였다. 여섯 개 석탄지역은 계획 수립을 위해 유럽 집행위원회, 폴란드 관계 부처, 지역개발기관, 지방정부, 상인회, 기업조직, 과학 및 교육 기관 대표, 비정부조직, 노동조합, 언론 등이 참여하는 특별위킹그룹(Marshal's Office)을 구성하였다.

각 지역마다 정의로운 전환 계획의 수립이나 의견 수렴 방식은 매우 다르다. 동부 비엘코폴스키에(Eastern Wielkopolska) 지역은 가장 적극적으로 참여적인 계획 수립 방식을 도입하였다. 반면, 루벨스키(Lubelskie) 지역에서는 시민단체와 환경단체가 계획 수립 과정에 전혀 참여하지 못하고 있다. 정의로운 전환 계획을 통해 제시해야 하는 목표도 상이하다. 이 지역들이 EU 정의로운 전환 기금을 지원받기 위해서는 2030년까지 광산을 폐쇄하는 로드맵을 수립하거나 석탄생산량을 상당히 줄이겠다는 계획을 제출해야 한다. 유럽위원회는 석탄광산이 2030년을 넘어서도 운영될 경우 기금 지원을 할 수 없다는 입장이다. 하지만 현재 동부 비엘코폴스키에 지역을 제외한 다섯 개 지역에서는 석탄 채굴을 2030년을 넘어서도 계속되는 것으로 계획하고 있다. 이 때문에 EU 정의로운 전환 기금의 폴란드 배분액이 삭감될 여지가 있다.¹²⁾

11) 국가 차원의 위원회에는 다섯 개 갈탄지역 지방정부, 노동자 대표, 시민단체 대표는 포함되지 않았다. 7개의 부문위원회에도 노동자, 학계, 시민사회 대표는 포함되었으나 갈탄 지역 지방정부는 포함되지 않았다.

12) 다만, 유럽위원회는 북부 실레시아 지역(Upper Silesia)의 경우 유럽에서 가장 큰 석탄광산 지역이라는 특성을 고려하여 2030년 목표를 달성하지 못하더라도 기금을 지원할 것이라고 발표한 바 있다(Slimko, 2021).

폴란드는 유럽의 기후변화 정책에 의해 가장 큰 영향을 받을 지역이고 이에 대비하기 위해 지역 정의로운 전환 계획을 수립하였음에도 불구하고, 지역 내 이해당사자들의 참여가 보장되지 않아서 지역 주민들은 아직도 전환이 자신들에게 미칠 영향에 대해 인지하고 있는 상태는 아니다. Slimko(2021)는 지방정부가 보다 적극적인 역할을 담당할 것을 주문한다.

유럽이 파리기후변화 협약 이후 유럽연합 차원에서 정의로운 전환을 제도화하는 과정을 거치고 있는 반면, 미국은 연방정부의 관심이나 추진력이 미흡했다. 과거 오바마 정부는 파리기후변화협약 체결 이후 석탄산업 침체로 쇠퇴하는 지역경제를 회복하기 위해 100억 달러 규모의 파워플러스플랜(POWER + Plan)을 제안한 바 있다. 하지만 의회의 반대와 정권 교체와 맞물리면서 파워이니셔티브(POWER Initiatives)만 제한적으로 추진되는데 그쳤다. 석탄산업 침체와 함께 지역이 쇠퇴된 애플래치아 지역은 (국가 차원의 전면적인 지원이 없는 상황에서) 지역 공동체 중심으로 파워이니셔티브 사업을 활용하여 지역자산 기반 개발, 시민 혁신가 육성, 지역공동체 역량 증진, 건강관리, 농촌과 도시의 연결 등을 추진하였다. 예를 들어, 애플래치아 지역 위원회(ARC)는 2019년 POWER Initiative에 따라 지역사회가 더 다양하고 지속 가능한 경제를 만들 수 있도록 239개의 프로젝트에 자금을 지원하였다. 11개 주의 312개 카운티를 대상으로 하는데, 6개 범주에 걸쳐 다양한 전략을 추진한다(<표 8> 참고).

바이든 정부는 좀 더 적극적이다. 바이든 정부는 취임 직후 '석탄광산 및 석탄발전 지역공동체와 경제 재활성화를 위한 워킹 그룹'을 구성하여 석탄지역 지원 정책을 적극적으로 발굴하고 있다. 실제로 기반시설법이나 일자리계획 등에 석탄지역 활성화를 위한 구체적인 사업들을 포함하고 있다.

표 8 애플래치아 지역 Power Initiative의 여섯 가지 범주

- 비즈니스 개발 프로젝트는 자본, 비즈니스 인큐베이터, 비즈니스 사이트 개발, 비즈니스 기술 지원, 기업가 정신 교육 및 수출 개발에 대한 액세스를 지원한다.
- 교육 및 인력 개발 프로젝트는 성인 교육, 진로 및 기술 교육, 교육 성취/성과, 교사 교육 및 인력 교육을 지원한다.
- 자산 기반 개발 프로젝트(Asset-Based Development projects)는 예술/문화/관광 및 부문 기반 전략을 지원한다.
- 커뮤니티 개발 프로젝트는 커뮤니티 시설, 커뮤니티 인프라, 커뮤니티 활성화 및 교통을 지원한다.
- 시민 기업가 정신(Civic Entrepreneurship) 프로젝트는 지역사회 역량 및 조직 역량을 지원한다.
- 건강 프로젝트는 돌봄, 건강 증진, 질병 예방에 대한 접근성을 지원한다.

자료: Chamberlin, M and N. Dunn, POWER Initiative Evaluation: Factors and Results of Project Implementation, 2019.

EU와 미국 사례 외에도 독일, 스페인, 영국 스코틀랜드에서도 정의로운 전환 정책이 추진되고 있다. 독일은 석탄지역 구조강화법을 통해 석탄 광산 및 발전소가 폐쇄되는 지역에 기반시설 건설과 신규 산업 육성을 위한 다양한 사업(2038년까지 400억 유로 규모)을 지원하고 있으며, 이와 별도로 지역사회 전환역량 강화를 위한 STARK 프로그램도 마련하였다. 스페인은 석탄 광산, 석탄발전소, 원자력발전소가 폐쇄되는 지역들과 다양한 형태의 정의로운 전환 협약 체결하고 유럽 및 국가 기금으로 청정에너지사업 투자, 광산노동자 조기 은퇴, 녹색 일자리를 위한 재교육, 환경복원 등을 지원하였다. 영국의 스코틀랜드 주정부는 2019년 정의로운 전환 위원회를 구성한 후 2021년 3월 정의로운 전환 전략을 발표하였고, 2021년 4월 석유와 가스 산업 중심 지역인 에버딘을 에너지전환지구(energy transition zone)로 지정하여 다양한 패키지 프로그램을 제공하고 있다.

2) 에너지 기업과 투자자의 정의로운 전환

파리협약 체결 이후 노동조합과의 사회적 대화와 투자자들의 주주 개입 등을 통해 기업들도 자신들의 기후계획에 정의로운 전환을 반영하기 시작했다. 덴마크 에너지 기업인 외스테드(Ørsted)는 탄소 집중적인 석유와 가스 활동에서 벗어나 2025년까지 에너지 생산에서 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 설정하였으며, 정의로운 전환을 통해 달성하겠다고 약속했다. 스웨덴 철강기업인 SSAB는 2026년까지 화석연료 없는 철강을 공급하고 2045년까지 탄소중립을 달성하겠다는 계획을 수립하였다. 양질의, 조직화된 일자리가 유지될 것이라는 점을 보장하기 위해 노동조합의 참여가 계획되었다. 이탈리아 에너지 기업인 에넬(Enel)은 유럽에서 적극적으로 정의로운 전환을 받아들인 첫 번째 전력회사이다. 프랑스 전력공사인 EDF에서는 회사의 전통적인 사회적 대화 과정을 통해 정의로운 전환 개념이 등장하였으며 혁신적인 지역 생태적 전환 계약의 개발로 이어졌다. 영국의 에너지 기업인 SSE는 투자자가 개입하여 고탄소 활동에서 나가고 넷-제로로 들어서는 것을 모두 포함하는 정의로운 전환 전략을 수립하였다. 독일의 전력회사인 E.ON도 투자자들의 요청에 따라 정의로운 전환을 위한 구조화된 접근을 개발하여 공공과 사회의 승인을 받았다(Robins et al., 2021).

이 가운데 에넬은 2015년 발전소 해체로 영향을 받는 발전소 주변 지역의 포용적 전환을 촉진하기 위해 ‘Futur-e’ 프로젝트를 시작하였다. 지역 이해당사자들이 참여하여 기존 구조와 기반시설의 용도를 변경하여 지역 경제 성장과 일자리 창출을 위해 활용토록 하는 목적을 가진다. 이 프로젝트는 이탈리아 내 23개의 발전소 플랜트와 한 개의 석탄 광산, 스페인의 4개의 석탄발전 설비를 대상으로 했다. 이후 전 세계에 있는 40개 발전소로 범위가 늘어났다. Futur-e 프로젝트는 노동자들을 위한 다음의 네 개의 실천 영역으로 구성된다. ①직접적으로 영향을 받는 직원들을 위한 적극적인 일자리 탐색, ②지역 내 경제 활동과 고용 촉진, ③직접적으로 영향 받는 노동자의 전문적 재훈련을 진행하고 에넬의 새로운 플랜트에 재고용을 최대화하기 위한 교육과 훈련, ④발전소 폐쇄로 인한 지자체의 재정적 영향을 최소화하는 사업을 통해 지자체의 지속가능성 증진. 또한 에넬은 세계 노동조합과 포괄적인 협정을 맺고, 이탈리아 노동조합과 정의로운 전환 협정을 맺었다. 두 협정은 ①에넬의 공급망 전체에서 인권을 존중하고 공정한 노동 실적을 보장한다는 약속, ②도제 제도(apprenticeship)를 통해 나이 든 노동자에서 젊은 노동자에게 지식 이전, ③내부 이동 및 새로운 기술 창출에 초점을 맞춘 전용 훈련 프로그램, ④화력발전소 노동자들의 경우, 고용 감축이 아닌 고용유지, 재교육, 재배치를 약속하였다(Robins et al., 2021).

3) 국내 정의로운 전환 정책

국내에서도 정의로운 전환이 제도화되는 단계를 밟고 있다. 2050년 탄소중립 추진전략, 공정한 노동전환 지원 방안, 탄소중립기본법 등에 정의로운 전환 원칙과 정책이 담겨 있다. 2021년 9월 제정된 ‘기후위기대응을 위한 탄소중립·녹색성장기본법(이하, 탄소중립기본법)’에도 ‘정의로운 전환’ 규정이 포함되었다. 탄소중립기본법은 기후위기 사회안전망을 마련하고, 정의로운 전환 특별지구를 지정하며, 사업전환 지원 및 자산손실 위험 최소화, 국민 참여 보장, 협동조합 활성화, 정의로운 전환 지원센터 설립 등 정의로운 전환을 위한 제도·시책을 시행하도록 규정하고 있다.



탄소중립기본법에 규정된 정의로운 전환 개념은 주로 온실가스 감축을 위한 정책 맥락에서 논의되고 있다. 지구평균기온 상승을 1.5℃ 이내로 억제하기 위해 2030년까지 현재 전 세계 온실가스 배출량의 50% 이상을 줄이고 2050년 이전까지 탄소중립을 달성해야 한다는 정책 목표와 연계된다. 이러한 정책 목표를 달성하기 위해서는 전 세계적으로 석탄광산 및 석탄화력발전소에 대한 투자를 멈추고 기존 광산과 발전소를 폐쇄해야 하며, 화석연료를 사용하는 내연기관 자동차 대신 전기차나 수소차 생산으로 변경해야 한다. 이러한 산업전환 정책에 대한 수용성을 높이기 위해서는 전환 과정에서 노동자와 지역사회 등이 겪어야 할 피해를 최소화해야 하고, 이를 위한 정책 패키지가 정의로운 전환이라는 것이다.

하지만 탄소중립기본법은 앞서 <표 1>에서 제시하는 정의로운 전환의 원칙들을 충분히 담았다고 보기는 어렵다. 누가 피해 복원과 지원을 위한 비용을 부담할 것인지, 기존의 불평등을 어떻게 해소할 것인지, 포괄적인 정의로운 전환 계획을 투명하게 수립할 수 있는지 등이 명확하지 않다. 탄소중립이 우선적으로 강조되면서 정의로운 전환에 특별히 초점을 맞춘 위원회, 사무국, 계획, 기금 등의 내용도 빠져 있다. 탄소중립위원회 내에서 운영되는 공정전환분과위원회는 정의로운 전환뿐만 아니라 에너지 분권, 기후변화 적응 등을 모두 다루도록 되어 있어 한계가 있다.

한편, 석탄발전소가 밀집해 있는 충청남도에서는 정의로운 전환 전략과 과제를 연구한 바 있다.¹³⁾ 이 연구는 석탄발전소 폐쇄로 인해 노동자와 지역사회가 입는 피해에 집중하지만 산업정책과 노동정책뿐만 아니라 지역, 환경, 문화, 지역 등 좀 더 포괄적인 정책 패키지와 추진기반이 필요하다는 점을 강조한다. 이를 위해 산업 다양화, 노동자 지원, 지역사회 지원, 복원 및 재생, 추진기반 조성 등 다섯 가지 전략(<표 9>)과 서른 가지 과제

13) 충청남도, 노후석탄화력발전소의 단계적 폐쇄와 친환경에너지(발전소) 전환 타당성 연구(2차년도): 충청남도 정의로운 전환 전략과 과제(2021).

를 제시하였다. 충청남도는 정의로운 전환 TF를 구성하고 고용안정선제대응패키지 지원사업을 추진하며 조례 제정을 통해 정의로운 전환 기금을 마련하는 등 국가보다 먼저 정의로운 전환 정책을 추진하고 있기도 하다.

표 9 충청남도 정의로운 전환의 5대 전략

전략	주요 내용
산업 다양화	○ 새로운 산업(에너지, 환경, 해양 등) 육성 ○ 지역경제의 산업전환 역량 구축
노동자 지원	○ 기존 산업 부문 노동자를 위한 지원 ○ 새로운 산업 부문 노동자를 위한 육성
지역사회 지원	○ 주변지역 및 영향지역의 쇠퇴에 대한 대책 ○ 지역사회의 지역전환 역량 구축
복원 및 재생	○ 환경 및 건강 영향에 대한 감시·모니터링·대책 강화 ○ 폐부지 및 폐시설에 대한 깨끗하고 안전한 복원 및 지역 발전을 위한 자산으로 재생
추진기반 조성	○ 다양한 이해당사자의 사회적 대화를 통한 합의 및 계획 직접 참여(위원회 등) ○ 장기적인 전환 과정을 효과적으로 추진할 수 있는 제도적 기반(법, 예산)과 전담조직 필요

자료: 충청남도, 노후석탄화력발전소의 단계적 폐쇄와 친환경에너지(발전소) 전환 타당성 연구(2차년도): 충청남도 정의로운 전환 전략과 과제, 2021. p.234.

4. 국내 정의로운 전환 정책 추진을 위한 추가 논의 사항

정의로운 전환 개념의 역사와 사례에 비추어 보았을 때, 정부의 정의로운 전환 정책은 매우 소극적인 대책에 머무르고 있는 것으로 보인다. 정의로운 전환의 개념, 역사, 실제 사례 등을 참고하여, 이해당사자들이 참여하여 정의로운 전환을 실제로 설계해 나가는 과정이 필요할 것이다. <표 10>에서 제시하는 바와 같은 사항들이 좀 더 심도 있게 논의되길 바란다.

표 10 정의로운 전환 정책 개선 논의 사항(예시)

- 구체적인 탄소중립 목표와 로드맵 설정
- 탄소중립 과정에서 일자리를 잃는 노동자를 위한 녹색 일자리 보장제 도입
- 정의로운 전환 기금 설치·운영
- 사회적 대화
- 정의로운 전환 특별지구 지정 및 정의로운 전환 협약 체결
- 국가, 기업, 지자체 차원의 정의로운 전환 계획 수립
- 정의로운 전환과 기존 사회적 과제 해결의 연결
- 추진 체계 구성



정의로운 전환 기금 설치·운영은 정의로운 전환 프로그램을 실행할 수 있는 안정적인 재원이 필요하다는 점에서 중요하다. 정의로운 전환 기금은 다른 입법안에서 제시하는 탄소중립 또는 기후위기 대응을 위한 기금과는 분명하게 구분되어 노동자와 지역사회 등을 지원하는 목적으로 사용되어야 한다. 석탄화력발전소 폐쇄로 인해 줄어드는 지역자원시설세와 발전소 주변지역 지원사업(전력기반기금)을 고려하여, 지역자원시설세 부과기준을 확대하거나 발전소 주변지역 지원사업의 운용 방법을 개선하여 지자체의 정의로운 전환 기금 사업과 연계될 수 있도록 제도적 개선 방안을 마련할 필요가 있다.

탄소중립기본법에는 정의로운 전환 특별지구 지정이 포함되어 있다. 하지만 탄소중립기본법이나 시행령(안)에는 특별지구 지정을 위해 국가나 지방정부를 비롯한 지역의 이해당사자들의 역할이 분명하지 않다. 기후변화 대응, 탄소중립, 고탄소 산업구조 개편, 공정한 전환 전략 추진 등은 국가의 의무이지만, 동시에 지방정부, 지역사회, 기업, 노동조합을 비롯한 다양한 이해관계자들이 새로운 정책 아이디어를 생산하고 실험하고 확산하는데 기여할 수 있는 여건을 만들어야 한다. 탄소중립전략의 추진 과정에서 기존 산업과 지역경제가 위기에 처하게 되는 지역의 경우, 중앙정부와 지방정부가 ‘정의로운 전환 협약’을 체결하여 지역이 주도적으로 ‘정의로운 전환’을 준비할 수 있다(스페인 정의로운 전환 협약, 스코틀랜드 정의로운 전환 지구 사례).

국가, 기업, 지자체 차원의 정의로운 전환 계획 수립도 필요하다. 정의로운 전환을 위해서는 다양한 분야의 정책과 사업들을 개별적으로 시행하는 것이 아니라 기본 원칙과 방향에 따라 조율하고 종합할 수 있는 계획 수립이 필수적이다. 국가 차원에서 관련 부서를 중심으로 공정한 전환 기본계획 및 실행계획을 수립하고, 탄소중립 및 에너지전환 정책에 영향을 크게 받는 지자체를 대상으로 특별지구 지정 및 정의로운 전환 기금 지원을 받기 위해 정의로운 전환 계획을 수립하도록 의무화할 필요가 있다. 탄소중립 목표 달성을 위한 산업전환 과정에서 사업을 전환해야 하는 (공)기업에 대해서도 공정한 전환 기금이나 관련 지원을 받기 위해서는 노동자와 지역사회를 위한 대책 수립과 실행을 포함하는 공정한 전환 계획 수립을 의무화할 필요가 있다.

정의로운 전환과 기존 사회적 과제 해결의 연결도 필요하다. 탄소중립전략은 기존 산업 내 또는 기존 산업을

대체하는 새로운 산업과 일자리를 만들어낼 것으로 기대되고 있지만, 없어지는 산업/일자리와 새로 만들어지는 산업/일자리는 시·공간적으로 미스매칭될 가능성이 크다. 이 과정에서 주거, 교통, 문화, 복지, 환경 등 생활 기반이 열악한 지역의 경우 새로운 산업과 일자리가 만들어지는 지역이 아닌 빠져나가는 지역이 될 가능성이 커진다. 탄소중립을 위한 녹색산업·녹색금융 사업의 지역재투자 활성화 제도를 통해 지역의 자원(사람, 돈, 자연 등)을 이용한 사업의 이익을 지역사회 전반의 문제를 해결하고 지역사회의 사회·경제적 부와 역량을 증진할 수 있도록 보장해야 한다.

또한 지금까지 탄소중립전략을 위한 전략과 사업은, 기후위기 시대 지역사회의 사회·경제적 회복력을 강화하는 것보다는, 관련 산업을 지원하고 혁신 역량을 증진하는데 우선적인 초점을 맞추고 있기 때문에, 지역 내 단체와 주민들은 탄소중립전략에 대한 이해와 공감을 이끌어내지 못하고 있다. 노동계는 정규직과 비정규직 간 임금과 고용안정성이 매우 큰 차이를 갖는 이중노동시장으로 인한 문제를 지속적으로 제기해왔으며, 지역사회는 균형발전 대책에도 불구하고 인구감소와 지역쇠퇴를 겪고 있는 낙후지역을 위한 특단의 대책이 필요함을 요구해오고 있고, 코로나19 이후 청소, 돌봄, 건강, 안전, 택배 등 지역사회 서비스 영역에서 일자리의 질이 크게 개선되어야 함이 드러나고 있다. 정의로운 전환은 현재의 사회·경제적 구조를 유지한 상황에서 탄소중립 및 에너지전환 정책이 야기하는 피해의 크기를 계산하여 정확하게 보상하는 정책에 그치는 것이 아니라, 현재 문제 되고 있는 사회·경제적 구조로 인해 탄소중립 및 에너지전환 정책으로 인한 피해가 특정 집단과 지역에 집중된다는 점에 주목한다. 따라서 정의로운 전환을 사회·경제적 구조의 개혁을 함께 추구하는 전략 및 사업과 연계시킬 방안이 필요할 것이다.

추진체계와 관련하여 탄소중립 시나리오 작성 과정에서는 온실가스 감축에 초점을 맞추었으나, 2050 탄소중립 목표 및 구체적인 로드맵이 만들어진 후에는 온실가스 감축, 기후변화 적응, 정의로운 전환을 동등하게 강조할 필요가 있다. 국가 탄소중립위원회뿐만 아니라 지역별 탄소중립위원회의 경우도 마찬가지다. 또한 정의로운 전환 지원센터의 설립·운영을 지원할 때, 하나의 기관/단체가 아니라 기존 관련 역할을 수행하고 있던 기관/단체들을 포함하여 다양한 기관/단체들이 공정한 전환 지원 센터로 선정할 수 있도록 설정될 필요가 있으며, 국가 또는 지자체 수준에서 이러한 다양한 정의로운 전환 지원센터를 중심으로 공정한 전환 관련 정보가 소통되고 경험을 교류하는 (온라인/오프라인) 플랫폼을 설립·운영할 필요가 있다.



국내 문헌

- 김종진, 기후위기와 노동의 정의로운 전환: 지속가능한 규칙과 노동시장 상황, 한국노동사회연구소, 2021.
- 김주영, US EPA 슈퍼펀드 프로그램의 최신 운영성과, KEITI, 2020.
- 노라 래첼, 데이비드 우젤(김현우 옮김), 녹색 노동조합은 가능하다: 기후변화 시대, 정의로운 전환의 이론과 현장, 2019.
- 여형범, “정의로운 전환의 개념과 사례,” 『열린총남』, 94호(2021년 겨울호), 2021.
- 충청남도, 노후석탄화력발전소의 단계적 폐쇄와 친환경에너지(발전소) 전환 타당성 연구(2차년도): 충청남도 정의로운 전환 전략과 과제, 2021.
- 한빛나라 외, ‘공정한 전환’을 위한 한국적 맥락 탐색: 석탄발전 부문을 중심으로, 기후사회연구소, 2020.

외국 문헌

- Aaron A. and C. Strambo, Seven principles to realize a just transition to a low-carbon economy, SEI policy report, 2020.
- Adaptation Without Borders, A Just Transition for Climate Change Adaptation: Towards Just Resilience and Security in a Globalising World, 2021.
- Chamberlin, M and N. Dunn, POWER Initiative Evaluation: Factors and Results of Project Implementation, 2019.
- DGB, DGB Charter of Transition, 2021.
- ILO, Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all, 2015.
- IPPR, London, A Just Transition City, 2021.
- Krawchenko, T. A. and M. Gordon, “How Do We Manage a Just Transition? A Comparative Review of National and Regional Just Transition Initiatives”, Sustainability 2021, 13, 6070. <https://doi.org/10.3390/su13116070>
- Leopold, L. The Man Who Hated Work and Loved Labor, 2007.
- NFS, FES, and DGB, The Road Towards a Carbon-Free Society: A Nordic-German Trade Union Cooperation on Just Transition, 2021.
- Robns, N, S. Muller and K. Szwarc, From the grand to the granular: translating just transition ambitions into investor action, 2021.
- Ślimko, S. Territorial just Transition Plans for Polish Coal Regions, 2021.
- The GreenTank, Just Transition: History, Development and Challenges in Greece and Europe, 2020.

웹사이트

- 미국 환경청 슈퍼펀드 홈페이지 <https://www.epa.gov/superfund>
- <https://ukcop26.org/supporting-the-conditions-for-a-just-transition-internationally/>
- <https://climatejusticealliance.org/cop26-statement/>

에너지 지표로 살펴보는 한국의 탄소중립¹⁾

1 이 원고는 한국에너지정보문화재단이 2021년 12월 31일 발표한 「탄소중립 지표」를 기반으로 작성되었으며, 전체 인포그래픽은 에너지정보소통센터(etrans.or.kr)에서 확인 가능합니다.



노 지 은
한국에너지정보문화재단 주임
(rho@keia.or.kr)

강 창 식
한국에너지정보문화재단 실장
(ok@keia.or.kr)

김 택 원
동아에스앤씨 수석연구원/부장
(taeckwonkim@gmail.com)

1. 들어가며

2021년 10월 우리나라는 2030년 ‘국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안’을 확정하여 발표했다. 앞서 8월, 우리 정부는 기후위기 대응을 위한 탄소중립을 법제화하여 ‘탄소중립기본법’을 발표한 바 있다. 10월 확정된 NDC 상향안은 2030년 탄소배출량 감축 목표를 탄소중립기본법에 명시한 것보다 높은 ‘2018년 배출량(727.6백만 톤)대비 40% 감축’으로 제시했다.

NDC가 환경과 산업, 사회 전반에 미치는 영향이 큰 만큼 현재의 NDC가 적절한지에 대해 다양한 의견이 있다. 가장 큰 이슈는 두 가지다. 하나는 한국의 NDC가 국가의 역량 및 국제사회에서의 위상 대비 충분한가, 다른 하나는 경제 발전과 사회적 희생을 최소화하고 NDC를 달성할 수 있는가이다. 한국의 위상을 고려하면 감축목표를 주요 선진국과 비슷한 50% 수준으로 상향해야 한다는 의견이 있는가 하면, 에너지 다소비 산업인 제조업 중심인 한국의 산업구조를 고려하면 현재의 NDC 목표가 산업을 위축시킬 수 있다고 우려하는 의견도 있다.

이처럼 NDC의 현실성에 대해 갑론을박이 오가지만 이미 한국에서는 2000년대 이후 에너지 공급 구조가 변하고 있다. 2002년 이라크 전쟁 이후 신고유가시대가 도래하면서 재생가능한 에너지에 주목한 이래, 2008년 국가 단위의 에너지 공급 정책을 체계화하고자 5년 단위의 국가 에너지 전략인 ‘에너지기본계획’을 수립하여 에너지 전략을 체계적으로 추진하기 시작했다. 이러한 변화는 기후위기 대응뿐 아니라 당시의 산업 및 외교 환경에 따라 이어져온 만큼 현재의 에너지 정책은 2000년대 이후 이어진 긴 흐름의 연장선에서 바라봐야 한다. 이를 위해 국내외 통계자료를 중심으로 국내 에너지 부문의 객관적 실태를 살펴보고자 한다.

2. 지역별 전력자립도의 구조 변화, 중앙집중에서 ‘지역분산’으로

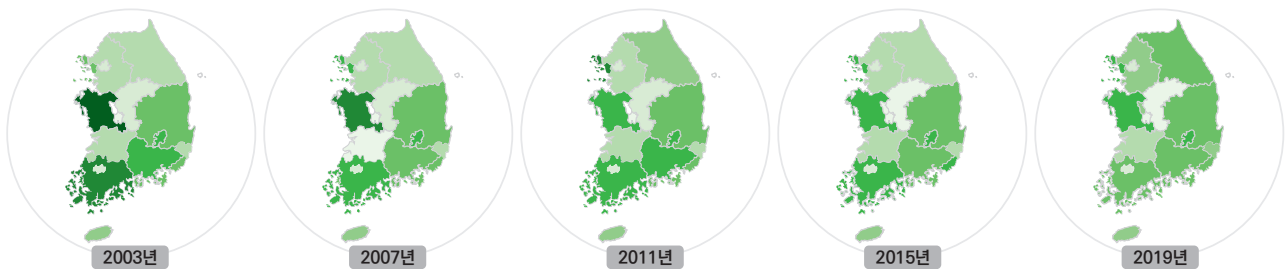
지난 20년간 한국의 에너지 구조에서 가장 분명한 변화는 지리적인 구조, 즉 ‘지역별 전력자립도’다.

한국은 전통적으로 중앙집중형 전력망을 구축해 왔다. 그리고 그 핵심축을 담당한 것이 수요량 변화가 크지 않은 대규모 수요처에 공급하는 데 최적의 조건을 갖춘 기력발전이다. 한국은 고도성장기를 거치면서 산업시설에 전력을 안정적으로 공급하는 것을 우선순위로 뒀다. 소수의 대규모 산업단지에 전력을 공급하는 것은 전통적인 기력발전에 이상적인 여건이었다. 특히 대량의 냉각수를 수월하게 확보할 수 있는 해안 지역이 주요 발전단지로 성장했다. 이에 따라 경북, 경남 지역이 영남권 산업단지에, 전남이 호남권 산업단지에, 충남이 수도권에 전력을 공급하는 구도가 형성됐다.

그러나 2000년대 이후 에너지 안보 및 기후변화 대응을 위해 에너지원을 다변화함에 따라 해안이라는 입지 조건에서 탈피하여 발전소가 여러 지역에 분산되는 움직임이 나타나기 시작했다. 전력수요 다변화에 따른 중앙집중형 수요대응의 한계, 전력소비량 증가에 따른 대규모 송전인프라에 대한 부담도 새로운 발전시설이 여러 지역에 분산되는 요인 중 하나였다. 2003년부터 2019년까지 지역별 전력자립도 현황을 살펴보면 전반적으로 전력자립도의 지역별 격차가 줄어드는 경향이 나타난다는 사실을 확인할 수 있다.

[그림 1]에서 행정구역별 색상은 전력자립도를 뜻하며, 색이 짙을수록 전력자립도가 높다는 뜻이다. 2003년만 해도 충남과 전남의 전력자립도가 유독 높은 상태였으나 시간이 흐를수록 지역별 격차가 줄어드는 모습을 확인할 수 있다. 경남은 1995년 소비량과 발전량이 갑작스럽게 하락하는데, 이는 고리원자력발전소가 있는 기장 지역이 양산군에서 독립해 부산시로 편입됐기 때문이다.

그림 1 연도별 지역 전력자립도 변화



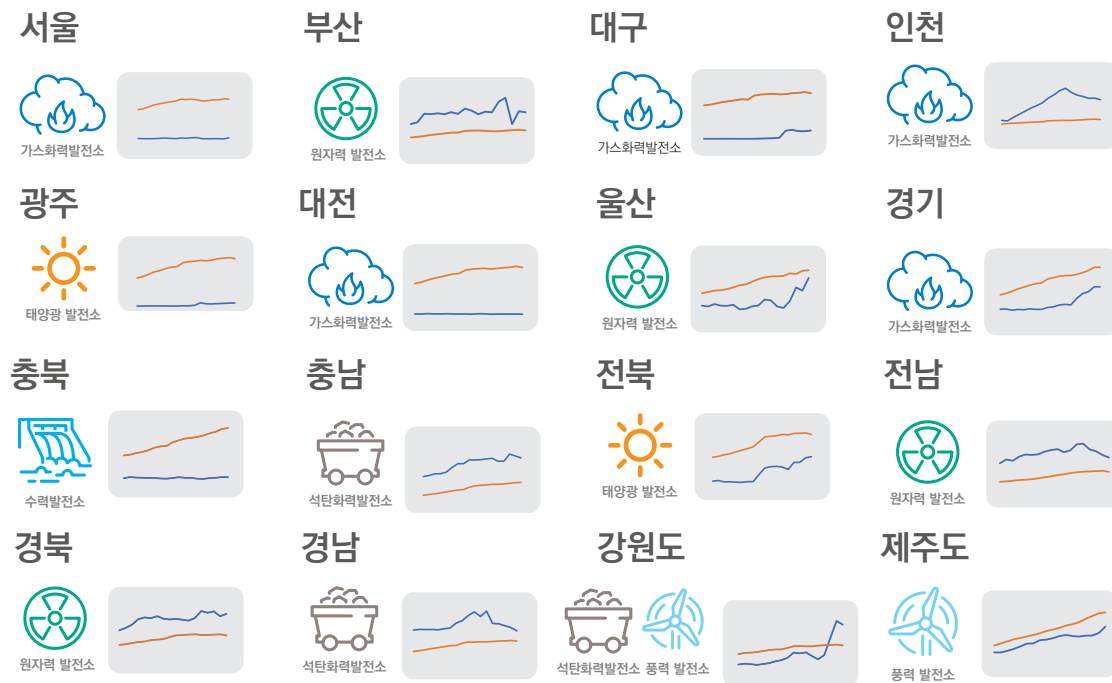
자료: 한국전력공사 「연도별 전력통계」, 산업통상자원부 「에너지사용량통계」

한편 인구가 밀집한 지역일수록 에너지 소비량이 큰 데 비해 발전소를 건설할 부지는 부족해서 전력자립도가 낮게 나타나는 경향이 있는데, 예외적인 지역으로는 충북이 있다. 충북은 도시 수가 적은데도 전력자립도가 낮게 나타나는데, 이는 큰 강이 적은 산지 내륙이라는 특성상 대규모 발전소를 건설할 곳이 마땅치 않기 때문이다. 최근 재생에너지에 대한 투자가 집중적으로 이루어지는 제주, 전북, 강원은 전력자립도보다 포트폴리오 변화에 주목할 만하다. 제주는 풍력, 전북은 태양광, 강원은 태양광 및 풍력을 고르게 육성하며 지역 내 생산되는 재생에너지 비중을 꾸준히 높여 왔다.

