

탄소중립 기술혁신 추진전략

10대 핵심기술 개발 방향





지구에는 이제 기후변화가 아니라 기후위기에 직면하고 있습니다. 기후 변화의 속도와 피해가 전망보다 더욱 빠르고 심각하게 전개되고 있어, 탄소 중립은 더 이상 피할 수 없는 전 지구적 과제가 되었습니다.

우리나라를 포함하여 전 세계 137개국은 탄소중립을 선언하였으며, 글로벌 선진기업들도 재생에너지에 투자를 확대하고, 기후 기금을 조성하는 등 탄소중립 대응책 마련에 적극적으로 동참하고 있습니다. 또한, 세계 주요 선진국은 기후목표 상향 조정, 탄소국경세 도입, 대규모 그린 투자, 석탄발전 폐지, 내연기관차 판매금지 등 탄소중립 사회를 지향하며 대대적인 변화를 모색하고 있습니다.

2021년 7월, 유엔무역개발회의(UNCTAD)는 우리나라의 지위를 개도국에서 선진국으로 격상하였습니다. 그만큼 국제사회에서 탄소중립에 대한 우리나라의 책임이 더욱 막중해졌습니다. 하지만 현재 우리나라의 산업구조와 에너지믹스 상황을 볼 때, 탄소중립은 매우 도전적인 과제입니다. 위기와 도전을 극복하는 과정에서 기술혁신은 핵심적인 수단이 될 것입니다. 탄소중립 기술의 혁신은 깨끗한 에너지로 전환하고, 저탄소 사회를 구현하는 과정에서 국가와 기업과 국민의 부담을 완화시킬 것입니다.

정부는 기술혁신으로 2050 대한민국 탄소중립 실현을 견인하기 위한 이행수단으로 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’(‘21.3, 제16회 과학기술관계장관회의)을 수립하여 10대 핵심 기술 개발 전략을 제시하였습니다. 10대 핵심기술의 확보를 가속화하고 혁신생태계 조성하기 위해 지속적으로 정책 역량을 집중할 계획입니다.

끝으로 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략 - 10대 핵심기술 개발방향’ 발간을 위해 각고의 노력을 기울여주신 산·학·연 전문가와 정부 관계자 여러분께 진심어린 감사의 말씀을 전합니다. 과기정통부도 탄소중립이 도전적인 과제에 그치지 않고, 지속가능한 성장의 기회가 될 수 있도록 기술혁신을 지원하기 위해 최선을 다하겠습니다. 감사합니다.

2021년 9월

과학기술정보통신부 장관

임혜숙



올해에도 지구 기온 상승으로 인한 이상기후로 전 세계에서 많은 재난이 발생하고 있습니다. 서유럽, 중국에서 발생한 대홍수와 북유럽, 캐나다, 미국, 시베리아의 폭염, 미국, 시베리아의 대형 산불 등으로 많은 재산피해와 사망사고가 발생하였습니다. 앞으로 폭염, 폭우, 가뭄, 혹한 등 극단적인 기후현상이 빈번해질 것으로 예측됩니다. 날로 심각해지고 있는 기후변화로부터 인류의 지속가능한 삶을 지키기 위해서는 지구 평균 기온 상승폭을 2100년까지 산업혁명 이전 대비 최대 1.5℃ 이내로 유지해야 합니다. 이를 위해서는 늦어도 2050년까지는 탄소중립을 이루어야 하며, 우리나라를 비롯한 137개 국가가 탄소중립을 선언하였습니다.

현재 인류가 사용하는 에너지의 84%는 탄소를 배출하는 화석연료입니다. 우리나라 온실가스 배출량은 2018년 기준으로 7.3억t-CO₂이며, 이 중 87%인 6.3억t-CO₂가 에너지 분야에서 배출되었습니다. 우리가 사용하는 최종에너지의 1/4은 전기이고 3/4은 열입니다. 탄소중립을 위해서는 탄소를 배출하지 않는 무탄소 전기를 많이 생산하여 에너지시스템을 최대한 전기화하고, 나머지 열을 사용하는 분야는 수소, 암모니아, 바이오 연료 등을 사용하는 무탄소 에너지시스템으로의 혁신적인 변화가 필요합니다. 그리고 무엇보다도 중요한 것은 에너지 사용 효율을 높이고 폐자원을 순환하여 에너지 수요를 줄이는 것입니다.

탄소중립을 위한 미래 변화를 성공적으로 이끌어가기 위해서는 혁신기술들의 뒷받침이 필요하며, 세계 최고 경쟁력을 갖춘 혁신기술의 확보를 위해서는 장기적이고 체계적인 기술개발 전략이 마련되어야 합니다. 이런 필요성에 따라 수립된 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’은 탄소중립을 실제적으로 견인해 나갈 기술 확보전략으로서 매우 의미가 크다고 생각합니다. 발전, 산업, 수송, 건물, 무탄소 연료 등 주요 에너지 생산 및 활용 부문별로 이슈를 분석하고, 온실가스 감축 기여도와 주력 산업 연관성 등을 고려하여 수립한 기술개발 목표와 단·중·장기 추진전략은 탄소중립을 향한 기술개발의 탄탄한 토대가 될 수 있을 것입니다.

그동안 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략 10대 핵심기술 개발방향’의 집필에 참여해주신 88인의 전문위원들과 발간에 열정을 쏟아 주신 관계자분들의 노고에 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 10대 핵심기술 개발방향이 2050 탄소중립 사회로 도약을 위한 여정의 이정표가 되기를 기대합니다.

2021년 9월

‘탄소중립 기술혁신 추진전략’ 민간위원장
한국에너지기술연구원 원장

김공남



CONTENTS

I. 탄소중립 선언 배경

1. 지구 평균온도 1.5℃ 상승 제한	1
2. 온실가스 배출량 지속 증가	2
3. 온실가스 배출 저감을 위한 국제사회 공동의 규범	3

II. 탄소중립의 글로벌 트렌드

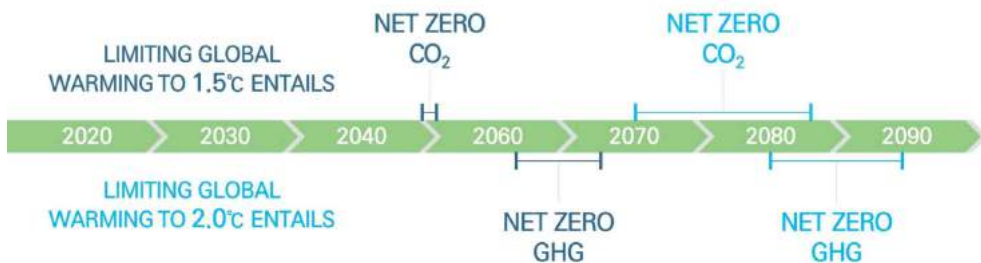
1. 세계 137개국 탄소중립 선언	5
2. 온실가스 관련 규제 마련	16
3. 산업구조 변화	20
4. 시장 전망	24
5. 탈탄소화를 위한 기술개발 현황	27

III. 탄소중립 기술혁신 추진전략

1. 추진 배경	39
2. 10대 핵심기술 개발 방향	44
1-1) 태양광	
1-2) 풍력	
2) 수소	
3) 바이오에너지	
4) 철강·시멘트	
5) 석유화학	
6) 산업공정 고도화	
7) 수송효율	
8) 건물효율	
9) 디지털화	
10) CCUS	

1. 지구 평균온도 1.5°C 상승 제한

- IPCC 특별보고서에서는 인간의 활동으로 인해 2017년 기준 지구의 평균온도가 산업화 이전 (1850~1900년) 대비 약 1°C(0.8~1.2°C) 상승했다고 발표¹⁾
 - 현재 속도로 지구온난화가 지속된다면 2030~2052년 사이 지구의 온도 상승폭은 1.5°C를 초과하고, 2100년에는 3°C를 넘을 것으로 예측
- 2100년까지 지구 온도 상승폭을 1.5°C 미만으로 제한하기 위해서는 2030년까지 2010년 대비 CO₂ 배출량을 최소 45%까지 감소해야 하고, 2050년까지 CO₂ 순배출량 제로(Net-zero)를 달성할 필요
 - 2063~2068년 사이 모든 온실가스의 넷 제로(Net-Zero GHG) 달성을 권고



출처 : Global Warming of 1.5°C, IPCC

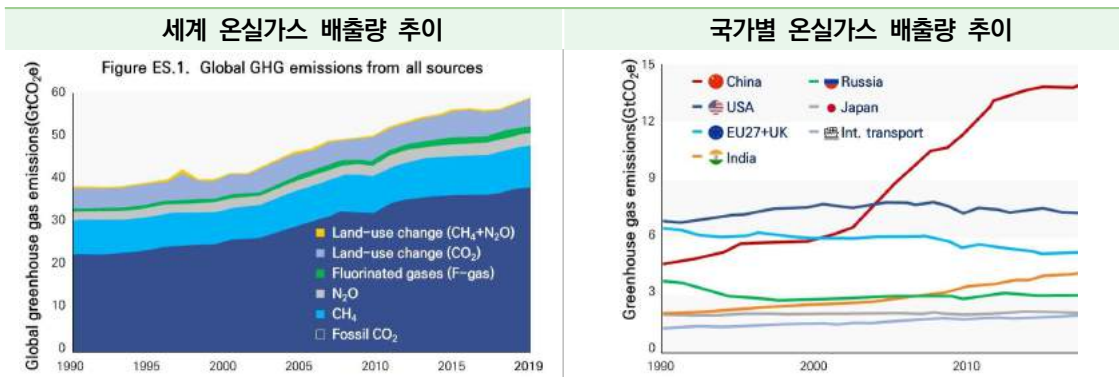
- 온도 상승을 1.5°C로 억제하는 배출 경로에 도달하기 위해 에너지, 토지이용, 도시, 수송, 건물을 포함한 기반시설과 산업체계의 빠르고 광범위한 시스템 전환이 필요

부문별 시스템 변화	
구분	주요내용
에너지	● 2050년에는 재생에너지가 전력 생산의 70~85%를 차지, 석탄은 대폭 감소
산업	● 현재 활용 가능한 기술 및 새로운 기술개발*로 2050년 CO₂ 배출량은 2010년 대비 65~90% 정도 감소할 것으로 전망 * 전기화, 수소 연료, 바이오 기반 원료, 에너지원 대체, CCUS 등
건물	● 2050년 건물 부문의 에너지 수요에서 전력이 차지하는 비중은 55~75%
수송	● 저배출 에너지의 비중이 2020년 5% 미만에서 2050년 35~65%로 증가할 것

1) IPCC, Global Warming of 1.5°C, 2018

2. 온실가스 배출량 지속 증가

- 국제사회의 기후변화 대응을 위한 노력에도 불구하고 태풍, 폭우, 가뭄 등의 기상재해가 증가하고 있으며, 온실가스 배출량도 지속 증가
 - 2019년 전 세계에서 배출된 온실가스는 52.4GtCO₂(Land-use change 제외)이며, 온실가스 최다 배출국인 중국은 전체 배출량의 26.7% 차지²⁾(UNEP, Emissions Gap Report 2020)



출처 : UNEP, Emissions Gap Report 2020, 2020

- 국내 온실가스 배출량은 2018년 7억 2,760만 톤으로 정점을 기록하였으며, 2019년(잠정치) 7.3%, 2020년(잠정치) 10.9% 감소 추정³⁾
 - 석탄발전량 감소, 코로나19에 의한 이동량 감소 및 저공해차 보급 확대 등을 통해 배출량은 줄어들었으나, 탄소중립 실현을 위해 온실가스 배출량은 더욱 가파르게 감소해야 할 것



출처 : 환경부·온실가스종합정보센터, 2021.06

2) UNEP, Emissions Gap Report 2020, 2020.12

3) 온실가스종합정보센터, 2021.06

3. 온실가스 배출 저감을 위한 국제사회 공동의 규범

- 2015년 12월, UNFCCC 제21차 당사국총회(COP21)에서 파리협정(Paris Agreement)이 채택되었으며, 2021년은 2016년 발효된 파리협정이 적용되기 시작하는 원년
 - 파리협정은 선진국에만 온실가스 감축 의무를 부과했던 교토의정서와는 달리 모든 당사국이 참여하는 보편적·포괄적인 新기후체제
 - 파리협정 채택에 따라 모든 당사국은 ‘NDC(Nationally Determined Contributions)’와 ‘LEDS (Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies)’를 UN에 제출
 - (NDC) 기후정상회의(‘21.4.22)에서 미국, 일본 등은 탄소중립 달성을 위해 상향된 2030 NDC를 발표하였으며, 우리 정부도 2030년 국가 온실가스 감축목표(現, ’17년 대비 24.4% 감축)를 추가 상향하여 연내 UN에 제출 예정
- ※ 각 당사국은 5년 주기로 새로운 NDC를 제출(제4조)해야 하며, 2023년부터 5년 주기로 이행상황을 점검(제14조)

국가	Submitted 2020 NDC	목표 유형	목표	목표 시점
아르헨티나	2 nd NDC	Emission gap	359Mt	2030
호주	Updated	절대량(2005)	26~28%	2030
브라질	Updated	절대량(2005)	43%	2030
캐나다	X	절대량(2005)	40~45%	2030
중국	X	집약도	60%	2030
EU-27	Updated	절대량(1990)	55%	2030
인도	X	집약도	33~35%	2030
인도네시아	X	BAU	29%	2030
일본	Updated	절대량(2013)	46~50%	2030
멕시코	Updated	BAU	22%	2030
러시아	1 st NDC	절대량(1990)	25~30%	2030
남아프리카 공화국	X	Emission gap	614Mt	2030
대한민국	Updated	절대량(2017)	24.4%	2030
터키	INDC only	BAU	21%	2030
영국	Updated	절대량(1990)	68%	2030
미국	Updated	절대량(2005)	50~52%	2030

출처 : BloombergNEF, How COP26 Climate Pledges Compare Post Earth Day : Update, 2021.04

- (LEDs) 모든 당사국은 지구 온도를 산업화 이전 대비 2°C 이하로, 더 나아가 1.5°C 이하로 억제하기 위해 2050년까지의 중장기적 에너지·기후정책이 반영된 장기 저탄소 발전전략(LEDs)을 수립·제출해야 하며, 2021년 6월 기준 29개국이 UN에 제출
 - ※ 파리협정(2조 1항, 4조 19항)과 제21차 기후협약 당사국총회 결정문(제35항)에는 모든 당사국이 2050년까지의 장기 저탄소 발전전략을 수립하여 2020년까지 제출할 것을 명시



한국 '20.12.30

지속가능한 녹색사회 실현을 위한
대한민국 2050 탄소중립 전략

- ① 깨끗하게 생산된 전기·수소의 활용 확대
- ② 에너지 효율의 혁신적인 향상
- ③ 탄소 제거 등 미래기술의 상용화
- ④ 순환경제 확대로 산업의 지속가능성 제고
- ⑤ 탄소 흡수 수단 강화



독일 '17.5.4

2050 기후행동 계획
(Climate Action Plan 2050)

- ① 2050년 발전부문 탈탄소화
- ② 에너지 효율 향상과 재생에너지를 통해 건물 에너지수요 절감, 기후 중립적인 건물 구축
- ③ 화석연료 대체, CCU/CCS 기술 확대로 산업 부문 배출 저감
- ④ 전기차 보급 확대



일본 '19.6.26

파리 기후협정에 의한 장기전략
(Japan's Long-term Strategy under the Paris Agreement)

- ① 원자력에 대한 의존도를 낮추고 수소사회 실현
- ② 수소를 연료로 사용, CCS 및 CCU 기술 도입
- ③ Well-to-Wheel 무배출 달성, 2050년까지 선박 부문 배출량 50% 감축
- ④ 재생에너지 기반 분산에너지 시스템 구축



프랑스 '21.2.8

국가 저탄소 전략
(National low-carbon strategy)

- ① 2050년까지 발전부문의 탈탄소화
 - ※ 바이오매스, 지열, 히트펌프, 무탄소 전력 활용
- ② 에너지 효율 향상을 통한 소비 절감 ('15년 대비 40% 감소)
- ③ 비전력 부문에서의 배출량 감소
 - ※ '50년까지 농업 40%, 산업 50% 이상 감소 ('15년 대비)
- ④ 탄소흡수원 2배 확대

출처 : UNFCCC 홈페이지 및 지속가능한 녹색 사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략(2020)

II

II. 탄소중립의 글로벌 트렌드

1. 세계 137개국 탄소중립 선언	5
2. 온실가스 관련 규제 마련	16
3. 산업구조 변화	20
4. 시장 전망	24
5. 탈탄소화를 위한 기술개발 현황	27

1. 세계 137개국 탄소중립 선언

- 빠르게 진행되는 지구온난화 현상으로 기후변화에 따른 위기감이 증폭되어 감에 따라 2019년 9월 기후정상회의에서 65개국이 탄소중립을 선언하였으며, 유럽·중국·일본의 탄소중립 동참 및 미국 바이든 대통령의 취임으로 인해 전 세계적으로 탄소중립 체제가 본격화

※ (EU) 2050년 탄소중립('19.12), (中) 2060년 탄소중립('20.9), (日) 2050년 탄소중립('20.10)

- 우리나라도 탄소중립을 선언('20.10.28)하고 '2050 탄소중립 추진전략('20.12)'을 발표하면서 탄소중립으로 전환하기 위한 국제사회의 노력에 동참

- 2021년 6월 기준, 세계 137개국이 탄소중립을 선언하였으며, 일부 국가는 법제화를 완료



출처 : Race to Net Zero : Carbon Neutral Goals by Country(2021.06.08. 기준) 재구성

- 특히, 영국과 EU 회원국 중심으로 탄소중립 목표를 명시하고, 이행수단 등에 대해 법적 구속력을 갖도록 하기 위한 법안을 마련



영국

2008년 '기후변화법(Climate Change Act 2008)'을 개정('19.6)하여 2050년 탄소중립을 달성하는 것으로 탄소감축 목표를 상향

- 5년 단위의 배출상한인 탄소예산(Carbon Budget)* 이행에 필요한 계획을 수립하도록 요청

* 온실가스 감축목표 달성을 위한 탄소배출총량을 예산 개념으로 관리하는 것을 의미하며, 5년 단위로 산정하고 정부와 기업 등에 충분히 대응할 시간을 주고자 계획실행 12년 전에 미리 결정



