

세션2 저탄소 경제

저탄소 전기화를 위한 전력산업의 과제

임원혁 KDI국제정책대학원 교수



Contents

01. 탄소중립의 도전

02. 저탄소 전기화의 필요성

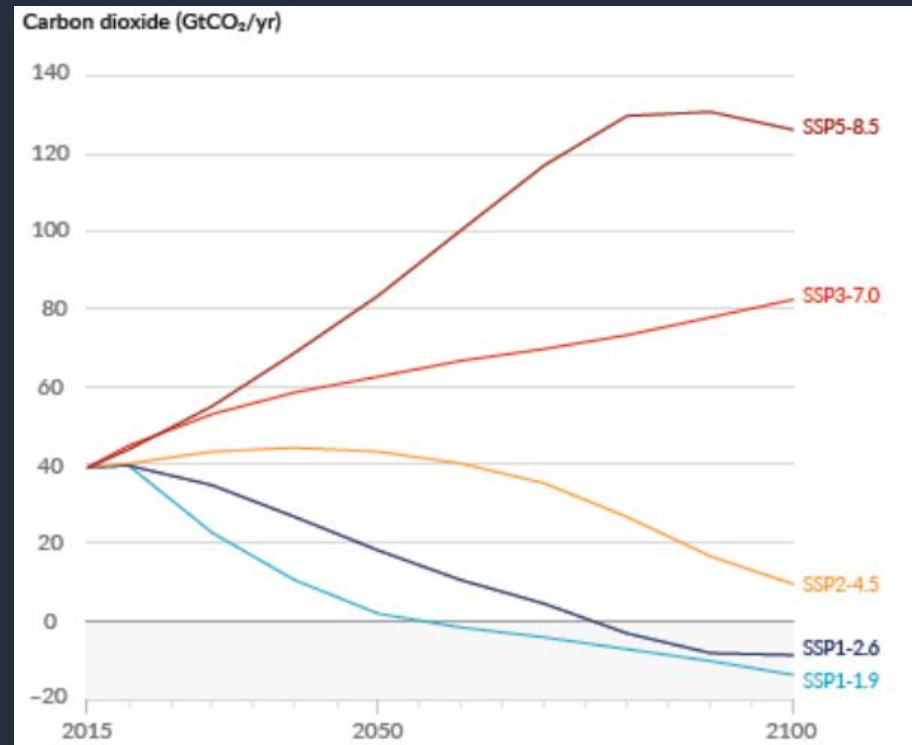
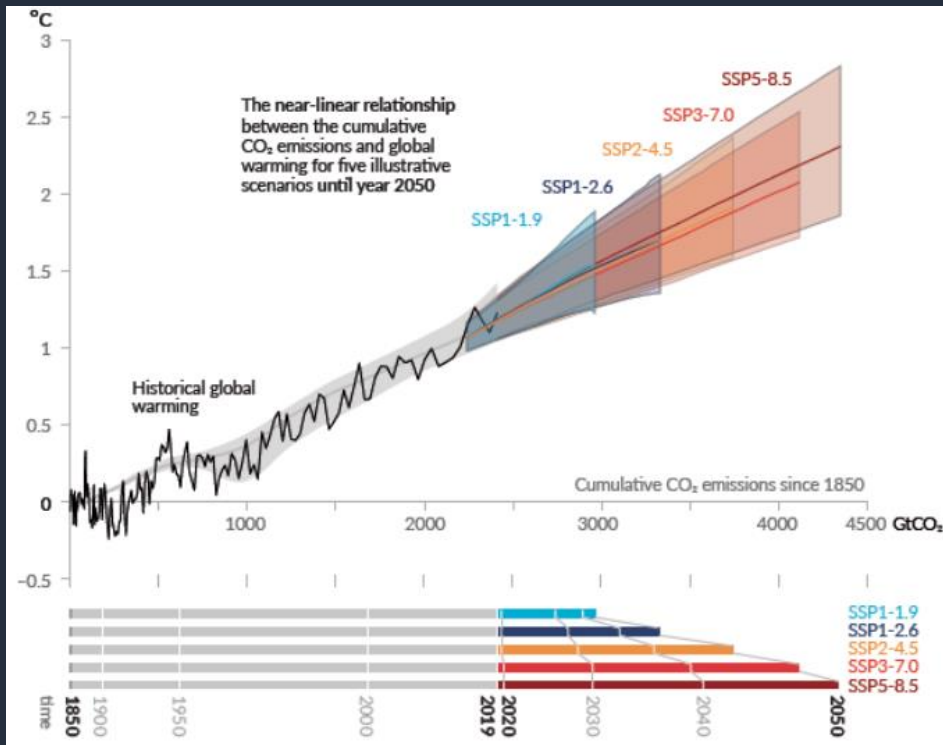
03. 탄소중립 시나리오의 문제점