지역별 전력자립도가 평균화되는 경향은 [그림 2]에 표현한 지자체별 주요 발전시설과 전력소비량, 발전량 통계를 통해 재확인할 수 있다. 주황색 선이 소비량, 파란 선이 발전량을 나타낸다. 전반적으로 인구가 많은 도시일수록 자립도가 낮고, 전통적인 산업단지일수록 자립도가 높다. 광역시를 제외한 도 차원에서는 충북을 제외하고는 발전량과 소비량이 대체로 일정한 간격을 유지하거나 그 차이가 줄어드는 모습을 볼 수 있다. 특히 울

산, 경기, 전북, 전남, 경남, 강원에서 발전량과 소비량이 수렴하는 모습이 분명하게 관찰된다. 2000년과 2019년을 비교하면 전력자립도는 경기도 43.28%에서 60.13%로, 강원도는 64.44%에서 175.44%로, 전북은 13.98%에서 55.12%로, 제주도는 67.62%에서 74.34%로 각각 개선됐다. 발전시설이 많아 전력자립도가 높은 충남, 전남, 경북, 경남은 모두 전력자립도가 200~400%대에서 100~200%대로 낮아졌다. 이러한 변화에는 다양한 요인이 있겠으나 발전 부담이 특정 지역에 집중된 구조에서 분산되는 방향으로 변화하는 경향성을 확인할 수 있다.

그림 2 지역별 주력발전원, 전력소비량 및 발전량 추이(2003~2019)



자료: 한국전력공사 「한국전력통계」

주: 최근에 독립한 세종특별자치시는 제외했다.

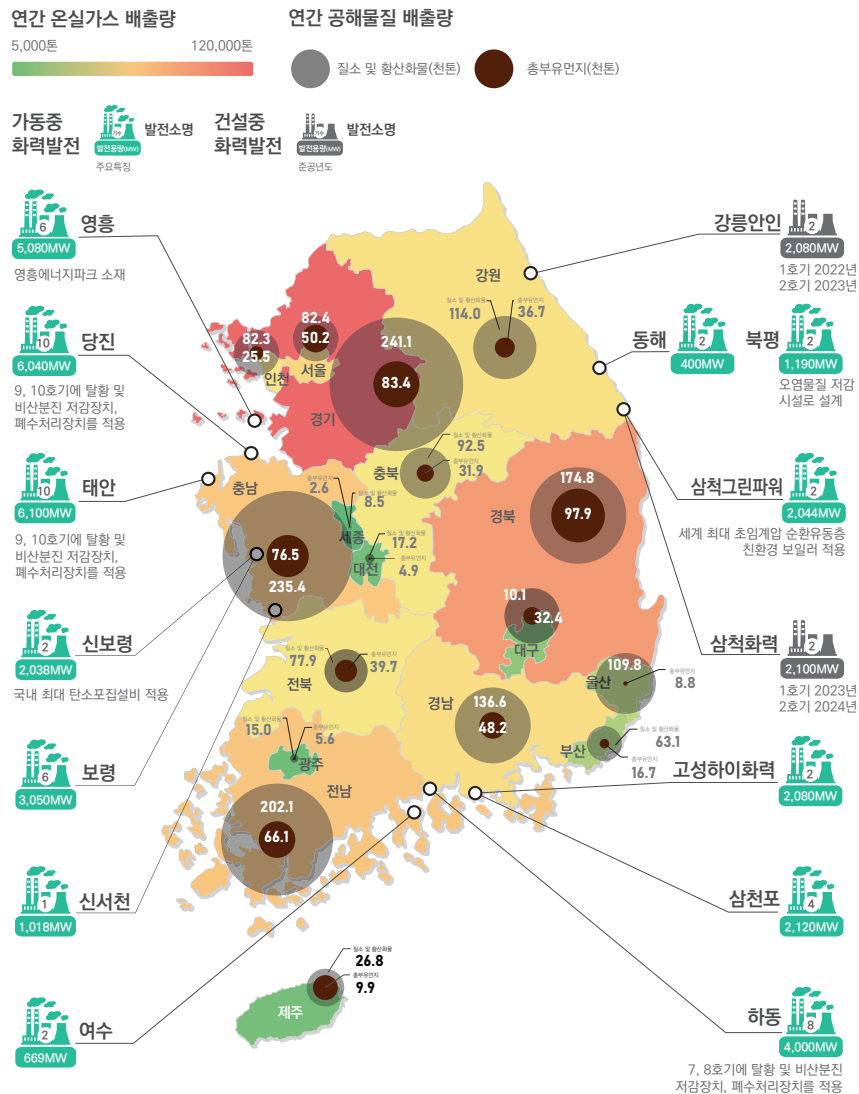
종합하면 한국의 에너지 상황은 지역별 특색을 유지하는 가운데 지역별 전력자립도 격차가 줄어드는 방향으로 변화해왔다고 할 수 있다. 전력자립도에 영향을 주는 요인이 다양하여 핵심 요인을 특정하기는 어려우나, 에너지 소비량은 모든 지역에서 우상향 그래프를 그어왔다는 점에서 신규 발전설비가 여러 지역에 고르게 분산되어 건설된 결과로 파악된다. 다만 이러한 변화가 재생에너지 비중과 연관성이 얼마나 있는지는 아직 명확히 판단하기 어렵다. 뒤에서도 살펴보겠지만 태양광이 크게 증가한 전북, 풍력이 증가한 강원 지역에서 전력자립도가 개선되는 모습이 분명히 관찰되나, 전력자립도에는 전력소비량이나 타 전력원의 발전량 등 다양한 요소가 영향을 미치기 때문에 추후 더 자세한 연구가 필요하다. 그러나 전력자립도의 변화는 에너지전환의 여러 국면 중 하나일 뿐이다. 이후에는 에너지원별, 분야별 변화를 통해 현재 진행 중인 에너지전환의 현주소를 살펴본다.

3. 에너지원별 현황

가. 탄소배출과 대기오염, 두 가지 난관에 직면한 석탄화력발전

석탄화력발전은 석유파동 이후 국내 발전 부문을 책임져 왔다. 석탄화력은 2020년 총 발전량 기준 국내 발전원 중 35.6%로 국내에서 가장 큰 비중을 차지한다. 화력발전 비중은 2010년대 내내 40%대를 유지하다가 2020년에야 비로소 30%대 중반으로 떨어졌다. 기존 화력발전을 가스발전 등 오염물질 배출이 더 적은 발전 방식으로 전환하는데도 석탄화력발전 비중이 일정하게 유지된 이유는 기존 전력수급계획에 따라 계획된 석탄 화력발전소가 완공된 데 따른 것이다. 기존 계획에 따라 2021년 12월 현재 아직 건설 중인 석탄화력발전소도 4기 있지만 2017년 이후 새로 수립된 석탄화력발전소 건설 계획은 없다.

그림 3 지역별 화력발전소 및 대기오염 현황(화력발전소 2021. 12, 대기오염 2019년 기준)



자료: 전력거래소 수급계획팀 「발전설비용량변경문서」, 국가미세먼지정보센터 국가 대기오염물질 배출량 서비스, 온실가스종합정보센터 「2020년 국가 온실가스 인벤토리 보고서」

한국의 석탄화력 비중은 경쟁국가 대비 높은 편으로, 전력통계정보시스템의 2021년 12월 말 자료 기준으로 대규모 석탄화력발전소(기력)는 14개 부지에 총 57기가 가동 중이다. 12월 31일 퇴역하는 호남화력 2기는 제외했다. 구조상으로는 독일과 유사한 면을 보이는데, 독일 역시 재생에너지로 전환을 적극적으로 추진하고 있음에도 제조업 강국이라 에너지 소비량이 많은 데다 동부 지방의 저렴한 고품질 갈탄을 이용한 석탄화력발전의 경제성이 높아 석탄화력발전 비중이 유럽 국가 중 높은 편이다.

이처럼 높은 석탄화력발전 비중은 NDC 이행과 국민 보건에 장애요인으로 작용한다. 석탄화력발전은 발전을 위해 연소하는 과정에서 다양한 대기오염물질을 배출한다. [그림 3]에서 각 지역의 색은 2019년 6월부터 2020년 5월까지의 평균 미세먼지 농도를, 원은 같은 기간 주요 대기오염물질인 질소 및 황산화물, 대기중 총 부유먼지 배출량을 나타낸다. 그림에서 보듯 온실가스 및 공해물질 배출량은 서울을 기준으로 남동축을 따라 높게 나타난다. 특히 수도권과 충남의 대기오염물질 배출량이 높는데, 산업시설이 밀집해 대기오염물질 배출량이 많고 물동량이 커서 화물트럭 운행이 빈번하기 때문이다. 충남은 수도권에 비해 인구 및 산업시설 규모가 더 작은데도 질소 및 황산화물 배출량, 총 부유먼지량은 수도권과 비슷한 것으로 미루어, 충남에 29기가 밀집된 석탄화력발전소의 영향을 짐작할 수 있다. 물론 온실가스 및 미세먼지는 배출 원인이 다양하고 인구밀도 및 산업활동 규모에 가장 큰 영향을 받으므로 화력발전과 단선적인 상관관계를 보이지는 않으나, 대체로 산업시설이 많거나 석탄화력발전이 활발한 지역의 온실가스 및 총 부유먼지 발생량이 높다.

이처럼 석탄화력발전은 화석연료를 태우는 과정에서 온실가스에 더해 대기오염물질을 다량 배출하므로 선진국을 중심으로 석탄화력발전을 점진적으로 줄여나가려 하고 있다. 한국도 노후 석탄화력발전소는 설계수명 만료 이전에 조기 폐쇄할 방침이다. 현재 2034년까지 24기의 석탄화력발전소를 단계적으로 폐쇄할 예정이며, 이에 따라 석탄화력 총 발전량도 1/3 이상 줄어든 전망이다.

나. 원자력 발전과 사용후핵연료 이슈

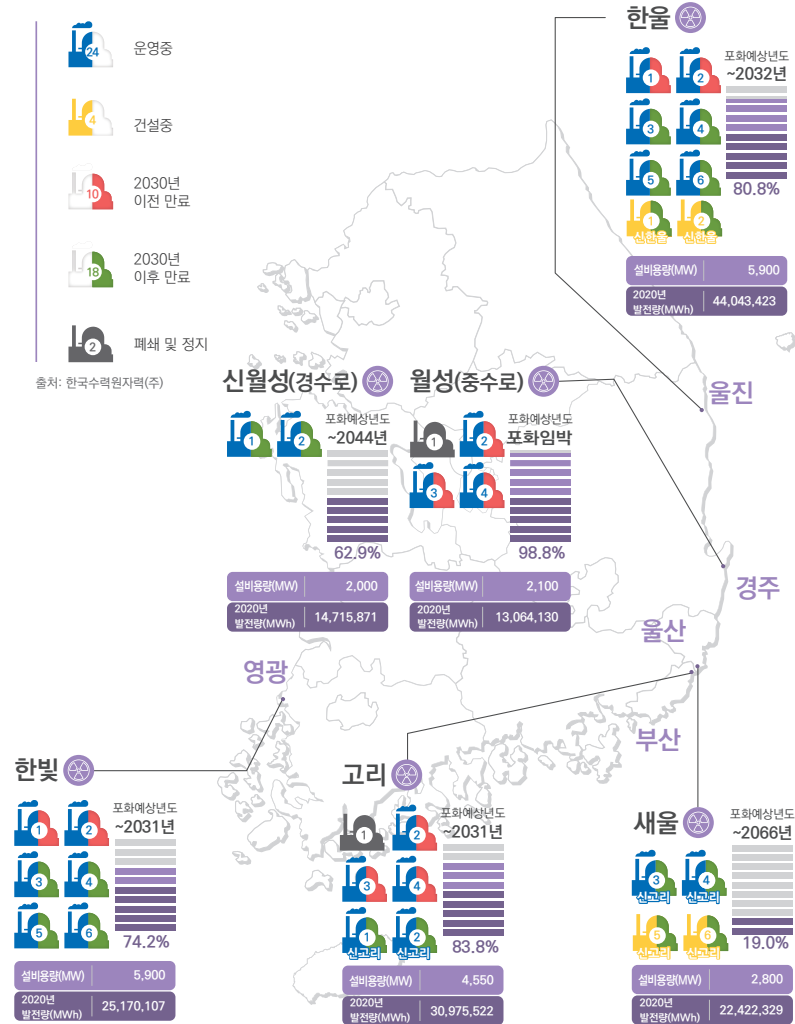
고리 1호기가 첫 가동을 시작한 이래, 1980년대 원자력발전소가 잇따라 건설되며 고도성장기 산업 인프라를 안정적으로 유지하는 데 중요한 역할을 했다. 한국은 2000년대 들어 전체 발전에서 원자력의 비중이 20%를 넘어서고 원자력 수출국의 지위에 오르는 등 주요 원전 국가로 성장했다. 그러나 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 원전의 안전성이 도마 위에 오르면서 기존의 원전 계획을 재검토하는 등 성장세가 정체된 상태다.

원자력발전을 둘러싼 가장 큰 쟁점은 사용후핵연료다. 사용후핵연료는 원자로에서 사용을 끝내고 꺼낸 상태의 연료로, 오랜 시간에 걸쳐 방사선을 내보내는 초우라늄 원소와 장반감기 핵종이 있어 장기간 방사선과 열을 방출하기에 철저한 관리가 필요하다.

사용이 끝난 핵연료는 우선 과도한 반응을 막기 위해 냉각재로 채운 임시저장 시설에 저장, 관리한다. 일반적으로 3년 정도 임시저장 후 사용후핵연료의 물리화학적 상태가 안정되면 영구처분을 준비한다. 문제는 사용후핵연료를 영구처분하려면 10만 년 이상에 이르는 긴 시간 동안 안정성을 유지하며 보관할 수 있도록 거대하면서도 튼튼한 시설이 필요하다는 점이다.

한국은 원자력발전 초기인 1983년부터 사용후핵연료 문제를 논의하기 시작했다. 사용후핵연료를 포함한 고준위방사성폐기물 관련 정책은 역대 정부에서 9차례에 걸쳐 추진됐으나 계속 합의에 이르지 못했다. 사용후핵연료 영구처분장을 건설하면 해당 부지는 사실상 접근과 사용이 불가능해지므로 지자체와 지역주민의 반대가 컸던 탓이다.

그림 4 원자력발전 및 사용후핵연료 저장공간(2021년 12월 현황)



자료: 한국수력원자력(주), 한국원자력산업협회, 한국원자력안전기술원

이를 위해 정부는 고준위 방사성폐기물 관리를 공론의 장으로 끌고 와 공개적으로 논의하고자 관련 근거를 마련하는 한편, 2013년부터 사용후핵연료 공론화위원회를 운영하기 시작해 사용후핵연료 처분의 청사진을 확정했다. 이어 2021년에는 ‘고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법’이 발의되어 독립 행정위원회 설치, 처분장 부지 선정 절차 법제화, 의견수렴 대상 범위 확대와 같은 내용이 담겼다.

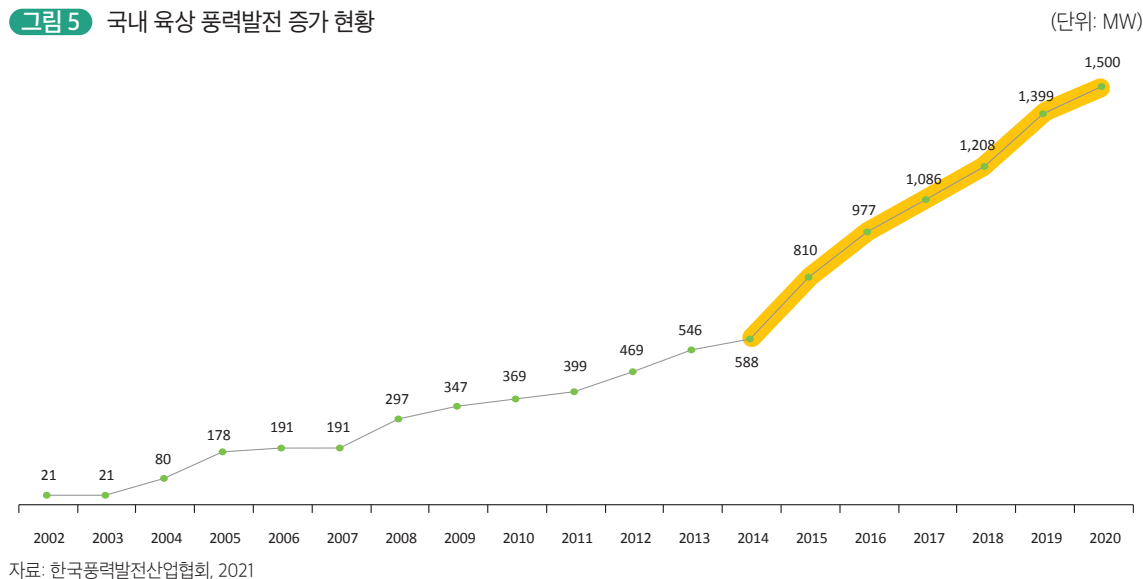
사용후핵연료 영구처분장 건설이 순조롭게 진행되더라도 본격적인 가동은 중간저장시설 2030년, 영구처분시설 2050년 이후가 될 것으로 전망된다. 그러나 이미 전국의 주요 원전에 마련된 임시저장시설은 대부분 조만간 포화를 앞두고 있다. [그림 4]에서 국내 원전 현황과 사용후핵연료 보관상태를 확인할 수 있는데, 월성원전 중수로는 이미 포화가 임박했고, 고리·한빛원전은 2031년, 한울원전은 2032년, 월성원전 경수로도 2044년이면 포화상태에 이를 전망이다. 2021년 현재 월성원전 중수로의 사용 후 핵연료봉 임시저장시설을 추가 건설하고 있어 당장 급한 불은 꺾지만, 어디까지나 임시저장시설을 추가 건설하는 것인지를 영구처분에 이르기까지 시간을 벌었다는 의미만 있을 뿐, 영구처분 논의를 서두를 필요가 있다.

이와는 별개로 정부는 후쿠시마 사고 이후 원자력발전소의 안전 이슈가 부각되면서 신규 원전 계획을 재검토했다. 이에 따라 현재 건설 중인 원전 외 신규 원전 계획은 전면 중단하고 현재 가동 중인 원전도 계속운전 없이 단계적으로 폐쇄하기로 했다. 폐로 수순에 들어간 고리1호기와 계속운전이 취소된 월성1호기를 제외하고 2021년 현재 국내에서 운영 중인 원전은 총 24기로, 현재 4기가 추가로 건설 중이다. 이 중 10기가 2030년 이전 설계수명이 만료되어 가동을 중단하고 2030년 이후에는 18기가 폐쇄된다. 이러한 절차는 예정된 설계수명에 따른 것으로, 결함이 발견되지 않은 상태에서 조기 폐쇄하는 것은 현재 고려되지 않고 있다.

다. 주요 발전원으로 부상한 풍력발전

풍력발전은 경제성이 가장 높은 재생에너지원으로 손꼽힌다. 2020년 조사에 따르면 세계적으로 모든 재생에너지의 LCOE가 화석연료의 발전비용 범위 내에 들어와서 재생에너지원이 화석연료 대비 가격 경쟁력을 확보한 것으로 나타났다(조일현 외). 그러나 세계적인 동향과 달리 국내 육상풍력발전의 LCOE는 세계 평균보다 높아서 풍력발전에 불리한 여건이다. 이로 인해 세계적으로 풍력발전의 경제성이 높음에도 국내 풍력발전설비 확대는 태양광에 비해 더딘 편이었다. 태양광과 달리 풍력 신규 건설은 재생에너지 3020 이행계획에 따른 목표치에 미달해 발전원별 균형 있는 보급이 필요하다는 지적이 제기되기도 했다.

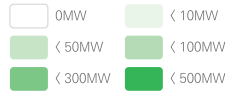
그림 5 국내 육상 풍력발전 증가 현황



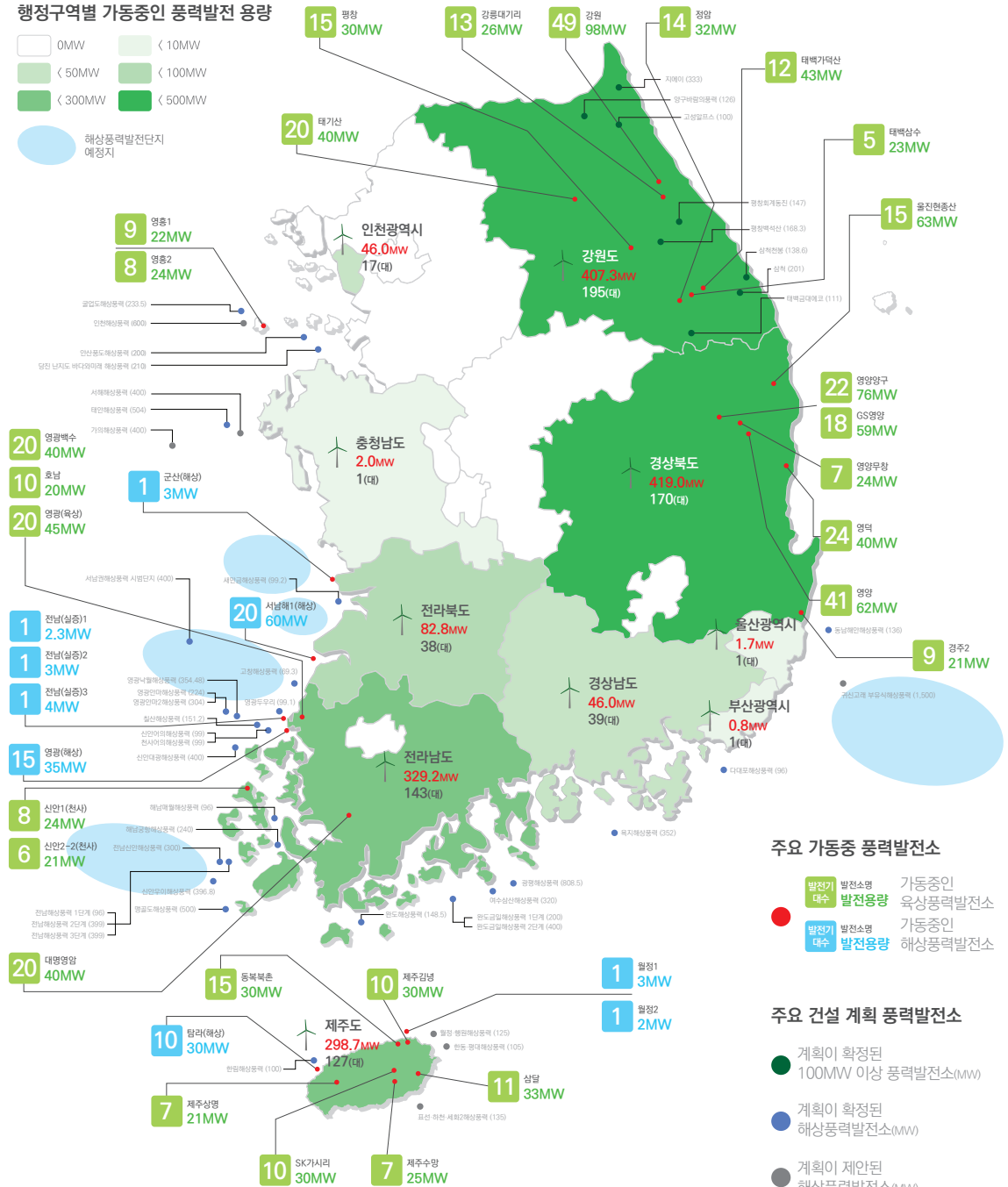
이에 따라 정부에서는 풍력발전 관련 산업을 조기 육성하여 가치사슬을 완성하고 발전단가를 현실적인 수준으로 낮추고자 신규 풍력발전을 정책적으로 지원하고 있다. 정부는 2021년 7월 신재생에너지에 대한 지원 제도인 신재생에너지공급인증서(REC)를 개편하면서 육상풍력과 해상풍력의 가중치를 상향하여 풍력발전 투자 유인을 높였다.

그림 6 전국 주요 풍력발전 설비용량 및 발전량

행정구역별 가동중인 풍력발전 용량



해상풍력발전단지 예정지



자료: 한국풍력발전산업협회, 2021

이러한 노력에 힘입어 [그림 5]에서 보듯 육상풍력발전은 2014년부터 가파르게 증가했다. 국내 누적 설치량은 2016년 1GW를 돌파한 이래 현재 운영 중인 상업용 발전단지는 2019년 기준 전기사업허가를 획득한 상업용 풍력단지만 215개소, 12GW에 달한다. 특히 에너지경제연구원의 2020년 연구에 따르면 2030년까지 kWh당 130원 수준에 이르러 경제성에서 화석연료를 넘어설 것으로 예측되는 등(이근대 외) 풍력발전의 경제성이 국

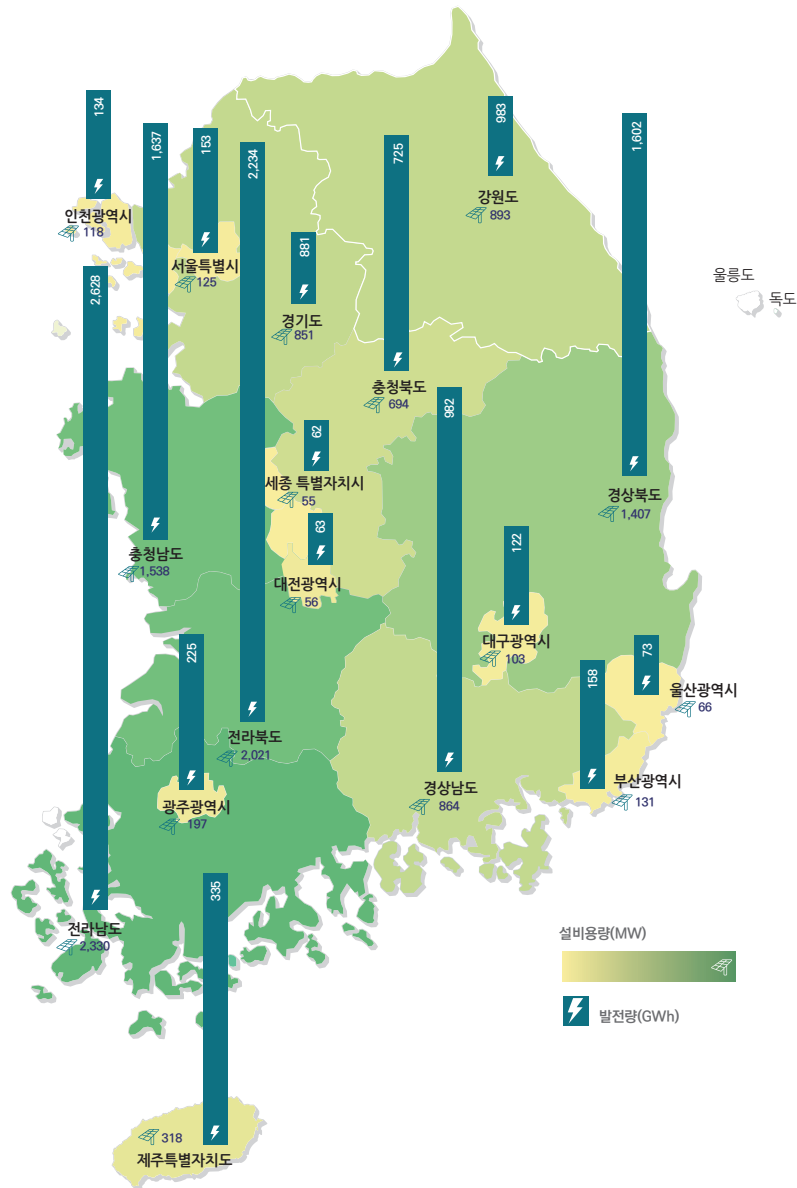
내에서도 향상됨에 따라 풍력발전 건설은 빠르게 늘어날 것으로 전망된다. [그림 6]에서 보듯 현재 건설된 풍력 발전단지는 대부분 100MW에 미치지 못하지만, 건설 계획된 육상 및 해상풍력 발전단지는 상당수가 100MW 이상으로 향후 풍력발전 용량이 빠르게 증가할 것으로 보인다.

라. 입지 제약이 적은 태양광의 성장

그림 7 전국 태양광발전 설비용량 및 발전량

풍력발전은 기존 기력발전의 터빈 기술과 항공 분야의 유체역학 기술을 응용할 수 있어 조기에 상용화가 가능했다. 그러나 광전효과를 이용한 태양광은 발전소자 특성에 따라 발전효율이 좌우되는데, 여전히 새로운 발전소자가 개발되고 있어 추가적인 개선의 여지가 크다. 현재 널리 사용되는 실리콘 기반 태양광 기술도 자투리땅이나 건물 벽면 등 타 발전방식과 달리 설치가능한 곳이 점점 확대되어 신규 설치가 활발하다. 입지조건의 제약이 덜하다는 장점 덕분에 태양광은 코로나 19 기간 동안에도 견조한 상승세를 유지하며 국내 재생에너지 중 가장 빠르게 성장했다. 한국에너지공단 자료에 따르면 2020년 국내 태양광발전 신규 보급용량은 4GW에 육박했다.

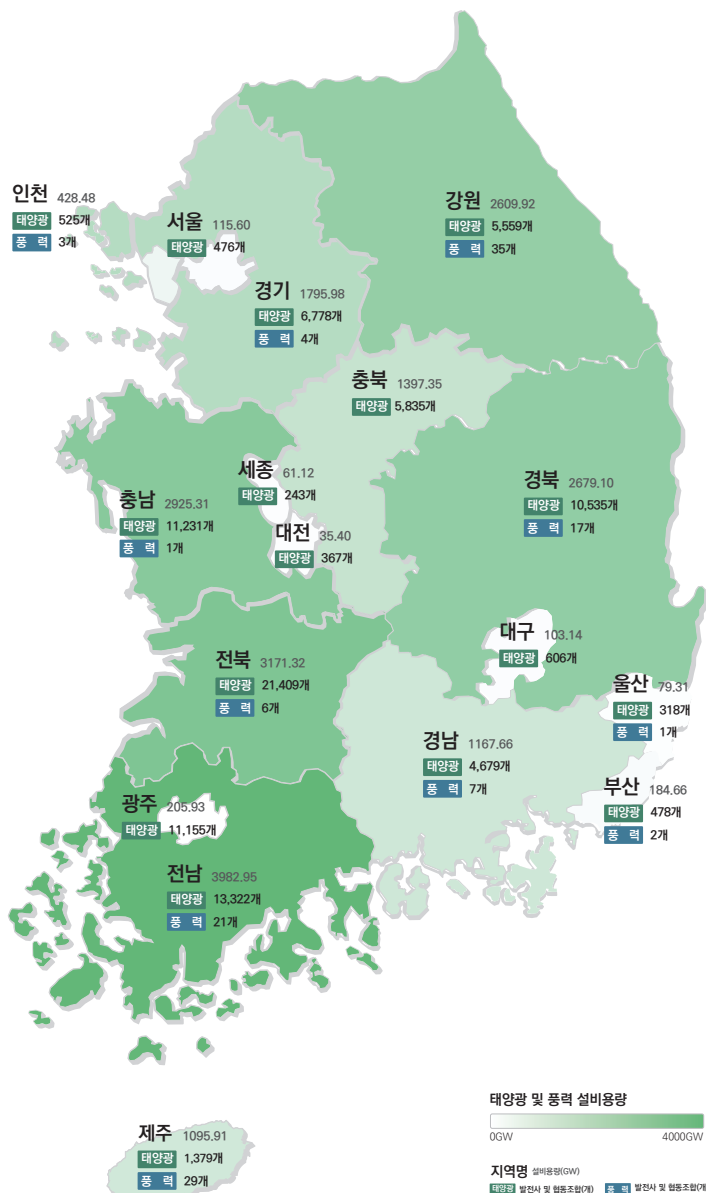
태양광 발전에서 주목할 점은 타 발전방식에 비해 대도시 설치 비중이 결코 작지 않다는 점이다. 이는 건물 옥상, 창고, 아파트 베란다 등 도심 환경에도 적용하기 용이하다는 장점 덕분이다. 대체로 태양광 발전 설비는 농지 태양광이 많은 호남지역에 집중되어 있으나 풍력에 비하면 인구 밀집지역과 농어촌지역의 격차가 크지 않은 편이다. 풍력은 바람이 강한 강원도 산간지역이나 제주도에 더 많은 것과 달리 태양광은 일조 조건이 우수한 충남 및 전라남북도 지역에 주로 설치됐다는 점도 주목할 만하다. 이는 [그림 7]에서 확인할 수 있다.



자료: 한국태양광산업협회, 2021

개인이 설치하는 소규모 태양광은 그 양을 집계하기 어렵지만 전력 부하를 낮추는 데 적지 않게 기여하는 것으로 보인다. 개인 소유 소규모 태양광발전설비에서 생산된 전기는 대부분 자체적인 소비량을 충당한 후 남은 양을 한전에 판매한다. 이때 판매 이전에 소비된 전력만큼 전력시장에서 수요가 줄어들기에 전체 수요가 감소해 발전 부담이 줄어든다. 산업통상자원부에 따르면 2021년 7월 기준 전력시장에 전력을 판매하지 않는 ‘전력시장 외 태양광’ 발전의 효과를 추산한 결과 여름철 피크 시간인 14~15시 동안 태양광 발전 비중이 총 수요의 11.1%를 기록한 것으로 나타났다고 한다. 자가 설치에 대한 정책적인 지원이 확대된다면 전력망의 부하를 더욱 낮춰 결과적으로 국가 에너지망의 수요량을 줄임으로써 에너지 수급 구조를 개선할 수 있을 것이다.

그림 8 태양광 및 풍력 발전사 및 협동조합 현황



자료: 전력거래소 수급계획팀, 「발전설비용량변경문서」, 2021.08.

4. 재생에너지 확대에 따른 변화

가. 주민과 소비자가 견인하는 재생에너지

국내 에너지 수급 구조는 전통적인 에너지원인 원자력과 석탄화력이 정체되거나 줄어드는 한편, 풍력과 태양광을 중심으로 재생에너지가 성장하는 모습을 보인다. 그렇다면 이러한 에너지 수급 구조의 변화가 사회적으로는 어떤 변화를 불러왔는지 살펴본다.