EU

2050년 기후중립을 달성하겠다는 EU의 목표를 법제화한 ‘유럽 기후법(European Climate Law)’ 공식 승인(‘21.6)

- EU의 온실가스 순 배출량을 2030년까지 1990년 대비 최소 55% 감축하고 2050년까지 탄소중립을 달성한다는 목표를 포함



독 일

2045년에 탄소중립을 달성하겠다는 내용을 포함한 ‘기후변화대응법 개정안’ 발표(‘21.5)

- 2030년 온실가스 감축 목표를 1990년 대비 65% 감축하는 것으로 설정하고, 2040년 목표는 88% 감축, 2050년 이후는 마이너스 배출을 달성해야 한다고 제시



프랑스

2050년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 제시한 ‘에너지 기후법(Loi Energie-Climat)’ 채택(‘19.11)

- 2022년 석탄발전 퇴출
- 원전 발전량 비중을 50%(‘19년 기준 70%)로 줄이는 기한을 2025년에서 2035년으로 연장하였고, 2035년까지 58개 원자로 중 14개를 폐로할 예정



덴마크

2030년까지 1990년 대비 배출량 70% 감축과 2050 기후중립 목표를 제시한 ‘기후법(Climate Act)’ 제정(‘19.12)

- 5년(최소) 주기로 향후 10년을 고려한 국가 기후 목표를 설정하고, 기후변화자문기구 설립을 제시



뉴질랜드

2050년까지 탄소배출 순 제로를 위한 법안 ‘Zero Carbon Act’ 통과(‘19.11)

- 농업 부문에서 배출되는 메탄양을 2030년까지 10%, 2050년까지 47% 감축
- 향후 10년 간 10억 그루의 나무를 심고, 2035년까지 재생에너지 기반 전력 100% 사용



일 본

개정된 ‘지구온난화대책추진법(온대법)’ 국회 통과(‘21.5)

- 2050년까지 온실가스의 배출량과 삼림 등의 흡수량 간의 균형을 맞추는 ‘실질적 제로’를 실현한다는 일본 정부의 목표를 명기하였으며, 2022년 4월 시행을 목표



한 국

‘기후위기 대응을 위한 탈탄소사회 이행 기본법안’ 발의(‘20.11)

- 2050년까지 국가 온실가스 순 배출량을 ‘0’으로 하는 탄소중립을 달성하고, 2030년 온실가스 총 배출량 목표를 달성하기 위해 노력

출처 : 국가기후환경회의(2021), 한국에너지기술연구원(2021), 국회입법조사처(2021) 등의 자료를 토대로 재구성



유럽

- EU 집행위원회는 2050 탄소중립 달성을 위한 정책 패키지이자 모든 경제 분야를 포괄하는 새로운 성장전략인 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’을 발표(‘19.12)
 - 기후변화와 환경 악화를 유럽과 전 세계에 대한 실질적 위협으로 명시하고, 이를 극복하기 위해서 현대적이고 자원 효율적이며 경쟁력 있는 경제로의 전환을 추진
 - 2050년까지 탄소 순 배출량을 ‘0(zero)’으로 만드는 ‘탄소중립’ 목표를 발표하였으며, 중간 목표로 온실가스 배출을 2030년까지 1990년 수준 대비 최소 55% 감축하기로 합의
 - 탄소배출량 감축을 위한 제도로 탄소배출권 거래제(EU Emission Trading System) 적용 범위 확대와 탄소국경세(Carbon Border Adjustment Mechanism) 도입을 명시

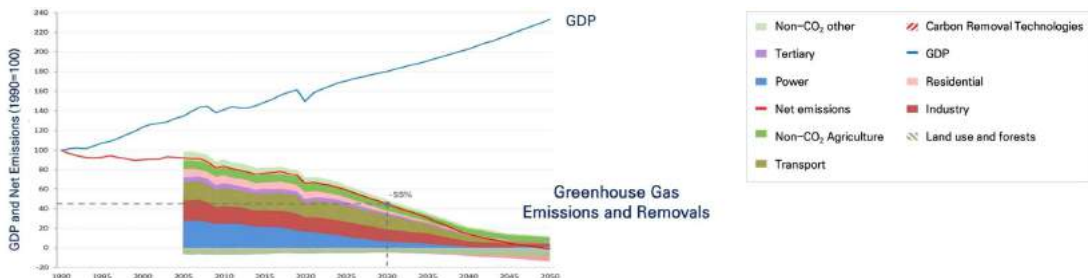
유럽 그린딜 주요 내용	
구분	주요내용
기후 목표	● 2030년 및 2050년에 대한 EU의 기후 목표 강화 · 기후법(European Climate Law) 발의 및 기후중립 목표 달성을 위한 법제화 추진
에너지	● 깨끗하고 저렴하고 안정적인 에너지 공급 · EU의 온실가스 배출량 중 75% 이상을 차지하며, 탈탄소화가 필요 · 에너지 효율이 우선되어야 하고 전력 부문에서 재생에너지 비중 확대 · 스마트그리드, 수소, CCUS, 에너지저장 등 혁신 기술 및 인프라 보급 촉진 등 필요
산업	● 깨끗하고 순환경제를 위한 산업으로 전환 · EU의 온실가스 배출량 중 20%를 차지 · 디지털 기술(인공지능, 5G, 클라우드, 엣지 컴퓨팅, IoT)의 정책영향 가속화
건물	● 에너지 및 자원 효율적으로 건축 및 보수 · EU 최종에너지 소비 중 40%를 차지하며, 에너지 소비를 줄이고 에너지 효율을 개선하기 위해 보수(renovation)가 필요 * 현재 EU 회원국의 건물 보수율은 연간 0.4~1.2%인데, 탄소중립을 위해 2배 증가 필요
수송	● 지속가능하고 스마트한 교통으로 전환을 가속화 · 기후중립을 위해선 2050년까지 수송 부문의 온실가스 배출량을 90% 감축 · 자율차량, 커넥티드 차량 등 수송수단 개발, 스마트 도로 관리시스템 구축 지원 · 2025년까지 유럽 내 저배출 및 제로배출 차량 1,300만대 보급과 공공 충전시설 100만개 설치를 목표
식품	● 공정하고 건강하며 친환경적인 식품 시스템 설계
생태계	● 생태계와 생물다양성 보호 및 복원
환경보호	● 무독성(Toxic-free) 환경을 위한 제로 오염(Zero Pollution) 목표

출처 : European Commission(2019), 에너지경제연구원(2020) 자료를 토대로 재구성

■ 탄소중립 달성을 위한 구체적인 실행계획인 ‘Stepping up Europe’s 2030 Climate Ambition’을 발표(‘20.9)⁴⁾

- 2019년 기준 EU의 탄소배출량은 1990년 수준 대비 25% 감소했으며, 2020년 감축 목표였던 20%는 이미 달성하였으므로 2030년 감축 목표였던 1990년 수준 대비 40% 감축을 55%로 강화
- EU는 향후 10년간 취하는 조치들이 적을수록 2030년 이후 감축 경로가 더욱 어려워질 것으로 예상하고, 2050년 기후중립(모든 온실가스의 배출량을 0(zero)으로 만드는 것)에 도달하기 위한 배출 감소 경로를 변경할 것을 제안
- 건물과 수송 부문은 산업과 함께 온실가스 주 배출원이며 에너지 공급과 수요 부문에서 탈탄소화는 기후중립을 위해 필요
 - (재생에너지) 2030년까지 재생에너지 발전 비중을 현재 32%에서 65% 이상 확대
 - (화석연료) 2030년 석탄 소비는 2015년 대비 70%, 석유와 가스도 30%, 25% 이상 감소
 - (수송) 2015년 기준 6%의 재생에너지 비중을 2030년까지 24%까지 확대*
 - * 전기자동차, 차세대 바이오연료, 기타 재생 가능 및 저탄소 연료의 추가 개발 및 보급
 - (Non-CO₂) EU 온실가스 배출량의 20%를 차지하고 있고, 2030년까지 2015년 대비 최대 35% 감축

1990~2050년 지속된 경제성장과 기후중립을 위한 EU의 경로



출처 : European Commission(2020)

■ EU 집행위원회는 유럽 그린딜의 원활한 이행과 안정적인 자원 뒷받침을 위해 ‘유럽 그린딜 투자 계획(European Green Deal Investment Plan)’과 공정전환메커니즘(JTM)을 발표⁵⁾

- 기후·환경변화 관련 EU예산 확대(10년간 5,030억 유로), InvestEU 프로그램에서 유발되는 기후·환경 관련 민간·공공투자(10년간 2,790억 유로), EU 배출권거래제 수입(10년간 250억 유로) 등을 통해 자금 조달
- 화석연료 의존도가 높아 기후중립경제로 전환 시 사회적·경제적·환경적으로 영향을 많이 받는 지역/부문을 지원하기 위해 공정전환메커니즘(Just Transition Mechanism)에서 1,430억 유로 지원

4) 대외경제정책연구원, 국제사회의 탄소중립 정책 방향과 시사점, 2021.04

5) 주 벨기에 유럽연합 대한민국 대사관 홈페이지(<https://overseas.mofa.go.kr/be-ko/index.do>)



미국

- 바이든 대통령은 취임과 동시에 파리협정 복구를 위한 행정명령에 서명('21.1.21)하였고, 2050년까지 온실가스 배출 제로 달성 선언 등 기후변화 대응을 위한 적극적인 행보를 추진 중
- 친환경 기술 및 인프라 투자로 청정에너지 생산을 확대함으로써 기후변화에 대응하고 경제성장을 촉진하기 위한 청정에너지·인프라 계획(Sustainable Infrastructure and Clean Energy Plan, '20.7)을 발표하였고, 인프라 증설에 따른 100만개의 일자리 창출을 목표

'청정에너지·인프라 계획' 주요 내용

① 인프라

- 도로, 철도, 다리, 녹지공간, 수도, 전력망, 광대역 통신 등 청정에너지 생태계 구축을 위한 인프라 투자 촉진
- 전기 및 청정 연료로 구동되는 운송 지원
- 2030년까지 인구 규모가 10만 이상인 대도시에서 혁신적인 교통시스템을 도입



② 발전 : 2035년까지 전력부문에서 탄소 배출 제로 달성

- 청정에너지, 에너지효율, 전력망, 에너지저장 등에 대규모 투자
- 수백만 개의 태양광(유틸리티 규모) 및 풍력터빈(육상/해상) 설치
- 원자력, 수력 등 기존 비탄소 에너지원 활용
- 탄소포집 및 격리(Carbon Capture and Sequestration) 기술에 대한 투자 및 연구지원
- 10년 이내 기존(Conventional) 수소 가격과 같은 가격으로 그린수소 제공



③ 건물 : 2030년까지 탄소 발자국(Carbon Footprint) 절반으로 감축

- 4년 간 건물 400만 채 리모델링 및 주택 200만 채 단열 보강
- 2030년까지 모든 상업용 신축 건물에 대한 새로운 탄소 배출 기준 마련 및 2035년까지 국가 소유 건물에 대한 탄소 기준 마련
- 저렴하고 에너지 효율적이며 접근 가능한 새로운 주택에 대한 연방 투자 확대



④ 교통

- 전기차 충전소 50만 개 설치
- 2030년까지 미국 내 신규 버스에 대해 탄소 배출 제로 목표 설정
- 배터리 기술 및 생산에 대한 연구 가속화



⑤ 혁신 : 10년 간 청정 혁신 기술에 4,000억 달러 투자

- 기후변화에 대응하는 기후기술 연구 전담기관인 'ARPA-C' 설립
- 청정에너지, 청정 운송, 청정 산업 공정 등에 대한 R&D 투자* 가속화
- * 그리드 스케일 저장(Grid-scale Storage), 작고 안전하고 효율적인 원자로 개발, 지구 온난화 걱정 없는 냉매 개발, 세일가스 보다 저렴한 그린수소 생산



출처 : PoliticoPro, Climate week : Biden's plan for clean energy and environmental justice

- 바이든 대통령은 기후첨단연구프로젝트 기구인 ‘ARPA-C’를 출범시키겠다는 공약을 추진하기 위해 국가 기후 태스크포스의 일환으로 기후혁신 실무그룹(Climate Innovation Working Group)을 구성⁶⁾
 - 기후혁신 실무그룹은 2050년까지 미국의 순 배출량 0을 달성하고 이상 기후로부터 자국민을 보호할 수 있는 저렴하고 획기적인 게임체인징 기술개발을 촉진하기 위한 연방정부의 노력들을 조정 및 강화하는 역할 수행

기후혁신 실무그룹의 핵심 강령

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1 탄소중립 건축자재를 포함한 탄소중립 건물 | 2 현재 기술 대비 비용을 1/10로 낮춘 에너지저장 기술 |
| 3 무탄소 발전소로 운영하는 그리드를 계획 및 운영할 수 있는 첨단 에너지시스템 관리 도구 | 4 저가의 무탄소 차량 및 교통 시스템 |
| 5 항공·선박 효율 개선 및 지속가능한 항공/선박용 연료 | 6 저가 무냉매 냉장, 에어컨 및 히트펌프 |
| 7 산업공정에서 배출되는 온실가스를 포집 및 무탄소 열 | 8 탄소를 배출하는 수소에 비해 저렴한 무탄소 수소 |
| 9 대기에서 이산화탄소를 제거하여 토양에 저장하는 혁신적 토양 관리, 농업 기술 등 | 10 CCUS, DAC, 기존 산업 및 발전소 배출설비 개조 |

- 바이든 대통령은 국가 기반시설 재건을 위해 약 2조 2,500억 달러 규모의 ‘인프라 투자계획(The American Jobs Plan)’ 발표⁷⁾(21.03.31)
- **(전력)** 2035년까지 전력 부문에서 이산화탄소 배출량 제로 달성
- **(운송)** 전기차 부문에 1,740억 달러 투자, 2030년까지 미국 내 전기차 충전소 50만개 설치를 위해 보조금 및 인센티브 지원
- **(R&D 투자)** 청정에너지 기술개발(R&D)에 350억 달러 투자

6) 한국에너지기술연구원, 미국 바이든 행정부의 기후혁신 실무그룹 구성 및 핵심 강령, 2021.03

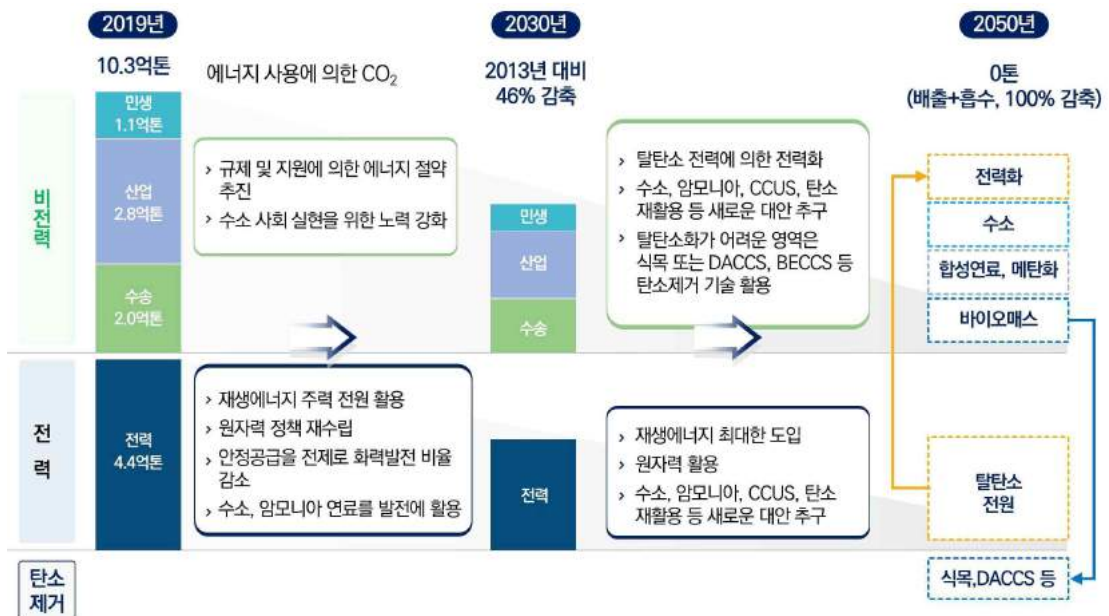
7) 대외경제정책연구원, 미국 인프라 투자 계획의 주요 내용과 전망, 2021.04



일본

- 스가 총리는 국회 소신표명연설에서 탈탄소사회의 실현을 목표로 하는 ‘2050 탄소중립’을 선언(‘20.10.26)
- 2050년 탄소중립 실현과 ‘경제와 환경의 선순환’ 체계를 갖추기 위해 ‘2050 탄소중립을 실현하기 위한 녹색성장전략’을 발표(‘20.12.25)하였고, 이를 구체화한 전략을 발표(‘21.6.18)
- 2050년 탄소중립 실현을 위해서는 전력 부문의 탈탄소화 및 산업·수송·가정 부문에서의 전기화 등이 필요

2050년 탄소중립 실현을 위한 녹색성장전략



녹색성장전략 3가지 방향성

① 전력 부문 탈탄소화 : 재생에너지를 최대한 도입

→ 현재 기술 수준에서는 단일 에너지원만으로 전력수요를 모두 충당하는 것은 어려운 상황이며, 모든 대안(해상풍력, 태양광, 지열 등)을 고려해야 함

- (재생에너지) 재생에너지 최대한 도입, 계통 정비, 비용 절감, 출력 조정을 위한 배터리 사용
- (수소·암모니아) 공급 및 수요량 확대, 인프라 정비, 비용 절감

② 전력 부문 외(산업·수송·가정·공공) : 전기화 중심, 열 수요는 탈탄소 연료(수소 등) 및 CO₂ 회수·재이용

- (산업) 수소환원제철 등 제조 공정 변화, 재료산업 성장
- (수송) 전기화 및 바이오연료 및 수소 사용 등
- (공공·가정) 주택 및 건물의 제로에너지화, 배터리 등 활용