04. 향후 전력산업의 과제

01 탄소중립의 도전

지구 온난화가 지속되고 기상이변성 재해가 빈발함에 따라 향후 기후재앙을 방지하기 위해서는 2050년까지 탄소중립을 달성해야 한다는 공감대 형성(IPCC 2018, IPCC 2021)

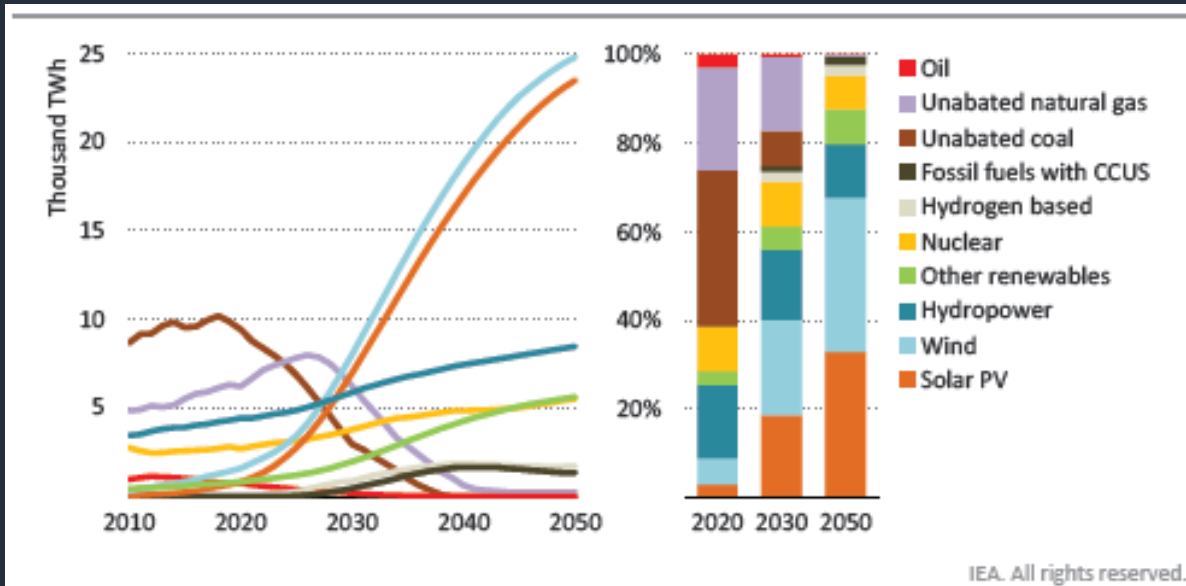
- 1850~1900년 평균 온도와 비교할 때 온도 상승폭 상한을 섭씨 1.5도로 설정(cf. Armstrong McKay et al 2022: climate tipping points and non-linearity)
- 누적 이산화탄소 배출량과 온도 상승폭 간의 관계 등을 고려하여 향후 시나리오 제시