가장 눈에 띄는 점은 소규모 사업자의 시장 참여다. 전통적 에너지를 중심으로 한 과거의 발전 시장에서는 소규모 사업자가 참여하기 어려워 시장의 다양성이 적은 편이었다. 그러나 재생에너지의 특성상 소규모로 발전시설을 건설·운영하는 한편 발전량과 송전량을 ICT를 활용해 실시간으로 제어함에 따라 중·소규모 사업자의 참여가 활발해졌다.

협동조합이 활발하게 참여하는 것도 눈에 띄는 특징이다. 입지조건의 제약이 적은 재생에너지의 특성상 에너지 소비자가 직접 투자해서 자신의 주거지 인근에 발전시설을 건설하고 여기서 생산된 전기를 공유할 수 있다. 별도의 전력시장과 송전체계를 거치지 않으니 전환손실이 적고 비교적 저렴한 가격에 에너지를 사용할 수 있다는 장점이 있다. 실제로 [그림 8]에서 보듯 2021년 6월 기준 전국의 발전사 및 에너지 협동조합은 총 84,895개에 이른다. 이중 126개가 풍력, 84,376개가 태양광 관련 기

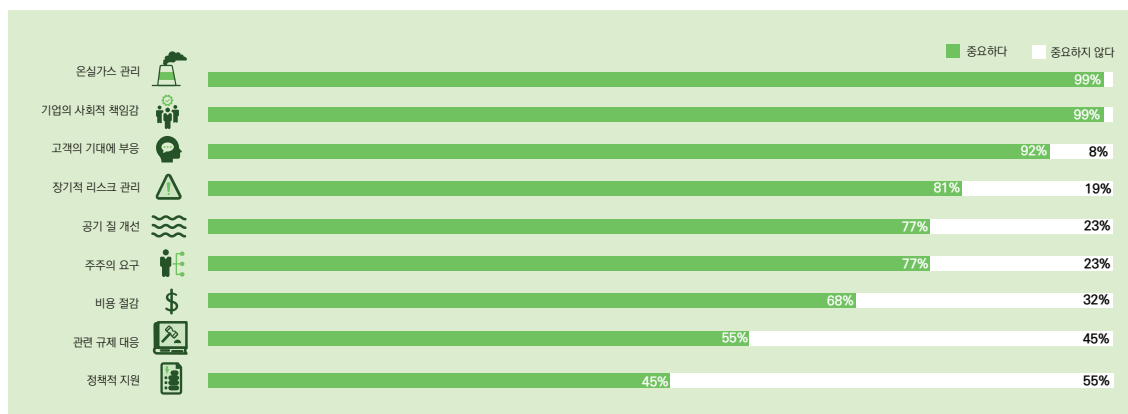
업 및 조합으로, 태양광 발전이 소규모 사업자 및 주민, 개인 중심으로 이루어진다는 점을 잘 보여준다. 전국에서 태양광 사업자가 가장 많은 곳은 전북으로 21,349곳에 달했으며, 풍력은 강원 지역이 35개로 가장 많았다. 풍력 및 태양광 설비 현황과 일치하는 결과다.

나. 산업계, 탄소중립에 동참하다

산업계에서는 전 세계적으로 재생에너지로의 전환이 활발하다. 에너지원 전환이 겉으로는 기업의 영리활동과 별개로 취급되는 사회공헌 활동의 형태를 띠더라도 실제로는 기업의 본원적 활동과 밀접하게 연관됐다는 점도 특기할 만하다. 최근 재생에너지 가격이 저렴해지고 환경 이슈가 소비자의 선택에 영향을 주기 시작하면서 기업들 또한 재생에너지 확보에 적극적으로 나서고 있다. RE100(Renewable Energy 100%)이 대표적이다. RE100은 기업이 자발적으로 설정한 목표 연도까지 기업활동에 필요한 전력을 100% 재생에너지로 충당하겠다고 선언하는 글로벌 캠페인이다. 번거로운 절차와 외부 감사 의무가 있음에도 불구하고 기업이 RE100에 관심을 두는 이유는 기업의 사회적 책임(CSR, Corporate Social Responsibility)과 관련이 있다. 사회의 각 영역과 기업활동이 불가분하게 얽힌 현대 사회에서 기업은 생산부터 소비에 이르는 모든 가치사슬 속에서 기업의 이익이 주주(shareholder)뿐 아니라 소비자와 기업활동으로부터 직간접적으로 영향을 받는 모든 이해관계자(stakeholder)의 이익을 해치지 말아야 한다.

이는 일방적인 의무가 아니다. 개인 차원에서 사회적 약속을 잘 지키는 사람일수록 신용도가 높아 금융 등 다양한 영역에서 혜택을 얻듯, 사회적 책임에 충실한 기업일수록 이윤 창출의 기회가 더 많다(Hart, Kanter, Kotler & Lee). 국내 상장기업을 대상으로 한 연구에서도 사회적 책임지수가 높은 기업일수록 이해관계자에게 좋은 인식을 주어서 시장에서 기업가치가 높게 평가된다는 사실이 확인됐다(전인수 외). 기후변화 대응은 CSR의 개념에 부합한다. 기업은 사회의 일원으로서 이익을 실현하는 과정에서 소비자에게 피해가 없도록 오염물질을 관리하고 탄소배출량을 억제해야 한다. 이러한 노력은 기업 이미지를 긍정적으로 전환하여 시장에서 경쟁력을 높여준다. 지역별, 업종별 산업구조에 따라 RE100의 의의가 달라지기는 하지만 글로벌 시장의 일반적인 흐름을 고려하면 RE100은 사회적 캠페인보다 투자에 가까워지고 있다.

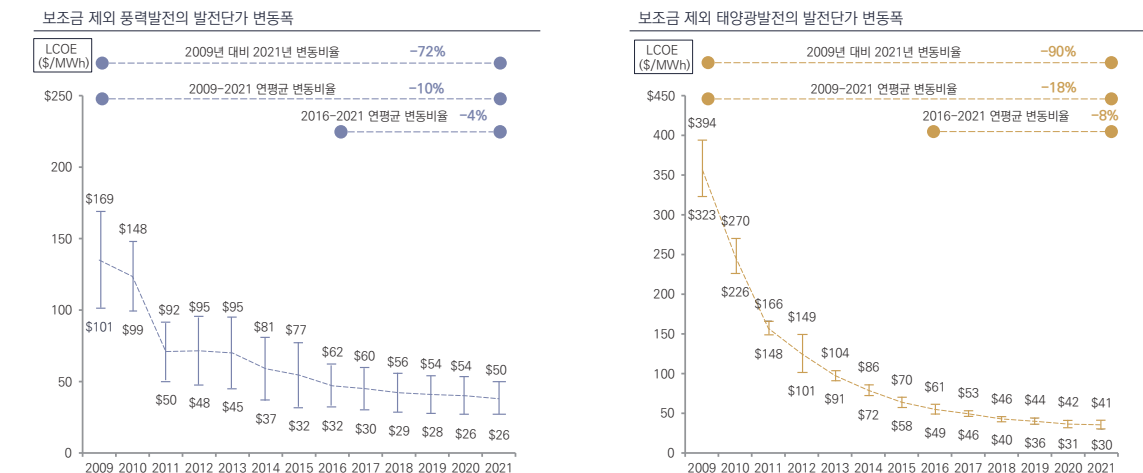
그림 9 RE100 참여 기업이 응답한 재생에너지전환의 목적



자료: The Climate Group 「2020 Progress and Insights Annual Report」

이러한 상황은 더클라이밋그룹이 RE100 가입 기업을 상대로 설문조사한 결과로부터 확인할 수 있다. [그림 9]를 보면 RE100 참여 기업은 온실가스 관리와 기업의 사회적 책임, 고객의 기대가 가장 중요한 참여 요인이라고 응답했다. 투자자의 요구(77%)보다 소비자의 기대(92%)가 더 중요한 요인인 점, 리스크 관리가 중요하다는 답변도 81%나 차지하는 점, 68%는 비용 절감을 이유로 들었다는 점으로 미루어보면 기업의 사업 전략과 매출 계획에서 재생에너지전환이 중요한 요소라는 점을 보여준다.

그림 10 글로벌 육상풍력과 태양광의 균등화발전단가



자료: Lazard Ltd. 『LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS — VERSION 15.0』

재생에너지 단가가 지속적으로 저렴해지며 변동폭도 줄어든다는 점도 기업에게 중요한 부분이다. 미국 투자는 행인 라자드(Lazard)가 분석한 바에 따르면, 대표적인 재생에너지원인 태양광과 풍력의 LCOE가 평균값 기준으로 각각 2011년, 2013년 석탄화력의 LCOE보다 낮아진 것으로 나타났다. LCOE는 지역, 산업구조 등 다양한 요인에 따라 크게 달라지므로 평균값을 전적으로 신뢰하기는 어려우나 전반적으로 재생에너지 발전단가가 낮아지며, 변동폭도 줄어든다는 점은 분명하다. 이는 발전 비용을 비교적 높은 정확도로 예측할 수 있게 하여 비용관리 및 예측, 에너지 조달 측면에서 리스크를 줄여준다([그림 10]).

이처럼 재생에너지를 이용했을 때의 비용 예측에 정확성이 높아졌다는 점도 기업이 에너지전환에 참여하는데 중요한 요인일 것이다. 라자드에서 발표한 LCOE 분석에 의하면 풍력과 태양광 모두 LCOE값의 편차가 줄어드는 모습을 보인다. 특히 풍력에 비해 환경의 영향을 덜 받는 편인 태양광은 극적인 LCOE 편차 감소를 보여준다.

재생에너지 단가가 하방 안정화되는 한편 RE100 기업은 늘어나고 있다. RE100 참여 기업은 2021년 12월 23일 기준 346개에 달하며, 이들 중 참여 기업 중 애플, 구글, 마이크로소프트 등을 비롯한 53곳이 재생에너지 100% 전환 목표를 달성했고 90% 이상 전환한 기업도 65곳에 달한다. 국내에서도 2020년 SK그룹의 6개 계열사가 한국 최초로 RE100에 정식으로 가입했으며 2021년 12월 23일 기준 총 14개 한국 기업이 가입했다. 산업계의 이러한 움직임은 RE100 참여를 통한 탄소중립 실현이 시장 원리와 자연스럽게 조화를 이루고 있음을 보여준다.

다. 재생에너지와 효율 향상에서 찾은 에너지 안보 해법

일반적으로 국가총생산(GDP)가 증가할수록 에너지 소비량도 증가한다. 그런데 최근 선진국을 중심으로 GDP와 에너지 소비량이 반대 방향으로 움직이는 ‘디커플링’이 발생하고 있다. GDP는 증가하지만 에너지 소비량은 감소하는 현상이다.

디커플링은 에너지 정책의 역사에서 중요한 의미가 있다. 과거에는 에너지소비량을 줄인다는 말이 곧 경제성장을 억제한다는 뜻과 마찬가지로 에너지 저소비 성장은 현실성이 부족한 주장으로 여겨졌다. 그러나 거시적인 통계에서 디커플링이 확인되면서 경제는 정상적으로 성장하는 가운데 에너지 소비량을 줄임으로써 ‘지속가능한’ 에너지전환의 가능성이 확인됐다.

실제로 전 세계 에너지 소비는 2016년을 기점으로 증가세가 완만해졌지만 같은 기간 동안 세계 인구와 경제는 이전과 다름없이 빠르게 성장했다. 이는 같은 양의 에너지로도 과거보다 더 많은 인구와 산업을 뒷받침할 수 있게 됐다는 의미다. 에너지 사용량이 줄어들면 탄소 배출 요인이 줄어 탄소배출량도 감소하므로, 에너지효율 향상은 탄소중립을 위한 에너지전환에 반드시 고려해야 할 요소다.

한국에서는 2000년대 초반부터 단위 부가가치당 에너지 소비량인 에너지원단위가 개선되기 시작했다. 특히 2019년에 IMF 이후 최초로 최종 에너지 소비가 감소한 점이 주목할 만하다. 에너지 효율이 향상된 한편, 경기 둔화와 석유화학 설비의 유지보수 기간 증가, 겨울철 기온 상승에 따른 난방 수요 감소로 에너지 소비량이 감소했다. 이에 따라 2019년 한국의 GDP는 2.2% 상승했으나 최종 에너지 소비량은 0.9% 감소했다. 특히 투입 요소의 비용에 민감한 산업 부문에서 분명한 변화를 확인할 수 있다. 한국의 에너지 소비량 중 가장 큰 비중을 차지하는 산업 분야에서 2019년 연간 최종에너지 소비량은 전년 대비 0.4% 감소했으며, 그 결과 에너지 공급량과 수입액도 줄어들었다. 그간 한국은 에너지 수입 의존도가 높아 국제 정세와 유가에 큰 영향을 받았으나 조금씩이나마 수입 의존도가 줄어들면서 에너지 가격의 변동성을 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 안정적인 에너지 수급 구조가 안보의 영역임을 고려하면 고무적인 일이다.

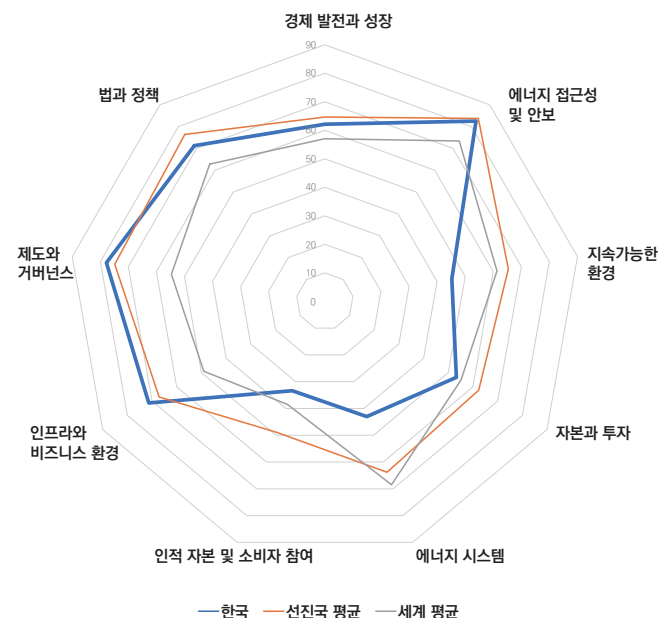
라. 완만하지만 분명한 한국의 에너지전환

지금까지 살펴본 변화 양상은 에너지전환으로 연결된다. 한국은 에너지전환에서는 비교적 후발주자에 속하며, 최근의 NDC가 지나치게 급진적이라는 비판도 이러한 배경에서 나온다. 기존의 재생에너지 인프라와 내수 산업의 시장 성숙도, 에너지 다소비 산업에 의존적인 산업구조를 종합적으로 고려하면 한국의 에너지시스템이 전환되는 데 더 많은 시간이 필요하다는 것이다.

한국의 에너지전환 현황은 세계경제포럼이 2021년 발표한 에너지전환지수(ETI, Energy Transition Index)에서 확인된다. 세계경제포럼은 2015년부터 세계 115개국의 에너지 시스템과 에너지전환 현황을 추적해 국가별 에너지전환지수를 산정해 발표한다. 2021년 보고서에 따르면 한국은 100점 만점 중 60.8점을 기록해 조사대상 중 중위권 그룹에 속했다. 2020년에 비해 점수는 올랐으나 전 세계적으로 ETI 점수가 상승해 순위는 1단계 낮아졌다. 선진국으로 분류된 31개국 중에서도 29위를 기록해 한국의 에너지전환이 더디다는 사실이 확인됐다.

세부적으로 보면 에너지전환지수 중 ‘전환 준비도’ 항목이 ‘시스템 성과’보다 높은 평가를 받았다(그림 11). 시스템 성과는 경제발전, 환경적 지속가능성, 에너지안보·접근성 등으로 구분되어 에너지시스템의 건전성을 평가하는 것으로, 산업구조가 에너지에 덜 의존적이면서 재생에너지를 자국 내에서 저렴하게 조달할 수 있는 국가가 유리한 편이다. 이에 비해 전환 준비도는 에너지전환을 위해 제도적, 기술적, 재정적 기반을 어떻게 다져나가는지 평가한다. 한국은 시스템 성과에서 65위의 평가를 받은 데 비해 전환 준비도는 43위의 평가를 받았다. 이는 한국이 현 시점의 에너지전환의 이행도는 낮지만

그림 11 2021년 한국의 에너지전환지수(ETI)



자료: 세계경제포럼(WEF), 「Fostering Effective Energy Transition 2021 edition」

에너지전환을 위한 인프라는 어느 정도 양호하게 구축했음을 뜻한다. 특히 인프라 및 혁신 비즈니스 환경, 제도 및 거버넌스, 법규 및 정치공약 등은 평균보다 월등히 높은 점수를 받았으며, 이는 충분한 자본과 인력만 확보된다면 신속한 에너지전환이 가능하다는 의미다. 다만 2020년 한국의 전환 준비도가 27위였음을 고려하면 많은 나라들이 한국보다 빠른 속도로 에너지전환에 대비해 인프라를 구축하고 있음을 보여준다.

실제로 최근 3년간 한국의 재생에너지 확충 속도에는 탄력이 붙었다. 특히 태양광에서의 변화가 크다. 재생에너지 분야 국제 비영리단체인 ‘21세기를 위한 국제 재생 에너지 정책 네트워크(REN21)’가 최근 발표한 자료에 따르면 한국은 2019년 전 세계에서 태양광 설비를 가장 많이 확충한 상위 10개 국가에 포함된다.

5. 결론: 변화하는 글로벌 환경, 탄소중립이 경쟁력의 열쇠

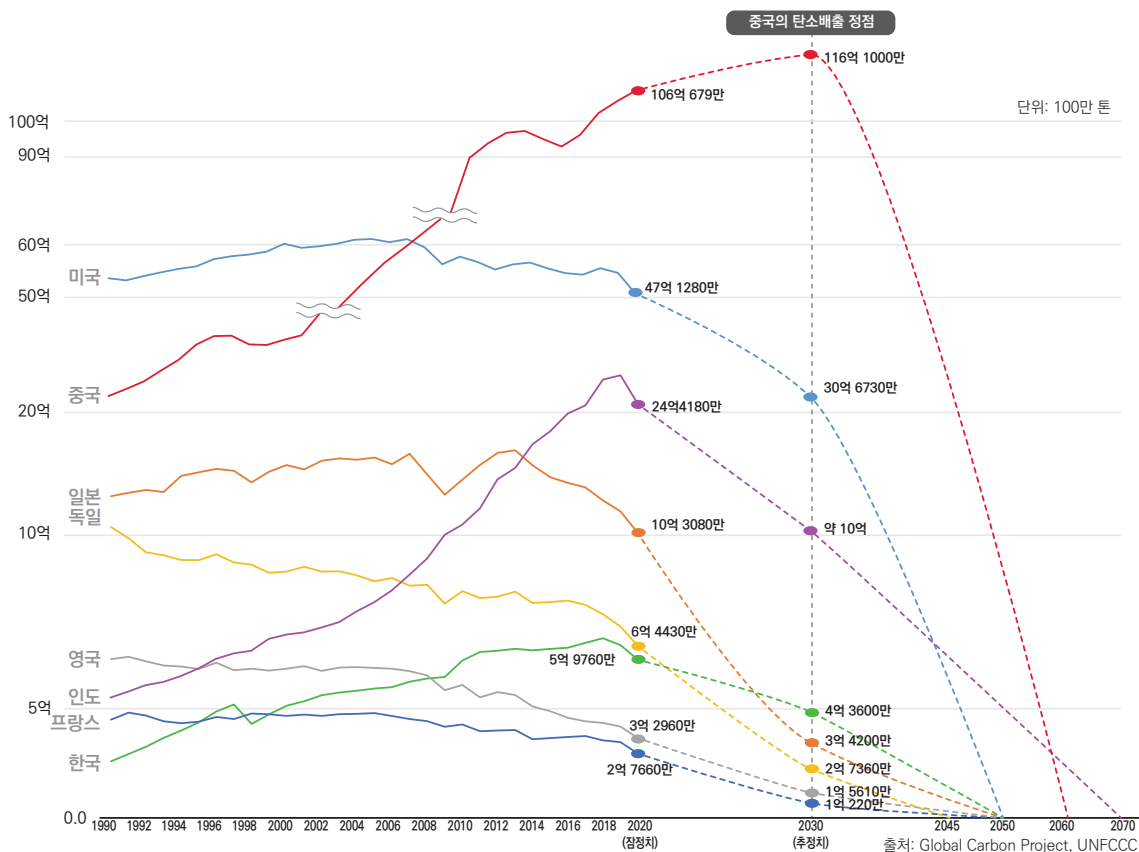
기후변화가 심화됨에 따라 세계적으로 기업들은 경영 전략에서 재생에너지를 중요한 요소로 다루는 한편, 탄소배출량이 새로운 무역장벽이자 외교전의 무기로 대두되고 있다. 주요국의 탄소중립 계획(그림 12)을 보면 한국을 포함한 대부분의 선진국이 2050년 탄소중립을 목표로 내세우고 탄소배출량 감축을 추진한다는 점을 확인할 수 있다. 특히 중국의 탄소배출량은 2000년대부터 급격히 증가하기 시작해 현재 타 국가의 두 배가 넘는 수준을 기록하고 있는데, 이를 의식해 중국은 탄소배출량 저감을 강력하게 추진하는 편이다. 중국은 2030년 탄소배출량 정점에 이르러 2060년까지 단계적으로 감축하겠다는 청사진을 제시했다.

이러한 세계적인 동향을 고려하면, 수출산업 비중이 높은 선진공업국인 한국으로서는 주요 탄소 배출국이자 세계 산업 공급망의 주체로서 에너지전환을 서둘러야 하는 입장이다. 그러나 국내 재생에너지 시장은 여전히 세계 평균 대비 재생에너지 비용이 높은 편이라 탄소중립 움직임의 본격화에 따라 급변하는 에너지 환경에 대처하기에는 부족한 점이 있다.

다행스러운 점은 지난 10여 년간 국내 재생에너지 인프라가 느리지만 꾸준히 성장하고 있었다는 점이다. 여러 지표를 참고했을 때 한국의 에너지 분야의 변화 방향성은 분명하다. 지자체는 재생에너지를 지역 발전전략의 핵심 요소로 여기기 시작했으며 기업들도 에너지 공급망을 재생에너지 중심으로 바꾸어 세계적인 기준에 부합하려 하고 있다.

에너지원별 전략을 세부적으로 수립하고 추진할 필요도 있다. 우리나라는 육상풍력발전에 불리한 편이다. 산지가 많은 국내 지형상 육상풍력의 입지가 제한적이라 신규 육상풍력발전 건설이 어렵기 때문이다. 이에 우리나라는 해상풍력을 적극적으로 확대하고 있다. 이에 비해 태양광발전은 입지 제약이 적다는 장점을 살려 자투리땅에 태양광을 설치하는 사업을 곳곳에서 추진 중이다. 앞으로의 관건은 방향보다 속도다. 새로운 에너지산업을 포괄하는 가치사슬을 빠르게 구축하고 산업 경쟁력을 확보해야 탄소중립 시대를 대비할 수 있을 것이다.

그림 12 주요국 탄소배출량 현황과 온실가스 감축 목표



자료: Global Carbon Project

국내 문헌

- 산업통상자원부 「에너지사용량통계」, 2021
- 양승광 외, 기업의 사회적 책임(CSR)과 기업역량(CA)이 구매의도에 미치는 영향에 관한 연구, 「경영과 정보연구」, 2018
- 에너지경제연구원, 「2019 에너지통계연보」, 2020
- 온실가스종합정보센터, 「2020년 국가 온실가스 인벤토리 보고서」, 2021
- 이근대·김기환, 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망시스템 구축 및 운영, 에너지정보연구원, 2020
- 전력거래소 수급계획팀 「발전설비용량변경문서」, 2021
- 조일현·이재석, 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석, 에너지경제연구원, 2020
- 최병권 외, CSR 인식의 국내 연구동향과 향후 연구방향, 경영학연구, 2017
- 한국에너지공단 「신재생에너지보급실적조사」, 2021
- 한국전력공사 「연도별 전력통계」, 2021

외국 문헌

- H Haberl, D Wiedenhofer, D Virág, G Kalt, A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights, Environ. Res. Lett., 2020
- K Bithas, P Kalimeris, Re-estimating the decoupling effect: Is there an actual transition towards a less energy-intensive economy?, Energy, 2013
- Lazard Ltd. 「LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS — VERSION 15.0」
- MDP Lee, A review of the theories of corporate social responsibility: Its evolutionary path and the road ahead, International journal of management reviews, 2008
- MW Allen, CA Craig, Rethinking corporate social responsibility in the age of climate change: A communication perspective, Journal of Corporate Social Responsibility
- The Climate Group 「2020 Progress and Insights Annual Report」
- WEF, 「Fostering Effective Energy Transition 2021 edition」, 2021
- Yatin Dua, CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY: ASSESSING SUSTAINABILITY IN CORPORATES, The Green Matter, 2021

웹사이트

- IEA, Projected Costs of Generating Electricity 2020, <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>
- 국가미세먼지정보센터, 국가 대기오염물질 배출량 서비스, <http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/index.do>
- 전력거래소, 전력통계정보시스템(EPSIS), <http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/>
- 통계청, 국가지표체계, <https://www.index.go.kr/unify/main.do?clasCd=10>
- 통계청, 국가통계포털(KOSIS), <https://kosis.kr/index/index.do>
- 한국사회적기업진흥원, 사회적기업 리스트, [https://www.socialenterprise.or.kr/download/%E2%98%85211111_%ED%99%88%ED%8E%98%EC%9D%B4%EC%A7%80%EC%9A%A9_%EC%82%AC%ED%9A%8C%EC%A0%81%EA%B8%B0%EC%97%85_%EB%A6%AC%EC%8A%A4%ED%8A%B8\(3142%EA%B0%9C,_21%EB%85%84_5%EC%B0%A8\).xlsx](https://www.socialenterprise.or.kr/download/%E2%98%85211111_%ED%99%88%ED%8E%98%EC%9D%B4%EC%A7%80%EC%9A%A9_%EC%82%AC%ED%9A%8C%EC%A0%81%EA%B8%B0%EC%97%85_%EB%A6%AC%EC%8A%A4%ED%8A%B8(3142%EA%B0%9C,_21%EB%85%84_5%EC%B0%A8).xlsx)
- 한국원자력산업협회, 원자력발전소 현황, <https://www.kaif.or.kr/?c=nws&s=5>
- 한국원자력안전기술원, 사용후핵연료보고서, <https://www.kins.re.kr/wacid/sf02?catId=06>
- 한국전력기술, 발전소 사업수행 현황, [https://www.kepco-enc.com/portal/contents.do?key=1279\(원자력\)](https://www.kepco-enc.com/portal/contents.do?key=1279(원자력)), [https://www.kepco-enc.com/portal/contents.do?key=1279\(화력\)](https://www.kepco-enc.com/portal/contents.do?key=1279(화력))
- Global Carbon Project, <https://www.globalcarbonproject.org/>

국내 구역전기사업 지속을 위한 제도개선 방안

신동현 에너지경제연구원 연구위원(dhshin@keei.re.kr)



1. 국내 구역전기사업 운영 및 경영 현황

구역전기사업은 소비자에게 전기를 직접 공급하는 사업자로 35,000kw 이하의 발전설비를 수요지 인근에 갖춘 사업형태를 가진다.¹⁾ 분산형 전원으로서의 역할을 기대하면서 도입된 구역전기사업은 한때 20개가 넘는 사업자가 존재할 정도로 활성화되었으나 기대한 분산형 전원 확대의 역할을 제대로 이행하지 못하고 사업 여건이 지속적으로 악화되면서 현재 8개 사업자만 남아있다. 국내 구역전기사업의 가장 큰 특징은 전기뿐만 아니라 열을 같이 공급하는 사업형태인 일종의 집단에너지 사업 형태로 진행되는데 이를 의제구역전기사업이라고 한다.²⁾

1) 전기사업법 제2조의 11

2) 의제구역전기사업자는 '전기사업법 보칙'에 따라 지역냉난방사업자로 15만 kw 이하의 발전설비용량을 갖추거나, 산업단지집단에너지사업자로 30만 kw 이하의 발전설비용량을 갖춘 사업자이다(전기사업법 제92조의 2).

표 1 국내 구역전기사업자 일반현황

구분	사업자	공급구역	설비 용량 (MW))	사업 허가	상업 운전	공급세대수	
						전기	열
서울 (5)	짐코*	사당극동APT	2	'04.11	'05.12	-	-
	대성산업	신도림디큐브시티	9	'09.01	'11.08	524	524
		가락한라APT	1	'06.06	'08.01	919	919
	한국지역 난방공사	동남권유통단지	32	'06.08	'09.04	8,755	8,755
		상암 2지구	6	'06.09	'10.04	4,490	4,490
경기 (3)		고양삼송지구	99	'07.08	'11.12	24,421	20,678
	티피피	양주고읍지구	21	'05.03	'09.06	10,103	7,574
	삼천리	광명역세권	46	'05.12	'10.04	12,844	18,669
부산	부산정관에너지	부산정관지구	50	'99.12	'08.10	28,091	26,312
대구	대성에너지	대구죽곡지구	9	'05.01	'07.12	10,986	9,546
대전	CNCITY에너지 ((구)충남도시가스)	대전학하지구	26	'06.09	'13.03	7,175	23,234
충남 (2)	JB(주) ((구)중부도시가스)	천안청수지구	25	'05.06	'09.10	10,100	5,726
	삼성물산**	아산탕정지구	7	'06.09	'09.01	3,953	3,953
계	10 개 사업자	13 개 구역	333	-	-	122,361	130,380

* 짐코는 사업권을 반납 ** JB(주)는 삼성물산의 사업을 인수

자료: 한국구역전기협회

국내 구역전기사업의 일반적인 특징이 전기와 열을 공급하는 사업의 특징을 모두 가지고 있기 때문에, 집단에너지사업자와 같이 전기와 열을 생산하고 판매하는 사업자들과 경영현황을 비교하는 것은 의미가 있다고 생각된다. 본고에서는 구역전기사업의 비교 대상으로 집단에너지사업자를 전기중심 대형사업자(대형 전기), 역송 위주의 열병합발전사업자(역송CHP), 열 중심 공급 사업자(열공급), 증기공급 병행사업자(증기 공급), 공공부문 사업자(공공) 등으로 구분하였다.

표 2 집단에너지 사업자 및 구역전기사업자 형태 분류

순번	사업자명	그룹	표시
1	DS파워	대형 전기중심 사업자	대형전기
2	대륜발전		

순번	사업자명	그룹	표시
3	평택에너지서비스	대형 전기중심 사업자	대형전기
4	대구그린파워		
5	춘천에너지		
6	삼천리(광명)		
7	CNCITY Energy		
8	중부도시가스	소규모 구역전기 사업자	소규모전기
9	대성에너지		
10	삼성물산		
11	티피피		
12	대성산업(신도림)		
13	인천종합에너지	역송 열병합발전 운영 사업자	역송CHP
14	수완에너지		
15	별내에너지		
16	부산정관에너지		
17	나래에너지서비스		
18	위례에너지서비스		
19	인천공항에너지		
20	안산도시개발		
21	미래엔인천에너지		
22	내포그린에너지	열공급 사업자	열공급
23	청라에너지(주)		
24	휴세스		
25	부산도시가스(명지)	증기공급 병행 사업자	증기공급
26	대전열병합발전		
27	무림파워텍		
28	전북집단에너지		
29	석문에너지	공공부문 사업자	공공
30	서울에너지공사		

가. 매출 현황

<표 3>에서 사업형태에 따른 평균 매출액은 대형전기중심사업자와 역송CHP사업자가 가장 큰 것으로 나타났다. 반면, 소규모 구역전기사업자는 가장 작은 규모의 매출액을 기록하였고, 매출액의 증가세도 다른 그룹에 비해 낮은 모습을 보였다. 공공부문 사업자의 경우 2019년 매출액은 2018년에 비해 오히려 감소하고 있다.

표 3 그룹별 평균 매출액 현황

(단위: 백만 원)

구분	대형전기	소규모전기	역송CHP	열공급	증기공급	공공
2016	205,338	15,270	119,709	21,701	34,709	-
2017	248,285	16,114	143,858	27,280	45,258	148,002
2018	318,778	18,475	189,945	32,548	50,315	163,400
2019	337,364	19,473	181,288	35,636	49,031	155,141

열과 전기 판매를 구분하여 매출 현황을 나타낸 것이 [그림 1]과 [그림 2]이다. 먼저 그룹별 열매출 비중을 살펴보면 열공급을 중심으로 하는 열공급사업자가 가장 높은 비중을 보인다. 열매출 사업자를 제외하고 공공부문사업자가 두 번째로 높은 열매출 비중을 나타내고 있으며, 대형전기중심사업자는 사업구조가 열보다는 전기를 판매하는 것에 치중되어 있음에 따라 매우 낮은 열매출 비중을 보인다. 소규모 구역전기사업자의 경우, 열매출의 비중도 대체로 낮은 편이면서 동시에 비율도 점차 감소하고 있다. 역송CHP사업자는 열매출의 비중이 50%에 달할 정도로 높은 편인데 2016년에 약 60%였던 비중이 2019년에는 49%까지 감소하였다. 증기공급 병행 사업자의 열매출 비중은 15~16%대로 유지되고 있다.

[그림 2]에서처럼 그룹별 전기매출 비중은 모든 그룹에서 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 대형 전기중심 사업자의 영업구조가 전기에 치중되어 있음에 따라 이들의 전기매출 비중은 95%를 상회하고 있다. 소규모 구역전기사업자의 경우 전기매출 비중이 약 52~54%로 높으며, 점진적으로 증가하는 모습이다. 역송CHP사업자의 전기매출 비중은 2016년 37.3%였으나 2019년 49.1%로 크게 증가하였고 증기공급 병행 사업자의 전기매출 비중도 41~43%를 유지하고 있다.