③ 전력 저장 : 탄소중립은 전기화 사회

→ 녹색성장 기반은 강력한 디지털 인프라

- (전력) 디지털 기술 기반의 스마트그리드, 태양광·풍력 등 변동성 대응, 인프라 보수·점검 등
- (수송) 모빌리티(자동차, 드론, 항공기, 철도) 자율 주행

- 2050년 탄소중립 사회 실현을 위해 성장 전략 측면에서 온실가스 감축 및 산업으로서 미래 성장이 기대되는 14개 산업분야에 대한 세부 실행계획을 제시

14개 산업분야별 세부 실행 계획 및 목표

① 에너지 관련 산업

해상풍력, 태양광, 지열

- (해상풍력) 2030년 10GW, 2040년 30~45GW의 해상풍력(부유식 풍력 포함) 보급을 목표
- (태양광) 차세대 태양전지 기술을 개발하여 2030년 보급을 목표로 하며, 기존 태양전지로는 설치가 곤란한 주택·건축물 등에 설치 확대 및 시장화 실현
- (지열) 2050년 차세대 지열발전기술(초임계 지열발전) 상용화·보급 추진

수소·암모니아 연료

- (수소)
 - 수소 발전 비용 : 가스발전 비용 이하로 절감(수소 가격 : 20엔/Nm³ 이하)
 - 수소 공급량 : 2030년 300만 톤, 2050년 2,000만 톤으로 확대
- (암모니아)
 - 암모니아 공급 : 2030년 암모니아 공급 단가 10엔 후반/Nm³ 달성 및 2050년 암모니아 수요 3,000만톤/년(수소 환산 약 500만톤) 전망
 - 발전 : 2050년까지 혼소를 향상 및 전소기술 도입·확대

차세대 열에너지

- (가스 탈탄소화) 2050년까지 합성 메탄올 2,500만톤 공급 및 현재 LNG 가격(40~50엔/Nm³)과 동일한 수준을 목표
- 가스 인프라 탄력성 강화 및 디지털 기술을 활용하여 탄력성 강화 추진

원자력

- 미국, 영국 등 해외에서 추진되는 SMR 관련 실증 프로젝트에 일본 참여를 지원
- 초고온가스열(HTTR) 안전성 실증 실시, 2030년까지 HTTR 기반 수소 생산에 필요한 기술 개발 지원 등

② 수송·제조 관련 산업

자동차, 배터리	자동차용 배터리팩 가격 2030년 1만엔/kWh, 태양광 연계 ESS 시스템 가격 7만엔/kWh 이하 (공사비 포함)로 저감
반도체, 정보통신	- 디지털 전환(DX), 그린 데이터센터 설치, 차세대 정보통신 인프라 구축을 위한 R&D 및 표준화 지원 - 전력 반도체, 데이터센터, 정보통신 인프라 등의 에너지절약, 저탄소화, 고성능화를 위한 기술개발 지원
선박	제조 공정의 연료·원료 순환성 강화, 지속가능한 제품 사용기반 구축 및 이용 확대 등
물류·이동·토목 인프라	2050년 향만의 탄소중립을 위해 항만 하역 기계 등에 연료전지 시스템 활용, 해상풍력 전력 사용 등 추진 - 저배출 수송 시스템(BRT, LRT 등) 도입, 녹색물류 추진, 교통네트워크·거점·수송의 저탄소·효율화 등
식품·농림수산업	- 자산지소형 에너지 시스템 구축, 플라스틱 대체 신소재 개발과 목질계 바이오매스 이용 추진 - 농지/삼림/해양에서 탄소의 장기 및 대량 저장을 위해 바이오탄 개발, 블루카본 탄소흡수량 인벤토리 등록 목표
항공	항공기 전기화 및 수소 항공기의 본격 도입(Airbus, '35년 목표)을 위해 필요한 요소 기술 개발 추진
탄소재활용·소재 (Material)	- 탄소재활용 (콘크리트) CO₂ 흡수 콘크리트의 수요를 확대하여 2030년 기존 콘크리트와 동일 가격(30엔/kg) 수준으로 저감 (연료) 2030년 기존 항공유와 동일가격(100엔대/L) 목표로 기술개발 추진 (화학제품) 변환 효율이 높은 광촉매를 개발하여 2030년까지 인공광합성을 통한 플라스틱 제조 비용 20% 저감 - 소재(Material) (금속재료) 혁신적 금속소재 개발 및 공급 실현 (정련 및 압연) 압연 공정에서의 전력화 및 전력 절약화 등을 통해 탈탄소화 추진

③ 가정·공공 관련 산업

주택, 건물, 차세대 전력 관리	- 주택, 건물 - 빅데이터, AI 등을 이용한 에너지 관리 실증·도입 지원, 주택 성능 표시 제도 등 에너지 절약 성능 향상 추진 - 고성능 건축자재/설비 도입 확대, 페로브스카이트 등 유망기술 개발 지원, 성능 향상을 위한 R&D 가속화 - 차세대 전력관리 - 재생에너지 대량 도입, 계통 혼잡 문제 등에 대응하고자 디지털 기술을 활용한 전력 관리 등 비즈니스 추진 - 자산지소에 적합한 마이크로그리드 도입을 촉진하는 등 차세대 그리드 구축을 촉진
자원순환	- 바이오매스 소재 기능 강화, 활용 확대, 비용 저감을 위한 기술 개발 및 실증 - 재활용이 높은 고기능 소재 재활용 기술 개발·고도화, 폐기물발전·열이용 고효율화 등
라이프스타일	거주 및 이동에 관한 전반적 관리(ZEB·ZEH, EV/FCV 등을 상용화), 블록체인을 이용한 거래 시장 창출, 지역 재생에너지 활용한 전기차 카셰어링 등을 통해 2050년 탈탄소 프로슈머 달성



중국

■ 시진핑 주석은 2020년 9월 UN총회에서 2030년을 기점으로 탄소 배출량을 감소세로 전환하고, '2060년 탄소중립'을 달성하겠다고 선언

- 제13차 전국인민대표대회 제4차 회의에서 '국민경제와 사회발전 14.5계획'(21~25년) 및 2030년 장기 목표 정식 통과(21.3.11)⁸⁾
 - (에너지 분야) 2025년까지 에너지원단위 13.5% 및 CO₂ 배출원단위 18% 감축, 에너지 종합 생산 능력 46억tce 이상 등을 목표로 설정
 - 종합목표 달성을 위해 에너지믹스 개선, 청정·저탄소 및 안전·고효율의 에너지시스템 구축, 에너지공급 능력 제고 등 기조를 명시

'14.5계획' 주요 내용

비화석에너지	● 에너지 총 소비량에서 비화석에너지 비중을 약 20%로 확대	
	재생에너지	청정에너지 기지 건설, 풍력·태양광 등 설비규모 증대, 지열에너지 개발·이용
	원자력	안전을 전제로 연안지역 원전건설 확대, 소형 모듈 원자로, 고온 가스 냉각 원자로 등 관련 시범사업 추진
	수소	수소 등 미래 선도 산업 관련 계획 수립 및 기술연구 강화
화석에너지	신에너지자동차	안정성과 효율이 높은 배터리·모터 등 핵심기술 개발, 전기차 배터리 충전 및 교환 설비 건설·배치계획 수립
	● 화석에너지 소비 규제에 관한 정책을 수립하고 가스와 석탄을 전기로 대체하는 정책 지속 추진	
전력망	● 전력망 인프라의 스마트화 가속화, 스마트그리드(마이크로그리드) 건설 확대, 전원-전력망-부하-저장 간 연계 강화, 초고전압송전(Ultra High Voltage, UHV) 이용률 향상	

- (탄소중립 분야) 상향된 2030년 NDC를 이행하기 위해 2030년 이전 탄소배출 정점 도달 행동 방안 제정 명시, 기후변화대응을 위한 국제협력 강화
 - (2030 NDC 목표) 2030년까지 온실가스 배출 원단위 2005년 대비 65% 이상 감축, 1차 에너지 소비에서 비화석에너지 비중 25% 달성, 풍력·태양광 누적 설비용량 1,200GW 이상 확대 등

8) 한국에너지기술연구원, Climate Technology Brief - Policy insight, 2021.04



한국

- 문재인 대통령은 국회 시정연설에서 국제사회와 함께 기후변화에 적극 대응하여 ‘2050 탄소 중립’을 달성하겠다고 선언(‘20.10.28)
- 새로운 경제·사회 발전전략 수립을 통해 ‘능동적(Proactive) 대응’으로 전환하고, 이를 통해 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상을 동시에 달성하고자 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 발표(‘20.12.7’)⁹)

‘2050 탄소중립 추진전략’ 주요 내용

① 경제구조 모든 영역에서 低탄소화 추진

에너지 전환 가속화	· (공급) 화석연료 중심에서 신재생에너지(해상풍력 등)로 에너지 주공급원 전환 · (계통) 재생에너지의 변동성 대응을 위해 송배전망 확충, 분산형 전원체계 확대 · (산업) 재생에너지, 수소, 에너지 IT 등 3대 에너지 신산업 육성
고탄소 산업구조 혁신	· (多배출 업종) 철강*·석유화학** 등 多배출 업종의 저탄소 전환 촉진 * 수소환원제철+전기로 ** 납사 대체(바이오, 수소+CO₂) · (별류체인) 산업 별류체인* 전반의 혁신 가속화로 전과정 탄소 중립 실현 * 연·원료(탄소 함유 원료를 저·무탄소 원료로 대체)→ 공정 → 제품 → 소비·자원순환
미래 모빌리티로 전환	· (친환경차 전환) 수소·전기차 생산·보급 확대, 기술개발·인프라 확충 등 · (모빌리티 혁신) 창의적 모빌리티 서비스, 철도·선박 등 非도로 부문까지 친환경화 추진
도시·국토 저탄소화	· (건물) 건물의 탄소배출량 소생애 주기 관리 및 탄소중립도시 조성 · (국토) 도시별 맞춤형 그린 인프라 보전·확충 지원 · (농림·해양) 산림, 갯벌 등 생태자원을 활용한 탄소흡수 기능 강화, 농축수산업의 저탄소 생산 기반 확대

② 新유망 저탄소 산업 생태계 육성

신유망 산업 육성	· (저탄소 신산업) 이차전지, 바이오, 그린수소 등 저탄소산업 육성 · (기후산업) 탄소중립 가속화를 위한 디지털·에너지 융합, 탄소순환산업 육성
혁신생태계 저변 구축	· 저탄소·친환경 분야 규제자유특구 확대, 그린기술 상용화 로드맵 수립 등
순환경제 활성화	· 제조 공정의 연료·원료 순환성 강화, 지속가능한 제품 사용기반 구축 및 이용 확대 등

③ 탄소중립 인프라 강화

R&D 확충	· 탄소중립을 위한 핵심기술(에너지효율, CCUS 등) 개발을 집중 지원
--------	--

9) 관계부처 합동, 2050 탄소중립 추진전략, 2020.12

2. 온실가스 관련 규제 마련

1) 탄소가격제(Carbon Pricing)

- 탄소가격제는 탄소 배출에 대해 가격을 부과해 배출 주체(기업 등)에게 온실가스 배출 비용을 부담하도록 하는 제도
 - 국가별로 탄소세(Carbon Tax) 또는 배출권거래제(Emission Trading) 형태로 세금을 부과하고 있고, EU는 탄소 유출 방지를 위해 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism) 도입을 본격 추진

탄소가격제	
구분	주요내용
탄소세	● 제품이나 서비스를 생산하는 과정에서 배출되는 탄소양에 따라 부과하는 세금 ● 1990년 핀란드에서 최초로 도입하여 현재(21.04) 35개국이 도입¹⁰⁾하고 있으며, 2020년 기준 온실가스 배출량 상위 10개국 중 탄소세를 도입한 나라는 일본과 캐나다 뿐¹¹⁾ * (일본) 3달러/tCO₂eq, (캐나다) 30CAD/tCO₂eq
배출권거래제	● 교토의정서 제17조에 규정되어 있는 온실가스 감축체제 ● 정부가 온실가스를 배출하는 사업장을 대상으로 배출할 수 있는 온실가스 허용량을 부과하고 그 범위 내에서 온실가스를 배출하되, 남거나 부족한 배출허용량은 자유롭게 거래할 수 있도록 하는 제도 ● EU에서 최초로 시행하였으며 우리나라도 2015년 1월부터 시행 중
탄소국경세	● 온실가스 배출 규제가 상대적으로 약한 국가에서 규제가 강한 국가로 상품·서비스가 수출될 때 적용되는 무역관세 ● 미국은 도입 논의 중이며, EU는 2023~2025년 시범 적용하고 2026년부터 본격 적용 예정

10) The World Bank, State and Trends of Carbon Pricing 2021, 2021.04

11) 전국경제인연합회 보도자료, 탄소세 부과하면 추가 세금 부담만 연 7.3~36.3조원에 달해, 2021.04

EU의 탄소국경조정메커니즘 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)

- ✓ EU는 탄소 누출(Carbon Leakage) 방지를 위해 '탄소국경조정메커니즘'을 발표하였고, 2023년부터 3년의 과도기간을 거친 후 2026년 본격 이행¹²⁾

적용 형태 CBAM은 EU 온실가스배출권거래제(ETS)로 통합

운영 방법 CBAM이 적용되는 품목을 수입하는 수입자는 사전에 연간 수입량에 해당하는 'CBAM Certificate'를 구매해야 함

- * 이산화탄소 1톤 배출량에 해당하며, EU ETS상 탄소배출권 주간 평균가에 판매될 예정
- 수입업자는 매년 5월말까지 전년도에 EU로 수입한 제품에 내포된 배출량과 CBAM 배출권의 수량을 보고

원산지별 탄소가격 원산지 국가에서 온실가스 배출권 가격을 지불한 경우, 수입자는 해당가격에 상응하는 금액의 감면을 요청할 수 있음

적용 범위 철강, 시멘트, 비료, 알루미늄, 전기 등 배출집약 부문
· 수입품에 내포된 배출량에는 직접적 배출량*과 간접적 배출량**이 모두 포함
* 수입품 생산 공정에서 배출되는 온실가스 ** 생산 공정에서 필요한 전기 생산을 위해 배출되는 온실가스

면제 국가 아이슬란드, 리히텐슈타인, 노르웨이, 스위스와 EU의 외부영토(Ceuta, Melilla 등) 및 EU와 유사한 탄소가격을 가진 국가에는 적용되지 않으나 미국과 영국은 면제대상에 포함되지 않음

- ✓ EU의 탄소국경조정세는 우리나라 주요 수출 업종에 막대한 영향력을 끼칠 것으로 예상

- 탄소국경제도입으로 인해 EU에 지출해야 하는 추가 금액은 2023년 2,900억 원, 2030년 7,100억 원에 달할 것으로 전망¹³⁾

EU 2023년/2030년 탄소국경세

(단위: 백만USD)

분야	2023년 (30.6USD/tCO ₂ 기준)	2030년 (75USD/tCO ₂ 기준)
 철강	141.9	347.7
 석유화학	93.8	229.8
 전지	7.2	17.8
 자동차	5.2	12.7

12) 주 벨기에 유럽연합 대한민국 대사관, EU 탄소국경조정메커니즘(CBAM) 도입 동향, 2021.06.07

13) 한영회계법인, 기후변화 규제가 한국수출에 미치는 영향분석 : 주요 3개국(美·中·EU)을 중심으로, 2021.01

2) 석탄발전 퇴출 확대

■ IPCC는 2050년 Net-zero를 위해 2050년까지 전 세계 석탄 발전을 중단해야 한다고 발표¹⁴⁾

- 전 세계 석탄 발전량¹⁵⁾(TWh) : ('17) 9,863 → ('30) 9,294
 ※ 국가별 석탄 발전량('12→'17, TWh) : (獨) 287.0 → 252.8, (美) 1,643.4 → 1,321.4, (英) 144.2 → 23.3

■ 탄소중립을 위한 강력한 수단 중 하나로 탈(脫)석탄의 필요성에 대한 인식이 강화되고 있는 가운데 미국과 유럽에서는 신규 석탄화력 발전소 설치를 중단하거나 가동중인 발전소를 폐쇄하는 등 석탄발전 퇴출을 위한 움직임이 가속화

- (미국) 석탄발전 용량은 2011년 317.6GW 정점에 도달한 후 감소하고 있고, 2020년에는 10GW 이상의 석탄발전이 운영을 중단¹⁶⁾
 ※ 가동 중단 예정인 발전소 용량 : ('21~'30) 70,822MW(174기), ('31~'40) 19,443MW(31기)
- (EU) EU 회원국들은 석탄발전 퇴출에 박차를 가하고 있으며, 오스트리아와 스웨덴은 2020년 자국 내 마지막 석탄화력 발전소를 조기 폐쇄하여 석탄발전 없는 유럽 국가는 벨기에까지 3개국
- (한국) 2030년까지 노후 석탄발전소 24기를 퇴출하여 2019년 40.4%의 발전 비중에서 2030년 29.9%로 감소(목표 시나리오)하는 것을 목표(제9차 전력수급기본계획, '20)



출처 : Europe Beyond Coal, 제9차 전력수급기본계획(2020) 등을 참고하여 재구성

14) IPCC, Global Warming of 1.5°C, 2018

15) 산업통상자원부, 제9차 전력수급기본계획, 2020

16) Kotra 해외시장뉴스, 2021 미국 발전 부문 전망 웨비나 참관기, 2021.04.29

3) 수송부문의 탈탄소화

■ 연비규제 강화

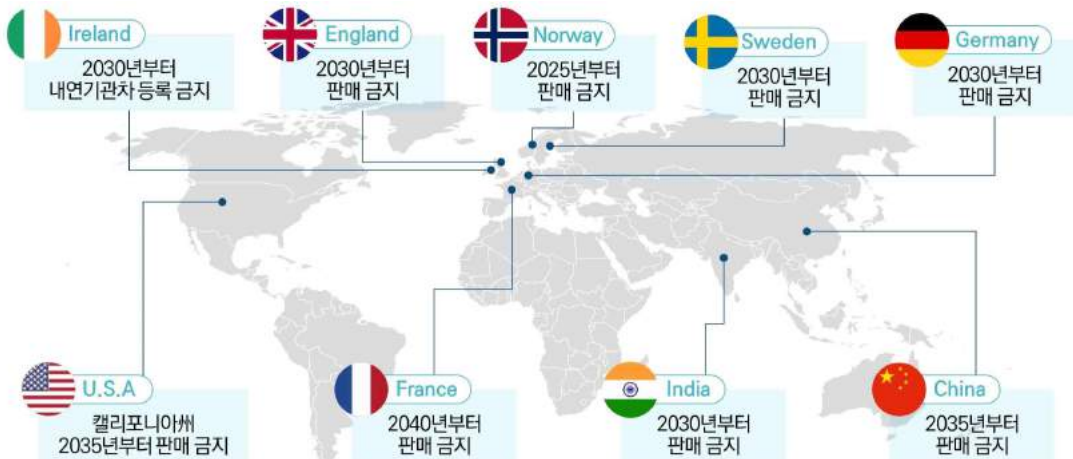
- 탄소중립을 위한 과도기적 수단으로 현재 운행 중인 내연기관 자동차의 연비 규제를 강화하여 수송부문의 온실가스 배출량 감소에 기여하고, 궁극적으로는 전기차·수소차 등 친환경차로의 전환 및 시장 확대를 가속화하기 위한 각국 정부의 움직임이 활발