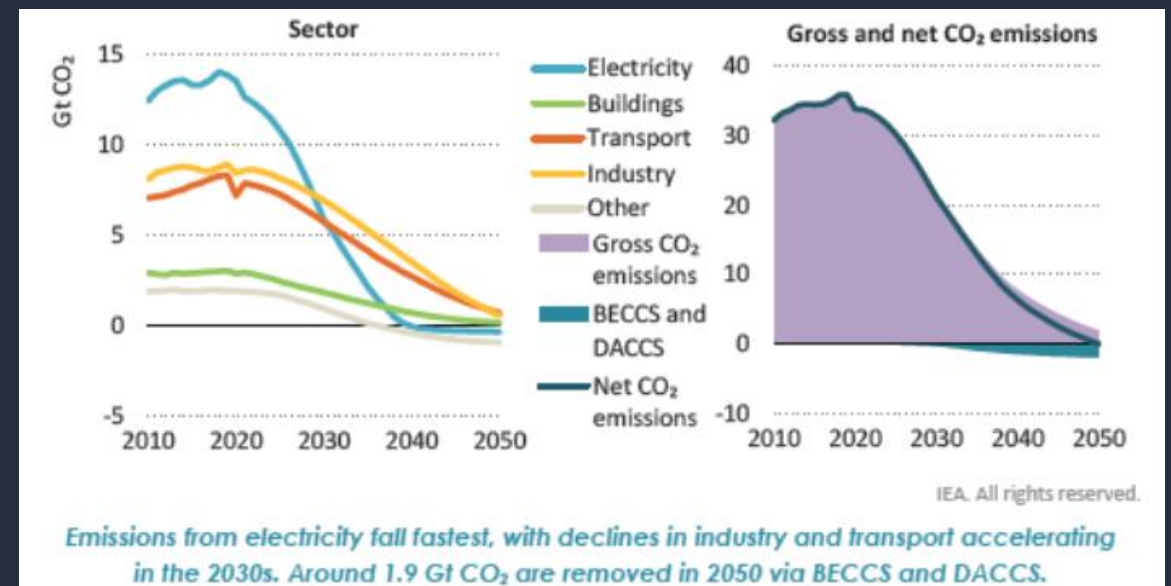
02 저탄소 전기화의 필요성

2050년까지 탄소중립을 달성하기 위해서는 에너지 효율을 제고하는 정도로는 부족하고 저탄소/탈탄소 전기화(low-carbon/decarbonizing electrification)를 적극 추진할 필요(IEA 2021)

- 경제성장률을 0%로 낮춘다고 해도 원단위당 이산화탄소 배출량을 연평균 9% 감축할 필요
- 저탄소 에너지원과 수전해, CCUS 등을 활용하여 전력을 생산하는 한편, 용광로, 내연기관차, 가스난방 등 화석연료를 사용하는 설비를 전기 또는 수소를 사용하는 설비로 대체할 필요



Solar and wind power race ahead, raising the share of renewables in total generation from 29% in 2020 to nearly 90% in 2050, complemented by nuclear, hydrogen and CCUS



Emissions from electricity fall fastest, with declines in industry and transport accelerating in the 2030s. Around 1.9 Gt CO₂ are removed in 2050 via BECCS and DACCS.

Notes: Other = agriculture, fuel production, transformation and related process emissions, and direct air capture. BECCS = bioenergy with carbon capture and storage; DACCS = direct air capture with carbon capture and storage. BECCS and DACCS includes CO₂ emissions captured and permanently stored.

03 탄소중립 시나리오의 문제점

태양광과 풍력의 발전량 비중이 70%에 달하는 기존의 탄소중립 시나리오는 기상 변동성에 취약할 뿐 아니라 계통비용의 급증을 유발

- 지속적인 장마/폭설이나 어둠과 고요(dunkelflaute) 현상이 발생할 경우 태양광과 풍력의 발전량 감소를 보완할 전원 필요
 - 2017.1.16~1.26 독일에서 어둠과 고요 현상으로 14.4 TWh 감소
- 모든 나라가 태양광과 풍력 위주로 전원을 구성하게 되면 국경을 가로지르는 기상이변에 취약하게 되어 전력유통을 통해 문제를 해결하는 데에도 한계
- 태양광과 풍력의 전력량 비중이 높아질수록 그 변동성(간헐성, 계절성, 불확실성)을 보완하기 위한 백업설비가 늘어나게 되어 계통비용이 가속적으로 증가
 - 저탄소 전원으로 전력을 생산한 후 물을 분해하여 수소를 만들고 이를 영하 253도에서 액화하거나 기압의 700배로 압축하거나 화학/물리적으로 흡착하여 저장 후 활용하는 방안의 기술적/경제적 타당성 확보 필요
 - 원자력, 바이오에너지, CCUS와 결합된 가스화력 등 확실한(firm) 저탄소 전원 없이 변동성 재생에너지만으로 탄소중립을 달성하기 위해서는 반대의 경우에 비해 거의 2.5배의 비용이 소요(Sepulveda et al 2018)

탄소중립 시나리오의 기술적/경제적 타당성이 불확실한 현 상황에서는 주요 대안을 원천적으로 배제하지 말고 포괄적/동태적 접근법을 채택할 필요

- 에너지저장기술과 CCUS 기술의 획기적 발전이 없는 한, 안전성 확보를 전제로 원자력을 적극 활용할 필요
- 연구개발에 대한 투자와 유인 제공을 통해 혁신을 촉진하고, 위험을 분산하면서도 다양한 시도 중 성공적인 대안이 확장될 수 있도록 제도를 구축