그림 1 그룹별 열매출 비중

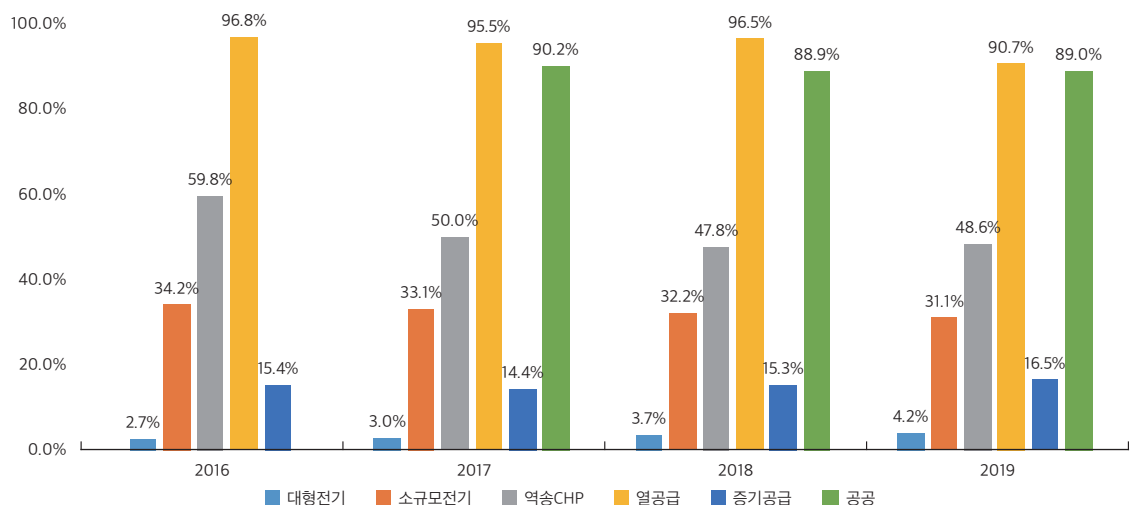
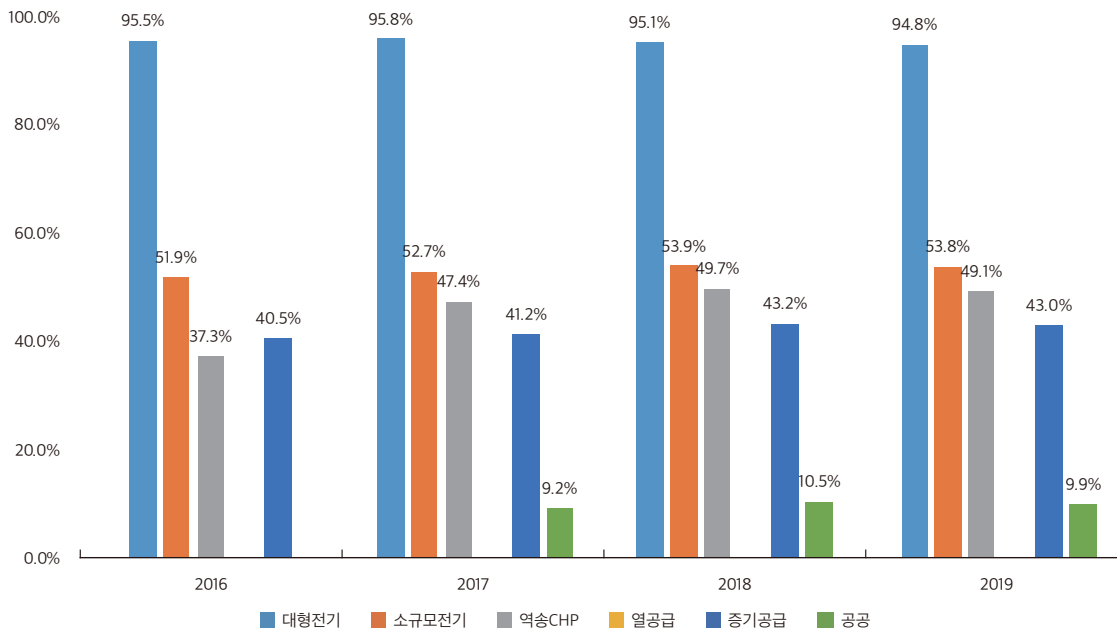


그림 2 그룹별 전기매출 비중



나. 영업이익

사업자의 매출액에서 매출원가, 판매비 및 일반관리비를 제외한 영업이익 현황을 그룹별로 <표 4>에 정리하였다. 그룹별 영업이익의 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 영업이익은 2016년부터 2019년까지 개선되는 모습이다. 그러나 영업이익의 증가율은 2017년에 전년 대비 64% 증가하여 대폭 개선되었으나 이후 2018년에 21%, 2019년에 19%로 급감하였다. 둘째, 대형전기 중심사업자와 역송CHP사업자는 비교적 경영성고가 양호한 것으로 나타났다. 대형전기중심사업자 5개사의 영업이익은 지난 4년간 비교적 큰 폭으로 개선되었다. 구체적으로 2016년 평균 21억 원의 영업이익이 발생하였으나 2017년 139억 원으로 556% 증가하였고, 이후 2019년에도 225억 원의 영업이익이 발생하였다. 역송CHP 그룹도 2016년에도 평균 139억 원의 영업이익을 기록하여 가장 건실한 경영상태를 보이고 있다. 이후 영업이익은 지속적으로 증가하여 2019년 평균 233억 원의 영업이익을 달성하였다.

셋째, 소규모구역전기사업자와 공공사업자는 지속적 영업이익 적자에 시달리고 있다. 소규모구역전기사업자의 영업이익은 2016년 평균 13억 원 적자에서 2019년 4.7억 원 적자로 조금씩 개선되는 모습을 보이고 있으나 여전히 흑자로 전환하지 못하고 있다. 공공사업자도 2017년 18억 원 적자를 기록하였으나 2019년에는 92억 원 적자로 적자폭이 급격히 증가한 것으로 나타났다.

넷째, 열공급사업자와 증기공급 병행 사업자는 큰 폭의 영업이익을 내지는 못하고 있으나 소폭의 흑자를 유지하고 있다. 열공급사업자는 2016년 평균 6.5억 원의 적자를 기록했으나 2017년 14억 원 흑자로 전환되었고, 2018년 21억 원, 2019년 35억 원의 흑자가 발생하였다. 증기공급 병행 사업자의 영업이익은 2016년 평균 8.5억 원에서 2017년 11억 원으로 소폭 증가하였다. 이후 2018년에 47억 원의 영업이익이 발생하여 342%의 증가율을 기록하나 2019년에 다시 35억 원으로 24% 감소하였다.

표 4 평균 영업이익 현황

(단위: 백만 원)

구분	대형전기	소규모전기	역송CHP	열공급	증기공급	공공	전체
2016	2,123	-1,335	13,910	-647	846	-	5,191
2017	13,921	-809	17,563	1,429	1,054	-1,838	8,510
2018	14,458	-545	20,853	2,126	4,662	-3,840	10,292
2019	22,541	-469	23,259	3,473	3,542	-9,156	12,281

<표 5>는 사업형태별로 영업이익의 흑자와 적자를 기록한 사업자의 수를 요약한 것이다. 대형전기, 역송 CHP, 열공급, 증기공급에 비해 소규모 구역전기사업자의 경영여건이 상대적으로 크게 나쁜 것을 재확인할 수 있다.

표 5 영업이익 흑자/적자 현황

구분	대형전기	소규모전기	역송CHP	열공급	증기공급	공공	전체
2016	3/2	1/5	9/2	1/2	2/2	0/0	15/14
2017	5/0	3/4	10/1	2/1	3/1	0/1	23/8
2018	4/1	1/6	8/3	2/1	3/1	0/1	18/13
2019	5/0	1/6	10/1	2/1	3/1	0/1	21/10

다. 당기순이익

당기순이익은 영업이익과 영업외수익에서 금융비용, 영업외비용, 법인세비용을 제외한 금액이다. 구역전기사업과 같은 발전사업은 발전시설에 대한 투자가 발생하기 때문에 금융비용이 비교적 높은 편이다. 따라서 영업이익이 높더라도 당기순이익 측면에서 다른 특징을 보일 수 있다. <표 6>은 사업형태에 따른 연간 평균 당기순이익을 정리한 것이다. 역송CHP사업자와 증기공급 병행 사업자들만이 당기순이익에서 흑자를 기록하고 있으며 나머지 그룹에서는 모두 적자를 기록하고 있다.

대형전기중심사업자는 영업이익과 달리 당기순이익에서 100억 원대의 적자 발생 하고 있는데 2016년 평균 154억 원의 적자가 발생하였고 2019년에 다소 개선되었으나 여전히 45억 원의 적자가 발생하고 있다. 이와 같이 당기순이익에서 큰 폭의 적자를 보인 주된 이유는 부채의 누적으로 인한 금융(이자)비용이 크게 발생하였기 때문으로 보인다. 열공급병행사업자도 영업이익에서는 흑자가 발생하였으나 금융비용이 크게 발생함에 따라 당기순이익은 적자로 나타났다. 반면, 역송CHP사업자들도 금융비용이 비교적 컸으나 영업이익 규모가 큼에 따라 당기순이익에서 흑자를 기록하고 있다.

소규모 구역전기사업자와 공공부문사업자가 경영악화에 가장 크게 노출되어 있음을 확인할 수 있다. 구역전기사업자의 당기순이익은 2016년 31억 원 적자에서 2017년과 2018년 10억 원 적자로 다소 개선되었지

만 2019년 69억 원 적자로 다시 큰폭으로 악화되었다. 공공부문사업자의 당기순이익도 2017년 23억 원 적자에서 2018년 47억 원 적자로 악화되었고 2019년 111억 원으로 가장 큰 액수의 적자를 보이고 있다. 소규모 구역전기사업자는 2016년 5개 기업이 모두 적자를 기록하였고 2017년 성과가 다소 개선되어 3개 기업이 흑자, 4개 기업이 적자를 기록하였으나 이후 2018~2019년에는 다시 7개 기업이 모두 적자를 기록하고 있음을 <표 7>에서 확인할 수 있다.

표 6 평균 당기순이익 현황

(단위: 백만 원)

구분	대형전기	소규모전기	역송CHP	열공급	증기공급	공공	전체
2016	-15,444	-3,063	3,920	-12,453	133	-	-2,733
2017	-10,274	-1,082	5,513	-7,419	-631	-2,300	-599
2018	-10,411	-1,020	11,413	-7,301	4,150	-4,723	2,121
2019	-4,540	-6,923	10,394	-3,682	1,445	-11,158	1,015

표 7 당기순이익 흑자/적자 사업자 수

(단위: 개)

구분	대형전기	소규모전기	역송CHP	열공급	증기공급	공공	전체
2016	0/5	0/5	5/6	0/2	1/3	0/0	6/21
2017	1/4	3/4	5/6	0/2	2/2	0/1	11/19
2018	2/3	0/7	7/4	0/2	4/0	0/1	13/17
2019	3/2	0/7	5/6	0/2	2/2	0/1	10/20

2. 국내 구역전기사업 경제성 악화의 주요 원인

앞에서 전기와 열을 공급하는 에너지공급사업으로 구역전기사업이 다른 형태의 사업에 비해 경영 여건이 상대적으로 악화된 현황을 살펴보았다. 구역전기사업의 사업 여건이 악화된 이유는 에너지 생산원가를 회수할 수 없는 시장구조와 제도적 문제에서 찾을 수 있다. 구역전기사업은 발전설비 규모의 제한 때문에 다른 발전 사업에 비해 상대적으로 소규모 발전 및 배전설비를 운영하고 있다. 발전 사업의 특성상 규모가 커질수록 한계비용이 감소하나 구역전기사업은 소규모 설비로 소위 ‘규모의 경제’ 실현이 어렵다. 또한, 수요지 인근에 위치하고 있는 사업형태로 구역전기사업이 운영되는데 대부분의 수요지가 도심지로 토지비용이 높으며 고비용 연료인 LNG를 의무적으로 사용하고 있다. 이러한 이유로 구역전기사업은 고비용 구조를 가지고 있으나 전기와 열의 판매요금은 규제요금으로 사업의 고비용 구조와 무관하게 결정되고 있다. 특히, 구역전기사업의 전기요금은 한국전력의 요금을 준용하고 있어 구역전기사업자가 전기를 생산하여 판매하면 생산원가도 회수하기 어려운 실정이다. 왜냐하면 한국전력은 구역전기사업자의 전기 생산원가와 무관한 자기원가와 적정투자보수가 포함된 요금을 책정하여 운영하기 때문이다.

구역전기사업의 한국전력 요금 준용은 구역전기사업의 경제성 악화뿐만 아니라 구역전기사업 도입 취지를 위협하는 가장 큰 이유로 작용하고 있다. 다시 말해, 구역전기사업의 도입을 통해 분산형 전원을 확대하고 수요지 인근에서 전기를 직접 공급하여 분산편익을 실현하여야 하나 현재의 요금제도 하에서 구역전기사업자는 전기를 직접 생산하여 공급하기보다 한국전력이나 전력거래소로부터 전기를 구매하여 자신의 소비자에게 재판매하는 모습을 보이고 있다.³⁾ 실제로 구역전기사업자의 CHP 가동률은 평균 30% 내외로 동계 기간 열수요가 발생하는 시기 외에 구역전기사업자는 전기를 직접 생산하지 않고 있다.

시장구조 및 제도적 이유로 인한 구역전기사업의 경제성 악화는 전기와 열의 공급안정성 확보를 위한 투자를 감소시켜 소비자의 안전과 편익에 위해가 되고 있으며, 전기영업시스템 고도화 투자에도 악영향을 주어 사업 여건이 더 나빠지는 악순환이 나타나고 있다.

그림 3 한국전력과 구역전기사업자 비교



3. 국내 구역전기사업 경제성 개선을 위한 제도개선 방안

가. 분산편익 보상

소규모 에너지공급시설에서 생산한 전기와 열을 수요지 인근에서 직접 공급하는 구역전기사업은 분산형 전원의 정의에 가장 적합하여 분산편익이 실현 가능하다. 분산편익을 쉽게 정의하면 원거리에서 전력을 송전하는데 발생할 수 있는 여러 가지 편익을 절감하거나 회피할 수 있는 비용이다. 구체적으로 송전망 건설 회피, 송전손실 절감, 송전망 혼잡비용 회피 및 송전망 피해회피 등의 비용을 분산편익으로 산정할 수 있다.

3) 분산형 전원은 수요지 부근에 소규모 발전설비를 통해 전력을 공급하는 방식을 의미하며 40MW 이하의 소규모 발전설비, 500MW 이하의 집단에너지, 구역 전기 및 자가용발전설비로 법에 규정하고 있다(전기사업법 시행규칙, 제3조의 2).

표 8 분산전원 편익

자료	구분	편익		
김용하 외(2011) (원/kW/년)	송전망 건설 회피편익	80,581		
	송전손실 절감편익	15,576		
전력거래소(2014) (원/kW/년)	지역별 송전 회피비용	수도권	95,031	
		비수도권	38,044	
		제주	155,718	
박성민·김성수(2014) (원/kWh)	시나리오별 송전혼잡비용	기본 시나리오	16	
		신재생에너지 변동 시나리오	21	
		송전망 건설지연 시나리오	46	
김효진 외(2015) (원/kWh)	송전망 회피 비용	414		
한국지역난방공사(2018) (원/kWh)	송전망 건설비용 회피	11.74 (2013년)	12.32 (2017년)	전력거래소 (2014)
	송전손실 회피	4.13 (2010년)	4.67 (2017년)	김용하 외(2011)
	송전 혼잡비용 회피	16.0 (2013년)	16.80 (2017년)	박성민·김성수 (2014)
	송전망 피해 회피	41.4 (2014년)	42.72 (2017년)	김효진 외(2015)

주: 한국지역난방공사(2018) 결과는 기존 연구를 바탕으로 송전망 회피 관련 편익을 종합한 결과임

국내 분산형 전원의 분산편익을 추정한 다양한 연구들이 존재한다. 김용하 외(2011)는 분산형 전원으로서의 국내 열병합발전 전체의 송전망 관련 편익을 도출하였다. 구체적으로 2010년 기준 송전망 건설 회피 편익 80,581원/kW, 송전손실 절감 편익 15,576원/kW, 합계 96,157원/kW를 산정하였다. 전력거래소(2014)에서는 지역별 송전 회피비용을 추정하였으며, 평균적으로 연간 60,935원/kW로 분석되었으며 비수도권, 수도권, 제주 순으로 편익이 높게 나타났다. 박성민·김성수(2014)는 M-Core 모형을 이용해 LMP(Locational Marginal Price)를 추정해 송전혼잡비용을 도출하였고, 송전혼잡비용을 발전량으로 나누어 시나리오별 송전혼잡비용을 추정하고 있다. 김효진 외(2015)는 조건부 가치측정법(CVM)을 이용해 유연탄 발전을 열병합발전으로 대체할 때 소비자들의 낼 추가적 지불의사를 추정하였다. 1,000가구에 대한 설문조사를 통해 추가 지불의사액으로 41.4원/kWh를 도출하였다. 한국지역난방공사는(2018)은 기존의 연구들을 바탕으로 송전망 회피와 관련한 편익을 합산한 결과 2013년 73.27원/kWh, 2017년 76.51원/kWh의 분산전원 편익을 산정하였다.

분산편익이 발생하는 발전기나 사업자에 대해 편익의 일부를 보상하는 정책은 올해 6월에 발표된 ‘분산에너지 활성화 추진전략(산업통상자원부, 21. 6. 30)’에 명시되어 있다. 비록 보상크기에 대한 구체적인 내용은 없으나 ‘분산에너지 활성화 특별법’ 제정을 통해 보상에 대한 법률적 근거를 마련할 계획이다.

본고에서는 분산편익 보상이 정책적으로 실현되었을 때, 실제로 구역전기사업자의 경제성 변화를 분석하기 위해서 다음과 같은 분산편익 보상안을 가정하였다. 구역전기사업자가 가지고 있는 발전기 용량에 대해 차등 지원하는 방안으로 40MW 이하는 20원/kWh, 40~150MW는 10원/kWh, 150~500MW는 5원/kWh이다. 구역전기사업자가 직접 생산한 전력에 대해서 보상하는 방안을 원칙으로 하되 생산한 모든 전력을 보상하는 경우와 생산한 전력 중 소비자에게 직접 판매한 전력량에 대해서만 보상하는 경우로 구분하여 분석을 진행하였다. 그 외 CHP역송 판매량, 외부수열, PLB 열생산량 등은 2019년 사업자 실적을 유지하는 것으로 가정하였다.

나. 전력 거래기간 개선: 전력거래소와의 연중 거래

구역전기사업자는 사업구역 내 공급 전력이 부족하거나 남는 경우에 한국전력 또는 전력거래소와 거래할 수 있다. 한국전력과 거래는 연중 상시 가능하며, 전력거래소는 3~11월 동안만 거래가 가능하다. 한국전력과 거래하는 경우 사업자와 한국전력 사이의 보완공급약관을 따르며 전력거래소와 거래 시 전력시장운영규칙을 적용받는다.

한국전력과 거래하는 경우 한국전력이 구입한 전력비용에 영업비용과 투자보수가 더해진 단가가 적용되고 전력거래소와 거래하는 경우 한국전력이 시장에서 거래하는 단가만 적용받고 한전에는 송전이용비만 지불하면 되기에 전력거래소와 거래하는 것이 구역전기사업자 입장에서 유리하다.

한전과 거래하는 경우에 보완전력구매에 대한 상한선인 월간 판매 전력량의 40%를 초과 시 페널티가 부과되어 구역전기사업자 입장에서 부담될 수 있다. 또 20MW 이상의 발전기로서 전력거래소의 발전지시에 발전 가능한 설비 구비 등을 만족하는 경우 전력거래소와 거래 시 용량요금을 추가로 보상받을 수 있다. 이러한 이유로 한국지역난방공사를 비롯한 구역전기사업자들은 전력거래소와의 거래를 연중 상시거래로 확대해줄 것을 지속적으로 요구하고 있다.

사업자 입장에서 전력거래소와 거래기간 확대는 분산편익 보상과 서로 배치될 수 있는 요인이다. 두 제도가 동시에 시행될 경우 분산편익 보상을 받기 위해서 CHP 발전량을 늘리면 전력거래소로부터 구입하는 전력량이 감소하기 때문에 전력거래기간 확대로부터 얻는 보상 수준이 감소한다. 따라서 구역전기사업자는 두 제도의 효과를 복합적으로 고려하여 적정 수준의 CHP 발전량을 결정해야 한다. 합리적인 의사결정에 따라 사업자가 구역전기사업을 운영하는 경우, 사회적 편익은 증대할 것이다.

본고에서는 전력거래소와 전력거래가 연중으로 확대되는 경우 구역전기사업자의 경제성 변화를 분석하였다. 구체적으로 12~2월 동안 전력거래소와 거래가 가능해지는 경우에 구역전기사업자가 전력거래소로부터 전력을 구매하는 비용을 절감하여 경제성을 개선할 수 있는지 분석하였다. 전력거래기간 확대에 따라 1, 2월 및 12월에 적용할 전력거래가격에 대한 가정은 사업자별로 산정하였는데 2019년 3~11월 전력거래소와 거래하는 가격(수전가격)을 적용하였다.

다. 사업자별 분산편익 보상 효과

분산편익 보상과 전력거래기간 확대가 실현되는 경우 그 효과를 분석하기 위해 5개의 구역전기사업자의 2019년 영업이익을 기준으로 정리한 것은 <표 9>의 '실적'이다. 다음으로 CHP 전력생산량 전체에 대하여 분산편익을 보상하는 경우 각 사업자의 영업이익은 '분산편익 1', CHP 전력생산량 중 직판량에 대해서 분산편익을 보상하는 경우 각 사업자의 영업이익 변화는 '분산편익 2'에 해당한다. '현행'은 단순히 2019년 실적 CHP 전력생산량에 대하여 추가로 분산편익을 보상하는 것이며 CHP 전력생산량 비중을 50~100%까지 나누어 분산편익 보상효과를 살펴보았다.

직판 수요전력을 공급하기 위하여 수전 대신 CHP 전력생산량을 증가시키는 경우에 분산편익보상 금액은 증가하지만, 영업이익 변동효과는 각 사업자별로 다르게 나타난다. 그 이유는 각 사업자의 열 수요 및 직판전력 수요가 일정한 상태에서 CHP 가동증가 및 수전전력량 감소는 연료비, 수전전력비 및 열손실 증가에 영향을 미치기 때문이며, 열손실 증가는 초과 열생산에 따른 연료비 증가로 나타난다. 예를 들어, '분산편익 1'로 분산편익을 보상하는 제도가 시행되면 사업자 A와 B를 제외하고 실질적인 영업이익 개선효과가 없다는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 각 사업자의 직판수요량 수준과 기저열원 비중과 같은 사업자 특성 때문에 발생한다.

표 9 분산편익보상 시 구역전기사업자의 영업이익 변화

(단위: 백만 원)

구분	분산편익 1					분산편익 2				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
실적	(2,349)	(1,216)	(74)	(573)	240	(2,349)	(1,216)	(74)	(573)	240
현행	(709)	450	161	355	1,223	(1,881)	(358)	116	(28)	1,064
50%	(5,079)	(286)	(129)	(3,235)	(1,471)	(6,251)	(1,094)	(171)	(3,618)	(1,630)
60%	(4,131)	87	(167)	(2,743)	(1,737)	(5,303)	(721)	(208)	(3,127)	(1,896)
70%	(3,182)	399	(202)	(2,276)	(2,123)	(4,354)	(409)	(243)	(2,659)	(2,282)
80%	(2,250)	680	(237)	(1,849)	(2,644)	(3,422)	(128)	(277)	(2,232)	(2,803)
90%	(1,329)	961	(258)	(1,483)	(3,567)	(2,498)	153	(297)	(1,866)	(3,726)
100%	(456)	1,176	(268)	(1,194)	(4,555)	(1,613)	367	(305)	(1,576)	(4,714)

주1: 분산편익 1은 전체 발전량에 대해서 보상하는 경우, 분산편익 2는 발전량 중 직접 판매한 전력량에 대해 보상하는 경우임

주2: ()의 값은 영업이익이 0보다 작은 경우를 의미함. 즉, 영업이익이 적자인 경우를 의미

분산편익 보상의 재원 크기를 검토하기 위해 사업자별 분산편익 보상금액을 산정하였다. 5개의 사업자 기준으로 현재 CHP 발전량에서 일정 요건 수준 하에서 필요한 분산편익 보상의 예산 규모를 <표 10>과

<표 11>에서 확인할 수 있다. <표 10>에서 CHP 발전량 전체에 대해서 분산편익을 보상하는 경우 최대 99억 원의 예산이 필요하다. 또한, CHP 발전량 중 직판에 대해서만 분산편익을 보상하는 경우 최대 74억 원의 예산이 필요하다는 것을 <표 11>에서 알 수 있다. 따라서 현재 구역전기사업에 대해 분산편익을 보상하는 경우 보상요건에 따라 차이가 발생할 수 있으나 연간 최대 약 100억 원의 재원이 필요하다고 볼 수 있다.

표 10 분산편익 보상금액: 발전량 전체 (분산편익 1)

(단위: 백만 원)

구분	A	B	C	D	E	합계
현행	1,639	1,665	234	927	982	5,447
50%	1,584	1,778	913	1,075	1,183	6,533
60%	1,666	1,972	1,032	1,214	1,388	7,272
70%	1,748	2,166	1,148	1,352	1,593	8,007
80%	1,831	2,360	1,262	1,477	1,798	8,728
90%	1,894	2,554	1,320	1,596	2,003	9,367
100%	1,936	2,748	1,335	1,701	2,208	9,928

표 11 분산편익 보상금액: 발전량 중 직판량 (분산편익 2)

(단위: 백만 원)

구분	A	B	C	D	E	합계
현행	467	857	190	544	823	2,881
50%	412	970	870	692	1,024	3,968
60%	494	1,164	990	830	1,229	4,707
70%	576	1,358	1,107	969	1,434	5,444
80%	659	1,552	1,222	1,094	1,639	6,166
90%	726	1,746	1,281	1,213	1,844	6,810
100%	779	1,940	1,298	1,320	2,049	7,386

분산편익 보상과 함께 전력거래기간을 확대하는 경우 일부 사업자를 제외하고 수전전력요금 감소로 인한 영업이익 변화효과는 아래 <표 12>에 나타나 있다. <표 12>에서 알 수 있듯이, 전력거래기간 확대에 따른 사업자의 영업이익은 대부분 증가하는 것으로 나타났다. 구체적으로 2019년 영업실적 기준으로 최대 2억 7천만 원의 추가적인 영업이익을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

표 12 전력거래기간 확대에 따른 구역전기사업자의 영업이익 변화

(단위: 백만 원)

사업자	A	B	C	D	E
영업이익 변화	142	159	14	241	269

주: 분산편익 보상은 '분산편익 1'을 기준

전력거래기간 확대를 통한 이익 증가의 효과를 높이기 위해서는 일정 기간 동안 CHP의 가동을 줄여야 한다. 반면에 분산편익 보상을 확보하기 위해서는 CHP 전력생산량을 증가시켜야 하며, 12월, 1월 및 2월의 3개월뿐만 아니라 다른 월의 CHP 전력생산량을 늘려야 하므로 전반적인 수전량은 감소하게 된다. 이와 같은 두 가지 제도개선 효과를 통해 사업자가 영업이익을 극대화하기 위해서는 구역전기사업자는 최적의 효과를 나타내는 CHP 발전량을 결정해야 한다.

4. 결론 및 시사점

지금까지 분산편익 보상과 전력 거래기간 개선에 따른 국내 구역전기사업자의 경제성 변화를 분석하였다. CHP 가동률을 높여 발전을 많이 할수록 실현되는 분산편익의 크기가 증가하기 때문에 분산편익 보상 시 CHP 가동률 또는 직접 생산한 전력 중 판매한 비중과 같은 일정한 보상요건이 전제 조건일 수 있으므로 분석 시 이를 고려하였다.

분산편익을 보상하게 되면 CHP의 발전량 또는 가동률에 따라 사업자별로 차이가 있으나 명확한 영업이익 개선효과가 있음을 확인할 수 있었다. 단, 분산편익 보상요건으로 CHP 가동률을 전제하는 경우 분산편익 보상 요건을 충족하기 위해 CHP 가동률을 높이면서 CHP LNG 연료비 증가, 수전전력 이익 감소, 과다 열생산에 따른 비용 발생 등의 역효과도 나타날 수 있다. 따라서 분산편익 보상이 구역전기사업의 경제성에 긍정적 효과를 가져오기 위해서는 CHP 가동 증가에 따른 비용을 상쇄할 수 있을 정도로 분산편익 보상 수준을 충분히 높이거나, CHP 가동률과 같은 보상요건을 완화하거나 구역전기사업자의 역송 단가를 높일 필요가 있다.

전력거래소와 전력거래 기간을 확대하는 방안을 분석한 결과, 전력거래 기간이 확대되면 수전전력비가 감소하여 영업이익이 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 또한 용량요금을 받는 사업자의 경우, 용량요금을 추가로 받을 수 있어 추가적인 경제성 개선효과도 기대할 수 있다. 단, 12~2월 동안만 전력거래소로부터 전력을 구매하는데 발생하는 개선효과이며, 수전전력량이 증가하면 CHP 발전량이 감소하여 분산편익 보상 크기가 감소하는 결과도 초래할 수 있다. 따라서 구역전기사업자는 분산편익 보상제도와 전력 거래기간 개선이 동시에 시행되는 경우, CHP 가동률과 전력거래소와의 전력거래량을 동시에 결정하여 이윤을 극대화하고자 할 것이다.

현재 구역전기사업은 단순히 사업 요건이 악화되었을 뿐만 아니라 시장구조와 제도적 제약으로 사업 운영 자체가 불확실한 상태이다. 전력 수요와 열 수요는 대부분 포화상태에서 보유한 CHP를 운영하면 손해를

보는 구조이기 때문에 CHP 외 열원 용량과 최소 열 수요만을 고려하여 CHP 가동을 최소화하고 있다. 본고에서 고려하고 있는 분산편익 보상과 전력 거래기간 개선은 구역전기사업자로 하여금 전기와 열을 공급하는 행동을 합리적으로 하도록 유도할 수 있다. 더 나아가, 전력판매 또는 열판매 요금으로 회수할 수 없는 비용을 초과할 정도로 구역전기사업의 분산편익 보상 수준을 높일 경우 CHP 발전량을 높여 분산편익 실현과 분산형 전원 확대라는 구역전기사업의 도입 목적 달성에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

국내 문헌

- 김용하, 이평호, 김영길, 조현미, 우성민, “국가 및 전력회사의 관점에서 열병합발전의 편익산정에 관한 연구”, 『전기학회논문지』, 제60권 5호, 2011, pp. 905-912
- 김효진, 최효연, 유승훈, “분산형 전원으로서의 집단에너지사업 열병합발전의 송전망 피해 회피편익 추정”, 『에너지공학』, 제24권 제3호, 2015, pp. 67-73
- 박성민, 김성수, “미래 전력 계통의 불확실성을 고려한 송전혼잡비용 분석”, 『전기학회논문지』, 제63권 제3호, 2014, pp. 131-137
- 전력거래소, 「분산형 집단에너지 전원 활성화를 위한 정책연구」, 2014. 12.
- 한국지역난방공사, 「집단에너지사업에서의 CHP 역할 연구」, 2018. 2.

웹사이트

- 국가법령정보센터 전기사업법, <http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=216205&efYd=20201001#0000>

무탄소 신전원 활용기술과 해외 활용사례 - 일본을 중심으로¹⁾

김재엽 에너지경제연구원 부연구위원(iamchamp@keei.re.kr)



1. 서론

최근 해외 선진국들을 중심으로 한 ‘2050 탄소중립(net zero)’ 선언은 에너지 및 환경 정책의 주류 트렌드로 자리 잡고 있는 듯하다. 우리 정부도 2050년 탄소중립 목표를 달성하기 위해 ‘2050 탄소중립위원회’를 구성하여 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 구체적인 로드맵을 제시하려는 노력을 기울이고 있으며, 그 결과 지난 10월 국내 탄소 순배출량을 제로화하는 ‘2050 탄소중립 시나리오 최종안’이 발표되었다. 이와 더불어 2050 탄소중립 목표 달성의 중간 목표로 ‘2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안’도 비슷한 시기에 확정되면서 기후변화 대응과 탄소배출 저감은 국민의 일상에 보다 가까이 다가오게 되었다. 국내에서 ‘무(無)탄소 신(新)전원’이라는 표현은 2050 탄소중립 시나리오 초안에서 공식화되었는데, 해외에서는 저탄소(low-carbon) 에너지원 또는 무탄소(carbon-free) 에너지원으로 통용되는 개념이다. 그

1) 본고는 김재엽 · 이태의, 2021, “무탄소 신전원 해외사례 및 정책방향 연구,” 에너지경제연구원 수시연구보고서의 주요 내용을 부분적으로 요약한 것임(자세한 내용은 김재엽 · 이태의(2021)의 내용을 참고).

그러나 무탄소 신전원이 어떤 에너지원을 포함하고 있는지에 대해 합의가 이루어진 바는 없는 관계로, 무탄소 신전원의 활용기술과 사례를 살펴보기 위해서는 먼저 무탄소 신전원의 범위가 먼저 정의되어야만 한다. 지금까지 석탄과 가스복합 화력발전은 각각 기저부하와 첨두부하를 맡아 전력공급의 안정성 유지에 기여해 온 발전원들이었다. 그러나 에너지전환 이슈가 대두되고 국가별 NDC 상향 및 2050 탄소중립 이행까지 이어지면서 변동성 재생에너지원 보급 확대를 위한 정책적 지원은 개도국을 제외한 국가그룹에서 일반적인 현상으로 자리 잡았다. 그 결과 석탄, 가스 등 전통전원 중심의 전원믹스는 변동성 재생에너지 중심의 전원믹스로 눈에 띄는 변화를 보이고 있는데, 에너지전환에서 탄소중립으로 이어지는 일련의 기후환경 변화 대응은 산업정책에서부터 금융·재정지원정책에 이르기까지 전방위적인 정책변화를 유발하며 신(新) 경제질서를 구축하고 있다. 이는 에너지신산업 발굴 등 새로운 기회를 창출하기도 하지만 화력발전을 포함한 기존 산업에 갑작스럽고 큰 충격을 발생시켜 고용 불안정과 지역별 경제활동 위축을 가져오고 사회적 갈등의 시발점이 되기도 한다.