주요국 자동차 온실가스 배출 기준	
구분	주요내용
미국	● 바이든 대통령은 트럼프 행정부가 완화했던 자동차 배기가스 배출기준을 상향할 계획 · 오바마 행정부는 2025년까지 자동차 연비를 매년 5% 상향할 계획이었으나, 트럼프 행정부에서는 2026년까지 매년 1.5%만 상향하도록 기준을 완화
EU	● EU는 2021년부터 기업평균연비규제제도(CAFE)를 통한 자동차 배기가스 규제를 본격 시행 · EU 내에서 자동차를 판매하는 기업에 대해 자동차 한 대당 평균 CO₂ 배출량을 95g/km을 넘지 못하도록 하며, CO₂ 초과 배출량 1g/km에 대해 95유로의 벌금을 부과 ※ 전기차는 0g/km으로 인정하므로 전기차 판매 대수가 많을수록 평균 CO₂ 배출량 감소 가능
한국	● 2050 탄소중립을 위해 2030년 1,820만톤의 온실가스 배출량 감축을 목표로 자동차 온실가스 배출 기준을 확정, EU와 미국 등 주요국 기준을 고려하여 단계적으로 강화 · 온실가스 배출 기준 : ('21) 97g/km → ('25) 89g/km → ('30) 70g/km

출처 : 한국에너지공단(2020), 이데일리(2020), 대한민국 정책브리핑(2021) 재구성

■ 내연기관 자동차 판매 금지

- EU, 중국, 미국 등 정부는 탄소중립을 위해 내연기관 자동차 판매 금지를 잇따라 선언하고 있고, 각국 정부 정책에 따르면 2035년을 기점으로 내연기관 자동차의 종말이 가시화될 것으로 예상
- ※ EU가 발표('21.7.14)한 'Fit for 55'에서는 2035년까지 EU 내 내연기관 자동차의 완전 퇴출을 목표



3. 산업구조 변화

1) 기업들의 탄소중립 선언

■ 각국 정부의 탈탄소화 움직임이 가속화되면서 탄소 배출에 따른 세금 부담 증가에 대응하여, 글로벌 제조사들은 환경규제에 대한 부담을 완화하고자 탄소중립을 잇따라 선언

- 탄소중립 실현을 위해 온실가스 감축 목표 및 전략을 제시하는 등 다양한 변화를 모색
- 2050년 탄소중립보다 10년 앞당겨 2040년까지 탄소중립을 달성하겠다는 '기후서약(The Climate Pledge)'에 글로벌 기업들의 참여가 확대
- 우리나라 에너지 관련 9개 기업*은 세계의 탈탄소 흐름에 맞춰 정부의 탄소중립 정책에 적극적으로 대응하고 에너지전환 정책을 뒷받침하고자 '에너지 얼라이언스(Energy Alliance)' 출범

* SK E&S, GS에너지, 현대차, 포스코에너지, 한화에너지, 두산중공업, 효성중공업, E1, DL에너지

탄소중립을 선언한 세계 기업들				
구분	국가	기업	목표년도	주요 내용
석유 화학	독일	BASF	2050	● 2030년까지 CO₂ 배출량을 2018년 대비 25% 감축하고, 최대 40억 유로를 투자할 계획
	영국	BP	2050	● 2050년까지 탄소배출량 50% 감축 ● 2023년까지 주요 원유처리장에 CH₄ 측정장치 설치
	네덜란드	Shell	2050	● 2016년 대비 탄소집약도를 2030년 20%, 2035년까지 45% 감축
IT	미국	Paypal	2040	● 2023년까지 데이터센터 공급 전력을 재생에너지로 전환 ● 2025년까지 2019년에 배출한 온실가스 25% 감축
	한국	SK C&C	2040	● 데이터센터 에너지효율화, 재생에너지 사용 확대 등 제시
자동차	일본	Toyota	2050	● 신차 판매 중 전기차 비중이 2025년까지 40%, 2030년까지 70% 증가할 것으로 예상되며, 2050년 탄소중립 달성을 위해 새로운 충전 시스템 '클린 어시스트(Clean Assist)'를 공개
	미국	GM	2040	● 2035년까지 에너지 집약도를 2010년 대비 35% 감축
	한국	Hyundai	2050	● 자동차 생산·운행·폐기 전 단계에 걸쳐 탄소중립을 추진 ● 2025년까지 전기차 23개의 모델을 출시, 수소차 모델도 다양화할 계획
철강	한국	POSCO	2050	● 2030년 20%, 2040년 50% 감축 목표 제시 ● 저탄소연료 대체, FINEX 기반 수소환원제철 기술 개발 등 추진
	독일	Thyssen Krupp	2050	● 2030년까지 CO₂ 배출량 30% 감축을 목표로 2025년 친환경 직접 환원철(DRI) 공장을 완공할 계획
시멘트	스위스	Lafarge Holcim	2050	● 2030년까지 최초의 Net Zero 시멘트 생산시설 계획

산업의 탈탄소화를 위한 주요국 전략



독 일

- 독일정부(경제에너지부)는 독일과 EU 철강산업의 저탄소 전환과 경쟁력 유지를 위해 'Steel Action Concept'을 작성하였으며, 연방 내각 채택¹⁷⁾(20.7)

독일 정부의 저탄소전환 지원 프로그램

프로그램	예산규모	지원기간
국가탈탄소화프로그램	10억 유로	~'23년
산업공정 내 수소 이용 프로그램	4.3억 유로	~'25년
Carbon2Chem 프로젝트*	1.4억 유로	'16~'23년

* 철강생산공정에서 배출된 탄소를 화학물질의 기초 재료를 생산하는 CCU 프로젝트



영 국

- 영국은 저탄소 산업 조성을 위해 10억 파운드 규모의 '산업 탈탄소화 전략(Industrial Decarbonisation Strategy)'을 발표¹⁸⁾(21.3)
- 세계 최초로 저탄소 산업 부문에 대한 비전을 수립, 2018년 배출량 대비 2035년까지 67%, 2050년까지 90% 감축을 목표

영국 산업 탈탄소화 전략 중 산업공정 전환 내용

 산업공정 전환	 에너지 효율성 향상	 저탄소 기술 혁신
2030년까지 연간 3MtCO₂의 탄소 포집·사용·저장 추진 2020년대에 수소·전기화·바이오 에너지 등의 저탄소 연료 전환 지원 - 시멘트·철강 제조 부문 탈탄소화를 위해 업계와 협력	- 에너지 관리 시스템 설치 지원 - 산업 전반, 특히 고온 공정을 사용하는 현장의 열 회수 및 재사용 개선	- 저탄소 전력, 수소, 바이오매스 등 연료 전환 기술 혁신 - 다양한 산업에서 최초의 CCUS 실증 사업 지원

- 에너지집약 산업 탈탄소화를 위한 투자 패키지를 발표하여 CCS, 수소, 에너지 집약 산업의 탈탄소화 솔루션 개발 등 녹색기술 가속화를 위해 1억 6,650만 파운드 규모의 투자 지원(21.5)
- 저탄소 수소 개발 및 활용(6,000만 파운드), 대규모 온실가스 포집 및 저장(3,750만 파운드), 차세대 CCUS 기술(2,000만 파운드), 에너지 집약산업의 탈탄소화를 위한 신기술 및 공정 개발(1,650만 파운드) 등

17) 포스코경영연구원, 독일 철강산업의 '탄소중립+성장전략' 지원, 2021.04

18) 한국산업기술진흥원, 산업기술동향위치 2021-07호, 2021.04



2) RE100 참여 기업 확대

■ 글로벌 기업들은 기업에서 사용하는 전력의 100%를 풍력, 태양광 등 재생에너지로 대체하겠다는 'RE100(Renewable Energy 100)'을 선언하고 있으며, 2014년을 시작으로 현재(21.6) 316개 기업이 가입¹⁹⁾

- 글로벌 기업들은 RE100을 선도하고 협력업체에도 RE100 이행을 독려 및 의무화하며, 구글·애플·마이크로소프트 등 일부 기업은 이미 목표를 달성
- 우리나라 기업은 SK그룹 6개사가 국내 최초로 가입하였고, 2021년 6월 기준 9개 기업*이 RE100에 가입
* SK하이닉스, SK텔레콤(SK브로드밴드 포함), SK홀딩스, SK머티리얼즈, SK실트론, SKC, LG에너지솔루션, 아모레퍼시픽, 한국수자원공사

세계 주요 기업의 RE100 달성 목표 및 현황

국가	기업	목표년도	주요 내용
미국	Google	2017	● 2030년까지 모든 데이터센터를 24시간 무탄소 에너지로 가동
	Apple	2018	● 2018년 RE100을 달성했으며, 2030년까지 사업 활동 전반의 탄소중립을 선언
	Microsoft	2014	● 2050년까지 회사 설립 이래로 배출한 탄소 전량 제거
	GM	2040	● 전 세계 모든 시설의 전기수요를 재생에너지로 공급
독일	BMW	2050	● 배터리 셀을 제조하는 공급사에 재생에너지 100% 활용 요구
일본	Sony	2040	● 2030년 30% 달성을 중간목표로 제시
	Rakuten	2025	● 소비전력 100%를 재생에너지 전력으로 공급
네덜란드	Ingka (前 IKEA)	2020	● 2020년까지 재생에너지 발전에 25억 유로 투자 및 1,747GW의 재생에너지 발전 용량 확보
대만	TSMC	2050	● 반도체 기업 중 최초로 RE100에 가입
덴마크	Vestas	2013	● 2013년 목표를 달성한 후, RE100 가입
한국	SK	2050	● SK홀딩스는 2040년 달성을 목표
	LG Energy Solution	2030	● EV100도 가입하여 회사 차량의 대부분을 전기차로 전환 ● 폴란드, 미국 공장을 100% 신재생에너지로 가동 중
	AMOREPACIFIC	2030	● 국내 뷰티 업계 최초로 가입하였으며, 사업 활동 전반에 걸쳐 RE100 달성 추진
	K-water	2050	● 국내 공공기관 중 최초로 RE100 가입

19) <https://www.there100.org/re100-members>

3) 완성차 기업의 탄소중립 달성 전략

- 유럽은 2030년까지 수송부문에서의 CO₂ 배출량을 37.5% 감축을 요구하고 있고, 이를 위해 승용차 판매량의 40% 정도는 전기차 및 플러그인 하이브리드차가 될 것으로 전망
 - 유럽의 완성차 기업들은 내연기관 자동차(ICE) 퇴출에서 더 나아가 탄소중립 달성을 목표로 사업 전환



출처 : BloombergNEF, Electric Vehicle Outlook, 2021.06

- 주요 완성차 기업들은 친환경 모빌리티의 핵심인 전기차 시장 선점을 위해 다양한 모델을 출시할 계획이며, 미래 모빌리티에 대한 투자를 공격적으로 확대

완성차 기업들의 전기차 전환 목표		
국가	기업명	주요내용
독일	Volkswagen	● 2021년 전기차 100만대 판매 및 2030년까지 유럽시장에서 판매되는 폭스바겐 전체 차량의 70%를 전기차로 전환
	BMW	● 2023년까지 13종의 전기차를 출시, 2030년 전기차 판매 비중을 50%로 확대
미국	GM	● 2025년까지 200억 달러를 투자해 전기차 생산 기반을 구축하고, 30종의 전기차를 판매할 계획 ● 2030년에는 자사의 대표 모델인 캐딜락 시리즈를 모두 전기차로 전환 ● 2035년 휘발유 및 디젤 자동차 생산 및 판매를 중단
	Ford	● 2026년 유럽에서 판매하는 모든 차량을 전기차, 플러그인하이브리드(PHEV)로 구성하고, 2030년부터는 전기차만 판매할 예정
일본	Honda	● 2040년까지 모든 차량을 전기차로 전환
한국	Hyundai Motors	● 전기차 전용 플랫폼인 E-GMP(Electric-Global Modular Platform) 기반 전기차 및 내연기관 파생 전기차를 포함해 2025년까지 12개 이상의 모델을 발표함으로써 56만대/년의 전기차 판매를 목표

출처 : 한국에너지기술연구원, KIER CT Brief - 세계 전기차(EV) 정책 및 산업동향, 2021.05

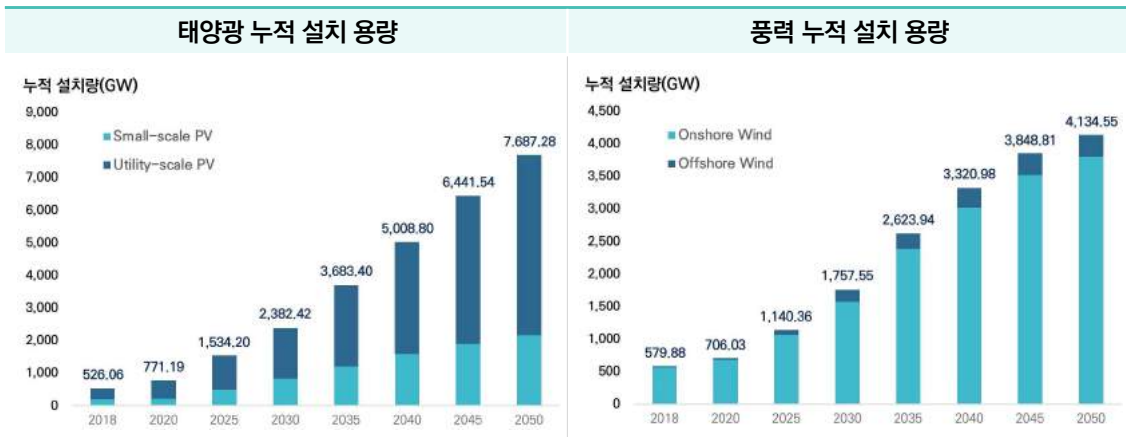
4. 시장 전망

1) 세계 시장 전망

■ 탄소중립 이행에 따른 저탄소 전환, 디지털 융·복합, 에너지 시스템 분산화 등의 기술혁신을 통해 에너지 생태계 변화가 가속화되어 에너지 시장은 급속하게 성장할 것으로 전망

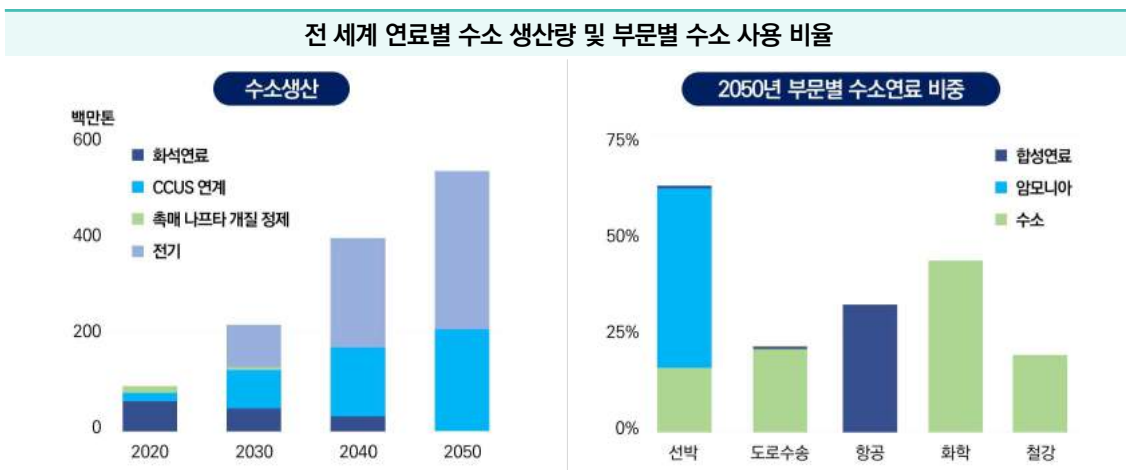
● **(재생에너지)** 에너지 전환에 따른 태양광, 풍력 등 재생에너지 발전량이 확대될 것으로 예측

- 세계 재생에너지 발전량(IEA, '20) : ('19) 7,167TWh → ('40) 18,791TWh
- 태양광 누적 설치 용량(BloombergNEF, '21) : ('20) 771GW → ('50) 7,687GW
- 풍력 누적 설치 용량(BloombergNEF, '21) : ('20) 706GW → ('50) 4,135GW



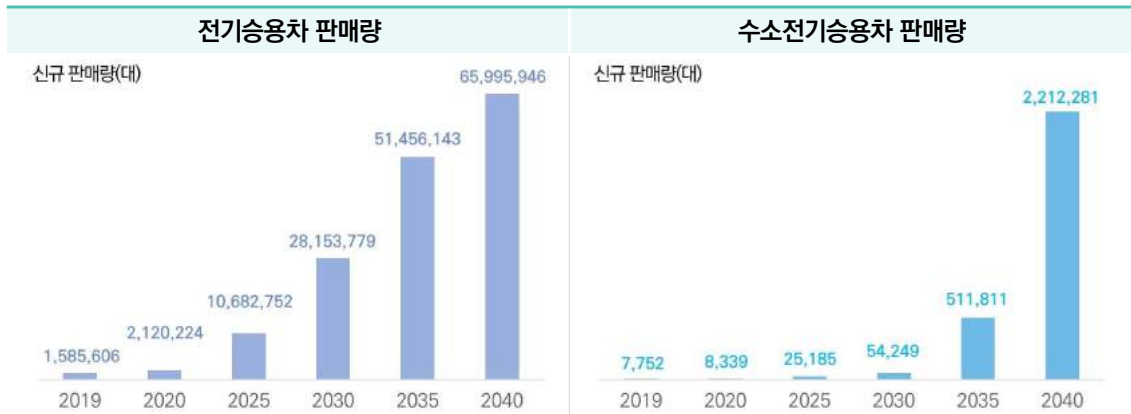
출처 : BloombergNEF 재구성(2021.06.24. 검색)