04 향후 전력산업의 과제

탄소중립을 달성한다는 제약 하에 전원별 균등화 발전단가와 연료가격 및 발전량 변동성 정보를 바탕으로 최적 전원구성을 주기적으로 파악한 후, 불확실성이 큰 전원 및 기술에 대해 경쟁입찰을 실시하여 적정 가격을 발견하고 이를 차기에 반영

- 원자력: 안전성 확보를 전제로 장기운영(계속운전) 및 증설을 추진하고 정부승인차액계약 형태로 장기계약 체결
 - 핵 폐기물 처리와 관련해서는 다양한 이해집단의 의견수렴도 필요하지만 후보지 해당 지역의 주민투표와 같이 민주적 정당성을 확보하는 절차가 중요(과거 저준위 방폐장 건설 경험 참고)
- 화력: 석탄을 휴지/보전하거나 석탄에서 LNG로, LNG에서 수소로 연료전환하는 데 필요한 법적 근거를 마련하고, 특히 유연성 전원인 LNG 연료의 확보와 설비 가동에 차질이 생기지 않도록 유의
 - 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 석탄발전량을 추가로 제약하게 된다면 LNG 발전량을 늘려야 할 가능성(2019년 11월 미세먼지 관리 종합계획과 계절 관리제 도입 후 석탄발전량을 제약하면서 LNG 발전량이 늘어나게 되었고 이로 인해 원래 가스수급계획에서 상정했던 수준보다 더 많은 LNG 연료 확보 필요)
 - 10차 전기본에 따르면 LNG의 설비용량 비중은 2030년 43.4%, 2036년 44.7%로 별로 차이가 없는 데 반해, LNG의 발전량 비중은 2030년 22.9%에서 2036년 9.3%로 급락하므로, 발전설비 이용률 급감에 따른 대책 필요(이윤 극대화를 위해 LNG 발전사업자들이 전략적 행동을 할 여지가 있는 가격입찰제의 도입보다는, 급전 가능 용량에 대한 적정 보상을 하는 것이 바람직)
- 재생에너지: 균등화 발전단가뿐만 아니라 전력계통에 미치는 영향을 감안하고 위험 분산 효과를 고려하여 전원별 경쟁입찰 실시 (영국의 차액계약(CfD) 사례 참조)
 - 일정 기간 동안 가격을 보장해줌으로써 금융비용을 낮추되, 해당 가격은 경쟁입찰을 통해 발견되도록 설계

04 향후 전력산업의 과제

전력산업 내 장단기 계약시장의 확장과 더불어 현물시장을 고도화하고 요금을 정상화하며 해외자원 개발에 노력을 기울일 필요

- 전력시장의 시간적/공간적 세분화를 모색하면서 수요 분산을 유도하고, 계통안정에 대한 기여도를 반영한 용량가격과 환경비용을 반영한 시장가격 확립
 - 기존 하루전 시장에 더해 실시간 시장을 개설하고 거래시간 단위도 단축함으로써 수급여건을 반영한 전력의 가치를 산정하고 시장 참여자들에게 입찰 정확도에 대한 유인을 제공
- 연료비 변동분을 전기요금에 적시 반영할 수 있도록 유보조항을 폐지하고 조정 한도를 확대하며, 탄소중립을 달성하는 데 필요한 발전설비 교체 및 증설, 에너지저장, CCUS, 송전망 확충 비용 부담에 대한 공감대 구축
 - 공공요금의 책정에 있어 재량보다는 준칙을 강조함으로써 정부의 자의적 개입을 축소
 - 10차 전기본에 따르면 통상적인 예비력 확보와는 별개로 재생에너지의 변동성에 대응하기 위한 백업설비 확충에 약 29~45조원의 재원이 2036년까지 소요될 것으로 예상되는데, 전기요금과 재정을 통해 이와 같은 투자비용을 확보하는 방안을 마련
- 전력산업 가치사슬의 대부분이 해외에서 결정된다는 점을 고려하여 에너지 자원뿐만 아니라 광물과 희토류 등을 포함한 해외자원 확보
 - 태양광과 풍력 자체는 재생에너지로 볼 수 있지만, 이를 활용하여 전력을 생산하는 데 필요한 태양광 셀과 터빈 등 발전설비와 리튬 배터리 등 에너지저장설비는 고갈 가능 자원으로 제조된다는 점에 유의하여 자원을 확보하고 가치사슬을 구축할 필요