전환(발전)부문에서는 탄소중립 이행 과정에서 화력발전 퇴출에 따른 사회적·경제적 충격을 완화하는 한편 변동성 재생에너지 확대에 따른 계통운영의 안정성 확보도 동시에 달성해야 하는 상황이다. 무탄소 신전원의 활용은 화력발전 중심에서 재생에너지 발전 중심으로 에너지정책을 전환하는 과정에서 전력시스템이 직면하는 정책적 과제들을 해소하는 하나의 방안으로 작용할 수 있다. 이하에서는 그러한 무탄소 신전원이 어떤 에너지원을 포함하고 있으며, 해외에서는 어떤 역할을 수행하고 있는지를 간략히 살펴보고자 한다. 특히 우리나라 전력산업 거버넌스와 유사한 측면이 많은 일본의 '무탄소 신전원 활용전략'을 간단히 살펴봄으로써 에너지전환의 사회적·경제적 충격을 완화하면서 지속가능한 재생에너지 보급을 가능하게 하는 정책의 필요성 및 효과를 타진해보려 한다.

2. 무탄소 신전원의 범위

가. 전환 부문 2050 탄소중립 시나리오 최종안

2021년 10월 관계부처 합동으로 발표된 '2050 탄소중립 시나리오 최종안'에서는 부문별 탄소배출 저감을 통해 국내 탄소 순배출 제로화를 목표로 2개의 시나리오(A안, B안)를 제시하고 있다. 2018년에 공개된 'IPCC 1.5℃ 특별보고서'를 토대로 모든 국가가 2050년까지 탄소중립을 추진하는 전제하에 국외 감축분이 없는 2050년을 가정한 시나리오로 구성되어 있는데, A안은 화력발전 전면 중단을 가정하며 B안은 일부 LNG 화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등의 탄소제거 기술을 적극 활용하는 것을 가정하고 있다. 전환(발전)부문 탄소중립 시나리오별 전원구성을 살펴보면 '무탄소 가스터빈(GT)'이 전원믹스의 한 축을 구성하고 있다. 당초 전환 부문 2050 탄소중립 시나리오 초안에서 '무탄소 신전원'으로 표현되었다가 무탄소 가스터빈으로 구체화된 것으로 보인다. 가스터빈을 언급하였다는 것은 일본 등을 중심으로 구체화되고 있는 수소 및 암모니아 혼소 및 전소 발전을 무탄소 전원으로 고려하고 있음을 의미한다. 전환 부문 정책 제언에서도 R&D 확대를 통해 수소터빈 등 신규 발전원의 조기 상용화를 추진하겠다고 밝히고 있어 우리 정부가 무탄소 전원으로 수소 또는 암모니아를 활용하는 방안을 구체적으로 검토하고 있음을 알 수 있다.

표 1 전환 부문 2050 탄소중립 시나리오 최종안 전원믹스

구분	발전량(TWh)									배출량 (백만 톤)
	원자력	석탄	LNG	재생 E	연료전지	동북아그리드	무탄소GT	부생가스	합계	
A안	76.9	0	0	889.8	17.1	0	270.0	3.9	1,257.7	0
B안	86.9	0	61.0	736.0	121.4	33.1	166.5	3.9	1,208.8	20.7

자료: 관계부처합동, 2021.10. 『2050 탄소중립 시나리오안』, p.3~4 내용 참조

전환 부문 탄소중립 시나리오 최종안의 전원믹스를 살펴보면 2050년 전환 부문에서의 온실가스 목표 배출량이 0~20.7백만 톤 수준으로 설정되어 있다. 탄소배출 제로 및 최소화를 위해 전원믹스 측면에서는 석탄 및 가스복합 화력발전의 비중을 크게 줄이고 재생에너지와 수소 및 암모니아 기반의 발전을 확대하려는 정책방향이 엮보이는 가운데, 화력 발전을 완전 퇴출시키는 A안과 달리 B안에서는 가스복합화력의 일부를 유연성 내지 예비력 자원으로 활용하는 상황을 가정하였다. 향후 2050년까지 변동성 재생에너지 발전원의 공급이 급격히 확대될 경우 안정적 전력공급 및 계통운영 차원에서의 대응도 동시에 고려한 결과로 추정된다.

나. 전환 부문 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안

2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)는 2050 탄소중립이라는 장기 목표를 달성하기까지의 중간 목표에 해당한다. 유럽, 미국, 일본 등 해외 주요 선진국들은 국가별 배출정점 연도 또는 배출정점 인접연도로부터 2050년 탄소중립 달성까지 균등감축 수준으로 NDC를 상향하고 있다. 우리 정부는 기후위기의 심각성과 경제규모에 걸맞은 역할 등을 고려하여 NDC 상향안 마련에 노력을 기울여왔는데, 지난 8월에는 ‘탄소중립 기본법’에 NDC 최소 기준(2018년 대비 최소 35% 이상의 온실가스 배출량 감축)을 명시하였고 이후 국제 NDC 동향 등을 감안하여 2030 NDC 상향안을 최종 결정하게 되었다.

국내 전환 부문 2030 NDC 상향안에서는 2030년까지의 GDP 상승과 친환경 전기자동차 보급 확대에 따른 전력수요 증가, 수요관리 이행력 강화 등이 반영되어 제9차 전력수급기본계획에서의 2030년 목표수요(542.5TWh)보다 약 4.5% 증가한 567TWh의 전력수요를 전망하고 있다. 이를 송배전 손실과 소내소비율을 반영하여 발전단 기준 발전량으로 역산해 보면 약 612.4TWh 수준으로 추정되는데, 전환 부문 NDC 상향안에서는 612.4TWh의 전력을 공급하기 위한 주요 전원으로 원자력, 석탄, LNG, 신재생, 암모니아, 양수를 제시한다.

표 2 2030 NDC 상향안에서의 전원믹스 구성

구분	원자력	석탄	LNG	신재생	암모니아	양수/기타	합계
발전량(TWh)	146.4	133.2	119.5	185.2	22.1	6.0	612.4
비중(%)	23.9	21.8	19.5	30.2	3.6	1.0	100.0

자료: 관계부처합동, 2021.10. 『2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안』, p.6 표 재인용

한편 전환 부문 2030 NDC 상향안의 전원믹스 간 세부 연관관계를 살펴보면 온실가스 배출량 저감(2030년까지 전환 부문 온실가스 배출량 1.5억 톤 달성)을 위해 화력발전(유류, 석탄, LNG)의 비중은 축소되는 대신 신재생에너지 발전 비중의 확대 및 암모니아 등 무탄소 연료의 혼소발전 도입이 명시되어 있다. 다만 현재 기술단계에서는 수소의 폭발력을 감안할 때 저장 및 연료투입 시 충분한 주의를 기울여야만 한다. 따라서 수소 대비 폭발력이 작고 안정적이면서 저장기술은 성숙단계에 접어든 암모니아가 2030 NDC 상향안에서의 주요 무탄소 전원으로 제시된 것으로 보인다.

다. 무탄소 신전원의 범위 설정

전환 부문 2050 탄소중립 시나리오 최종안과 2030 NDC 상향안을 통해 우리 정부가 2050 탄소중립이라는 장기 목표의 달성을 위해 발전연료로서의 수소와 암모니아 활용을 고려하고 있음을 확인할 수 있다. 한편 탈원전 기조가 강화되는 상황에서도 2050년까지 일정수준의 원자력 발전이 잔존하고 있는데 탄소중립 달성 과정에서 원전의 역할을 일정 수준 인정할 결과일 수 있다. 다만 기존 대형원전의 신규도입이나 가동 중단이 확정된 원전의 계속운전에 의한 원전 발전량이 아닌 탈원전 과정에서 남은 잔여원전 내지는 SMR과 같은 차세대 소형 모듈형 원자로의 활용이 반영되었을 것으로 조심스럽게 추측해본다.

결과적으로 2050 탄소중립 목표 달성에 기여할 주요 무탄소 신전원은 수소와 암모니아로 보아야 할 것인데, 중단기적으로는 암모니아의 활용이 기술경제적 측면에서 수소 대비 경쟁력이 있을 것으로 평가되고 있다. 암모니아와 수소는 물리적, 화학적 특성에서 상호 상반되는 특징이 있으며, 암모니아를 수소 캐리어로 활용 가능하다는 측면에서 두 연료를 완전 독립적인 별개의 연료로 보기는 어렵다(암모니아에서 수소를 추출하여 수소연료로 활용 가능). 이하에서는 암모니아와 수소 혼소의 기술적 특성과 두 연료의 혼소발전 시 CCUS의 결합 활용의 이점에 대해 구체적으로 살펴보고자 한다.

3. 주요 무탄소 신전원의 활용기술

가. 암모니아 혼소

IEA에서는²⁾ 발전부문에 대한 저탄소 암모니아의 활용과 관련하여 2025년까지 1GW급 석탄화력 발전소에 대한 암모니아 혼소율이 20%까지 확대될 것으로 전망한다. 화력발전 부문에서의 암모니아 활용은 일 본을 중심으로 혼소연구와 실증 테스트가 광범위하게 이루어지고 있고, Mitsubishi 중공업 등 글로벌 가스터빈 제조업체들은 장기적으로 가스터빈에도 수소 외 암모니아 주입이 가능하도록 R&D를 진행 중이다.

2) IEA. 2021a. "The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector." pp.26~27 참조

1) 발전연료로서의 암모니아

질소와 수소로 구성되어 있는 암모니아는 연소 시 온실가스가 배출되지는 않으나 질소산화물(NOx) 및 독성물질이 배출되는 문제가 있다. 또한 암모니아는 수소 함량이 높고 수소 대비 에너지 밀도가 높은 장점이 있는데, 실제 암모니아의 평균 수소 함량은 약 120kgH₂/m³ 수준으로 액화 수소의 수소 함량이 약 70kgH₂/m³, 압축 수소의 수소 함량이 약 40kgH₂/m³ 수준인 점을 감안할 때 상당히 높은 수준의 수소 함량을 보여준다. 한편 암모니아는 수소보다 액화가 용이하여 운송 및 저장 측면에서의 기술적 성숙도가 높고 수소 캐리어로서의 역할도 충실히 수행할 수 있다. 1기압 조건에서 암모니아의 액화온도는 영하 33℃, 수소의 액화 온도는 그보다 훨씬 낮은 영하 253℃이므로 액화 및 운송·저장 측면에서 암모니아는 탁월한 강점을 보유하고 있다. 연소 측면에서는 암모니아의 장단점이 극명하게 엇갈리는데, 암모니아의 평균 연소속도가 약 7cm/s 수준이며 수소의 평균 연소속도가 170~291cm/s 수준인 점을 비교해보면 암모니아의 발화력과 연소효율이 수소보다 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 지나치게 낮은 연소속도 및 화염 안정성은 상용 가스복합화력 발전소의 대형 가스터빈에 대한 암모니아 활용을 저해하는 요소기도 하다. 그러나 암모니아의 희박폭발한계(lean flammability limit)는 약 0.63 수준으로 수소의 희박폭발한계인 0.1 수준보다 높아 연료저장의 안정성 측면에서 수소보다 활용이 용이한 특성을 보인다.

표 3 발전연료 간 특성 비교(암모니아, 천연가스, 수소)

특성	암모니아	천연가스	수소
열량(MJ/kg)	18.6	53.3	120
연소속도(cm/s)	7	46~52	170~291
희박폭발한계	0.63	~0.5	0.1

자료: 전력연구원 발전기술연구소. 2021.11. 「Carbon-free 암모니아 발전기술」. 에경연-전력연구원 세미나 발표자료, p.5 표 일부 발췌

현재 가스터빈에는 수소가 주입되는 경우가 일반적이지만 질소와 수소로 구성된 암모니아도 이론상으로는 가스터빈 연료로 직접 주입이 가능하다. 전환 부문 2050 탄소중립 시나리오에서 무탄소 가스터빈의 연료로 암모니아도 충분히 활용될 수 있는 것이다. 2021년 현재 300kW 수준의 소규모 가스터빈에 대해 암모니아의 직접 주입과 연소 안정성 테스트가 성공한 것으로 파악되며, 향후 보다 큰 규모의 가스터빈으로의 적용을 위해서는 암모니아의 낮은 연소속도와 독성물질 및 질소산화물 배출 문제가 적절히 해결되어야 할 것이다.

2050 탄소중립 달성을 적극적으로 추진할 경우 2050년 기준 석탄화력 발전소에 대한 암모니아 연료의 투입량은 연간 6천만 톤에 이를 것으로 예상되며 석탄과 암모니아의 혼소를 통해 생산되는 전력량은 연간 약 140TWh 수준으로 전망된다.³⁾ World Energy Outlook 2021에서는⁴⁾ 2050년 전 세계 발전량을 약

3) IEA. 2021a. "The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector." p.27 참조

4) IEA. 2021b. "World Energy Outlook 2021." 지속가능개발 및 넷제로 배출 시나리오 데이터(데이터 추출: 2021.11.15.)

71,163TWh로 전망하고 있는 바, 140TWh의 발전량은 2050년 전 세계 발전량 전망치의 0.2% 수준에 불과하지만 향후 대규모 석탄화력 발전소에 대한 암모니아 혼소율이 올라가고 대형 가스터빈에 대한 암모니아 활용이 가능해진다면 암모니아로부터의 발전량도 그에 비례하여 큰 폭으로 증가할 수 있다. IEA에서는 1GW급 단일 석탄화력 발전소에 대해 암모니아를 20% 비율로 혼소한다면 연간 약 50만 톤의 암모니아가 투입될 것으로 예상하고 있으며,⁵⁾ 인도와 중국 등 신흥국 석탄화력 발전소를 중심으로 암모니아 혼소가 본격적으로 확대된다면 전 세계 발전용 암모니아 소비가 대폭 증가할 것이다.

2) 암모니아 혼소율 제고를 위한 과제

암모니아는 천연가스와 수소에 비해 연소속도가 느리고, 희박폭발한계도 높은 편이라 연소효율을 좌우하는 화염 안정성을 일정수준 이상 유지하는 것이 쉽지 않다. 따라서 기존의 석탄과 가스복합화력 발전소를 암모니아 혼소용으로 개조할 때는 보일러 외에 암모니아 저장 탱크, 기화기 등 추가적인 설비보강이 요구된다. 한편 암모니아 연소 과정에서 발생하는 질소산화물을 처리하는 기술적 노하우와 인프라는 충분히 확보되어 있는데, 석탄화력 발전소의 경우 배연가스(flue gas)에 선택적 촉매환원법(selective catalytic reduction, SCR⁶⁾)을 적용하여 질소산화물을 저감시키고 있다.

사실 암모니아 혼소발전에 있어 가장 중요한 사항은 석탄-암모니아 간 적정 혼소비율 및 암모니아 주입 방법이다. 현재 기술적으로 검증된 석탄-암모니아 혼소율은 30~60% 수준인데, 석탄-암모니아 혼소율이 60%일 경우 복사 열전달(radiative heat transfer)은 크게 감소하는 것으로 나타났으며 보일러 벽체로의 열전달량은 약 3% 감소하는 특징을 보였다. 암모니아를 석탄 노즐에서 혼합하거나 암모니아 주입관(ammonia gun)으로 주입되면 혼소율 30%까지는 질소산화물 배출량이 증가하지 않았다. 이러한 일련의 실험결과들을 토대로 환경오염물질의 배출을 최소화와 발전효율 극대화를 동시에 달성할 수 있는 ‘최적 혼소율’을 찾아가야 한다.

암모니아 혼소에 있어 마지막 이슈는 독성과 부식성에 대한 대응이다. 암모니아는 수소 대비 발화위험이 적어 연료저장이 상대적으로 용이하다. 그러나 독성과 부식성은 연료 활용 시 안전문제로 직결되므로 지속적인 기술개발을 통해 극복되어야 한다. 액체 암모니아를 증발시키지 않고 가스터빈에 직접적으로 주입할 수 있다면 암모니아 혼소발전 시 안전비용을 절감하면서 발전효율을 제고하는 효과를 기대해 볼 수 있다.

나. 수소 혼소

1) 발전연료로서의 수소

2021년 현재 수소는 전 세계 발전량의 0.2%를 차지하고 있어⁷⁾ 발전부문에서의 역할은 미미하다. 그러나

5) IEA. 2021a. “The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector.” pp.27~28 참조

6) 선택적 촉매 환원법은 질소산화물(NOx)을 처리하는 데 있어 검증된 방법들 중 하나로, 발전설비 등 고정오염원에서 배출되는 NOx를 효율적으로 제거하는 기술이다. 환원제를 주입하여 NOx를 인체 및 환경에 무해한 질소 또는 물로 전환시키는 방법이며, 연료를 연소시켰을 때 배출되는 NOx의 제어를 위해 배기가스에 미리 공기와 스팀으로 혼합된 환원제를 주입하면서 혼합시켜준다.

7) IEA. 2021a. “The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector.” p.24 참조

산업계에서는 이미 철강, 석유화학, 정제업 부문에서 수소 혼합가스를 널리 활용하고 있고, 특히 정유와 석유화학 등의 분야에서는 소규모 터빈에서 90% 이상의 수소 혼소를 성공한 사례가 존재한다.

발전연료로 수소를 적극 활용하는 방안에 대해 국가적인 차원에서 구체적인 목표와 로드맵을 제시한 나라는 거의 찾아보기 힘들다. 그러한 가운데 일본 정부는 2030년까지 수소 기반의 발전설비 1GW를 보급하고 발전연료로서의 수소 투입량을 30만 톤까지 확대할 계획을 수립하였다. 여기에서 더 나아가 장기 목표로 수소 기반 발전설비를 15~30GW 확대할 계획을 밝히기도 하였는데, 이때 일본 내 발전부문에서의 수소 소비량은 0.05~1억 톤까지 확대될 것으로 전망된다.

최근까지 유럽과 미국, 일본 등 주요 선진국을 중심으로 가스터빈-수소 혼소 프로젝트가 광범위하게 진행되고 있다. 이 프로젝트들은 대체로 최대 500MW급 상용 발전설비를 수소 혼소발전용으로 개조하는 계획을 포함한 것으로 알려졌다. 특히 일본 Mitsubishi 社에서는 500MW급 이상의 상용 가스복합화력 발전소에 대해 30% 이상의 수소 혼소를 2025년까지 완료하고 2045년까지는 수소 전소가 가능한 체제를 구축할 계획을 밝힌 바 있다. 전 세계 가스터빈-수소 혼소 프로젝트 추진현황을 아래 <표 4>에 간략히 정리해 보았다. 소규모 가스터빈에 대해 이미 다양한 혼소율을 적용하여 발전을 성공한 사례가 두드러지며, 2050 탄소중립 이행 과정에서 기구축된 가스복합화력 발전의 좌초자산화(stranded asset)를 예방하는 차원에서 재생에너지 확대 시 계통안정성 유지에 필요한 유연성 자원으로 활용하기 위해 500MW급 대형 가스터빈에 대한 혼소율 제고를 도모하는 것으로 보인다.

표 4 글로벌 가스터빈-수소 혼소 프로젝트 추진 현황

프로젝트명	설명	상태	지역
FLEXnCONFU	전력부문 컨소시엄(European consortium)을 구성, 전력회사에 대한 저탄소 발전연료 공급 지원	진행 중	유럽 5개 시범 지역
Hydrogen to Magnum	2025년까지 440MW 가스 터빈 유닛 1기를 100% 수소로 전환	발표	네덜란드
Mitsubishi Power	2024년까지 40MW의 암모니아 연소 가스 터빈을 개발, 2025년까지 터빈 배기열로 암모니아를 수소로 분해	발표	일본
GE	가스터빈 25개를 수소를 연료로 운영 중(부피 기준 수소 혼소율 50% 이상)	운영 중	전 세계 여러 지역
Energy Australia	2024년까지 300MW 이상의 가스 발전소에 수소 혼소	발표	호주
HyFlexPower	12MWe 열병합(CHP) 장치를 수소 혼소용으로 개조	파일럿 PJT 진행	프랑스
Long Ridge Energy Terminal	485MW 복합 발전소를 수소 혼소 5%로 개조 후 향후 10년 내에 수소 전소(100%) 달성 목표	1단계 완료	미국
Mitsubishi Power	2024년까지 수소 혼소율 30%를 달성하고 전소 연구 추진	2023~2025년 온라인화 목표	미국 내 3개 지역

자료: IEA. 2021a. "The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector." p.24 표 정리

2) 수소 혼소율 제고를 위한 과제

소규모 왕복 가스터빈(reciprocating gas turbine)의 경우 수소 함량 70% 수준의 천연가스를 안정적으로 처리할 수 있다는 것이 입증되었다. 또한 실험 단계에서는 수소 전소가 가능한 터빈도 이미 존재하는 것으로 알려졌다. 소형 가스터빈의 경우 정제 및 석유화학 분야에서 90% 이상의 수소 혼소가 가능한 사례가 쉽게 발견되는데, 실제 국내 일부 정제소에서 20여 년간 수소함량이 최대 90%인 가스를 주입하여 40MW급 가스터빈을 가동해온 것으로 파악되었다.

수소 혼소율은 관련 기술, 장비 상태, 가용 인프라, 수소 혼소 적합성 등에 따라 상이하게 나타나며, 고온 상태에서 질소산화물 배출 저감을 위해 물을 사용할 경우 효율 상실 문제 등을 어떻게 극복하느냐가 혼소율 수준을 결정하게 된다. 일반적으로 수소 연소 시에 ‘비예혼합화염(non-premixed flame)⁸⁾ 방식’이 적용되는데, 이 경우 수소 연소 시 화염의 안정성(flame stability)은 확보할 수 있지만 질소산화물 등 환경오염물질이 추가로 배출된다. 질소산화물의 배출을 저감하기 위해서는 물을 주입하는 ‘습식 저(低) 배기가스(Wet Low Emissions) 기술’을 활용하지만 물 주입에 따른 연소효율 저하는 피할 수 없다. 결과적으로 연소효율의 저하 문제를 극복하려면 터빈의 종류를 다양화하거나 연소 방식을 다양화해야 하는데, ‘건식 저(低) 배기가스(Dry Low Emissions) 기술’이 적용된 가스터빈을 활용한다면 비예혼합 연소 시스템 사용을 최소화할 수 있을 것이고 연소효율 저하 문제도 일정 수준 극복이 가능할 것이다. 한편 수소 혼소용으로 가스터빈을 개조할 경우 LNG 단일연료를 사용할 때보다 연료 시스템의 부피 흐름을 최대 3배까지 허용되도록 개조가 이루어져야 한다. 부피 측면에서 LNG와 동일한 발열량을 얻으려면 부피의 흐름 확대가 필수적이기 때문이다.

수소-LNG의 안정적인 혼소 및 혼소율 제고를 위해 주로 논의되는 기술적 극복 과제는 크게 세 가지다. 첫 번째 과제는 자착화(autoignition)⁹⁾와 역화(flashback)¹⁰⁾ 문제의 극복이다. 앞서 살펴본 바와 같이 수소의 연소속도는 평균적으로 170~291cm/s 수준이다. 이는 LNG 연소속도의 4~5배에 달하는 속도며, 수소의 희박폭발한계 역시 낮은 수준이라 반응속도가 매우 빠르다. 이는 수소의 저장 및 연료 투입 시 폭발 위험이 높다는 것을 의미한다. 따라서 자착화와 역화문제는 발전용 수소의 안전한 혼소 및 전소를 위해 반드시 극복되어야 할 문제점이다. 두 번째 과제는 연료 혼합에 의한 희박가연(lean blow out) 범위의 변동이 유발하는 연소 불안정성을 극복하는 것이다. 수소 혼합비율에 따라 희박가연범위가 변동하고 그에 따라 연소의 안정성이 저하된다면 발전사업자 입장에서 수소를 연료로 투입하기가 쉽지는 않을 것이다. 마지막 세 번째 과제는 수소의 빠른 반응속도와 확산속도에 대응한 연소기의 적절한 개조다. 연소기를 개조할 때 ‘Wobbe Index(WI)’를 참고하게 되는데, 이 지표는 발전연료가 다변화될 때 설계된 연소기의 허용 한계

8) 비예혼합화염(non-premixed flame) 방식은 연료(fuel)와 산화제(oxidizer)를 반응 전에 미리 혼합해두지 않는 연소방식이다. 이와 반대되는 개념이 예혼합화염(premixed flame) 방식인데, 이때 미리 혼합된 연료와 산화제가 균일하게 혼합되지 않을 경우 화염의 안정성이 떨어지는 문제가 있다. 따라서 비예혼합화염 방식에서는 화염 및 연소의 안정성 제고 등을 목적으로 연료와 산화제를 미리 혼합해두지 않는다.

9) 자착화(autoignition)는 특정 압력과 열상태에서 단독으로 발화하는 현상을 의미한다. 수소는 자착화가 우려될 정도로 착화성이 우수하지만 이것이 지나칠 경우 역화(flashback) 현상이 발생하며, 이를 제어하기 위해 엔진의 출력을 제한하기도 한다.

10) 내연기관에서 실린더로부터 흡기관이나 기화기 방향으로 불꽃이 거꾸로 흐르는 현상을 의미한다. 수소에 산소나 공기가 역류되어 포함된다면 역화(flashback)의 위험이 있다.

를 판단하는 기준이며, WI의 변화폭을 감안하여 연소기의 개조가 적절히 병행될 때 수소 혼합비율을 높은 연료를 터빈에 안정적으로 주입할 수 있다.

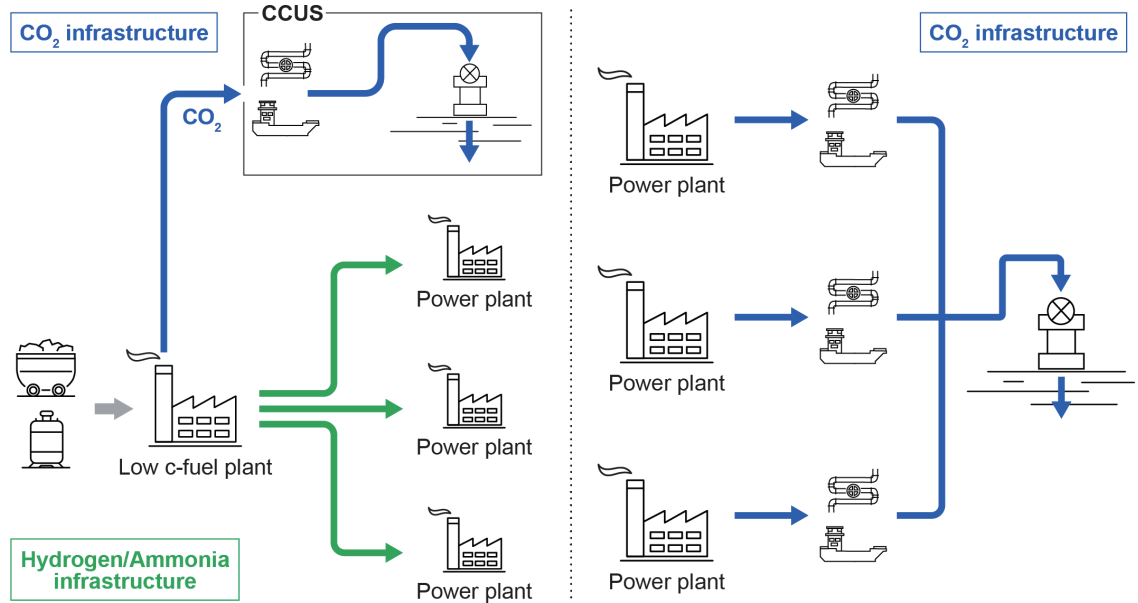
다. CCUS의 활용

기존 화력발전설비에 CCUS(Carbon Capture Utilisation and Storage) 장치를 부가할 경우 저탄소 에너지시스템에서도 기존의 화력발전소를 지속적으로 이용하면서 전력계통의 안정성도 제고할 수 있다. 이 경우 화력발전설비의 퇴출 시점을 탄력적으로 조정할 수 있으므로 발전부문에서의 저탄소 이행 비용을 절감할 수 있을 것이다. IEA에서는 CCUS 기술을 적용한 화력발전설비의 온실가스 배출량은 해당 기술을 적용하지 않은 발전설비 대비 85~98%가량 저감된다고 보고 있다. 이러한 측면에서 CCUS가 2050 탄소중립 달성 과정에서 중요한 역할을 하리라는 것을 어렵지 않게 예측할 수 있다. 탈탄소 이행 과정에서 중단기적으로 수소와 암모니아의 혼소가 널리 활용될 경우¹¹⁾ CCUS까지 추가적으로 활용한다면 연료부문에서의 저탄소화와 발전과정에서의 온실가스 추가 감축 효과를 기대해 볼 수 있을 것이다. 따라서 2050 탄소중립 시대에 무탄소 신전원의 보급을 촉진하는 도구로 CCUS의 적극적인 활용을 검토할 가치가 있어 보인다. CCUS 장치를 활용하는 방식은 크게 두 가지로 분류된다. 첫 번째 방식은 이산화탄소가 대기로 방출되기 전 배연가스(flue gas) 단계에서 이산화탄소를 분리·포집하는 방식이다(연소 후 포집(post-combustion capture) 방식). 배연가스를 탈황 후 아민(amine) 기반의 용제로 이산화탄소를 흡수하게 된다. 두 번째 방식은 순산소 연소(oxy-fuel) 보일러로 설비를 교체한 후 이산화탄소를 분리하는 방식이다. 순산소 연소 보일러와 연계한 CCUS는 보일러 외에도 발전설비 전반에 걸친 설비 업그레이드가 필요할 수 있으므로 연소 후 포집 방식보다 소요되는 비용이 클 가능성이 높다. 그럼에도 순산소 연소 보일러를 활용할 경우 배연가스 스트림이 거의 100% 이산화탄소로 구성되므로 추후 이산화탄소를 분리하는 데 소요되는 비용은 줄어들 것이다.

한편 CCUS를 화력발전소에 도입한다면 크게 두 가지 경로로 탄소배출을 저감할 수 있다. 하나는 개별 화력발전소 설비 자체를 개조하여 발전 단계에서부터 CCUS를 활용하는 경로며, 다른 하나는 연료변환 발전소에서 혼소용 저탄소 수소 내지 암모니아를 생산할 때 CCUS를 활용함으로써 이산화탄소를 포집하는 경로다. CCUS를 저탄소 수소 및 암모니아 생산 단계에 적용하는 경로는 개별 화력발전소에서 CCUS 활용을 위해 설비를 직접개조하는 방식보다 이산화탄소 포집 관련 비용이 상대적으로 적다. 저탄소 연료생산 단계에서부터 이산화탄소를 포집하므로 수소 및 암모니아 내의 이산화탄소 함량이 배연가스 내의 이산화탄소 함량보다 높기 때문이다.

11) 장기적으로 수소와 암모니아를 전소하는 이상적인 기술력을 달성한다면 CCUS의 활용은 축소될 수 있다. 즉 CCUS는 화석연료(석탄 및 LNG 등)에 수소와 암모니아를 혼소발전하는 '중단기 시점에서의 탄소배출 저감'에 기여하는 바가 더 크다고 이해할 수 있겠다.

그림 1 CCUS의 탄소배출 감축 경로 도식화



주: (좌) 연료변환 발전소의 농축공정 가스(concentrated process gases)에서 CCUS로 이산화탄소를 포집하여 탈탄소화된 연료를 만들고, 이를 개별 발전소로 수송하는 경로, (우) 개별 발전소의 배연가스에서 CCUS로 이산화탄소를 포집하여 수송 및 저장하는 경로

자료: IEA. 2021a. "The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector." p.36 그림 재인용

4. 일본의 무탄소 신전원 활용

가. 제6차 에너지기본계획

지난 10월 22일, 일본 정부는 2050 탄소중립을 목표로 2030년에 2013년도 온실가스 배출량(14.08억CO₂톤) 대비 46%의 감축하는 등 향후 에너지정책 추진 방향을 제시하는 ‘제6차 에너지기본계획’을 공식 발표하였다. 일본의 제6차 에너지기본계획에서 2030년 전원믹스를 살펴보면 재생에너지 발전비중은 2030년 총 발전량의 36~38%, 원자력은 20~22%, 화력은 41%를 차지하고 있으며, 수소 및 암모니아 발전비중이 약 1% 추가된 점이 특징적이다.

화력발전의 경우 재생에너지의 변동성을 보완하여 전력공급의 안정성을 확보하는 차원에서 일정 비중을 유지하되 장기적으로는 점진적으로 폐쇄해나가는 방침을 밝혔는데, 그 과정에서 수소와 암모니아를 화력 발전에 혼소하여 탄소배출을 저감하는 방안을 구체화하였다. 2030년 일본 발전부문의 수소 및 암모니아 보급 및 활용목표에 따르면 중단기적으로 가스복합화력에 대해 수소 30% 혼소를 추진하고 장기적으로는 100% 전소를 달성할 계획이다. 한편 일본 정부는 제6차 에너지기본계획을 통해 석탄화력에 암모니아 혼소를 20%를 목표로 실증을 추진하고 비화석가치 평가시스템을 마련할 계획을 밝혔다. 아울러 제6차 에너지기본계획 수립단계부터 수소사회의 실현을 위해 수소 공급비용을 화석연료와 동등한 수준까지 낮추고 수요측의 이용을 확대하고자 하였는데, 이번 제6차 에너지기본계획 확정안에서 안정적인 수소 공급을 위한 해외 저렴한 수소의 확보 및 일본 내 수소생산 기반의 확립 방침을 명시하였다.