● **(수소)** 전 세계 수소 수요량은 2020년 87백만톤에서 2050년 528백만톤으로 약 6배 증가할 것으로 전망(IEA, '21)



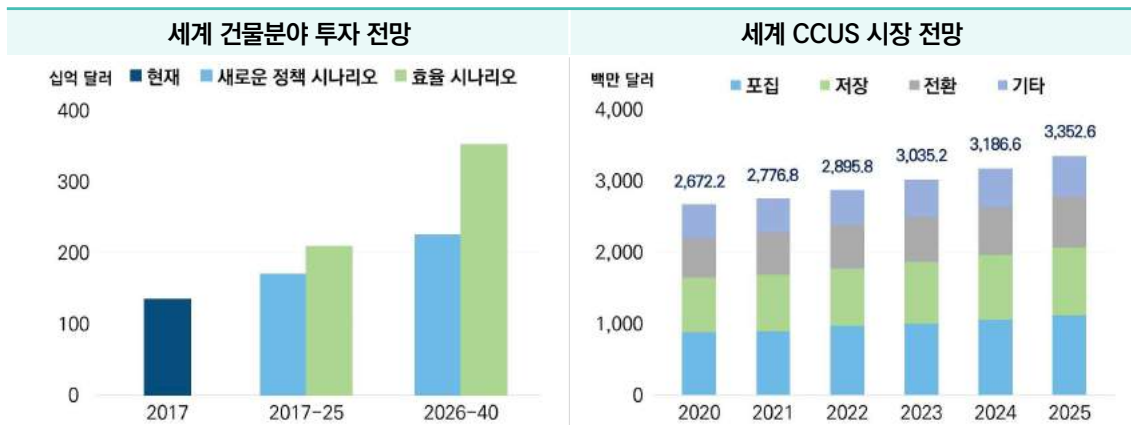
출처 : IEA, Net zero by 2050-A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021

- **(친환경 모빌리티)** 내연기관 자동차 판매금지 정책 추진 및 자동차 업체들의 친환경 모빌리티로의 전환으로 관련 시장 급증 전망
 - 전기승용차 신규 판매량(BloombergNEF, '21) : ('20) 212만대 → ('40) 6,600만대
 - 수소전기승용차 신규 판매량(BloombergNEF, '21): ('20) 0.8만대 → ('40) 221만대



출처 : BloombergNEF 재구성(2021.06.24. 검색)

- **(건물효율)** 에너지효율 시장은 더욱 성장할 것으로 예측되며 특히 온실가스 감축 잠재량이 높은 건물효율 분야에 투자가 집중될 것으로 전망
 - 세계 건물효율 투자(IEA, '18) : ('17) 1,400억\$ → ('25) 2,200억\$ → ('40) 3,600억\$



출처 : IEA, 2020

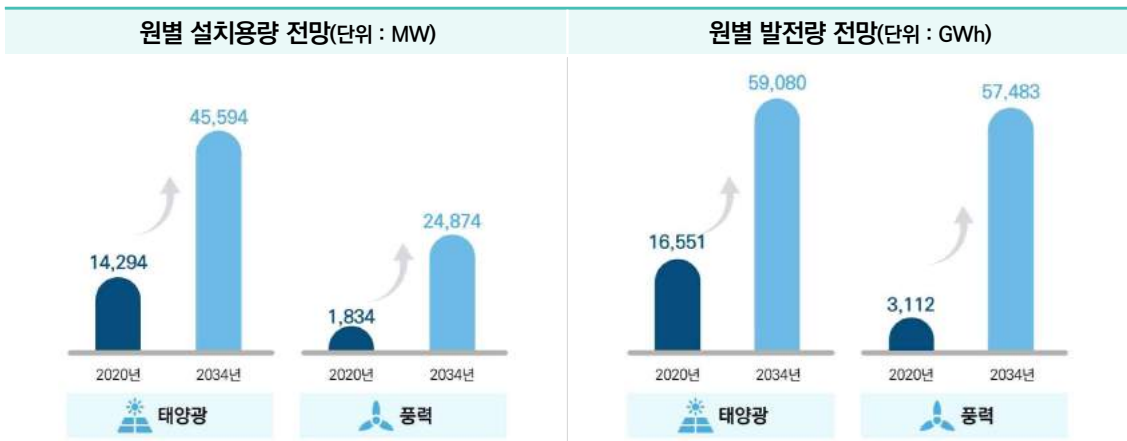
출처 : BCC research, 2020

- **(CCUS)** 글로벌 CCUS 시장은 2020년 27억 달러 규모에서 2025년 33억 달러로 연평균 4.6% 성장할 것으로 전망(BCC research, '20)

2) 국내 시장 전망

■ 탄소중립 실현을 위한 신·재생에너지 및 친환경 모빌리티 보급 확대와 제로에너지건물 의무화 등을 통해 국내 에너지 시장 또한 지속적 성장 전망

- **(재생에너지)** 제9차 전력수급기본계획('20.12) 등에 따라 재생에너지 발전량 확대 목표
 - ※ 제3차 에너지기본계획('19.6)에서는 2040년 재생에너지 발전비중을 30~35%로 목표
 - 15년간 신규 재생에너지 62.3GW 확충하여 2034년 재생에너지 발전량 비중 22.2% 목표
 - 원별 보급 전망(MW, '20 → '34) : 태양광(14,294 → 45,594), 풍력(1,834 → 24,874)
 - 원별 발전량 전망(GWh, '20 → '34) : 태양광(16,551 → 59,080), 풍력(3,112 → 57,483)



출처 : 제9차 전력수급기본계획, 2020.12.28. 재구성

- **(수소)** 수소경제 활성화 로드맵('19.1)에서 수소 생산 및 연료전지 보급 확대 목표
 - 국내 수소 공급량 : ('18) 13만톤 → ('40) 526만톤
 - 발전용 연료전지 보급 : ('18) 307.6MW → ('40) 15GW(내수 8GW 포함)
- **(친환경 모빌리티)** 친환경 모빌리티 보급 확대 정책 등으로 인해 시장 확대 전망
 - 전기승용차 신규 판매량(BloombergNEF, '21) : ('20) 46,197대 → ('40) 109만대
 - 수소전기승용차 신규 판매량(BloombergNEF, '21) : ('20) 5,786대 → ('40) 12.9만대
- **(건물효율)** 제로에너지 건물 의무화 등으로 국내 에너지효율 시장 연평균 5.2% 성장 전망
 - 국내 건물에너지효율 시장(Navigant, '18) : ('17) 3.3조원 → ('26) 5.28조원
 - 국내 제로에너지건물 시장(2020 Korea Build Week 발표, '19) : ('14) 8.6조원 → ('24) 20조원

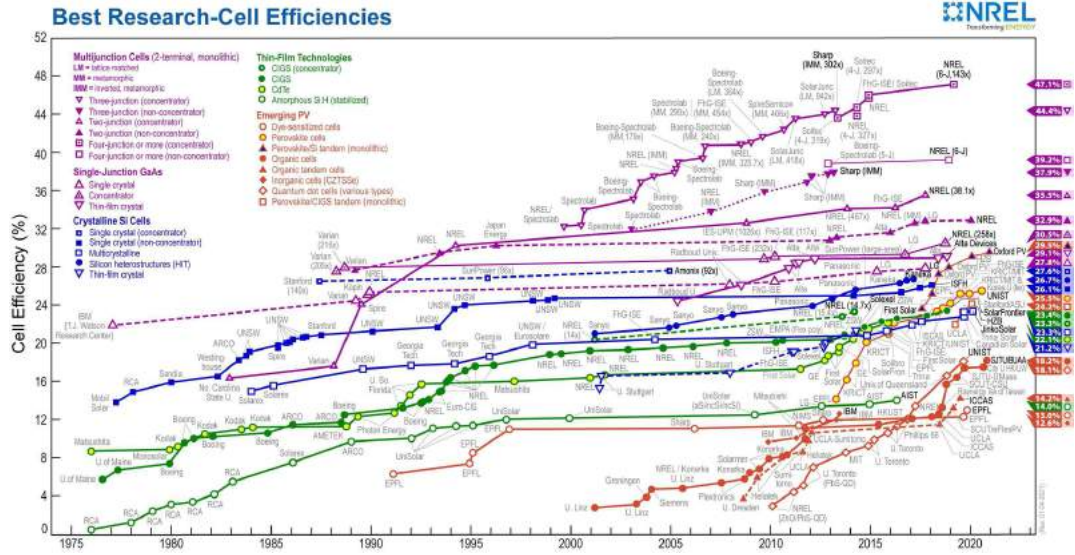
5. 탈탄소화를 위한 기술개발 현황

1) 재생에너지

- 가격경쟁력 확보 및 보급 확대를 뒷받침하기 위한 태양전지 고효율화, 풍력터빈 대형화 등 기술 혁신이 빠른 속도로 진행 중
- **(태양광)** 현재 실리콘 태양전지 시스템의 효율은 20~22%이고, 페로브스카이트/Si 탠덤, CIGS, III-V족 등 다양한 태양전지의 최고 효율이 지속적으로 갱신되고 있으며, 태양전지의 초고효율화, 저가화, 활용처 다변화 기술개발 활발

미국	NREL, IBM, First Solar 등은 태양전지 성능평가 기술을 비롯하여, III-V족 다중접합 태양전지(47.1%), CZTSSe계(12.6%), CdTe계(22.1%) 등의 분야에서 세계 최고 효율 기술 보유
유럽	Oxford PV, HZB, EPFL 등을 중심으로 페로브스카이트/Si 탠덤 태양전지 기술 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 태양광 폐모듈의 재활용 기술 개발 분야에서도 앞서 있는 편
일본	Kaneka의 결정질 Si 태양전지(HIT 26.7%), Solar Frontier의 CIGS계 태양전지(23.4%)등의 분야에서 세계 최고 수준의 기술력을 보유하고 있으며, NEDO의 지원으로 벽면형 태양전지, 차량용 태양전지 등 태양광 적용임지 다변화 기술개발 추진
중국	JinkoSolar(다결정 23.3%), Longi, Trina Solar, JA solar 등을 중심으로 결정질 Si 태양전지의 고효율화, 가격 저가화 및 대형화를 추진하고 있으며, Hanergy 등을 중심으로 박막·경량 모듈 기반 건물일체형 태양광 기술개발 추진
한국	실리콘 태양전지의 경우, 한화큐셀, LG전자 등 세계 최고수준의 양산효율(셀 22%, 모듈 20% 이상) 달성하였으며, 페로브스카이트 태양전지는 에너지연, 화학연, UNIST 등을 중심으로 세계 최고 수준의 기술력 보유(UNIST, 25.5%)

NREL 태양전지 최고효율 차트(Best Research-Cell Efficiency Chart, 실험실 수준)



출처 : 미국 국립재생에너지연구소(National Renewable Energy Laboratory, NREL) 2021.07.06 검색 기준

- (풍력) 발전용량 확대 및 발전단가 절감을 위한 풍력터빈 대형화 연구개발과 함께, 설치 공간제약 해소를 위한 해상풍력, 부유식 풍력 개발 및 실증 연구 활발

미국	● 풍력 발전비용 절감을 위한 터빈 대형화 및 운전 최적화 기술 개발에 주력하고 있으며, 특히 GE社의 경우 세계 최대 12MW급 해상풍력 시스템(Haliade-X) 개발을 완료
유럽	● 덴마크의 Vestas와 Ørsted, 독일의 Siemens, 스페인 EDP Renewables 등을 중심으로 Hornsea 해상풍력단지, WindFloat Atlantic 프로젝트, 세계 최초 에너지 인공지능(VindØ) 개발 등 세계 최대 규모의 해상 풍력 상업 프로젝트 개발 가속화
일본	● Kitakyushu NEDO 부유식 해상풍력발전 실증사업 등을 통해 저비용 차세대 부유식 해상풍력시스템 개발을 지원하고 있으며, 해외 풍력 선도기업과 합작회사 설립 등을 통해 대규모 해상풍력단지 개발 추진 * 도쿄전력-Ørsted, 미쓰비시중공업-Vestas, 도시바-GE
한국	● 두산중공업 등을 중심으로 8MW급 해상풍력 시스템 개발을 수행하고 있으며, 신안 해상풍력 발전단지(8.2GW), 새만금 해상풍력 발전단지, 울산 부유식 해상풍력 발전단지 조성 추진

세계 최대 해상풍력 터빈 GE Renewable Energy의 'Haliade-X 12MW' 주요제원

발전용량	12MW	
로터직경	220m	
블레이드	107m	
높이	260m	
연간발전량	67GWh 유럽 16,000 가구에 청정에너지를 공급할 수 있는 규모	
생산율	63%	
소해구역	38,000m ²	
IEC 등급	IB	

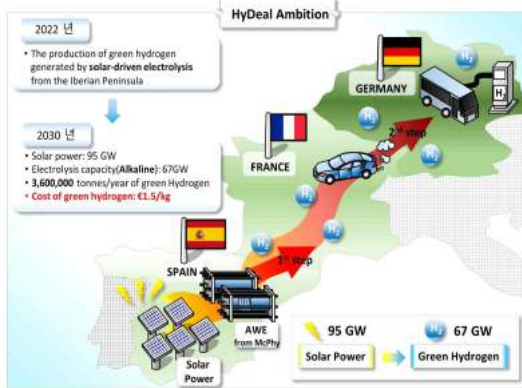
출처 : GE 리포트 코리아, 세계 최초로 공개된 12MW 풍력 터빈, Haliade-X(2019) 재구성

2) 수소·연료전지

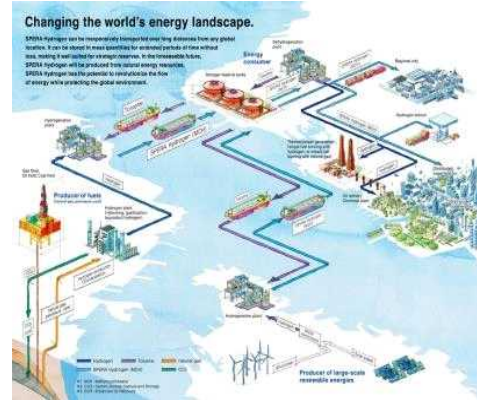
- 수소경제로의 에너지 패러다임 전환을 위해 미국, 일본, 유럽 등 국가 간 기술선점 경쟁이 치열하게 전개됨과 동시에 수소 밸류체인별 기업 및 국가 간 기술협력도 활발
- (수소) 재생에너지 연계 그린수소 생산 기술과 해외 수소 수입을 위한 대용량 저장·운송 기술 개발 및 실증에 집중

미국	DOE 주도로 CCUS 연계 블루수소 상용화 기술개발, 차량용 수소 저장용기 개발, 그린 암모니아 합성 시스템 개발 연구 등을 수행 중이며, 최근에는 Energy Earthshots Initiative를 통해 2030년 그린수소 \$1/kg 달성을 목표로 하는 Hydrogen shot 발표
유럽	Rhineland社의 REFHYNE 프로젝트, ITM power社 및 Engie社의 NEPTUNE 프로젝트 등 대용량 수전해 시스템 구축 및 P2G 실증 프로젝트가 활발히 진행 중이며, 최근에는 HyDeal Ambition 컨소시엄을 출범('21.2)하여 그린 수소 저가화 기술개발 추진
일본	Asahi Kasei社 등을 중심으로 10MW급 수전해 단일 스택 개발 등 수전해 시스템 대용량화·고효율화 기술 개발을 추진 중이며, 액화수소(호주), 암모니아(사우디아라비아), LOHC(브루나이)를 운반체로 이용하는 국제적 수소 공급망 구축 실증사업 추진
한국	세계적 수준의 수소 활용 기술력 대비 그린수소 생산 및 저장·운송분야의 기술경쟁력은 취약한 편으로, 수전해 기술 스케일업 및 상용화, 화학적 수소저장 원천기술 개발 등 기술경쟁력 제고 노력

EU HyDeal Ambition 프로젝트 개요(左) 및 일본-브루나이 국제 수소공급망 프로젝트(右)



출처 : 한국에너지기술연구원



출처: Chiyoda Corporation

- **(연료전지)** 연료전지 시스템 고효율화, 고내구화, 원가절감 기술개발과 함께 활용처 확대에 대응하기 위한 발전용 및 수송용 연료전지 기술개발 활발

미국	FuelCell Energy, Bloom Energy 등은 SOFC 발전효율 향상 및 비용 저감 기술 개발 추진
일본	Toyota와 Hino社は 2세대 미라이 연료전지 시스템 기반 대형트럭 공동개발, 동일본여객철도社와 수소 철도차량 실증 등 대량·장거리 수송에 적합한 연료전지 시스템 기술 개발 추진
한국	발전용의 경우 연료전지 핵심부품·소재 국산화 및 양산화에 주력하고 있으며, 현대자동차, 에너지연, KIST 등을 중심으로 상용차, 선박, 철도, UAM 등 친환경 수소 모빌리티에 적용 가능한 차세대 연료전지 시스템 개발 추진 중

3) 바이오·자원순환

- 전력뿐만 아니라 수송, 열, 화학제품 등 非 전력 부문에서도 화석연료를 대체하기 위한 바이오매스, 폐자원 등 순환가능한 에너지자원을 활용하는 연구개발이 확대되는 추세
- **(바이오에너지)** 대규모 산·학·연 공동연구를 통해 바이오매스 원료 다변화, 에너지화 공정 단가 절감 기술 등 바이오매스 원료생산-전환-보급 및 활용 순 단계에 걸쳐 연구개발이 광범위하게 추진

미국	• DOE 지원으로 지속가능성 및 경제성 확보를 위해 조류, 폐기물 등의 바이오매스 사용이 확대되는 추세이며, 고부가가치 제품 동시 개발을 통한 바이오에너지 가격경쟁력 확보 추진 지속
유럽	• 지속가능성 기준 강화 차원에서 리그노셀룰로오스계 바이오매스 등 비식용 바이오매스의 에너지화 기술 개발에 집중하고 있으며, 유럽 항공사 중심으로 바이오항공유 연구개발 확대 추세
한국	• 3세대 바이오매스(미세조류) 리파이너리 기술, 해양 바이오수소 생산 기술 등 일부 바이오에너지 원천 요소기술을 확보하였으며, 목질계 기반 바이오부탄올 생산기술은 상용화 수준에 근접한 상태

- **(바이오화학제품)** 석유계 화학제품을 대체하기 위한 저가 원료 활용 연구, 생산 공정 스케일업 등이 추진되고 있으며, 또한 석유계 제품 대비 기능성이 강화된 바이오화학제품 개발 연구 지속

미국	• Nature Works, Dupont Tate& Lyle Bioproducts, Genomatica 등 동종·이종 업종간의 조인트 벤처를 통해 플랫폼케미칼, 바이오폴리머, 섬유소재 등 바이오화학제품 개발 및 보급 주력
유럽	• Horizon 프로그램 산하 대규모 컨소시엄을 통해 밸류체인 전반에 걸쳐 연구개발이 진행되고 있으며, 네덜란드 GF Biochemicals, Avantium, 덴마크 Novozymes 등 기업 주도의 바이오화학제품 상용화 기술 개발 활발
한국	• 석유화학기업 및 발효전문기업을 중심으로 범용 바이오화학제품 연구 개발이 진행 중이나, 생산 규모 및 제품 종류 측면에서 선진국 대비 초기단계 수준

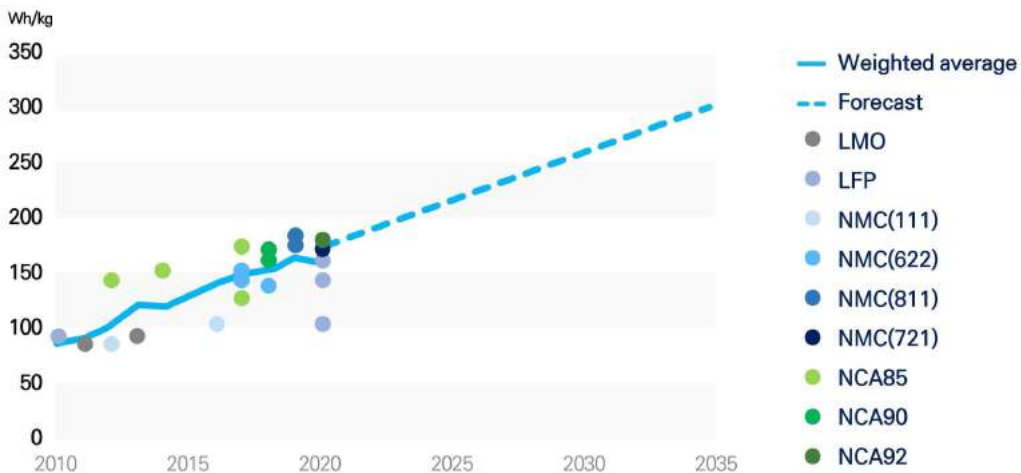
4) 이차전지

- 재생에너지 변동성 보안을 위한 유연성 자원이자 모빌리티 전기화의 핵심적인 수단으로 기업 주도로 배터리 기술 내재화 및 경쟁력 강화를 위한 기술경쟁이 빠른 속도로 진행 중

- (EV용 LiB) 에너지 밀도 측면에서 두드러진 기술 진보*를 이룩하였으며, 기업을 중심으로 지속적인 단가 절감, 에너지 밀도 향상, 출력속도 개선 등을 위해 코발트 비중 축소, Si 음극소재, 제조 공정 개선 기술 개발이 활발히 진행 중

* EV용 배터리팩 에너지밀도 2010년 대비 120% 향상(BloombergNEF, '21)

리튬이온배터리 기술진보 현황 및 전망



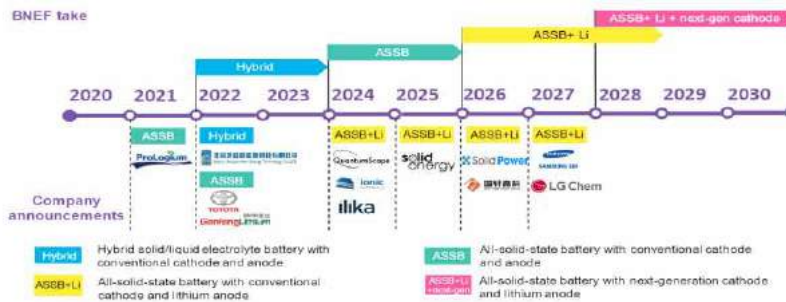
출처 : BloombergNEF, Electric Vehicle Outlook 2021

미국	● Tesla, GM, Ford 등 완성차 기업을 중심으로 배터리 셀 생산 내재화를 추진하고 있으며, Tesla의 경우 배터리 팩 비용 56% 절감 및 4680 규격의 배터리 셀 개발 계획 발표
유럽	● 아시아 의존도를 줄이기 위해 Volkswagen, Northvolt 등은 European Battery Union을 결성하여 공격적인 투자와 함께 배터리 밸류체인 전반에 걸쳐 공동연구 협력 추진
중국	● 리튬인산철(LFP) 기반 배터리의 주행거리 향상 및 비용 절감을 위해 CATL社의 Cell to Chassis 기술, BYD社의 블레이드 배터리 등 고집적 배터리 시스템 연구개발 가속화
한국	● 배터리제조 3社 중심으로 LiB 제조기술은 세계 최고 수준이나 부품/소재 경쟁력은 취약한 편으로 소재/부품/장비 국산화를 추진하고 있으며, Ni-rich 양극재, Si계 음극재, 차세대 분리막, 확장형 모듈 개발 등을 통해 배터리 적용 차종 확대 및 고용량화 추진

- (EV용 Post-LiB) 전기차 주행거리 확대 등 EV용 배터리 기술혁신을 위한 전고체전지, Li-Metal, Li-Air 등 차세대 배터리 개발 연구 활발

미국	DOE는 ARPA-E, Vehicle office를 통해 전고체전지 개발 프로젝트 등을 지원하고 있으며, QuantumScape, Sila Nanotechnologies 등의 스타트업, US Advanced Battery Consortium, 연방연구소, 학계 등을 중심으로 차세대 전고체 등 첨단 배터리 기술개발 가속화
유럽	전고체, Li-Metal, Li-Air, Li-S 전지 등을 개발하는 Battery2030+ 프로그램에 투자 확대
중국	CATL社 전고체, Li-Metal 등의 첨단 배터리 연구센터 21C Lab 건설 추진
일본	경제산업성의 지원으로 전고체전지 등 혁신형 전지 개발 연구가 진행되고 있으며, FDK, NTT, Toyota 등의 기업을 중심으로 Li-Air기술개발 추진
한국	미래시장 선점을 위해 LG화학, SKI, 현대차 등 산업을 중심으로 전고체, Li-Metal 전지 상용화를 위한 연구개발이 수행 중이며, 학계 및 출연연도 전고체전지 등 차세대 배터리 소재 관련 R&D 수행

전고체전지 양산 로드맵



출처 : BloombergNEF, Solid-state Battery Part 1: Technology Outlook, 2020

- (ESS) 재생에너지 연계, 계통 안정화, 가정용 ESS 등의 용도로 LiB-ESS, 레독스 플로우, NaS 전지 등의 실증연구가 활발히 진행 중이며, EV용 배터리 팩 재활용 기술, 차세대 ESS의 저가화 기술 개발 추진 단계

미국	AES, AEP 등 대형 전력회사와 UniEnergy Technologies, Imergy Power Systems 등을 중심으로 LiB-ESS, 레독스 플로우 전지 실증 연구 추진
유럽	Horizon 프로그램을 통해 전력 예비력 공급, 부하평준화, 출력 안정화 등의 기능을 제공할 수 있는 저비용·고안전 고정형 ESS, 셀 및 스택 설계 기술 개발 등의 연구 지원
일본	재생에너지 연계 및 가정용 ESS를 위한 Na계(NaS, NaNiCl₂), LiB계 ESS, 바나듐 레독스 플로우 배터리 등의 기술 개발 및 실증 추진
한국	에이치투, 에너지언 등을 중심으로 레독스 플로우 배터리 실증 연구가 수행 중이며, 정부는 EV-ESS 사용 후 배터리 리사이클링 센터 구축 추진

5) 에너지효율

- 산업·건물·수송 각 부문에 디지털 기술을 접목시켜 에너지효율 향상 및 에너지 소비구조를 최적화하고, 에너지 운영·관리 고도화를 추진하고자 민간 주도의 연구개발 활발

- **(산업효율)** 에너지 다소비기기의 효율향상과 함께 산업공정 전반에 ICT 기반 에너지관리 시스템을 도입하여 산업분야 에너지 소비 최적화를 위한 기술개발 중점 추진

독일	데이터 기반의 공정 자동화·최적화 기술을 확보하였고, IE4 전동기 상용화
한국	초고효율 전동기 및 공장 에너지관리 시스템 보급형 표준 플랫폼 개발 및 실증 중

- **(건물효율)** 제로에너지 건물 구현을 위한 핵심 설비 및 기기의 고효율화와 건물 에너지 생산 및 소비 시스템의 최적화를 위한 건물 맞춤형 에너지관리시스템 확보에 대한 연구 활발

미국	DOE에서는 에너지 네트워크 최적화 및 분산발전 시스템, 물을 냉매로 사용하는 기술, 비증기 압축식 냉방시스템 개발 지원
일본	차세대 냉매·냉동 공조 기술, 미활용 열에너지 활용 기술과 건물에너지 시스템의 고효율화 및 지역 에너지 관리시스템(CEMS) 실증사업을 추진
한국	통신 및 네트워크 기업 중심으로 ICT 기반 건물에너지 절감 솔루션 및 실증 추진 중이며, 친환경 냉매를 이용한 냉방 시스템 기술개발 수행 중

- **(수송효율)** 친환경차 보급 확대를 위해 충전시간 단축 및 편의 증진을 위한 충전 인프라 시스템 기술 개발에 집중

미국	전기차 무선충전 핵심기술을 보유하고 있고, 이동식 수소충전소 검증설비 개발 완료
한국	국내 기업 중심으로 전기차 전용 초고속 충전기 개발 완료 및 무선충전 기술 확보에 주력하고 있으며, 수소충전소 핵심 소재·부품의 국산기술 확보를 위한 기술개발과 함께, On-site 방식의 수소생산 유닛 국산화에 성공

- **(디지털화)** 디지털 전환이 점차 가속화됨에 따라 데이터센터 구축, 네트워크 트래픽 증가에 따른 에너지 소비가 급증하고 있어 핵심 요소기술의 에너지효율 향상 기술 개발 및 실증 추진 중

미국	구글 등 IT 기업은 사용중인 데이터센터의 소비전력 절감을 위한 냉각시스템 개발 및 적용연구를 추진 중이며, 분산자원 자산관리/운영 시스템 연구 및 실증 수행 중
한국	데이터센터 및 통신·네트워크 분야의 전력 효율성 개선을 위한 기술을 개발·실증 중이고, 신재생 전원의 전력계통 연계 시 신뢰성 및 안정성 향상을 위한 기술개발도 주력

6) CCUS

- 유럽, 미국 등을 중심으로 연소 배가스 포집, 산업공정 CO₂ 포집기술 등은 원유회수증진(EOR) 및 지중 저장 기술과 연계하여 상업적 규모로 운영 또는 개발되고 있으며, 다양한 CCU 제품 개발을 위한 CO₂ 및 유용 탄소원 전환기술은 기초, 스케일업 및 실증 연구 단계

- (CCS) 미국, 캐나다, 노르웨이 등의 주요국을 중심으로 운영 중인 26개 CCS 프로젝트를 포함하여 총 65개의 CCS 상업시설이 운영 또는 계획 중이며, 최근에는 글로벌 CCS 허브/클러스터 구축 프로젝트 활발²⁰⁾

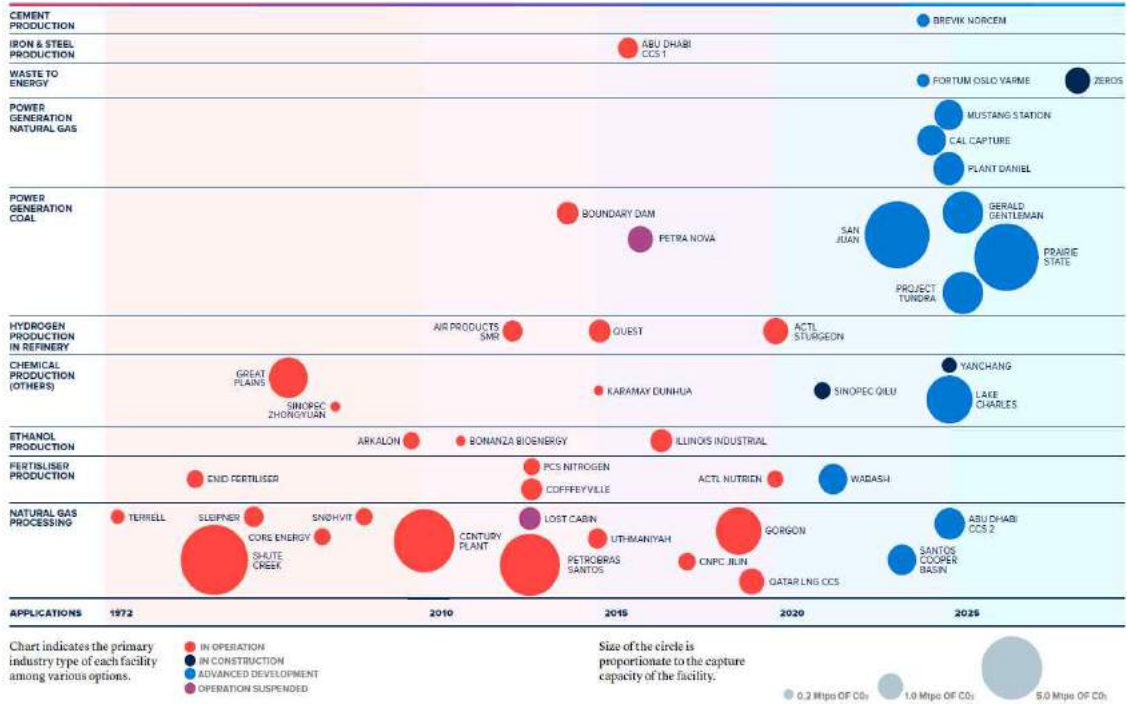
미국	Century Plant, Air Products SMR(Steam Methane Reformer), ZEROS Project 등 상업적 규모의 CCS 프로젝트를 운영 또는 계획 중이며, 바이든 정부는 CO₂ 토양 저장 기술, DAC(Direct Air Capture) 기술 등을 10대 의제로 선정하여 연구개발 확대 추진
캐나다	수소 생산 플랜트의 CO₂를 포집하고 지중 저장하는 Quest CCS 등을 운영하고 있으며, Carbon Engineering은 DAC 포집 등 혁신적인 CCS 기술 개발 추진
유럽	네덜란드 Porthos, 영국 Drax BECCS, 노르웨이 NORTHERN LIGHTS 등의 프로젝트가 운영 및 계획 중이며, Horizon 프로그램으로 탄소 다배출 산업 연계 CCS 기술, 지질학적 저장기술 고도화 연구 지원
일본	NEDO의 지원으로 CO₂ 고체 흡수제, 분리막 등의 실용화 기술, CO₂ 저장 기술, 대규모(10만 톤/년) CCS 실증 연구 수행
한국	중규모 석탄발전 포집기술 실증(건식/습식 10MW_e급), 소규모 산업계 포집 기술 실증(10톤/일급 습식), 포항 소규모 해상 지중 저장 실증(100톤) 등 일정 수준의 기술은 확보하였으나, 경제성, 수용성 등의 문제로 대규모 실증·상용화 기술개발은 지연

- (CCU) Carbon8 Systems社 저탄소 건설자재, Covestro社 폴리를 및 폼 매트리스 등 일부 CCU 제품이 상용화 단계 수준으로 개발되었으며, 영국, 미국 등 주요국을 중심으로 실증 연구 확대 추세

미국	시멘트 대체물질 생산 상용화 기술(Calera社, Solidia社 등), CO₂ 생물전환 제품화 실증 연구(NREL, Qualitas Health社 등) 등이 진행 중이며, CCU 관련 기술·공정 및 LCI(Life Cycle Inventory) DB 플랫폼 구축·운영(NETL) 중
유럽	CO₂ 기반 폴리우레탄 원료 폴리를 생산 상용화(Covestro社), 재생에너지 연계 메탄올 생산 실증 연구(CRI社), 역수성가스화 상용 공정 기술(Sunfire社) 등 다양한 제품·공정의 원천 및 상용화 연구 활발
일본	Asahi Kasei社の 에틸렌카보네이트 등은 제품화 단계 수준으로 개발에 성공하였으며, Mitsui Chemicals社の CO₂ 유래 메탄올(100톤/년), JFE社の 합성가스 유래 DME(100톤/일) 생산 공정 등은 실증 완료
한국	탄소 광물화 기술, 합성가스의 화학적 전환기술 등 일부 기술은 파일럿 실증 또는 상용화 이전 단계 정도로 개발되었으나, 대부분의 CCU 기술은 학계·출연연 중심의 기초·원천 연구단계