표 5 일본 제6차 에너지기본계획 - 2030년 전원믹스

2030년	원자력	석탄	석유	LNG	재생E	수소 및 암모니아	합계
발전량(TWh)	187~205	177	19	187	336~355	9	934
전원구성(%)	20~22	19	2	20	36~38	1	100

자료: 일본 경제산업성 “제6차 에너지기본계획” 초안 및 확정안을 참고하여 직접 작성

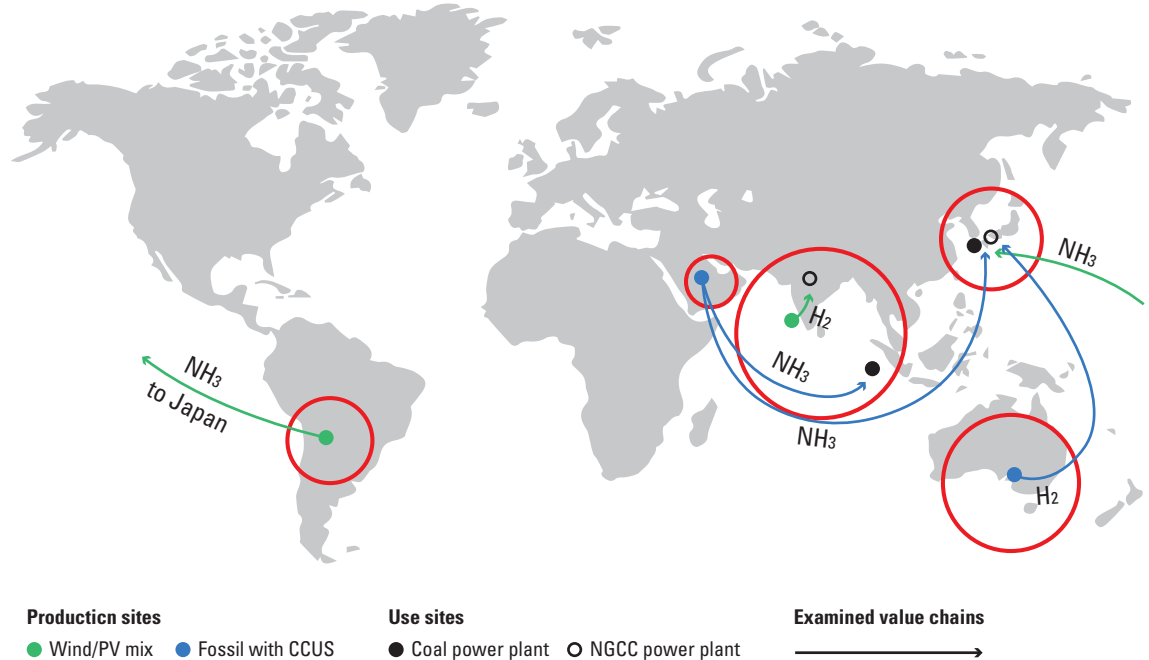
나. 일본의 발전부문 수소 및 암모니아 활용 현황

지난 8월 일본에서는 도쿄전력과 주부 전력의 합작법인 ‘JERA’에서 수소 혼소 프로젝트에 대한 일본정부의 승인을 획득하였다. 이에 따라 2025년 3월 말까지 기운영 중인 대형 LNG 복합화력 발전소에 대해 30%의 수소 혼소발전을 시행하게 되는데, 이는 일본 내에서 상업용 LNG 복합화력 발전설비에 수소를 연료로 투입하는 최초의 프로젝트에 해당한다. 일본 ‘신에너지·산업기술 종합개발기구(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)’로부터 5년간 프로젝트 수행에 대한 재정적 지원을 받게 되었다.

당초 일본 정부는 2050 탄소제로 달성을 위해 2030년까지 약 2.2GW의 초임계(supercritical) 석탄설비의 폐지를 발표하였다(2020년 10월). 그리고 잔여 초초임계(ultra supercritical) 석탄화력 발전소에 대해 암모니아 혼소율을 높여 2040년 경에는 암모니아 전소를 달성할 계획을 수립하였다. 아울러 일본 정부는 안전한 수소저장 및 운송매체(암모니아, 액화수소, 메틸사이클로헥산)를 활용하여 수소발전의 확대를 공표하였고 2030년까지 일본 내 전체 화력발전소에 대해 수소연료를 전면 적용할 방침을 밝혔다. 이렇듯 일본은 국가 차원에서 수소 전략을 수립한 최초의 국가이자 발전연료로서의 수소의 개념을 정립하고 활용하는 수소 선도국이다. 이러한 배경에서 일본의 대표 발전사의 합작법인인 JERA가 상업용 LNG 복합화력 발전소에 수소를 혼소하는 프로젝트를 추진하게 된 것이며, 해당 프로젝트는 2030년까지 수소 기반 발전설비를 1GW까지 확충하고 장기적으로 15~30GW까지 확대하기 위한 마일스톤(milestone)이 될 것으로 전망된다.

JERA의 수소혼소 프로젝트 외에도 일본 IHI 社에서는 혼소와 관련된 ‘전략적 혁신창조 프로그램(Strategic Innovation Program, SIP) 프로젝트를 주관하고 있으며, 이를 통해 암모니아 혼소 과정에서 발생하는 질소산화물을 억제하고 혼소설비를 개량하는 연구를 진행 중이다. 현재 일본의 석탄-암모니아 혼소 기술은 실증 경험이 광범위하게 축적된 것으로 평가되며 상용화 직전 단계인 것으로 보인다. 한편 수소와 암모니아의 혼소발전을 주도하고 있는 일본은 향후 발전용 수소 및 암모니아의 소비량이 크게 증가할 경우를 대비하여 사우디아라비아, 호주, 칠레 등으로부터 저렴한 수소와 암모니아 확보 경로를 구축하고 있다. 사우디아라비아로부터는 천연가스 기반의 암모니아를, 호주로부터는 석탄 기반의 수소를 수입하며 칠레 등 남미국가들로부터는 재생에너지(풍력 및 태양광) 기반의 암모니아와 수소를 수입하는 것으로 알려졌다.

그림 2 일본 화력발전 부문 수소 및 암모니아 유통 흐름



자료: IEA. 2021a. "The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector." p.61 그림 편집 및 재인용

5. 결론

무탄소 혹은 저탄소 연료인 수소와 암모니아를 화력발전에 혼소하는 방안은 2050 탄소중립 이행 과정에서 경제수명에 도달하지 않은 화력발전설비를 조기폐쇄하는 급진적 방안의 대안으로 평가받는 탈탄소 전략이다. 기후변화 대응과 탄소중립을 이행하는 과정에서 변동성 재생에너지 자원의 보급 및 활용 확대는 탄소중립 시대 전력정책의 중심이 될 수밖에 없다. 그러나 전력시스템의 운영 측면에서 보았을 때 재생에너지 보급 확대에 따른 적절한 망 설비투자 등이 이루어지지 못한다면 지금과 같은 변동성 재생에너지 보급 중심의 정책은 결국 한계에 봉착하게 될 것이다.

탄소중립이라는 명목하에 화력발전설비를 일방적으로 조기 퇴출시킨다면 산업의 급격한 전환에 따른 사회적·경제적 혼란이 적지 않을 것이다. 특히 '정의로운 전환(Just Transition)' 관점에서 화력발전의 질서 있는 퇴출과 적절한 보상이 병행되지 않을 경우 사회적 갈등 비용과 화력발전설비의 좌초자산화에 따른 발전산업계의 경제적 손실이 크게 증가할 것이며, 결국 에너지전환 비용부담의 형태로 전기요금에 고스란히 전가될 우려가 있다.

이러한 측면에서 일본은 2050 탄소중립 이행 과정에서 저탄소 전력시스템의 방향성 정립에 중요한 시사점을 제공한다. 일본은 발전연료에 대한 높은 수입의존도, 전력수급에서 화력발전의 기여도, 고립계통의 특성, 중앙 집중형 에너지정책 수립 및 운영체계 등 우리나라 전력산업 거버넌스와 물리적 구조가 유사한 부분이 많다. 그러한 일본이 2050 탄소중립의 이행 전략으로 '수소·암모니아의 혼소 및 전소를 활용한 잔존

화력발전설비의 활용'을 공식화한 것은 에너지전환의 사회적·경제적 충격을 최소화하면서 탈탄소를 이행할 수 있는 길을 제시한 효과가 있다. 특히 일본 정부는 수소·암모니아 혼소 및 전소발전의 보급 활성화를 위해 저렴한 수소 및 암모니아 확보방안도 구체화하고 있는데, 향후 우리 정부가 발전부문에 수소와 암모니아 활용을 활성화하려면 일본 탈탄소 정책의 주안점을 심도 있게 고찰할 필요가 있다.

수소 및 암모니아의 혼소를 통해 화력발전소의 탄소배출량을 저감하면서 CCUS까지 병행하여 활용한다면 변동성 재생에너지 자원 확대에 대비한 유연성 자원으로 기존 화력발전소를 활용함과 동시에 탄소중립에도 일정 수준 기여하는 효과를 거둘 수 있다. 또한 화력발전소의 퇴출 시기도 탄력적으로 조정이 가능하게 되므로 정부 입장에서도 탈탄소 정책에 따른 산업 충격과 국민의 정책저항을 어느 정도 완화하는 효과를 기대해 볼 수 있다. 기후변화 대응 및 2050 탄소중립 이행을 시대흐름에 부응한 불가역적(irreversible) 정책목표로 본다면 이를 달성하는 과정에서 발생할 사회적·경제적 비용을 최소화하는 액션플랜(action plan) 구축이 중요할 것이다. 수소와 암모니아로 대표되는 무탄소 신전원의 적극적인 활용은 그에 대한 하나의 대안으로 평가할 수 있을 것이다.

참고문헌

국내 문헌

- 관계부처합동. 2021.10. 『2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안』
- 관계부처합동. 2021.10. 『2050 탄소중립 시나리오안』
- 김재엽·이태의. 2021. 『무탄소 신전원 해외사례 및 정책방향 연구』. 에너지경제연구원 수시연구보고서. 에너지경제연구원.
- 전력연구원 발전기술연구소. 2021.11. 『Carbon-free 암모니아 발전기술』. 에경연-전력연구원 세미나 발표자료

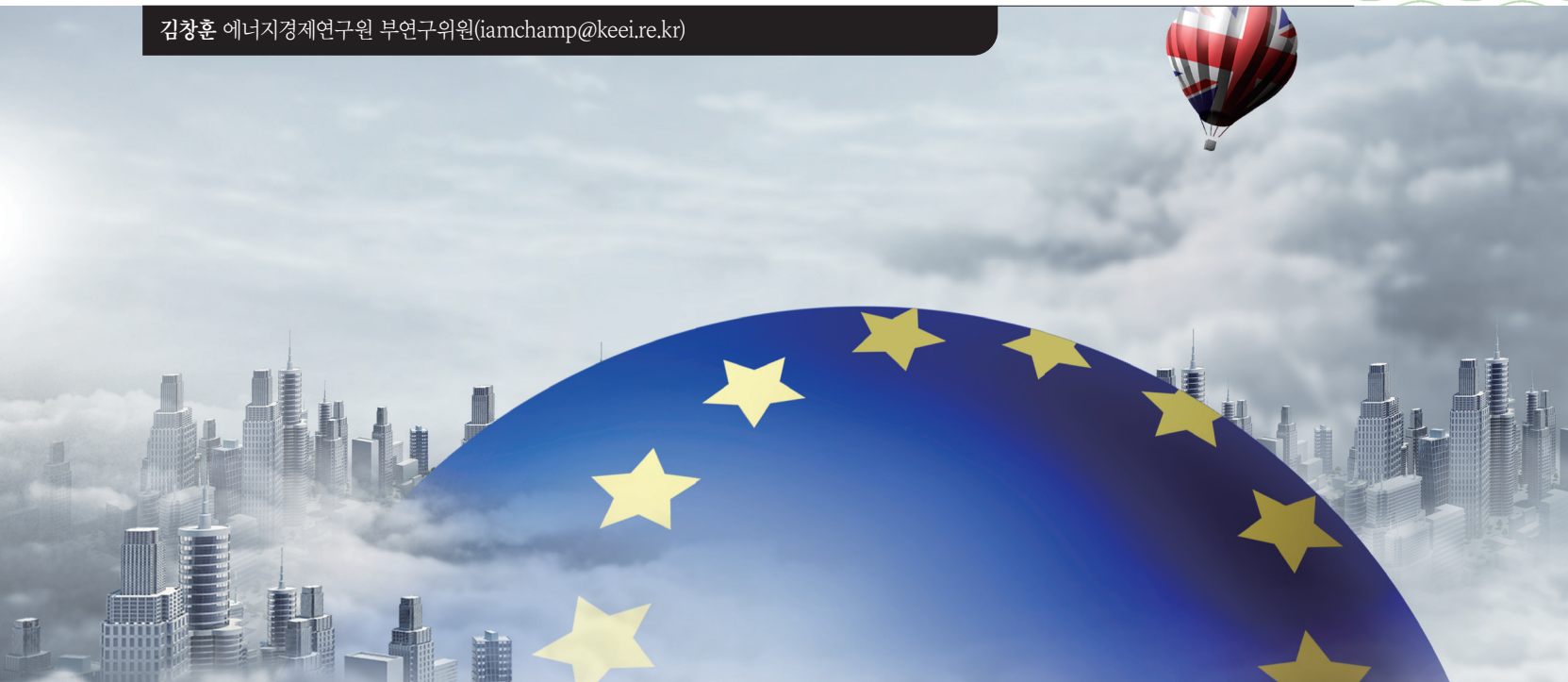
외국 문헌

- IEA. 2021a. "The Role of Low-Carbon Fuels in the Clean Energy Transitions of the Power Sector."
- IEA. 2021b. "World Energy Outlook 2021."
- 経済産業省. 2021.10. "第6次エネルギー基本計画."



영국의 2050 탄소중립 전략 수립 동향¹⁾

김창훈 에너지경제연구원 부연구위원(iamchamp@keei.re.kr)



1. 서론

영국은 탄소중립 정책과 관련하여 다른 어떤 주요국들보다 적극적인 행보를 보이고 있다. 이미 2019년 6월에 '기후변화법(Climate Change Act of 2008)'을 수정하면서 기존의 온실가스 감축목표였던 1990년 대비 2050년 80% 감축을 2050년 순배출 Zero 달성으로 수정하고 탄소중립을 법제화하였다. 그 이후 2020년 12월 UN 기후행동정상회의(Climite Ambition Summit 2020)를 앞두고 2030년 온실가스 감축목표인 국가자발적기여(Nationally Determined Contributions, NDC)를 기존 1990년 대비 53% 감축에서 최소 68% 감축으로 상향조정하기도 하였다. NDC만 놓고 보자면 이는 2030년 감축목표가 1990년 대비 55% 수준인 EU보다도 더 적극적인 행보이다.

1) 본고는 에너지경제연구원 '세계 에너지시장 인사이트'의 단신기사들을 기초로 하되, 해당 기사들에서 담지 못했던 추가적인 내용들을 보완하여 종합적인 정보를 제공하려는 목적으로 작성되었다. 자료수집 및 조사에는 에너지경제연구원 해외정보분석팀의 이수민 부연구위원, 김수린 전문연구원, 김민주 전문원이 기여하였다.

이와 같은 적극적인 움직임은 재생에너지 비중 측면에서 최근 영국이 보여주었던 가시적인 성과에 힘입은 바가 크다. IEA 통계에 따르면(<표 1> 참조), 태양광, 풍력 등과 함께 수력 및 바이오 등을 모두 합칠 경우 2019년 발전믹스에서 재생에너지가 차지하는 비중은 38.8%에 달하기도 하였다. 특히 태양광과 풍력, 지열 등만 따졌을 때 1990년 대비 연평균 증가율이 36%를 상회하는 실적을 보여주었다. 유럽대륙과 분리되어 있고 다른 인접국과의 연계용량이 현재 5.7GW 수준(Clean Energy Wire, 2021. 7. 26.)인 제한적인 상황에서 영국이 이와 같이 청정에너지 중심의 탄소중립 성과를 보여주면서, 우리나라를 비롯하여 탄소중립을 추진하려는 다른 나라들로부터 주목받고 있는 상황이다.

표 1 영국의 전원(발전량) 구성 변화

(단위: TWh, %)

	2015	2016	2017	2018	2019	1990~2019 연평균증가율
발전량 (TWh)	336.83	336.94	335.77	330.93	321.95	0.05
• 석탄	22.8	9.3	6.9	5.3	2.4	-10.72
• 석유	0.6	0.6	0.5	0.3	0.3	-11.39
• 천연가스	29.7	42.5	40.7	39.7	41.1	11.96
• 원자력	20.9	21.3	20.9	19.7	17.5	-0.54
• 수력	1.9	1.6	1.8	1.7	1.9	0.47
• 지열/태양/풍력/기타	14.2	14.1	18.2	21.1	23.9	36.63
• 바이오/폐기물	9.9	10.6	11.0	12.2	13.0	15.27
• 열	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-

자료 : IEA(2021), World Energy Statistics and Balances(<http://www.oecd-ilibrary.org>)

이러한 배경하에서 영국은 최근 탄소중립과 관련한 일련의 부문별 장기전략을 수립하고 있다. 영국 정부는 2020년 11월에 ‘녹색 산업혁명을 위한 10대 중점계획(The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)’을 발표하면서 브렉시트 이후의 독자적인 탄소중립 정책의 방향을 정립하였다. 그 이후 2020년 12월에 ‘에너지백서 2020(Energy White Paper: Powering our net zero future)’을 편찬하면서 영국의 장기 전략방향을 설명하였다. 그리고 2021년 10월에는 2050년 탄소중립 달성을 위한 추가 정책 및 투자계획을 담은 ‘2050 탄소중립 전략 보고서(Net Zero Strategy : Build Back Greener)’를 발표하였다.

그런데 동 문건들의 내용이 서로 유사하거나 중복되어 영국의 최근 정책 흐름을 판단하기가 용이하지 않은 측면이 있다. 이에, 본고에서는 영국 정부가 발표한 상기 문건들의 내용을 차례로 소개하고 비교하면서 정책의 흐름을 짚어보고, 영국의 장기적인 전략으로부터 시사점을 도출해보고자 한다. 본고의 구성은 다음과 같다. 2~4절에서는 각각 ‘녹색 산업혁명을 위한 10대 중점계획’, ‘에너지백서 2020’, ‘2050 탄소중립

전략 보고서'의 내용을 간추린다. 5절에서는 각 전략의 내용을 서로 비교하면서 해당 문건의 성격과 정책이 구체화되는 방향을 살펴본다. 마지막으로 6절에서는 영국의 탄소중립 전략에서 나타난 시사점을 고찰해보고자 한다.

2. '녹색산업혁명' 추진을 위한 10대 중점계획

가. 내용

2020년 11월 18일에 영국 정부는 탄소중립 정책을 산업부흥 전략과 융합하려는 취지의 '녹색산업혁명(Green Industrial Revolution)' 추진을 위한 2030년까지의 10대 중점계획(The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)을 발표하였다. 영국 정부는 해당 계획을 통해 경제성장의 토대를 마련하고, 녹색기술과 함께 녹색금융 분야에서 선두의 위치에 올라서는 것을 목표로 하였다. 동 계획에서 영국 정부는 2030년까지 50억 파운드의 투자 계획을 밝혔으며 민간부문의 투자까지 총 120억 파운드의 투자와 25만 개의 일자리 창출 효과를 기대하고 있다.

10대 중점분야로는 해상풍력, 저탄소수소 개발, 원자력 연구개발, 수송 부문 탈탄소화, 대중교통 친환경화, 항공 및 선박 저탄소화, 건물 에너지효율 향상, CCUS, 자연보호, 녹색금융 등이 선정되었다. 각 분야의 세부 내용을 살펴보면 다음과 같다.

1) 해상풍력

현재 10GW 수준인 해상풍력설비를 2030년 40GW까지 확대할 계획이다. 이를 위해 이전까지 다른 에너지원과 함께 입찰을 실시해왔던 해상풍력 입찰을 2020년부터 단독으로 시작하기로 하였다.

2) 저탄소수소 개발

2억 4천만 파운드 규모의 '탄소중립 수소펀드(Net Zero Hydrogen Fund)'를 통해 저탄소수소 연구개발에 투자하여 2030년까지 저탄소수소 생산능력을 5GW까지 확대하고자 하였다. 가정용 난방에도 수소 및 수소혼합물을 활용하는 방안을 연구·개발할 계획이며, 이를 위해 향후 4년간 시범적으로 300가구에 수소혼합물을 난방용으로 공급하기로 하였다. 가정에서 사용되는 천연가스를 수소 및 수소혼합물로 대체할 경우 온실가스가 최대 7%까지 감축될 것으로 기대하고 있다.

3) 원자력 연구개발

원자력발전을 확대하고, 3억 8,500만 파운드 규모의 '차세대 원자력 펀드(Advanced Nuclear Fund)'를 조성하여 소형·차세대 원자로 연구개발에 투자하기로 하였는데, 소형원자로(Small Modular Reactor) 연구·개발에는 최대 2억 1,500만 파운드, 차세대 원자로 연구개발에는 1억 7,000만 파운드가 배정되었다.

4) 수송 부문 탈탄소화

기존 2035년으로 예정되어 있던 내연기관차 판매금지연도를 2030년으로 앞당겨 전기차 산업을 장려하고

자 하였다. 이로써 영국은 당초에 설정했던 2040년 내연기관차 판매금지 목표를 10년 앞당기게 되었다. 다만 하이브리드 차량의 판매는 예외적으로 2035년까지 허용하기로 했다.

5) 대중교통 친환경화

전국적으로 최소 4,000대 이상의 전기 버스를 도입하기 위해 1억 2천만 파운드를 투자하기로 하였다. 이외에도 자전거도로 건설을 통해 시민의 자전거 이용을 장려하고 철도 노선을 확대하는 등 대중교통 친환경화를 위한 투자가 이루어질 예정이다.

6) 항공 및 선박 저탄소화

수소 등의 지속가능연료를 해양 및 항공 운송에 도입하기 위한 연구에 지속적으로 투자할 계획이다. 이와 관련하여, 영국은 수소항공기 개발을 활발하게 진행 중이며, 2020년 9월 첫 번째 상업용 수소항공기 시험 비행에 성공한 바가 있다.

7) 건물 에너지효율 향상

히트펌프 설치를 통해 가정 및 공공부문의 난방 에너지효율을 개선하고 온실가스 배출을 감축하고자 하였다.

8) CCUS 투자

2030년까지 천만 톤의 CO2 포집 능력을 갖추기 위해 탄소포집, 저장 및 활용(carbon capture, utilization and storage, CCUS) 클러스터 구축 계획에 투자하기로 하였다. 영국 정부는 2020년대 중반까지 2개, 2030년까지는 총 4개의 산업클러스터에 CCUS설비를 구축해 산업 현장에서의 온실가스 배출을 감축할 방침이다.

9) 자연보호

장기적인 탄소 포집효과 향상을 위해 자연경관 복구 프로젝트를 추진하기로 하였다. 또, 기후변화 적응(adaptation) 능력 향상을 위해 홍수 위험이 있는 해안 지역에 약 52억 파운드를 투입하여 홍수 위험성 감소를 위한 기초 공사도 진행하기로 하였다.

10) 녹색금융

런던을 '녹색금융' 도시로 만들기 위해 부유식 해상풍력, 소형 원자로, ESS(energy storage system), 바이오에너지, 수소, 가정부문 효율향상, CCUS, 산업 부문 연료전환, AI 등 탄소감축 중점사업에 대한 민간 투자를 장려하기로 하였다.

나. 현재까지의 추진상황

영국 정부는 뒤에서 소개할 '2050 탄소중립 전략 보고서'에서 약 1년 동안의 '10대 중점계획'의 이행 상황도 같이 제시하였다(<표2> 참조). 특기할 만한 것은, 정부의 계획대로 해상풍력이 2020년 한 해 동안만

10.5GW 규모의 설비가 보급되는 등 급속한 확대 양상을 보이고 있다는 것이다. 또한 인프라에 대한 투자가 지속적으로 진행 중이며, 특히 관련 제조업에 대한 지원으로 일자리 창출도 도모하고 있다.

저탄소수소와 관련하여서는 CCUS와의 결합이 특기할만하다. 영국 비즈니스·에너지·산업전략부(Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS)가 2021년 8월에 '수소전략(Hydrogen Strategy)'을 발표한 바 있는데, 여기서 영국 정부는 100% 재생에너지로 생산되는 그린수소 이외에도 CCUS 공정이 추가된 화석연료 개질수소인 블루수소도 저탄소수소로 인정하였다. 수소 생산을 소위 'CCUS 클러스터' 등과 연계하여 시너지효과를 꾀하고 있는 양상이다.

원자력 분야에 있어서는 대규모 원전 프로젝트의 적극적인 추진이 눈에 띈다. 2021년 10월에 대규모 원전 도입을 지원하기 위해 원전건설비용 조달 방식을 개편한 신규법안을 발의하였으며, 향후 3년간 Sizewell C 원자력발전소에 17억 파운드를 투자하는 최종투자결정(FID)을 내리기도 하였다.

그밖에 다른 분야에서도 점진적인 이행성과가 나타나고 있다. 2010년 이후 2021년까지 등록대수 총 65만 대에 달하는 저탄소 차량 보급 실적과 2030년까지 항공유에 10%의 지속가능항공유(sustainable aviation fuel, SAF) 혼합목표 설정, 100억 파운드 규모의 녹색채권 발행 등이 눈에 띈다.

표 2 10대 중점계획 이행 상황

분야	주요계획	주요 이행상황
해상 풍력	2030년까지 40GW의 해상풍력 설비 보급 - 항구 및 제조 인프라 현대화를 위한 1억 6,000만 파운드 투자 - 해상 송전 설비 검토	- 정부 계획을 통한 관련 제조업자 지원이 이루어져 6개 제조업자들이 영국 해상풍력분야 주요 투자계획을 발표하였으며, 2030년까지 3,600개의 일자리 창출 예상 2020년 한 해 동안 10.5GW 규모의 해상풍력 설비 보급 완료 - 사상 최대 규모의 CfD를 실시하여, 해상풍력 프로젝트에 2억 파운드, 부유식 해상 풍력에 2,400만 파운드 투자 지원 결정 - 부유식 풍력설비 혁신 아이디어 개발을 위한 1,750만 파운드 규모의 공모전 개최 - 부유식 해상 풍력 산업 활성화를 위해 ORE Catapult가 설립한 부유식 해상풍력발전센터(FOW CoE)에 200만 파운드 투입 - 항구 및 해상풍력 관련 설비 업그레이드를 위해 1억 6천만 파운드 투자를 완료했으며, 15억 원 이상의 기금을 해상풍력에 투자 완료 - 해상풍력송전설비리뷰(Offshore Transmission Network Review) 발간 완료
저탄소 수소	2030년까지 5GW 규모의 저탄소 생산 역량 보유 '탄소중립수소펀드(Net Zero Hydrogen Fund)에 2억 4천만 파운드 투자 - 가정 난방부문 수소 활용방안 연구개발	- 수소 전략(Hydrogen Strategy) 발간 2023년 한 해 동안 최대 100MW, 2024년 한 해 동안은 최대 400MW의 저탄소수소 생산 설비 용량 확보를 위해 기금 할당 절차를 시작 2023년 이후 CCUS 결합 수소의 첫 번째 계약을 실시하기 위한 Cluster Sequencing 경매를 실시. 이는 1GW의 CCUS 결합 수소 생산 역량을 갖추기 위한 첫 단계 2억 4천만 파운드의 '탄소중립수소펀드(Net Zero Hydrogen Fund)'를 설계 - Tee Valley 수소 이동 허브를 조성하기 위한 300만 파운드 투자 완료 - 저탄소수소 생산·공급을 위한 혁신 연구 프로젝트 경진대회에 6,000만 파운드 투입 발표

분야	주요계획	주요 이행상황
원자력	• 대규모 원자력 프로젝트 진행 • 원자력 프로젝트 지원을 위한 신규 금융 모델 개발 • 3억 8,500만 파운드 규모의 '차세대 원자력 펀드' 조성 • 차세대 모듈 원자로 연구개발에 1억 7,000 파운드 투자	• 2021년 말까지 최소 1개의 대규모 원자력 프로젝트에 대한 최종 투자 결정 완료 • 2020년 12월 말 Sizewell C 원전 개발업체들과의 협상 돌입 • 2030년 초까지 차세대모듈원자로 실증가능성 확인을 위한 고온가스원자로의 잠재성 연구 시작
수송 부문	• 2030년 내연기관차 판매 금지(단, 하이브리드 차량은 2035년까지 판매 허용) • 영국 차량의 전기화를 위한 10억 파운드 투자 • 충전인프라 보충을 위한 13억 파운드 투자 • 영국의 Post-EU 수송 부문 배출 관리를 위한 그린페이퍼 발간	• 제로배출차량(ZEV) 도입 의무일 및 신규내연기관차·트럭의 판매종료일 발표 예고 • 2025~2026년까지 총 1,950여 개 일자리 조성. 먼저 영국 최초 대규모 기가팩토리 조성을 위한 자금지원 계획 발표. 동 시설 조성이 완료될 시 1,000여 개의 일자리가 창출 예정이며, 또 다른 자동차 관련 프로젝트를 통해 950여 개 추가 일자리가 조성 예정 • 첨단저탄소차량추진센터(Advanced Propulsion Centre)등을 통해 최대 5,200개의 일자리 창출 • 제로배출차량에 대한 수요가 증가함에 따라, 2010년 이후 2021년까지 영국에 총 65만 대의 저탄소 차량이 등록된 것으로 확인 • 2021년 회계연도까지 7,000만 파운드가 가정·직장 전기차 충전시설 확보에 투자 • 2023년까지 자동차 전용도로의 70%에, 한 도로 당 최소 6기의 고속충전소 설치 • 저탄소 차량의 충전·생산역량 확대 방안 연구를 위한 프로젝트인 Zero Emission Road Freight Trials의 우승자를 발표해, 2,000만 파운드의 상금 수여 • 하이브리드 차량에 대한 완전 운행 종료일 논의 중
대중 교통	• 최소 4,000대 이상의 전기 버스 투입을 위해 1억 2천만 파운드 투자 • 철도 노선 강화 및 확대 • 자전거, 버스 등의 이용 장려를 위한 50억 파운드 투자	• 국가버스전략(National Bus Strategy) 시작 및 내연기관버스에 대한 운행 종료일 논의 중 • 런던외곽지역 버스무배출지역(Zero Emission Bus Regional Area, ZEBRA) 조성을 위한 1억 2천만 파운드 투입 • 영국 최초 전기버스 도시 조성(Coventry 시)을 위해 5,000만 파운드 투입, 300대의 전기 버스와 충전 인프라 조성 • 2020년 기준 철도망 업그레이드를 위해 175억 파운드 투자 완료
항공 및 선박	• Jet Zero 의회 신설 • 지속가능항공유 생산에 1,500만 파운드 투자 • 선박부문 탈탄소화를 위한 200만 파운드 투자	• 2050년까지 항공부문 탈탄소화를 위해, 2030년까지 항공유에 10%의 SAF 혼합 목표 설정 • 영국 SAF 산업 개발에 1억 8천만 파운드 할당 • 녹색연료, Green Skies Competition에 1억 5천만 파운드 배정 • 항공엔진관련 기술 지원을 통해 연간 1억 5천만 파운드 공동 투자 • 청정해양실증대회를 통해, 55개 프로젝트에 최대 2,300만 파운드의 기금 투입

분야	주요계획	주요 이행상황
건물	• 2028년까지 난방용 열펌프 60만 대 보급 • ‘공공부문 탈탄소화 계획’, ‘사회적 건물 탈탄소화 기금’ 등을 도입해 공공부문 탈탄소화 도모 • 민간부문 토지 활용의 에너지효율 관련 요구 사항 강화	• 녹색건물조성 관련 프로젝트를 통해 45,000개의 신규 일자리 창출 • 최소에너지효율기준을 강화해, EPC등급이 E 이하인 경우 주택이 에너지효율기준 규정을 적용할 수 없도록 함 • 공공부문 탈탄소화 계획에 10억 파운드의 기금을 조성해 3만개의 일자리를 창출 • 19개 프로젝트에 6천 200만 파운드를 투입해 사회적 건물 탈탄소화 기금을 운영. 이를 통해 2,300가구 이상의 난방이 개선
CCUS	• 2030년까지 연간 천만 톤의 탄소 포집 역량을 갖추기 위해 2020년 중반까지 2개의 CCUS 클러스터 구축 및 투자 • 10억 파운드 규모의 CCUS 인프라 펀드 구축	• 신규 수소 CCUS 프로젝트 모델에 자금을 지원하기 위한 1억 4천만 파운드 규모의 기금 마련 • 신규 CCUS 기술 개발을 위한 프로젝트 구축에 1,950만 파운드 규모의 보조금 투입 • CO₂ 운송 및 저장, 산업용 CCUS, 전력용 CCUS 및 CCS 인프라 기금 확보를 위한 비즈니스 모델 발표
자연 보호	• 홍수 예방 및 해안지역 재정비를 위한 52억 파운드 투자 • 신규국가공원 자연 경관 보호구역 지정 • 녹색회복챌린지 기금 2차수에 4,000만 파운드 투입 • 향후 4년간 10대 장기 경관보호 프로젝트 시작	• 환경 보호와 관련된 850개의 사업 진행 • 홍수 피해 예방 프로그램 시행을 통해 33만 6천 개의 부동산 보호 • 4대 신규 국가공원 지정을 위한 절차 시작 • 90개의 프로젝트에 대해 녹색회복 챌린지 기금 2차수를 통한 투자 • 조림 복구 참여 행사를 3차례 개최
녹색 금융	• 10억 파운드 규모의 탄소중립혁신펀드 조성 • 영국의 첫 번째 국가 녹색채권 발행 • 녹색일자리TF 조성	• 탄소중립혁신과 관련한 포트폴리오 실시 • 100억 파운드 규모의 국가 녹색채권 발행 • 2020년 11월 녹색일자리 TF 발족

자료 : Government of UK(2021.10.19.)

3. 에너지백서 2020

2020년 12월 14일에는 영국 정부가 ‘에너지백서 2020(Energy White Paper 2020)’을 발간하여 약 한 달 전에 발표했던 ‘녹색산업혁명을 위한 10대 중점계획’과 관련하여 탄소중립 달성을 위한 에너지 분야 정책 방향을 제시하였다. 동 문건은 크게 소비자(Consumers), 발전(Power), 에너지시스템(Energy System), 건물(Buildings), 산업에너지(Industrial Energy), 석유·가스(Oil and Gas) 등 6개 분야에 대한 내용을 포함하고 있다. 동 백서는 저탄소 사회 실현을 위한 구체적인 시행방안 제시뿐만 아니라 경제 성장 동력으로도 작용해 코로나19 이후의 경제회복에도 기여하는 것을 목적으로 하고 있다.

이 중 가장 주목해야 하는 부분은 발전부문과 관련한 내용이다. 10대 중점계획을 보완하는 내용의 세부계획과 함께 전력믹스와 관련한 장기 전략을 확인할 수 있다. 우선 부문별 세부사항은 다음과 같다.