20) Global CCS Institute, Global Status of CCS, 2020

세계 CCS 운전/건설/개발 현황



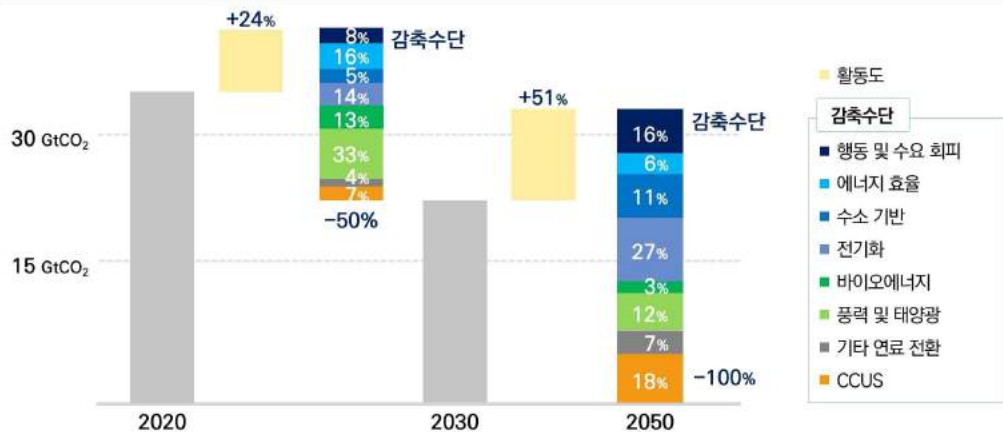
출처 : Global CCS Institute, Global Status of CCS, 2020

탈탄소화를 위한 핵심수단

✓ 국제에너지기구(IEA)²¹⁾와 국제재생에너지기구(IRENA)²²⁾는 2050년까지 탄소중립 달성을 위한 시나리오를 발표



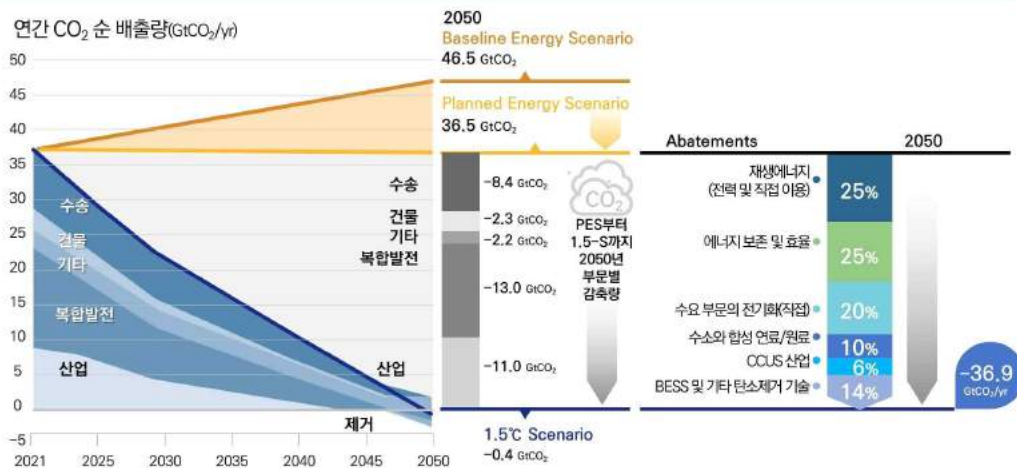
전 세계 에너지시스템의 탈탄소화를 위한 핵심 수단을 행동변화, 에너지효율, 전기화, 재생에너지, 수소 및 수소 기반 연료, 바이오에너지, CCUS 등으로 발표



- 활동도(Activity): 경제 및 인구 성장으로 인한 에너지 서비스 수요 변화를 의미
- 기타연료 전환(Other fuel shifts): 석탄과 석유를 천연가스, 원자력, 수력, 지열, 집광형태양광 발전(CSP), 해양에너지로 전환하는 것을 의미



2050년 순배출량 제로를 위해 재생에너지(전력 및 직접 이용), 에너지 보존 및 효율, 수요 부문의 전기화, 수소와 합성연료·원료, CCUS가 필요



21) IEA, Net zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021

22) IRENA, World Energy Transitions Outlook 1.5°C Pathway, 2021



III

III. 탄소중립 기술혁신 추진전략

- | | |
|-------------------|----|
| 1. 추진 배경 | 39 |
| 2. 10대 핵심기술 개발 방향 | 44 |

1. 추진 배경

1) 수립 배경

- 유럽·중국·일본의 탄소중립 선언에 이어 우리나라 또한 2050년 탄소중립을 선언하였으며, 이를 이행하기 위한 범국가적 대책 필요



“탄소중립 목표 달성의 결정적 관건은 기술로 혁신기술 1~2개만 선도해도 선두에 설 수 있고, 기술 자체가 미래먹거리가 될 것”
- 범부처 전략 회의 대통령 발언 (‘20.11.27) -

“2050 탄소중립’ 목표를 이루기 위해서는 기술 발전이 가장 중요합니다. 기술 발전으로 에너지 전환의 비용을 낮춰야 합니다. 우리의 핵심기술이 세계를 선도하고, 미래 먹거리가 될 수 있도록 정부가 든든한 뒷받침이 되겠습니다.”
- 대한민국 탄소중립 선언’ 대국민 연설(‘20.12.10)-

- 2050 탄소중립 실현을 위해선 부문별(발전, 산업, 수송, 건물, 폐기물, 농·축·수산) 저감 노력에 더하여 과학기술의 큰 역할이 필요
 - 체계적인 R&D 추진을 통해 혁신기술 개발·적용을 가속화하여 부문별 목표 달성에 기여할 수 있는 R&D 전략 구체화 필요
- 과학기술정보통신부는 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상을 동시 달성하는 “2050 탄소중립”을 기술 혁신을 통해 지원하기 위해 「탄소중립 기술혁신 추진전략」 수립 추진
 - 과학기술정보통신부 주관으로 탄소중립 R&D 관련 범부처* 추진체계를 구성하고, 각 부처별 주요 과제를 포함한 추진전략 마련
 - * 과기정통부(주관), 기재부, 산업부, 환경부, 국토부, 해수부, 중기부, 산림청
 - 탄소중립 목표달성을 위한 10대 핵심기술 확보전략을 제시하고 기술혁신 중점 과제를 도출

2) 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발방향 도출 과정

■ 추진체계 : 관계부처의 전문가 추천을 통해 전문가 위원회(88인) 구성·운영

● 총괄위원회

- (구성) 민간위원장을 중심으로 자문위원, 총괄 분과장 및 기술 분과장으로 구성
- (역할) 탄소중립 R&D 전략 수립 방향성 검토 및 진행상황 점검

● 전문분과위원회

- (구성) 총괄분과 및 기술분과별 산·학·연 전문가로 구성
※ 부처의 의견수렴을 위해 관계부처 추천을 통해 전문가 위원회 구성
- (역할) 분과별 세부기술 도출, 세부기술별 진단, 기술개발 필요분야 및 기술개발 방향성 도출 등 탄소중립 R&D 추진전략 주요 내용 작성

총괄·분과위원회 구성 현황



■ 추진일정 : 전문가 간담회, 국내외 환경 분석 및 관계부처 협의를 통한 전략 방향성과 핵심기술분야를 선정하고, 전문가 위원회를 구성하여 10대 핵심기술개발 전략(목표, 세부기술, 달성전략, 기대효과 등) 도출



3) 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술

- 장기저탄소 발전전략(LEDs) 기반으로 부문별 이슈 분석과 온실가스 감축기여도, 주력산업 연관성, 정책환경을 고려하여 탄소중립에 핵심적 기여가 가능한 10대 핵심기술 도출 및 개발 전략 제시

국가 상위계획과의 연계성

- ▶ (장기저탄소발전전략(LEDs), '20) LEDs와 기술간의 연계성 제고를 위해 LEDs에서 제시한 부문별(발전, 산업, 수송, 건물, 폐기물 등)전략을 바탕으로 이를 달성하기 위한 과학기술적 해결방안 도출
- ▶ (그린뉴딜, '20) 친환경·녹색 경제로의 전환을 위한 전략적인 재정투자에 중점

2050 탄소중립
목표 달성을 위한
핵심분야 설정

온실가스 감축 기여도 고려



온실가스 감축
기여도가 높은
핵심분야 도출

배출 비중 ('18)	에너지 전환	산업 저탄소화	수송	건물
	37.0%	36.0%	13.0%	7.0%

주력산업 연관성 분석

- ▶ 우리나라 주력산업인 제조업은 GDP의 27.2%를 차지하고 있고, 철강/석유화학 등 탄소중심의 에너지 집약적 산업구조를 가지고 있어 산업부문의 탄소를 획기적으로 저감할 수 있는 기술 확보가 필요한 상황
- ▶ 우리나라의 우수한 ICT 기술을 각 부문에 접목하여 쏘부문에 걸친 에너지효율 혁신 촉진

주력산업 고도화 및
기반기술 고려

부문	에너지 전환			산업 저탄소화			CCUS	수송	건물
10대 핵심 기술									
	디지털화								



4) 10대 핵심기술 정의

기술		정의
① 태양광· 풍력	 태양광	태양광발전시스템(태양전지, 모듈, 축전지 및 전력조절기, 직 교류 변환장치로 구성)을 이용하여 태양 빛 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술
	 풍력	바람의 운동에너지를 로터 블레이드에서 흡수, 기계적 에너지로 변환하여 전력을 생산하는 발전기술
	② 수소	물, 유기물, 화석연료 등의 화합물 형태로 존재하는 수소를 분리, 생산하여 활용하는 기술
	③ 바이오에너지	바이오매스(Biomass, 유기성 생물체를 총칭)를 직접 또는 생·화학적, 물리적 변환과정을 통해 액체, 가스, 고체연료를 생산하여 열·발전 또는 수송용 연료로 활용하는 기술
	④ 철강·시멘트	온실가스 다배출 자원을 사용하는 기존공정을 온실가스 저배출·무배출의 에너지 효율적 친환경 철강·시멘트 제조로 전환하기 위한 소재·부품·공정·장비·설비 기술
	⑤ 석유화학	탄소중립 新화학산업 구축을 위한 저탄소 원료 및 신재생에너지 활용, 공정에너지 저감, 부생자원 전환 등 석유화학 산업 공정 전반의 탄소 저감 기술
	⑥ 산업공정 고도화	공정 중 직접 배출되는 온실가스(F-gas, N ₂ O 등) 배출을 줄이고, 에너지·자원 효율성을 극대화할 수 있는 소재개발, 공정 최적화·제어·관리 및 배출가스 처리 기술
	⑦ 수송효율	수송 모빌리티(승용·상용차, 철도, 선박 등)의 활동 시, 전기/수소 시스템을 적용하여, 에너지 효율 향상 및 탄소배출 저감 달성
	⑧ 건물효율	건물의 단열, 냉/난방 기기 효율화, 부하 저감 등의 단위 기술의 고도화와 도시/건물의 전력·열 이용 다변화, ICT 기반 에너지관리 등의 건물 운영 및 신기술의 융합을 통한 Net Zero 건축물 및 커뮤니티 구현
	⑨ 디지털화	에너지 생산·유통·소비 단계에서 ICT를 활용하여 효율을 향상시키는 기술 (데이터와 네트워크를 기반으로 예측/운영/제어/관리를 최적화) 및 ICT 기기 (장비/디바이스)와 인프라 효율 향상 관련 기술
	⑩ CCUS	배출된 CO ₂ 를 포집하여 심부 지층에 안전하게 저장하거나, 직접 또는 전환하여 활용하는 기술

5) 10대 핵심기술 개발방향 구성

■ 핵심기술 : 탄소중립 실현을 위해 시급히 개발해야 하는 10대 핵심기술*

- 장기저탄소발전전략(LEDs)을 기반으로 부문별 이슈분석, 정책환경, 온실가스 감축 기여도, 주력산업 연관성 등을 고려하여 선정

* 10대 핵심기술: 태양광·풍력, 수소, 바이오에너지, 철강·시멘트, 석유화학, 산업공정 고도화, 수송효율, 건물효율, 디지털화, CCUS

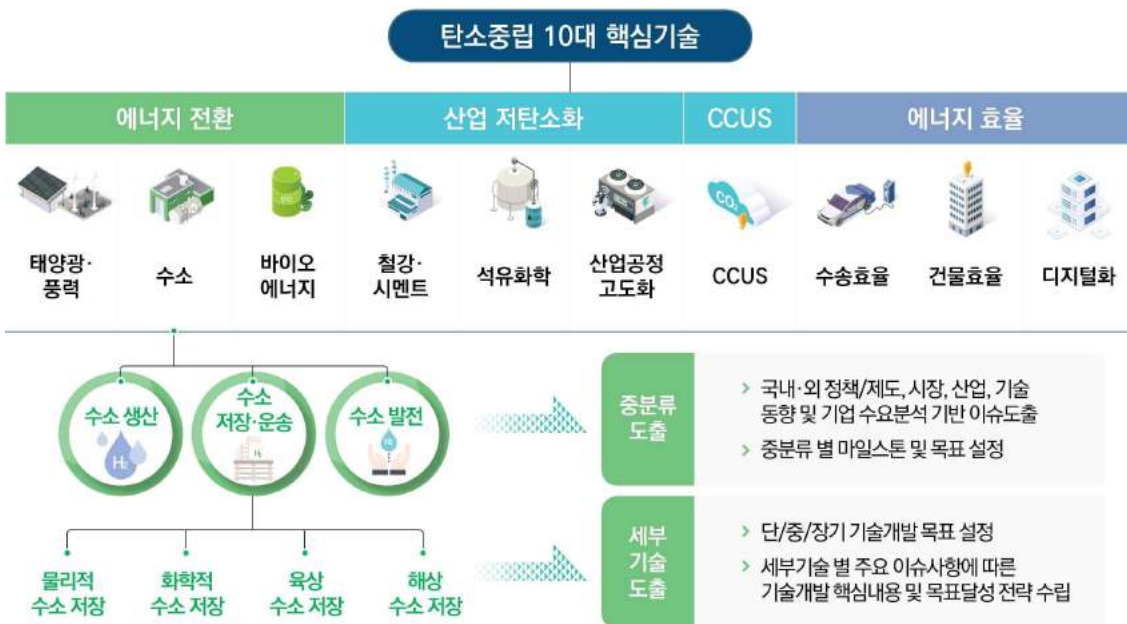
■ 중분류 : 핵심기술의 효율적 확보를 위해 기술개발이 필요한 중점 기술개발 분야

- 국내외 정책/제도, 시장, 산업, 기술 동향 및 기업 수요 분석기반 이슈도출을 통해 중분류 도출

■ 세부기술 : 중분류별 목표 달성을 위해 필요한 세부 기술 분야

- 국가 온실가스감축목표(NDC), 재생에너지 보급 정책 등의 목표치 및 달성시점을 고려하여 단/중/장기 기술개발 목표 설정
- 세부기술별 주요 이슈사항에 따른 기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략 수립

탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발방향 구성 예시



2. 10대 핵심기술 개발 방향 요약

■ 범부처* 협업을 통해 핵심기술 개발에서 혁신생태계 조성까지 전주기 지원을 강화

* 과기정통부(주관), 기재부, 산업부, 환경부, 국토부, 해수부, 중기부, 산림청

기술혁신으로 2050 대한민국 탄소중립 건인

* 혁신적 탄소감축 수단을 지속 공급하는 기술혁신 생태계 마련

글로벌
선도기술 확보
'40년 선도국 대비
95%

탄소중립
기술 확산
'50년 산업
무탄소 전환

저탄소
신산업 창출
저탄소 신산업
생태계 구축

범부처 협업을 통해 혁신기술이
상용화로 이어지는 전주기 지원 강화

| 기술개발 |

탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 전략 제시

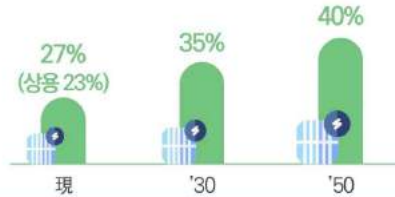
 태양광·풍력 - 태양전지 효율 (現) 27%(상용 23) → (30) 35% → (50) 40% - 풍력 발전기 용량 (現) 5.5MW → (30) 15MW → (40) 20MW	 수소 - 수소총전소 공급가(원/kg) (現) 7,000 → (30) 4,000 → (40) 3,000 - 수소 발전단가(원/kWh) (現) 250 → (30) 141 → (40) 131	 바이오 에너지 바이오연료 가격경쟁력 (동종 화석연료 대비) (現) 120~150% → (30) 100% → (45) 85%	
 철강·시멘트 - 수소환원제철 기술 연·원료대체율(수소) (現) 0% → (40) 100% - 시멘트 석회석 대체가능율 (現) 0% → (40) 8% - 시멘트 순환연료 대체가능율 (現) 24% → (40) 65%	 석유화학 탄소중립원료 제품 가격경쟁력 (동종 석유화학제품 대비) (現) 150% → (40) 100%	 산업공정 고도화 - 반도체·디스플레이공정가스 배출저감기술 효율 (現) 80% → (40) 95% - 산업공정 에너지효율 설계오차 (現) 30% → (30) 5% 수준	 CCUS - CO₂ 상용급 포집 가격경쟁력 (現) \$60/톤 → (30) \$30/톤 → (50) 20\$/톤 - CO₂ 전환 제품 가격경쟁력 (기존 시장가 대비) (現) 연구중 → (40) 100%
 수송효율 - 차세대전지 배터리 밀도 (現) 250Wh/kg → (45) 600Wh/kg(상용화) - 수소 고속충전기술 (現) 1.6kg/분 → (30) 7.2kg/분	 건물효율 - 건물 에너지 효율 (30) 30% 향상 기술 확보 - 제로에너지 건축비(리모델링 대비) (現) 130% → (45) 105%	 디지털화 - 데이터센터 전력 소모 (30) 20% 이상 저감 - 계통 운영시스템 적용 (40) AI기반 차세대 계통 운영시스템 적용	