- 재생에너지

1GW의 부유식 해상풍력을 포함해 2030년까지 40GW의 해상풍력설비를 보급하고, 이를 촉진하기 위해 2년마다 정기적인 CfD(Contract For Difference, 장기차액거래) 경매를 시행하기로 하였다.

- CCUS

CCUS를 활용한 가스발전소 건설을 촉진해, 2030년까지 최소 한 곳 이상의 CCUS 결합 가스발전소 운영을 시작하기로 하였다.

- 원자력

원자력에 대한 투자계획이 대규모 원전 건설에 대한 투자와 소형원자로를 비롯한 차세대 원자로 개발로 나누어져 발표되었다. 대규모 원전 건설의 경우 기존 원자력 발전소들이 향후 10년 내로 수명을 다할 것으로 예상되는 점에서 필요성이 제시되었는데, 우선 2020년 중반까지 Hinkley Point C의 상업가동을 시작할 것이라는 목표가 제시되었다. 소형원자로(SMR)를 비롯한 차세대원자로 개발 투자에는 차세대 원자력 기금 조성을 통해 최대 3억 8,500만 파운드의 투자가 예고되었다.

- 넷제로 혁신 투자

탄소중립 달성을 위한 주요 혁신기술개발 프로젝트를 선정해 약 10억 파운드를 투입할 계획인데, 혁신투자의 주요 대상으로는 부유식해상풍력, 차세대모듈원자로, 바이오에너지 등이 언급되었다.

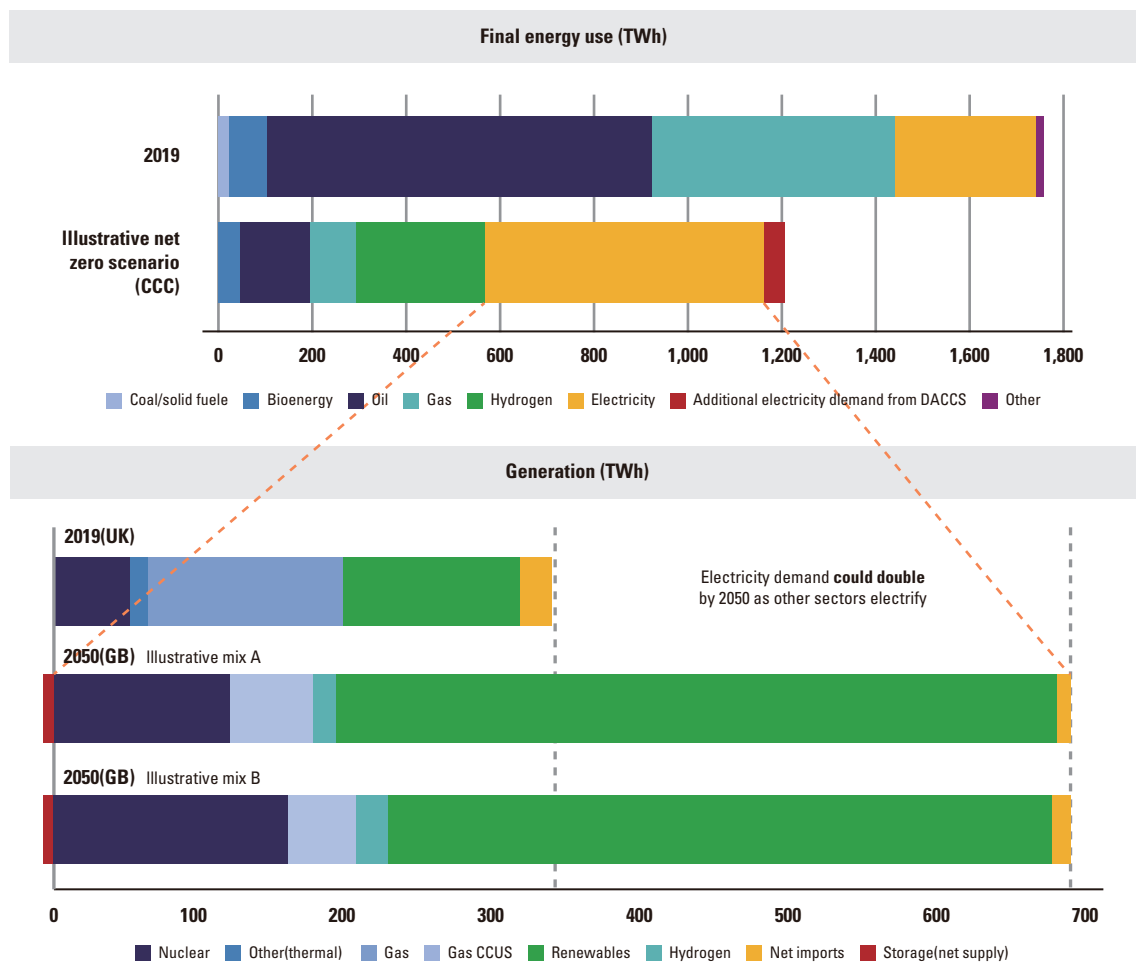
- 바이오매스: 바이오매스가 경제 전반에 걸쳐 탄소배출 감축에 기여할 것으로 예상되는 바, 2022년 신규 바이오매스전략 발표가 예고되었다. 특히 CCS와 결합된 바이오매스의 이용 및 연구개발을 장려하기로 하였다.

- 에너지 모델링

탈탄소화를 위한 정책 마련을 위해 에너지모델링 시스템을 도입할 계획이다. 이는 에너지정책이 학계와 내부 중심으로 논의되어 수립되는 것을 보완하기 위한 목적을 가지고 있다.

이상의 세부계획들과는 별도로 2050년 전력믹스 등의 장기적인 전망과 정책방향이 포함되어 있다. 영국 정부는 자국의 2050년 최종에너지 수요를 2019년 대비 25~30% 감소할 것으로 보고 있으나, 전력 수요와 수소 생산량은 크게 증가할 것으로 예측하고 있다. 백서에는 구체적인 수치가 나오진 않지만 BEIS(2020.12) 등의 기술적 분석 내용을 참고하면, 전력 수요는 현재의 345TWh에서 2050년까지 약 두 배 수준인 672TWh로 증가하면서, 최종에너지에서 차지하는 비중이 현재의 17%에서 50% 이상으로 늘어날 것으로 예상하고 있다. 또한 수소와 관련하여 영국 정부는 저탄소수소 생산능력 및 생산량 목표를 2030년까지 각각 5GW와 42TWh로 제시하고 있는데, 2050년까지는 수소 생산량이 현재의 27TWh 수준에서 10배까지 확대될 필요가 있다고 제언하고 있다.

그림 1 2019년 대비 2050년 영국의 최종에너지(위) 및 전원(아래) 구성 변화 전망



자료: BEIS(2020.12) 바탕으로 저자 재구성

발전부문 외에도 다른 부문의 목표는 <표3>에서 정리하였다. 주로 에너지효율 개선 및 온실가스 배출 감축에 중점을 두고 마련되었다.

표 3 에너지백서 2020의 발전부문 외 주요 내용

부문	주요 목표	세부내용
소비자 Consumers	- 에너지효율을 개선해 각 가구의 에너지비용 절감 추진 - 전력·가스 요금 개편 검토	요금개편방안으로 전력 사용시간 및 사용패턴에 따른 차등요금 부과방식 등을 검토
에너지 시스템 Energy System	- 에너지시스템을 개선해 2050년까지 - 최종에너지의 50% 이상 전력으로 공급	- 전력·가스 송배전망 확충 - 스마트전력시스템 도입 가속화로 시스템 유연화 - 에너지 데이터 관리 시스템 도입해 데이터 관리 효율 및 민간의 데이터 접근성 향상 2030년 내연기관차 판매금지 - 항공 및 선박운송 탈탄소화
건물 Building	화석연료 난방방식을 청정에너지 중심으로 개선	- 천연가스에 수소 및 바이오매스를 혼합하여 공급하는 방식으로 온실가스 감축 - 가정 및 상업용 건물의 에너지 효율을 난방 방식의 전력화·열펌프 보급으로 개선
산업에너지 Industrial Energy	2050년까지 산업 부문 배출 현재 대비 약 90% 감축	청정수소 및 CCUS 활용 적극 장려
석유·가스 Oil and Gas	- 석유·가스 기업의 사업 포트폴리오 - 전환 지원을 위한 규제 기반 마련	- 시추에 필요한 전력을 재생에너지로 공급해, 2050년까지 대륙붕 시추 활동 탈탄소화 추진 - 석유·가스정 생산 활동 종료 시, CCUS 자산으로 전환하여 활용할 수 있는 방안 마련

자료 : 에너지경제연구원(2021.1.11.); UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2020.12.18.), “Energy White Paper: Powering our net zero future” 토대로 재구성

4. 2050 탄소중립 전략 보고서

2021년 10월 19일 영국 정부는 ‘넷제로 전략(Net Zero Strategy : Build Back Greener)’보고서를 발표하면서 2050년 탄소중립을 달성하기 위한 구체적인 투자계획과 중간경로 등을 제시하였다. 동 보고서는 2020년 11월에 발표한 ‘녹색 산업혁명 추진을 위한 10대 중점계획’의 세부 계획에 기초하여 작성되었다. 앞선 계획들이 정부의 온실가스 감축 계획에 초점을 맞춘 반면, 이번 전략 보고서에서는 기업과 소비자들이 청정에너지 및 녹색 기술로 전환하는 것을 지원하는 것에 초점을 맞추었다.

동 전략은 발전, 연료공급·수소, 산업, 열·건물, 수송, 천연자원·폐기물·불소가스, 온실가스 흡수(removal) 등 총 7개 부문에 대한 탈탄소화 전략을 제시하고 있다. 각각의 세부내용은 다음과 같다.

- 발전

2035년까지 발전부문을 완전히 탈탄소화하는 것을 주요 목표로 제시하였다. 또한, 이를 달성하기 위한 주요 수단으로 원전과 해상풍력을 제시하였다. 원전과 관련해서는, 2021년까지 대규모 원전에 대한 최종투자 결정(FID)을 승인하고, 미래원자력기금을 통해 소형원자료를 비롯한 차세대 원자로 개발에 1억 2천만 파

운드를 지원하는 방안을 제시하여 기존 계획과 대동소이한 내용을 재확인하였다. 재생에너지의 보급 확대와 관련해서는 1GW의 부유식 해상풍력단지를 포함해 2030년까지 해상풍력 발전용량 40GW 달성 목표를 재확인하였다. 특별히 에너지가격 급등 대비를 위한 에너지 저장장치(ESS) 등의 유연성 전원 확대 방안을 포함하였다.

- 연료공급·수소

2030년까지 수소 생산설비 5GW 확보목표가 재확인되었다. 수소 생산설비 확보를 위해서는 '산업 탈탄소화·수소지원 계획(Industrial Decarbonisation and Hydrogen Revenue Support, IDHRS)'을 통해 2023년에 최대 250MW 규모의 수전해설비 구축(1억 파운드)을 포함하여 총 1억 4천만 파운드를 지원한다는 계획을 제시하였다. 한편, 석유·가스부문 온실가스 배출을 절반으로 감축하는 목표가 제시되었는데, 이를 달성하기 위한 방안으로는 석유·가스부문 규제, 대륙붕 개발권에 대한 신규 기후 적합도 평가 체계 구축 등이 제시되었다.

- 산업

2030년까지 4개의 CCUS 클러스터 조성을 통한 연간 20~30MtCO₂ 규모의 탄소 포집(산업 부문 6MtCO₂) 목표를 설정했으며, 이를 위해 3억 1,500만 파운드 규모의 산업에너지전환기금(Industrial Energy Transformation Fund, IETF)을 활용할 것을 예고하였다.

- 열·건물

2035년까지 신규 가정용 가스보일러 판매를 금지한다는 도전적인 목표가 명시된 점이 특기할만하다. 또한 2026년까지 수소마을 시범 운영 등 저탄소 난방을 활성화하기로 하였다. 이를 위해 방안으로는 주택 탈탄소화 계획과 난방설비교체 보조금 등이 제시되었다.

- 수송

도로수송 탈탄소화 목표가 설정되었는데, 2030년을 신규 휘발유·경유차 판매 금지연도로 설정하고, 2035년까지 무배출차량 판매를 의무화하였다. 이외에도 무배출차량 보조금 및 전기차 인프라 확충을 지원하기로 하였다. 대중교통과 관련하여서는 2050년까지 무배출버스 4천 대 확대, 2040년까지 경유 기관차 운행 금지, 2050년까지 철도수송 부문 탄소중립 실현 목표 등이 설정되었다. 국제수송 부문의 탈탄소화 추진방안이 구체화되었는데, 2030년까지 지속가능항공유(SAF) 10% 혼합 의무화를 위해 SAF 생산설비 건설에 1억 8천만 파운드를 지원할 계획이다.

- 천연자원·폐기물·불소가스

2021년 말까지 신규 조립면적을 연간 3만ha로 확대하는 목표를 제시하고, 천연자원, 폐기물, 불소가스 관련 R&D에 7,500만 파운드를 투자하겠다는 목표를 제시하였다.

- 온실가스 흡수(removal)

2030년까지 연간 최소 5MtCO₂의 온실가스 흡수를 목표로 제시하였으며, 이를 위한 혁신 기술 개발에 1

억 파운드를 투자하기로 하였다.

이상의 부문별 투자계획을 종합하면 2037년까지의 투자규모는 시나리오에 따라 유동적이지만 6천 5백억 파운드에서 7천 8백억 파운드 규모가 될 것으로 추산된다. 또한, 영국 정부는 동 전략을 통해 2030년까지 일자리 창출 효과가 44만 명에 이를 것으로 기대하고 있다(<표 4> 참조).

표 4 '탄소중립 전략'을 통한 투자액 및 예상 일자리 창출 효과

부문	투자액(단위: 파운드)	일자리 창출 효과(단위: 명)	
	2037년까지	2024~5년까지	2030년까지
발전	1,500억~2,700억	59,000	120,000
연료공급 수소	200~300억	-	10,000
산업	140억	5,000	54,000
열·건물	2,000억	100,000	175,000
수송	2,200억	22,000	74,000
천연자원·폐기물·불소가스	300억	2,000	2,000
온실가스 흡수	200억	-	-
합계	6,540억~7,840억	19,000	440,000

자료 : Government of the UK(2021.10.19.) 내용 재구성

동 보고서는 부문별 탄소배출 목표 및 기대치를 제시하여 탄소중립의 중간경로를 제시하였다는 점에서 의미가 있다. 영국은 5년 주기의 탄소배출량 목표인 '탄소예산(Carbon Budget)'을 수립하고 부문별로 탄소배출 목표치를 설정해 이행·평가하고 있는데, 동 보고서의 경로 제시는 이와 연계된 형태이다. 2021년 6월 수립된 제6차 탄소예산(2033~2037년)에 따르면, 영국은 탄소배출량을 2035년까지 1990년 대비 약 78% 감축하겠다는 목표를 세웠다. 이는 국제 해운과 항공부문을 신규로 포함시킨 것이다. 부문별 세부 온실가스 감축량은 <표 5>에 나타내었다. 또한 탄소중립 경로에서의 각 부문별 세부 가정은 <표 6>에 나타내었다.

표 5 2035년 기준 부문별 온실가스 감축량 추정치

부문	2019년 기준 온실가스 배출량 (MtCO ₂ e)	2035년까지 감축량(MtCO ₂ e)	
		최소	최대
발전	58	46	49
연료공급·수소	26	14	16
산업	78	49	59
열·건물	88	41	55

부문	2019년 기준 온실가스 배출량 (MtCO ₂ e)	2035년까지 감축량(MtCO ₂ e)	
		최소	최대
수송	167	78	99
천연자원·폐기물·불소가스	103	40	53

자료 : Government of the UK(2021.10.19.) 내용 바탕으로 절대량 저자 추산

표 6 탄소중립 경로의 부문별 세부 가정

부문	지표	2019	2025	2030	2035
발전	발전량(TWh)	320	315	370	460~510
	저탄소발전 비중(%)	29~33	38~42	62~69	99
연료공급·수소	저탄소수소생산(TWh)	0	10	40	80~140
	총 전력수요 중 해상 석유·가스시설에서의 전력수요 비중(%)	0	0	31	43
산업	저탄소연료전환(TWh)	110	115	125	157
	자원·에너지절약(MtCO ₂ e)	0	1	10	11
	산업용 CCUS 수요(MtCO ₂ e)	0	2	5	7
열·건물	히트펌프 누적설치량(백만 대)	0.2	1.1	4~4.3	6.9~11.3
수송	전기차 비중(%)	0.3	6	24	53
	전기차(van) 비중(%)	0.2	2	14	40
	중·대형 전기차 비중(%)	0	0	9	37
	전기버스 비중(%)	0.3	9	25	48
	도로수송에서 리터당 저탄소연료 비중(%)	5	7	8	8
	국내 항공부문에서 SAF 비중(톤, %)	0	1	3	6
	국내 선박수송에서 TWh당 저탄소연료 사용 비중(%)	0	0	1	42
	국제 항공부문에서 SAF 비중(톤, %)	0	1	3	6
	국제 선박수송에서 TWh당 저탄소연료 사용 비중(%)	0	0	1	28
천연자원·폐기물·불소가스	2015년 대비 불소가스(HFC) 소비(%)	63	31	21	15
전체	탄소집약도(tCO ₂ e/GDP £m2020)	194	144	93	62
	에너지집약도(MWh/GDP £m2020)	700	600	480	380~400

자료 : Government of the UK(2021.10.19.)

이상의 중간 경로를 바탕으로 동 보고서에서는 2050년의 탄소중립 목표도 제시되고 있다. <표 7>을 보면, 2050년에는 수송 부문에서 국제항공·해운부문에서의 온실가스 감축량이 커지게 되고 농림업 및 탄소 흡수(removal)에 의한 기여도가 커지게 되면서 별도의 부문으로 다루어지는 것이 특징이다.

표 7 2050년 부문별 온실가스 감축량 추정치

부문	2019년 기준 온실가스 배출량 (MtCO ₂ e)	2050년까지 감축량(MtCO ₂ e)	
		최소	최대
발전	58	55	57
산업	78	68	75
연료공급·수소	26	18	26
열·건물	88	86	88
국내 수송	122	117	119
국제 항공·해운	45	10	24
농림업	63	42	49
폐기물 및 불소가스	40	27	28
온실가스 제거	0	-75	-81

자료 : Government of the UK(2021.10.19.) 자료 바탕으로 절대량 저자 추산

5. 계획 간 비교

이상에서 최근 영국 정부가 발표했던 일련의 탄소중립 관련 계획들의 내용을 살펴보았다. 각 문건마다 중복되거나 유사한 내용이 연이어 발표된 점을 감안하여, 영국 정부의 탄소중립 정책에 대한 전체적인 시각을 가지기 위해 해당 계획들을 종합적으로 살펴볼 필요가 있다. 이에 <표 8>에서 3개의 탄소중립 계획 내용들을 각 분야별로 분류하여 정리하여 보았다. 우선 드러나는 특징은 10대 중점계획은 전체 시스템 변화의 관점보다는 그야말로 집중적으로 겨냥하여 육성시켜야 할 특정 기술이나 산업만을 다루고 있는 것이다. 이것이 에너지백서에서 전력부문의 전체적인 그림 하에서 이해되기 시작하였고, 탄소중립 전략보고서에서는 장기 온실가스 감축경로에서의 역할이 부여되었다.

물론 이와 같은 흐름은 표면적일 뿐이다. 이미 해당 계획들이 발표되기 전부터 독립적인 자문기구인 기후 변화위원회(Climate Change Committee) 등에서 다양한 시나리오 분석을 실시한 것으로 알려진 바, 발표된 계획들은 이러한 사전 작업 결과를 바탕으로 하여 도출된 것이다. 따라서 몇 가지 경우를 제외하고는 각 계획들의 부문별 목표들에 큰 변화가 없으며, 기존 목표가 재확인되면서 세부목표들이 점차 구체화되어 가는 양상을 확인할 수 있다. 다만, 에너지백서는 발전믹스 등 에너지부문에 주로 초점을 맞추고 있기 때문에 부문의 분류나 내용 등에 있어 다른 계획들과는 다소 동떨어진 특성을 나타내고 있다. 10대 중점

계획을 잇는 종합적인 계획은 탄소중립 전략 보고서로 간주할 수 있으며, 에너지백서는 에너지부분에서의 하위 정책내용을 다루는 것이라고 볼 수 있다. 다만 산업 부문 및 석유·가스부문은 미래 중점 육성분야로 분류되지 못하여 10대 중점계획에서는 다루어지지 않다가 에너지백서에서부터 본격적으로 다루어져 탄소 중립 전략 보고서로 연결되고 있다. 한편, 최근 영국에서 천연가스 가격 상승 등으로 촉발된 에너지 위기를 반영하여 전력부문에서 유연성 전원을 확대하겠다는 내용이 탄소중립 전략보고서에 추가되는 등, 현 상황을 반영한 기존 계획의 보완 노력도 일부 감지된다. 이에 앞으로 에너지안보와 관련하여 기존 계획이 어떻게 수정되어 나갈지 살펴보는 것도 의미있는 일일 것이다.

표 8 영국 정부의 탄소중립 관련 계획 간 비교

분야	10대 중점계획	에너지백서	탄소중립 전략
전력		• '50년까지 최종에너지 50% 이상 전력으로 공급 • 송배전망 확충, 스마트미터기 도입 • 빅데이터 관리 시스템 도입, 데이터 접근성 개선	• 2035 발전부문 완전 탈탄소화 위해 1,500억~2,700억 파운드 투자 • ESS, 유연성 전원 확대
해상풍력	• 2030년 40GW 목표	• 좌동	• 좌동(1GW 부유식 해상풍력 포함)
신재생		• 2년마다 CfD 경매 시행으로 '30년까지 신재생에너지 2배 이상 확충	
수소	• 2억 4천만 파운드 규모 '탄소 중립 수소펀드' 조성 • 2030년 저탄소수소 생산능력 5GW • 4년간 300가구 수소혼합물 난방용 시범공급		• 2030년 저탄소수소 생산능력 5GW 확대
바이오 매스		• CCS와 결합된 바이오매스 (BECCS) 이용 및 연구개발 장려를 포함한 신규 바이오매스 전략 '22년까지 발표	
원자력	• 3억 8,500만 파운드 규모 '차세대 원자력 펀드' 조성 : SMR에 2억 1,500만 파운드, 차세대 원자로 1억 7천만 파운드	• 대형원전 건설 추진 및 소형·차세대원전 개발(세부 투자 계획 좌동)	• 올 회기 중 대규모 원전 FID 승인 • 1억 2천만 파운드 '미래 원자력 기금' 조성
혁신기술		• 부유식 해상풍력, 차세대 원전, 바이오에너지 등에 약 10억 파운드 투입	
수송	• 내연기관차 판매금지 2035년에서 2030년으로 앞당김(하이브리드차량은 2035년까지 허용)	• 좌동	• 도로수송 탈탄소화 목표 설정 및 국제수송 탈탄소화 추진 • 2030년 신규 내연기관차 판매 금지, 2035년 무배출차량 의무화

분야	10대 중점계획	에너지백서	탄소중립 전략
대중교통	4천대 이상 전기버스 도입을 위해 1억2천만 파운드 투자		2050년까지 무배출 버스 4천 대 확대 2040년까지 경유 기관차 운행 금지, 2050년 철도부문 탄소중립 실현
항공 및 선박	지속가능연료 도입 연구 투자	탈탄소화 추진	2030년까지 10%의 지속가능항공유(SAF) 도입을 위한 SAF 생산공장 설립
건물	히트펌프 설치	- 신축주택 탈탄소화 기준 마련, 스마트미터기 설치 장려, 주택 개보수 바우처 지급, 공공건물 개보수 추진 - 현재 90%에 달하는 화석연료 난방방식을 청정수소, 천연가스 내 바이오매스 비중 향상 등을 통해 전기화 또는 히트펌프 중심으로 추진	2035년까지 가정, 직장에서 저탄소 난방기기 설치 2035년까지 신규 가스보일러 판매 금지, 2026년까지 수소마을 시범 운영 2028년까지 60만 개 히트펌프 설치 2037년까지 공공건물 온실가스 75% 감축
산업		'50년까지 산업 부문 배출량 현재 대비 90% 감축 목표 - 산업 부문 탈탄소화 전력, 수소전략 발표 예정 - 신규 배출권 거래제 마련	- 산업 부문 탈탄소화 전력, 수소전략을 통해 2023년에 최대 230MW 수전해 설비 구축 3억 1,500만 파운드 산업에너지전환 기금 활용
CCUS	2030년 천만 톤 CO2 포집능력 확보를 위해 2020년 중반까지 2개, 2030년까지 총 4개의 CCUS 클러스터 구축	CCUS 활용 가스발전소 건설 추진하여 '30년까지 최소 1개소 이상 운영	2030년까지 4개 CCUS 클러스터 조성
석유·가스		'50년까지 대륙붕 시추활동 탈탄소화 - 석유가스정 생산 종료시 CCUS 자산으로 전환 추진	2030년까지 온실가스 절반 감축 목표 설정 - 석유가스부문 온실가스 규제 - 대륙붕 개발 라이선스 관련 기후적합도 평가 마련
자연보호, 탄소포집 및 기후변화 적응	- 탄소포집효과 향상을 위한 자연경관 복구 프로젝트 - 홍수 위험 지역에 52억 파운드 투입		- 올 회기 동안 삼림률을 연간 3만ha로 확대 목표 - 천연자원, 폐기물, 불소가스 관련 연구개발 투자 2030년까지 연간 최소 5백만 톤CO2 제거 목표
녹색금융	런던을 녹색금융 도시화		- 공공 및 영국인프라은행 등 민간조달 확대 - 기후 금융 공개 확대, 기술 시스템 개혁 등
소비자		- 가구 효율 개선 - 전기요금 개편 검토	

자료: 해당 보고서 내용을 바탕으로 저자 작성

6. 시사점

영국은 대륙과 분리된 지리적 여건하에서 재생에너지 중심의 성공적 에너지전환과 탄소중립 성과를 보여 주었다는 점에서, 유사한 방향으로 정책을 추진하고 있는 우리나라가 참고할 만한 국가이다. 이에 본고에서는 영국의 탄소중립과 관련된 일련의 계획을 살펴봄으로써 참고할 만한 사항을 얻고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 시사점을 확인할 수 있었다.

우선, 영국은 장기적인 탄소중립 목표 이행을 통한 산업구조 및 기술 혁신을 위해 재생에너지, 수소, 원자력, CCUS, 에너지효율 등 특정 기술에 대한 배제 없이 탄소중립에 기여할 수 있는 가용한 모든 수단을 총 동원하고 있다. 이를 통해 과거에 산업혁명을 주도했던 국가로서 탄소중립 흐름 속에서 다시 한번 ‘녹색’ 산업혁명을 일으키고자 하는 국가적 전략이 근저에 깔려있음을 볼 수 있다. 이는 전 세계 금융허브 역할을 탄소중립 시대에도 이어나가기 위해 ‘녹색금융’을 별도의 중점분야로 선정한 것에서도 여실히 드러난다. 이런 측면에서 볼 때, 무엇보다도 CCUS를 저탄소수소 생산이나 산업 부문과 연계시키는 전략이 가장 두드러진다. 영국은 산업클러스터에 CCUS설비를 구축한 이른바 ‘CCUS 클러스터’를 중심으로 관련 비즈니스 모델을 개발하려고 하며, 장기적으로는 인근 해역의 석유가스정 생산 종료 시 이를 CCUS 자산으로 활용하고자 한다. 이와 같이 영국은 탄소를 매개로 여러 산업 부문을 결합시키면서 자국의 산업 기반을 혁신하고자 하는 전략을 취하고 있다.

새롭게 부상하는 분야에 대한 적극적 행보도 눈에 띈다. 풍부한 해상풍력 자원을 바탕으로 부유식 해상풍력 기술을 선도하고자 하고 있으며, 기존의 대규모 원전시설 확대와 함께 차세대 원전도 핵심기술로 선정하여 육성에 나서고 있다. 저탄소수소 생산능력을 대폭적으로 확대하면서 수전해 기술 및 CCUS 연계 생산기술 개발에도 박차를 가하고 있으며, SAF 생산공장을 건설하여 차세대 항공유 분야도 선점하려고 하고 있다.

한편, 수요 측면에서 최종에너지원을 수소 등 저탄소연료나 전기로 전환하고자 하는 의지가 강하게 나타나고 있다. 이러한 노력이 건물 부문에서는 신규 가스보일러 판매를 금지하면서 히트펌프를 대량 보급하는 방향으로 나타나고 있으며, 수송 부문에서는 내연기관차 퇴출 및 전기차로 대표되는 무배출차량의 확대, 항공부문의 SAF 도입 등으로 나타나고 있다. 이러한 내용은 일반 소비자의 경제적 부담과 직결된다는 점에서 관련 세부 정책이 어떻게 수립되는지 앞으로 관찰할 필요가 있다.

이상과 같이 영국의 탄소중립 전략은 탄소를 매개로 한 전방위적인 산업 부문과의 연계 전략과 신기술 집중 육성, 수요부문에서의 대폭적인 에너지전환 노력 등으로 요약될 수 있다. 이러한 일련의 정책은 그 내용이나 범위로 봤을 때 필연적으로 기존 에너지시스템의 대대적인 변화를 수반할 수밖에 없다. 따라서 에너지 공급과 관련한 면밀한 예측뿐만 아니라, 이들 정책이 가져오게 될 경제적 영향을 종합적으로 판단할 수 있는 역량도 필요하다. 이러한 면에 초점을 맞추어 향후 영국 정부가 내놓을 부문별 세부 정책들을 관찰할 필요가 있다.

마지막으로, 영국이 최근 겪고 있는 에너지 위기 사태가 향후 탄소중립 정책에 어떤 영향을 미칠지 주시할 필요가 있다. 그동안 영국은 재생에너지 중에서도 해상풍력을 중점적으로 육성시켜왔는데, 풍속의 감소와

천연가스 가격 급등 등으로 인해 2021년 8월 이후에 영국의 전력가격이 지속 상승하여 최근까지도 에너지 수급 문제가 심각한 상황이다. 2021년 들어 북유럽 전역의 풍속이 평년 대비 15%까지 감소하여 최근 20년 중 가장 낮은 수준이 되면서, 풍력발전 부족분을 가스발전이나 심지어는 석탄발전으로 대체하는 상황에 이르게 된 것이다(에너지경제연구원, 2021.11.15.). 따라서 이러한 에너지 위기의 원인을 면밀히 진단하고, 이로 인해 기존 전략이 어떻게 수정되거나 보완되는지를 지속적으로 지켜볼 필요가 있다.

참고문헌

국내 문헌

- 에너지경제연구원, 세계 에너지시장 인사이트, 20-24, 2020.12.7.
- 에너지경제연구원, 세계 에너지시장 인사이트, 21-1, 2021.1.11.
- 에너지경제연구원, 세계 에너지시장 인사이트, 21-17, 2021.8.30.
- 에너지경제연구원, 세계 에너지시장 인사이트, 21-21, 2021.11.1.
- 에너지경제연구원, 세계 에너지시장 인사이트, 21-22, 2021.11.15.

외국 문헌

- BEIS(UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy), Energy White Paper: Powering our net zero future, 2020.12.18.
- BEIS(UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy), Modeling : 2020 electricity System Analysis, 2020.12.
- Government of the UK, Net Zero Strategy : Build Back Greener, 2021.10.19.
- Government of the UK, The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution, 2020.11.18.

웹사이트

- Clean Energy Wire, 2021.7.26. New cable between Germany and UK advances Europe's integrated power system. <https://www.cleanenergywire.org/news/new-cable-between-germany-and-uk-advances-europes-integrated-power-system>

우리나라 가스 수급 및 소비현황

* 2020년 에너지밸런스 잠정 결과

가스 도입

- 1986년 10월 한국가스공사에 의해 인도네시아로부터 최초로 도입



- 공급량 대부분 수입에 의존 **99.6%** (2020년 기준)



- 2005년 한국가스공사 외 직수입자 도입 개시

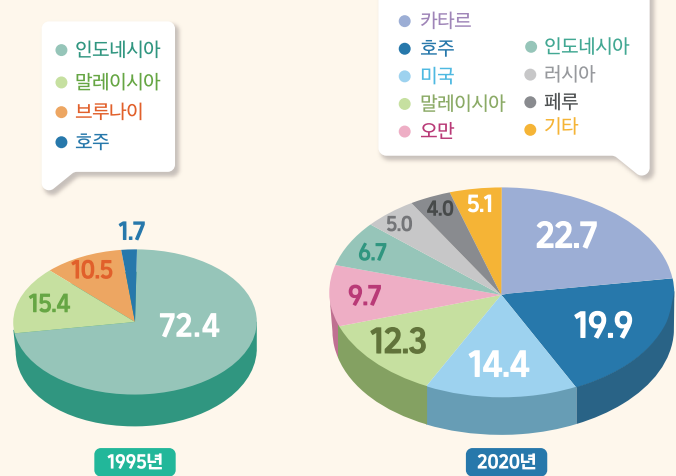
2020년 기준
12개 업체에서 직수입 중



- 공급 안정성을 확보하기 위해 도입선 다양화 모색

1995년과 2020년 우리나라의 천연가스 수입선별 점유율 (%)

※ 자료: 한국무역협회



천연가스 생산기지

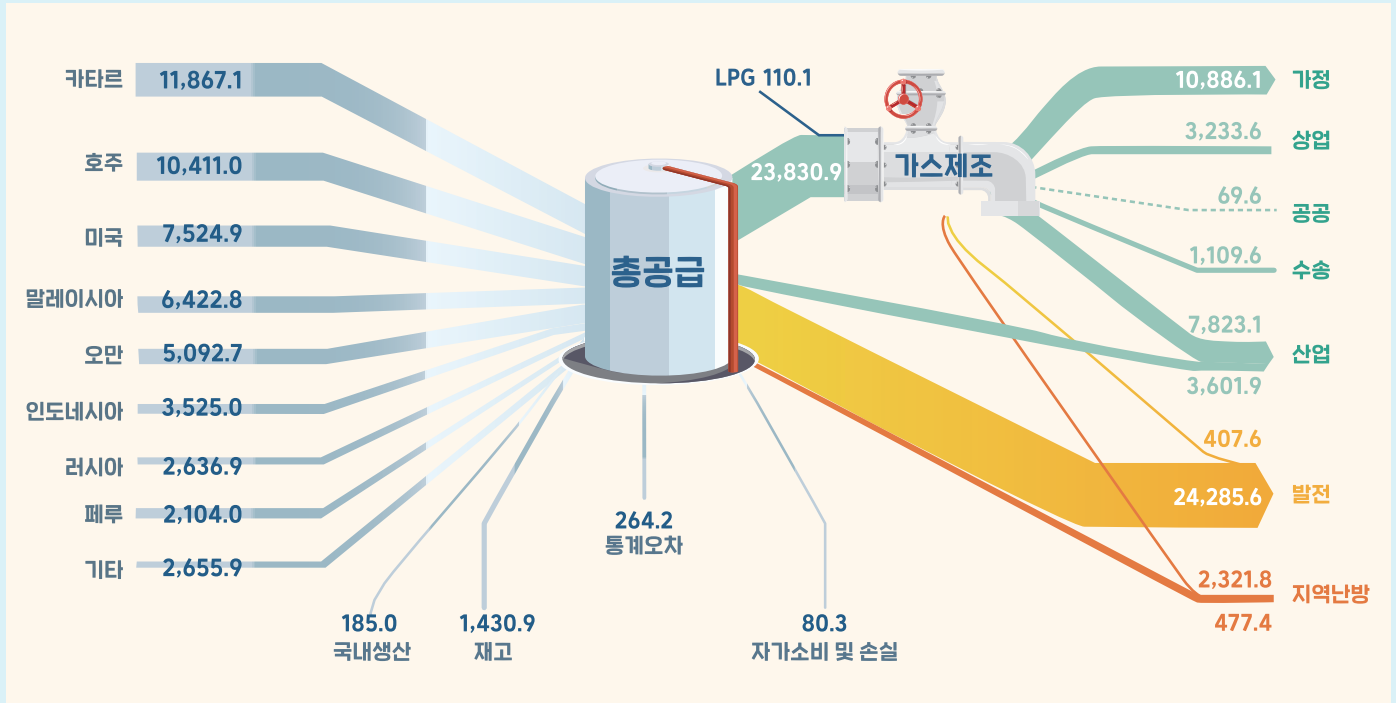
※ 자료: 한국가스공사, 포스코에너지, 보령LNG터미널

액화천연가스(LNG)의 형태로 수입된 천연가스는 각 인수기지에서 기화되어 전국의 배관망을 통해 최종 수요처까지 송출

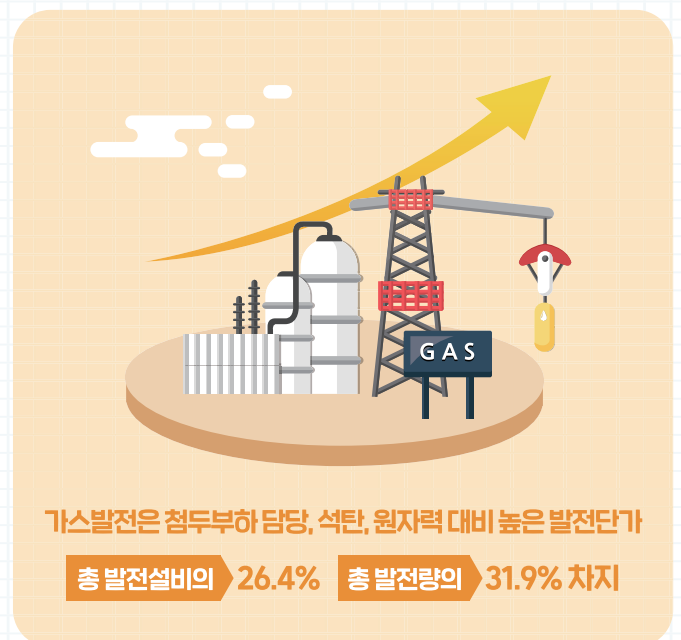
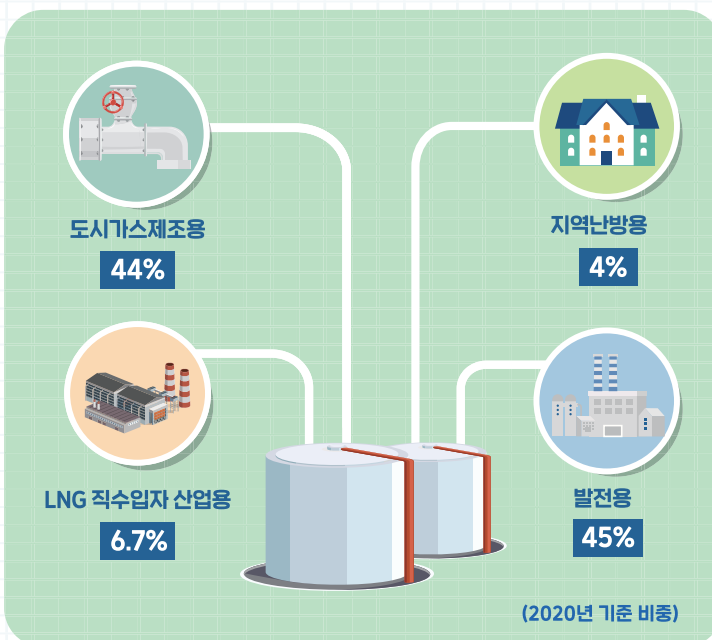


| 2020년 천연가스 수입 및 공급 흐름 (천 TOE)

※자료: 한국무역협회, 에너지경제연구원

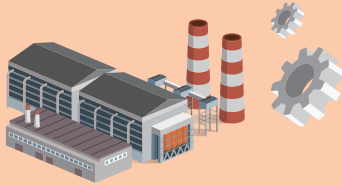


| 가스 수요 : 전환부문

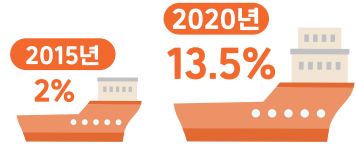


| 가스 수요: 최종소비

산업용



- 석유화학, 조립금속, 철강 등 에너지다소비 업종에서 주로 소비
- LNG소비와 도시가스 소비로 구분 가능
- 산업용 사업자의 LNG 직수입 도입 물량
2015년 이후 증가추세



건물용

- 수도권으로부터 전국 각지로 배관망이 확대됨에 따라 건물용 도시가스 수요 급속히 성장
- 2020년 기준
가정용 수용가: 2천만(가구)



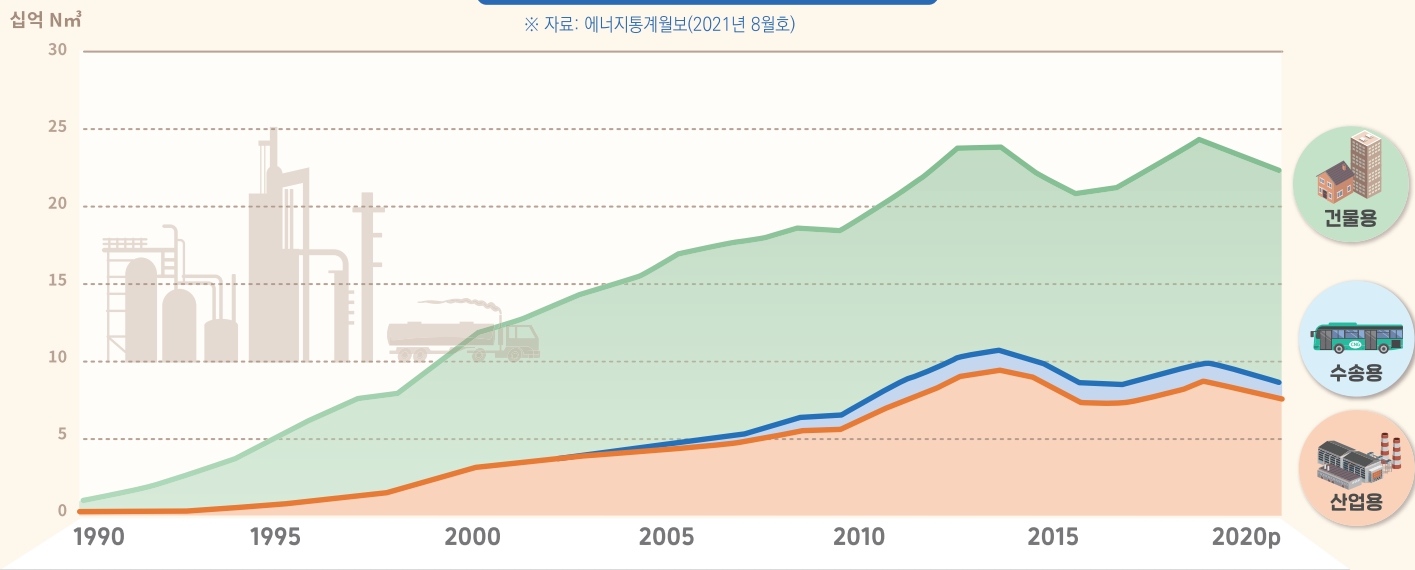
수송용

- 주로 CNG 버스의 연료로 사용
- 2000년부터 천연가스 차량 보급사업을 시작으로 소비량 크게 증가

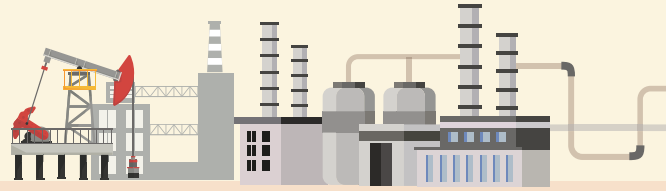


용도별 도시가스 소비 추이

※ 자료: 에너지통계월보(2021년 8월호)



우리나라 석유 수급 및 소비현황



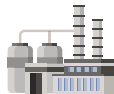
석유산업 개요

1964년 4월 대한석유공사 울산 정유공장 가동



정제 능력

(2020년 기준)
세계 5위 일일 3,572 천 배럴
(BP, Statistical Review of World Energy 2021)



원유 수입량

세계 3위 133.1 백만 톤
(Enerdata, Energy Statistical Yearbook 2021)



석유화학제품 수출

35,587백만 달러

6.9%



석유제품 수출

24,119백만 달러

4.7%



(20대 주요 수출품목 대비 비중, 산업부 2020년 수출입 동향)

2020년 원유수입 지역 및 국가별 점유율

* 출처: 국내석유정보시스템(www.pedsis.co.kr)

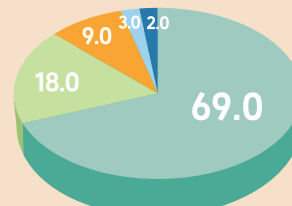
수입량: 980백만 배럴

(단위: %)

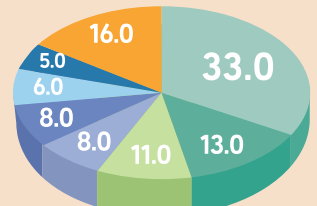
- 중동
- 미주
- 아시아
- 아프리카
- 유럽

- 사우디아라비아
- 쿠웨이트
- 미국
- 이라크
- 아랍에미리트
- 카타르
- 멕시코
- 기타

러시아,
카자흐스탄,
브라질 등



지역별



국가별

2020년 석유제품 수입 및 생산 구성비

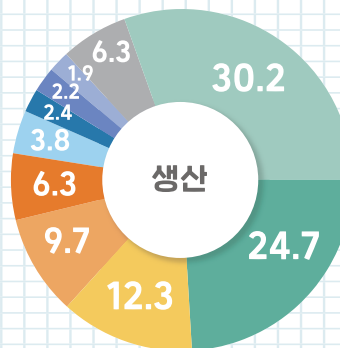
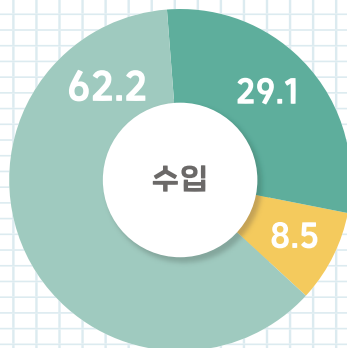
* 출처: 국내석유정보시스템(www.pedsis.co.kr)

(단위: %)

수입량: 347백만 배럴

생산량: 1,1159백만 배럴

- 나프타
- LPG
- 병거C유
- 기타
- 휘발유, 등유
- 경유, 용제, 항공유
- 아스팔트, 윤활유



- 경유
- 나프타
- 휘발유
- 항공유
- 병거C유
- 등유
- LPG
- 아스팔트
- 윤활유
- 기타
- 경질중유, 중유
- 용제, 기타제품
- 부생연료유

2020년 석유제품 수출 구성비

*출처: 국내석유정보시스템(www.pedsis.co.kr)

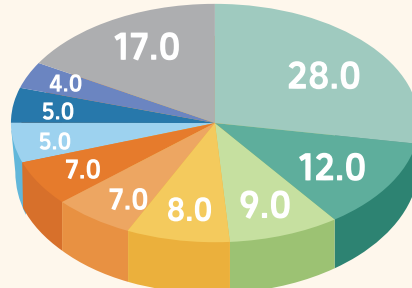
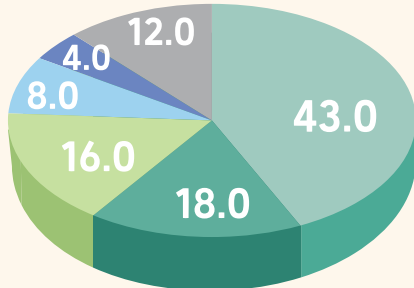
(단위: %)



수출량: 469백만 배럴



국제탱커링: 59백만 배럴



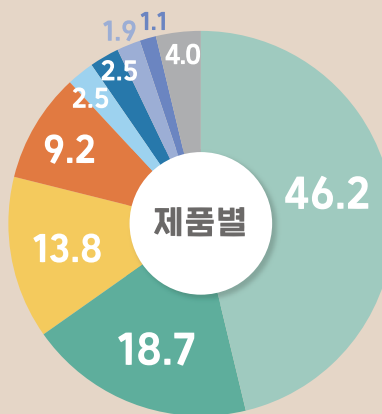
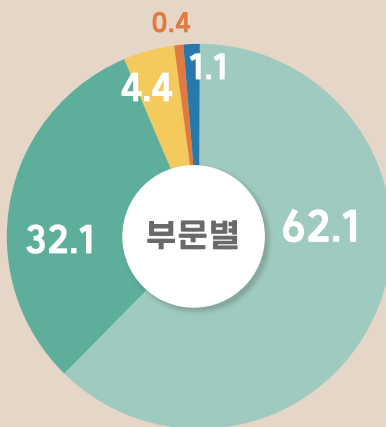
2020년 석유제품 부문 및 제품별 소비 비중

*출처: 국내석유정보시스템(www.pedsis.co.kr)

(단위: %)



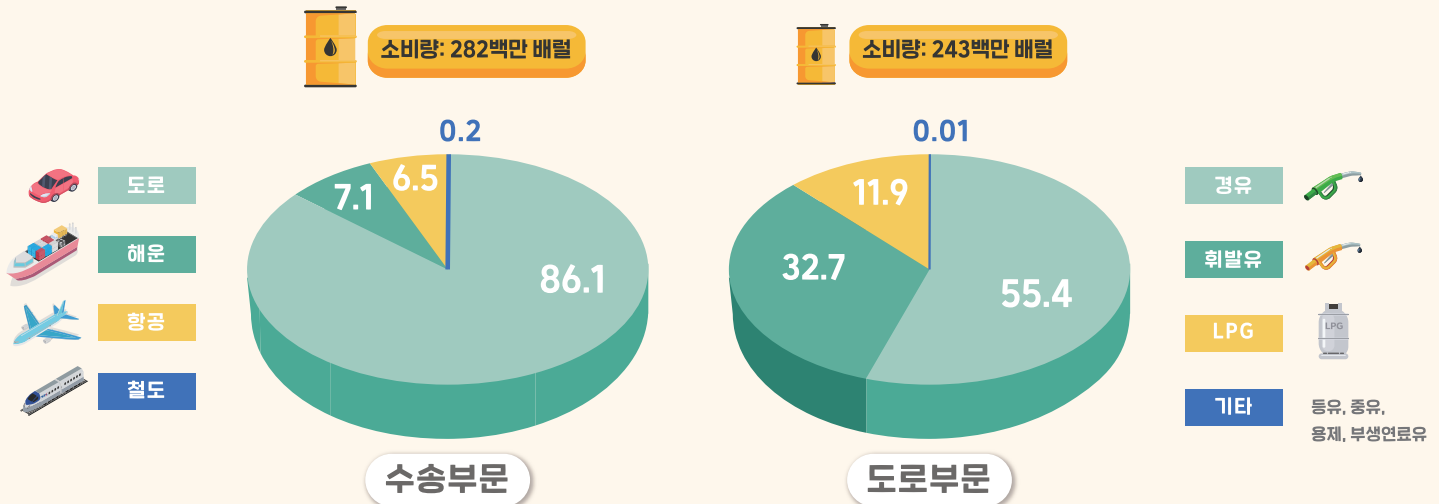
총소비량: 877백만 배럴



2020년 수송부문 석유제품 소비 비중

*출처: 국내석유정보시스템(www.pedsis.co.kr)

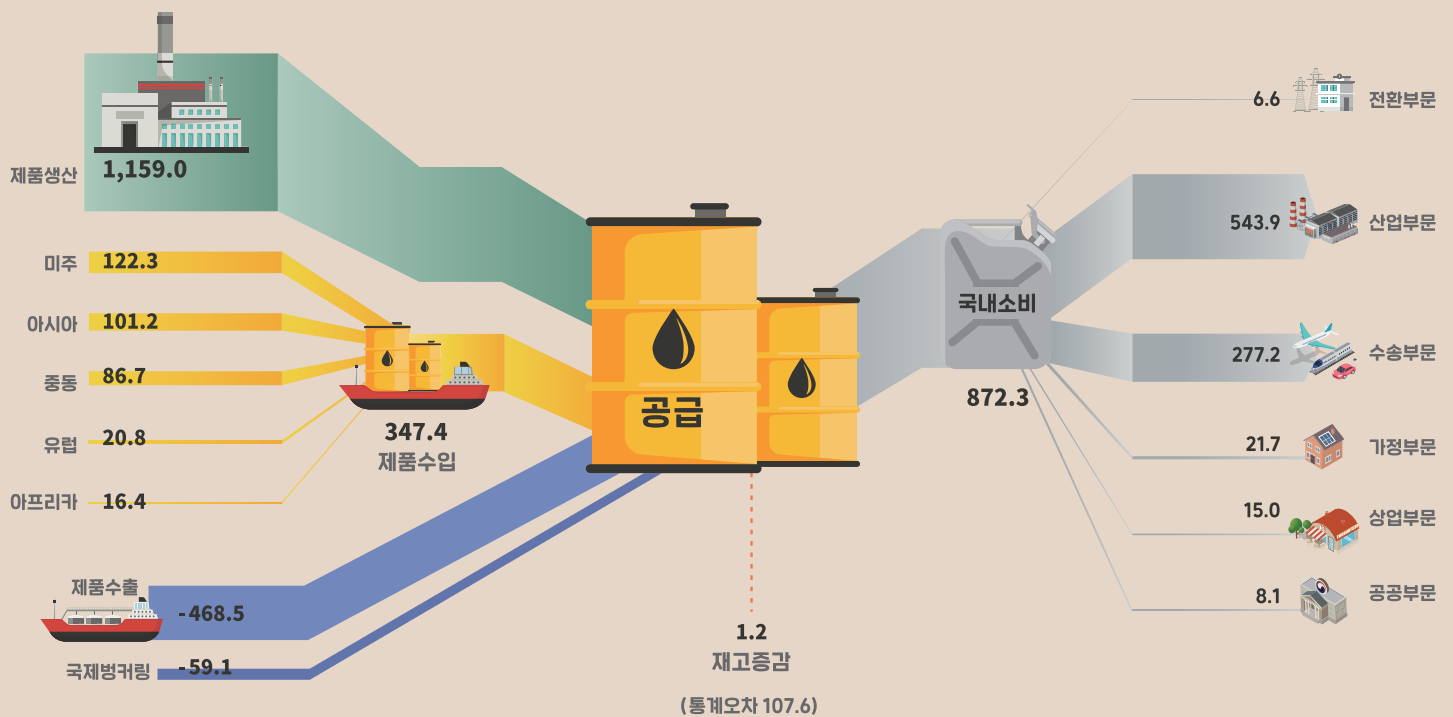
(단위: %)



2020년 석유제품 수입 및 공급 흐름

*출처: 국가에너지통계종합정보시스템(www.kesis.net), 국내석유정보시스템(www.pedsis.co.kr)

(단위: 백만 bbl)



INTERVIEW

연구자로서의 나날들

서정규 선임연구위원

에너지경제연구원에 첫발을 디딘 후
벌써 37년이라는 시간이 지났다.
가스 정책팀에서 근무하게 된 후로
이곳에서 오랜 시간 연구에 열을 올렸다.
서른일곱 번의 해를 보내다 보니
힘든 일도 있었던 것 같은데,
세월에 기억이 흐려져 이제 힘든
기억보다는 에너지경제연구원에서
보낸 나날이 영광스러운
서정규 선임연구위원이다.

츄데레 선배의 따뜻한 마음

1985년 가스 정책팀에 들어온 후 같은 팀에서만 37년을 보냈다. 한 곳에서 오랜 시간을 보내기란 결코 쉬운 일이 아니다. 그는 어떤 마음으로 연구를 이어온 것일까.

“시간이 쌓이다 보니 오랜 세월을 보낸 셈이지만, ‘회사 발전에 기여하겠다’와 같은 거창한 마음으로 일했던 것이 아닙니다. 그저 내가 맡은 일에 최선을 다 했고, 그러다 보면 ‘회사에도 도움이 되겠다’라는 마음이었어요.”

가스 정책 역시 에너지경제연구원에 들어온 후에 처음 접했던 분야라, 연구 하면서 익숙해지고 전문지식도 차츰차츰 쌓아나갔다고. 서정규 선임연구위원은 연구하는 법에 대해 익혀왔던 터라 ‘특정 분야를 연구해보고 싶다’보다는 내 역량을 발휘해 어떻게 연구하느냐가 더 중요하다고 했다. 스스로 배운 것을 더 많이 활용할 수 있게끔 하는 것이 좋다고 한다.

서정규 선임연구위원은 에너지경제연구원 내에서 ‘츄데레’라고 불릴 만큼 무뚝뚝하지만, 동료들을 많이 배려하고 챙겼다. 지나가는 동료와 마주할 때도 장난스레 인사를 건네는 모습이었다. 츄데레답게 앞으로 계속 일을 해나갈 후배 연구원을 위한 조언도 조심스레 건넸다.

“나도 쉽지 않았지만, 다른 사람들과 함께 일할 때 자신이 연구한 부분에 대해서는 자기주장을 펼치되 다른 사람의 의견도 충분히 수용했으면 합니다.”

그는 분야의 특성상 규제쪽을 많이 맡았기에 다른 사람들하고 의견 다툼도 더러 있었는데, 후배들은 같은 상황에 처하더라도, 모나지 않게 좀 더 수월하게 일을 처리하길 바랐다. 또한, 어떤 기관에서 의뢰를 받아 연구할지라도 해야 할 이야기는 다 해야 한다고 전했다.

“도움 될 만한 이야기를 하면 좋아하지만, 싫은 소리는 멀리하려고 합니다. 그럴 때라도 공적인 기능을 생각해서 해야 할 말은 분명하게 해줘야 합니다.”

연구결과나 솔루션에 대해 이야기할 때는 의뢰 기관이 불편해할지라도 공적인 기능을 우선시할 것을 권했다.

퇴임을 앞둔 그지만, 업무 이야기가 나오자 청년의 총명한 눈빛을 보이는 서정규 선임연구위원. 퇴직 후에도 자신이 ‘도움을 줄 수 있는 곳에서 일하고 싶다’는 그의 앞날을 뜨겁게 응원한다.





연구원 뉴스



제3회 수소세미나

일시 : 2021년 10월 21일(목)

장소 : 서울 여의도 켄싱턴호텔

에너지경제연구원은 에너지경제신문과 공동으로 10월 21일(목), 서울 여의도 켄싱턴 호텔에서 '수소인프라 구축과 기술선진화'를 주제로 제3회 수소세미나를 개최했다. 산업통상자원부 후원으로 진행되는 이번 세미나에서는 정부 및 관련분야 산업계 전문가들이 나와 수소 핵심기술 및 선도기술 확보방안, 저장·운송·충전 등 효율적이고 안전한 수소 인프라 구축방안, 수소산업 경쟁력 강화방안 등 수소사회 구현을 위한 다각적인 의견을 제시하고 방향을 모색했다.

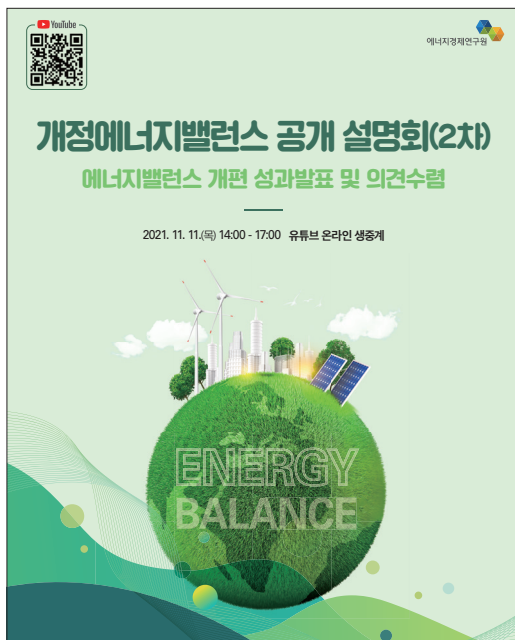
‘한-러 지방협력포럼’, 에너지 세션 주관

일시 : 2021년 11월 4일(목)

장소 : 울산전시컨벤션센터

에너지경제연구원은 울산에너지포럼, 한국동서발전, 러시아 극동북극 개발공사와 공동으로 11월 4일(목), 울산전시컨벤션센터에서 제3차 한-러 지방협력포럼 에너지세션을 주관하였다. 임춘택 에너지경제연구원 원장의 환영사와 이성규 해외정보분석팀 선임연구위원의 사회로 프로그램이 진행되었으며, 한-러 간 수소에너지 및 재생에너지의 협력 비전과 과제에 대해 양국 전문가들의 다양한 의견을 들어볼 수 있었다.





‘개정에너지밸런스 성과발표 및 의견수렴을 위한 2차 공개 설명회’ 개최

일시 : 2021년 11월 11일(목)

장소 : 에너지경제연구원 대강당

에너지경제연구원은 11월 11일(목) 에너지경제연구원 별관 대강당(울산)에서 개정에너지밸런스 공개 설명회(2차)를 온라인으로 개최했다. 지난 9월 9일에 개최한 1차 설명회에서 개정(확장)에너지밸런스(연간)에 대한 논의를 진행한 바 있으며, 이번 설명회에서는 개정(간이)에너지밸런스(월간) 작성 결과를 공유·공개하고 에너지통계 전문가 및 이용자들로부터 개편 결과에 대한 의견을 수렴함으로써 개정에너지밸런스 최종안 작성 및 추가 개선 방향을 도출하는 기회가 되었다.

‘2021 에너지 초·중등 팀프로젝트 교육’ 개최

일시 : 2021년 11월 25일(목) ~ 2021년 12월 10일(금)

장소 : 에너지경제연구원 대강당

에너지경제연구원은 울산광역시 중구 소재 초등학교 5·6학년을 대상으로 11월 25일(목)부터 12월 10일(금)까지 총 8회에 걸쳐 ‘2021 에너지 초·중등 팀프로젝트 교육’을 개최했다. 이번 교육은 학생들의 연구원 방문 체험을 통한 에너지 분야 진로탐색에 대한 동기를 부여하고, 탄소중립, 재생에너지 보급 확대 등 에너지전환에 대한 인식개선 및 미래인재 육성을 목적으로 하고 있다.



연구원 뉴스



‘개원 35주년 기념 좌담회’ 개최

일시 : 2021년 11월 26일(금)

장소 : 비대면 유튜브 실시간 생중계

에너지경제연구원은 11월 26일(금) 오후 2시부터 4시까지 서울 GS타워 아모리스홀에서 ‘에너지경제연구원 개원 35주년 기념 좌담회’를 개최했다. 이번 좌담회는 2030년 NDC 달성, 2050년 탄소중립 도달이라는 도전적 과제를 완수하기 위하여 ‘분야별로 살펴보는 탄소중립 달성의 열쇠’라는 주제로 연구회 산하 연구기관장들과 에너지 분야 연구개발 및 시민단체 정책 전문가 간 의견교환의 장이 되었다. 또한 코로나19 확산 방지를 위하여 비대면 유튜브 생중계로 진행되었다.

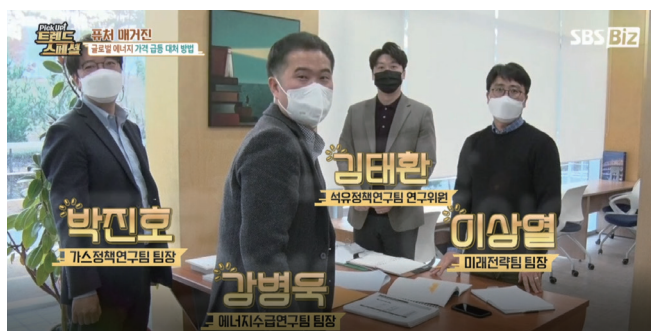
‘2021년도 하반기 고교 오픈스쿨 직업교육’ 개최

일시 : 2021년 11월 29일(월) / 2021년 12월 1일(수)

장소 : 에너지경제연구원 대강당, 대회의실

에너지경제연구원은 11월 29일(월), 12월 1일(수), 2회에 걸쳐 ‘2021년도 하반기 고교오픈스쿨 직업교육’을 개최했다. 울산광역시 교육청, 울산 지역 8개 공공기관이 함께 참여하는 이번 교육은 공공기관 고졸 취업 활성화를 위해 각 기관별 역량을 활용하여 공공기관의 우수한 직무교육을 제공하는데 의의가 있다. 특히, 에너지경제연구원은 ‘에너지 및 에너지 정책의 이해’라는 주제로 신재생에너지, 탄소중립 등의 이슈를 다룸으로써 에너지전환 시대에 학생들에게 필요한 직무 지식을 키우고, 관련 역량을 강화시키는데 도움을 주었다.





‘국제 에너지가격 급등 관련 국내 경제 및 에너지시장 영향 분석’ 방송 방영

일시 : 2021년 12월 16일(목)

방송채널 및 프로그램 : SBS BIZ, ‘트렌드 스페셜’

에너지경제연구원은 12월 16일(목)에 SBS BIZ 채널 ‘트렌드 스페셜’ 프로그램을 통해 ‘국제 에너지가격 급등 관련 국내 경제 및 에너지시장 영향 분석’을 주제로 하는 에너지경제연구원 기획 방송을 송출했다. 국가 에너지 현안에 대한 시의성 있는 연구 결과를 언론방송 매체를 활용하여 국민 눈높이에 맞추어 제작·확산함으로써 대국민 인식개선 및 연구원 인지도를 제고할 목적으로 기획되었고, 석유·가스·신재생·에너지 수급 등 다양한 분야의 원내 전문가들이 출연하여 국제 에너지 가격 급등과 관련한 여러 문제에 대해 분석·진단·제언했다.



교육서비스

Education service

에너지 분야 우수기관 기업의 임원(에너지고위경영자 과정) 및
중간관리자(차세대에너지리더 과정)를 대상으로 에너지 분야의
전문지식을 제공하고 정보교류의 장을 마련

Next Generation Leader

Korea Energy Economics Institute

Education service



에너지고위경영자 과정

가. 목적

- 국내 에너지 관련 유수기관 및 기업의 임원급 직원을 대상으로 국내외 주요 에너지 이슈에 대한 전문지식을 심도 있게 전달함으로써 글로벌 시대 에너지리더로서 필요한 자질 육성
- 에너지경제연구원은 2002년부터 '에너지고위경영자 과정'을 개설하여 2021년까지 총 20기 718명의 수료생을 배출

나. 교육현황

- 교육기간 : 매년 상반기 금요일(15주간 국내연수 및 해외연수 포함)
- 지원자격 : 에너지 관련 분야에 종사하는 정부·공공기관·기업·단체·협회 등의 고위 경영자 및 기타 동등한 자격을 갖춘 자

다. 운영현황

- 강사진 : 연구원장·에너지 관련 기관 및 공기업 대표·학계·문화예술계·체육인 등
- 출석 관리 및 수료증 수여 조건
 - 출석부를 통한 개인별 출결 상황 매주 확인
 - 전 강좌의 2/3 이상 출석한 참가자에 한하여 수료증 수여



차세대에너지리더 과정

가. 목적

- 국내 에너지 관련 기관 및 기업의 중간관리자를 대상으로 국내외 주요 에너지 이슈에 대한 전문지식을 심도 있게 전달함으로써 대한민국 에너지 산업을 이끌어 갈 차세대 에너지 리더를 조기에 발굴하여 육성
- 에너지경제연구원은 2009년부터 '차세대에너지리더 과정'을 개설하여 2020년까지 총 12기 490명의 수료생을 배출

나. 교육현황

- 교육기간 : 매년 하반기 금요일(15주간, 국내연수 및 해외연수 포함)
- 지원자격 : 에너지 관련 분야에 종사하는 정부·공공기관·기업·단체·협회 등의 중간관리자 및 기타 동등한 자격을 갖춘자

다. 운영현황

- 강사진 : 에너지경제연구원 부서장급 이상 연구진 및 학계·문화예술계·체육인 등
- 출석 관리 및 수료증 수여 조건
 - 출석부를 통한 개인별 출결 상황 매주 확인
 - 전 강좌의 2/3 이상 출석한 참가자에 한하여 수료증 수여



겨울 그리고 KEEI

'열정'이라는 에너지!
에너지경제연구원의
'열정'은 불변이며
끊임없이 생성됩니다.