1-1) 태양광

목표 초격차 선도기술 확보

| 핵심지표 |

▶ 태양전지 셀 효율



• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 중국 저가화 공세 및 상용기술 한계 ② 입지 다변화(수상, 건물 등) 요구 증대 ③ 도시 등 응용분야 확대 필요성 증가 ※ 중국 Longi, Jinko, Trina 등은 대규모 설비 확장으로 모듈 가격 하락 유도 ※ 현재 태양광 시장의 95% 이상을 차지하는 실리콘 태양전지의 한계효율은 30% ※ 글로벌 탄소중립 추진에 따라 수상, 해양, 건물(BIPV) 등 응용시장 급증 전망	① 상용기술을 대체할 차세대 고효율 기술(고성능 탠덤 등) 적기 상용화 ② 수상 시스템 설치·운영 효율화(경제성 확보) ③ 도시형 태양광(초경량 태양전지 등) 기술개발 추진 ▪ 다양한 소재와 방법을 통해 초고효율 달성, 상용화 촉진을 위해 산·학·연 공동개발 유도, 수상·해양 시스템 안전성·신뢰성 검증 추진	실증 인프라 구축,新技术 인증기준 마련 및 공공수요 창출* 등 상용화 및 시장진입 촉진 기반 마련 * 의무할당제도(RPS) 대상 및 비율 확대 검토 등

태양광 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
초고효율 태양전지	전지 효율 ~26.7% 모듈 효율 ~21%	탠덤 셀 초격차화	탠덤 셀 초고효율화	상용화 적용	('30) 탠덤 셀 효율 35%, 모듈 30% ('50) 다중접합 셀 효율 40% 이상
태양광 시스템	수상태양광 시스템 설치 단가 13.5억 원/MW	수상/해상 태양광 시스템	내구성 및 경제성 확보		('30) 수상태양광 설치 단가 4억 원/MW ('50) 수상태양광 설치 단가 2.7억 원/MW
탄소중립 도시형 태양광	유연 태양전지 효율 ~20%	경량/유연/반투명/소감도 태양전지 고효율화 (무기박막, 유무기페로브스카이트, 유기 등)	고집적 기능성 모듈 개발	사업화	('30) 초경량 유연 탠덤 셀 효율 30% ('50) 고집적 고내구성 모듈

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기대효과

효율 극대화를 통한 필요면적 축소(현재의 60% 수준) 및
응용처 확대(해상, 건물 벽면 등)로 태양광 발전량 증대

※ 예) 1 GW 설비에 필요한 면적: 현재(모듈효율 21%) 14.2 km² → '40년(모듈효율 35%) 8.5 km²

정책 동향

- 세 계** 전 세계적인 탄소중립 선언에 따라 태양광 발전을 중심으로 재생에너지 발전비중이 확대될 전망
- 중국** 2050년까지 태양광발전 설비용량 1,400 GW로 증가 전망
- 일본** 2030년까지 태양광시스템 가격 7만 엔/kWh 이하 (공사비 포함)로 저감
- 독일** 2030년까지 태양광을 현재의 2배로 확대 (30년 전체 소비전력의 65%를 재생에너지로 충당)
- 국 내** 재생에너지 3020 목표달성을 위해 신재생에너지 공급의무화(RPS) 비율 상향 및 REC 경쟁입찰 확대, RE100 지원제도 도입 등 추진

시장현황 및 전망

- 세 계** 그리드패리티 도달, 탄소중립 등 이슈로 세계 태양광 시장은 큰 폭의 성장 전망
- ※ 신규/누적 설치량:
(19) 118.0 GW/644.1 GW → (30) 188.2 GW/2,382.4 GW
- ※ 시장 규모: (20) \$766억 → (25) \$1,131억(CAGR 8.1%)
- ※ 글로벌 태양광 LCOE: 지난 6년간 약 1/2 수준으로 하락 및 향후 10년간 약 40% 추가 하락 전망(BloombergNEF)
- 국 내** 탄소중립 선언에 따른 신재생분야 비중 확대로 관련시장의 급격한 성장과 제로에너지빌딩 제도의 본격적인 시행으로 BIPV 시장 확대 전망
- ※ 태양광 누적/신규 설치용량:
(19) 929 GW → (2011) 129 GW / (17) 14 GW → (2011) 3.7 GW
- ※ 태양광 발전량 전망:
(20) 16,551 GWh → (34) 59,080 GWh
- ※ 국내 태양광 LCOE: 지난 6년간 약 30% 하락, 2030년 80-90원/kWh 수준 전망(에너지경제연구원)

태양광



- 실리콘 태양전지** 실리콘 가격 급락으로 태양전지 시장의 95%를 점유한 실리콘 태양 전지의 효율 한계 극복을 위해 실리콘 기반의 탠덤 태양전지와 같은 하이브리드 기술개발을 통해 효율 향상, 공정 비용 절감, 기술난이도 극복 등을 위한 연구 진행 중
- ※ 기술수준(면적 1 cm² 이하 효율): 유럽 29.5%, 미국 27.1%, 한국 26.7%

- 차세대 태양전지** 단일구조인 결정질 실리콘 전지의 양산 한계효율(26%) 극복을 위한 차세대 기술에 대한 니즈 확대
- ※ CIGS, 페로브스카이트 등 차세대 태양전지의 고효율화, 대면적화 등 연구 진행 중

- 도시형 태양광** 태양광 보급 확대를 위해 설치형태나 무게 등 응용 제약 극복과 다양한 응용분야 적용이 가능한 경량형/투광형/고내구성 태양전지 기술개발 및 친환경 소재개발 추진

- 실리콘 태양전지** 중국 기업의 세계시장 점유율 확대에도 불구하고 국내 태양광 업계는 세계 최고 수준의 기술력을 바탕으로 해외시장에도 적극 진출
- ※ 중국기업 점유율(19): (폴리실리콘) 64% (웨이퍼) 92% (셀) 85% (모듈) 80%
- ※ 국내 주요 셀 모듈 제조사 세계 최고수준의 양산효율 (셀 22%, 모듈 20% 이상) 달성 (19년 기준)

- 차세대 태양전지** 상용화를 위한 내구성 확보 및 대면적화 기술 확보 필요
- ※ 한화큐셀: 페로브스카이트 태양광 셀(탠덤 셀) 개발 시작(20) 및 향후 3년간 원천기술 확보 및 상업화 계획

- 도시형 태양광** 정부 주도의 보급정책을 통해 BIPV, 수상태양광 등 태양광 응용분야 산업 확대 중

기술개발 현황

산업 동향

1-2) 풍력

목표 풍력 대형화 선도기술 확보

| 핵심지표 |

▶ 풍력 발전기 용량

도전적인 목표로서, 현재 진행 중인
타당성 연구 결과를 통해 향후 조정 가능



• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 핵심부품의 높은 해외의존도* ② 세계적 대형화 추세** 및 부유식 시스템 확대 ③ 계통 한계*** 및 복잡지형으로 인한 고장률 증가 * 핵심부품 국산화율 60% 수준 ** GE(미국)는 2019년에 12 MW 터빈 출시 (현재 두산중공업은 '22년 8MW급 목표로 개발 중) *** 2020년 상반기 출력제한 횟수가 2019년 전체(46회)보다 증가, 생산전력 45% 손실	① 대형 블레이드 등 핵심부품 기술 자립 ② 대형 부유식 시스템 적기 상용화 ③ 계통 안정성 및 운전 신뢰성* 확보 추진 * 전력망 한계로 인한 감발운전 등 극복을 위한 출력예측·제어, 대응 기술 등 * 기술개발 단계에서부터 부품·발전기 관련 기업과 공동 개발을 통해 실증테스트 계획을 구체화하여 상용화 촉진	주민수용성 제고 방안 강구, 보급확대를 위한 인센티브 강화로 수요창출, 계통연계 확대·전력예측 시스템 구축 추진

풍력 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
풍력 핵심부품 효율향상	5.5 MW (블레이드 길이: 70m)	10~15 MW급 대형 블레이드 10 MW급 직접 구동형 발전기/전력변환기	시스템 실증 실증/사업화	사업화	('30) 15 MW급 핵심부품 실증/상용화(블레이드 100m 이상) ('40) 20 MW급 핵심부품 실증
풍력 발전기 대형화	발전용량 5.5 MW	고정식 풍력발전기 대형화	실증/사업화 부유식 풍력발전기 대형화	시스템 실증/사업화	('30) 15 MW급 고정식풍력 상용화 ('35) 15 MW급 부유식풍력 상용화 ('50) 20 MW급 부유식풍력 상용화
풍력단지 운전효율 향상	운전수명 20년	풍력단지 신뢰성 실증평가 기술 육/해상 출력 예측 및 활용 기술	사업화 실증/사업화		('30) 풍력발전단지 운전수명 25년 ('30) 출력 예측 정확도 95%

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기대효과

발전기 대형화, 운영 효율 향상 등 풍력기술 선진화로 풍력 발전량 증대 기여

※ 예) 5 MW급 발전기가 설치된 해상풍력단지(설비용량 3.9 GW)에
10 MW급 발전기 적용 시 총 설비용량 4.9 GW로 25% 증가

정책 동향

- 세 계** 2050 탄소중립 및 재생에너지 발전비중 확대에
풍력발전이 기여할 것으로 전망
- 중 국** 2020년까지 해상풍력 누적 설비용량 7.4 GW 달성
- 영 국** 2030년까지 40 GW의 해상풍력발전단지 건설 예정
- 미 국** 2026년까지 약 10 GW의 해상풍력발전단지 건설 예정
- 국 내** 재생에너지 3020 이행계획('17), 그린뉴딜('20)을
통해 해상풍력 중심의 풍력발전 보급 정책 시행
· 2030년 목표 달성을 위해 17 GW의 풍력발전단지 조성
(해상풍력이 14 GW)

시장현황 및 전망

- 세 계** 2020년 기준 글로벌 풍력 신규 설비용량은 93.0 GW으로
2019년 대비 53% 증가(GWEC 2021)
※ 신규 설치 용량 中 육상 86.9 GW, 해상 6.1 GW 설치(GWEC)
풍력시장은 FIT, 국가 및 주 단위의 재생에너지보급 목표 등
정부 지원으로 성장이 가속화될 것으로 전망
- 국 내** 서남해(2.4 GW), 신안(8.2 GW) 등에서 해상
풍력단지가 개발됨에 따라 시장 확대 전망
※ 누적 설비용량(GW):
('18) 1.30 → ('19) 1.42 → ('20) 1.58
※ 신규 설비용량(MW):
('17) 114 → ('18) 161 → ('19) 120 → ('20) 160

풍 력



부품

국내 공급망이 취약하여 단조 제품 위주의
개발과 생산이 이루어지고 있는 상황
· 기술적 진입장벽이 낮은 부품 위주의 기술개발 및
사업화 진행

시스템

육상 4 MW급이 개발되어 보급 중이고, 해상 8 MW
개발 중이나 선진국 대비 약 5년 정도의 기술격차 존재

시스템

국내 풍력발전기는 성능과 가격경쟁력에서 열위이나,
가격 저감을 위한 다양한 기술개발 추진 중
· 두산중공업, 유니스에서 8 MW, 10 MW 풍력발전기 개발 중

블레이드

노동집약형 생산 부품인 블레이드는 협소한 내수시장
규모로 인해 중국산 대비 가격 경쟁력 열위
· 국내는 설계 기술의 일부를 확보한 상태이며,
현재 두산의 8MW 블레이드는 독일 Windnovation에서
설계 진행

풍력단지

단지 O&M 기술 및 감발운전을 대응할 수 있는
기술개발 추진 중

기계, 부품

정부 주도의 국산화를 위한 많은 시도가 있었으나,
성공한 사례는 많지 않으므로 경쟁력을 갖춘 분야의
선택적 국산화 추진 필요

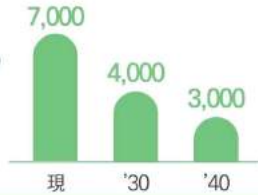
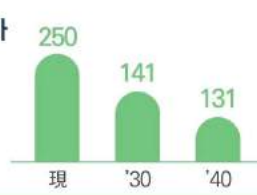
기술개발 현황

산업 동향

2) 수소

목표 수소경제 구현을 위한 수소 전주기 기술 확보

| 핵심지표 |

▶ 수소총전소
공급가(원/kg)▶ 수소 발전단가
(원/kWh)

• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 그린수소 생산단가 고비용 (13,000원/kg)* ② 대규모 수송·저장 애로** ③ 수소 활용분야 확대 전망*** * Nel(노), Asahi Kasei(일) 등은 대형 수전해 시스템 개발 등 그린수소 경제성 확보 추진 (‘50년 그린수소 생산단가 전망(\$/kg, BNEF) : 獨)0.99, 美)0.84, 韓)1.64) ** 수소경제 활성화 로드맵에 따르면 2030년부터 해외수소의 도입이 본격화 될 것으로 예상 *** 수소차, 선박 등 수소 모빌리티와 병원, 건물 등 분산발전원으로 확대	① 수소 저가·대량생산 기술 ② 장거리·대용량 수소 저장·운송 기술 개발 ③ 고효율·장수명 연료전지 발전 시스템 개발 • 출연연·대학중심으로 주기 핵심 원천기술* 개발 후 상용화를 위한 기업지원 강화*, 수소기술 선도국과 협력체계 구축 병행 * 수전해시스템 다양화, 저가·고효율 수소 저장·추출 기술, 안정적 수소 운송 기술 등 ** 국산기술 기반 시스템 조기 상용화를 위해 시스템 개발단계부터 기업 참여 확대	청정수소 생산·판매 활성화를 위한 지원정책과 함께 수소 저장·운송 및 발전을 위한 안전성 확보·검증 기반 강화 ※ 저장·운송의 경우 대규모 인프라 구축이 수반되므로, 기술 실증 前 경제성·환경성 분석을 수행해 국내 환경에 적합한 저장·운송 방법 선택

수소 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
수소 생산	[그린수소 생산단가] 13,000원/kg	중형 개질시스템 개발	CCS 연계 개질 시스템 및 실증	상용화 대용량 HESS/FZH 상용화(40) ◎ 100 MW급 상용화(40) ◎	· 수소 생산단가 (‘30) 3,500원/kg (‘40) 2,500원/kg
수소 저장·운송	[LOHC 수소 추출] 2 Nm³/h [수소 배관망] 200 km	액체수소/화학적(암모니아, LOHC 등) 수소 저장 기술 개발	● 해외협력 추진(26)	상용화	· 수소 추출효율 (‘28) 1,000 Nm³/h · 수소 운송 (‘40) 장거리 배관망 구축 및 수송선 상용화
수소 발전	[발전단가] 250원/kWh [가스터빈] 천연가스터빈 실증	연료전지 분산 발전시스템 개발	수소 및 암모니아 터빈 개발	양산 및 상용화 ◎ 열병합 효율 90% 이상(30)	· 발전단가 (‘30) 141원/kWh (‘40) 131원/kWh

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간 ◎ 상용화 시기 ● 해외 연계

기대효과

수소 생산 시스템 효율 향상 및 재생전력 기반의 수소생산 확대로 수소사회 구현 가시화

※ 예) 공급가격 저감으로 수소차 100 km 주행기준, 연료비용(휘발유→수소) 50% 이상 저감

정책 동향

세 계 탄소중립을 위한 핵심수단으로 수소의 필요성이 점차 확대되고 있고, 세계 각국은 수소경제 선점을 위해 수소 기술·산업을 집중 육성하고자 정책적 지원을 강화

미국 2050년까지 수소 수요를 연간 최대 4,100만 톤까지 확대함으로써 에너지 수요 14% 차지

독일 수소 시장 확대에 70억 유로, 수소 확보를 위한 글로벌 파트너십 구축에 20억 유로 투자
※ 2030년까지 5 GW의 그린수소 생산 설비 구축하여 연간 14 TWh의 수소를 공급

일본 '수소·연료전지 전략 로드맵'을 재개정('19)하여 수소 및 연료전지 시스템 등의 가격 저감 목표 및 이행방안을 제시
※ 수소 공급 가격('30년 336엔/kg, '50년 224엔/kg) 저감을 위한 수전해 시스템 저가화 등을 추진

국 내 세계 최고 수준의 기술력을 확보하여 수소경제 선도국으로 도약하고자 수소경제 활성화 로드맵('19) 및 수소 기술개발 로드맵('19) 수립

시장현황 및 전망

세 계 2050년 글로벌 수소 수요는 2020년 8,700만 톤에서 6배 증가한 5억 2,800만 톤에 달할 것으로 전망(IEA, '21)

※ (생산) ('20) 1,514억 달러 → ('24) 1,918억 달러(Koncept, '20)

※ (저장·운송) ('20) 141억 달러 → ('27) 186억 달러(Grandviewresearch, '20)

※ (발전) ('19) 2,685억 엔 → ('30) 49,581억 엔(후지경제, '21)

국 내 2040년 국내 수소 수요량은 526만 톤/년으로 CO₂-free 수소의 연간 수요량은 368만 톤으로 추정

※ (생산) 2020년 국내 수소 생산량은 198만 톤으로 대부분이 부생수소와 추출수소

※ (발전) 발전용 연료전지 설치현황: ('18) 307 MW → ('20) 620 MW → ('22F) 1 GW

수 소



생산 CCS를 연계한 블루수소 생산 시스템의 스케일업·실증과 함께 그린수소 생산 시스템 대용량화와 함께 저가 및 고효율을 위한 기술개발에 집중 투자

저장·운송 수소 액화 기술의 고효율화와 더불어 대형 액화수소 운송선 건조를 위한 연구와 암모니아·LOHC 등 액상수소화물 기반 수소 저장·추출 관련 기술개발·실증 연구를 활발히 추진

발전 친환경·고효율을 증시하는 시장 니즈에 따라 연료전지의 효율 및 내구성 향상, 원가절감 등을 위한 기술개발과 수소·암모니아를 연료로 사용하는 가스터빈 국산 기술 확보에 집중

생산 블루수소 생산의 기반이 되는 추출수소 시스템은 이미 상용화되었고, 유럽과 일본 등에서 수 MW급의 수전해 단일 스택 개발을 완료하여 수십 MW 규모의 수전해 시스템을 운영하고 있으며, 풍부한 재생에너지원을 활용해 수소를 생산·저장하는 P2G 프로젝트도 수행 중

저장·운송 유럽과 미국의 기업 주도로 대용량 액화수소 플랜트를 운영하고 있으며, 수소 공급망을 개발하고 있는 일본은 브루나이·호주·사우디와 협력하여 해외수소 도입을 위한 실증 연구 추진

· 국내는 SK E&S와 효성중공업 등이 해외와 협력해 액화수소 플랜트 건설 중

발전 연료전지와 가스터빈에 사용했던 연료를 화학연료에서 청정수소로 전환하기 위해 사업 확장 추진

기술개발 현황

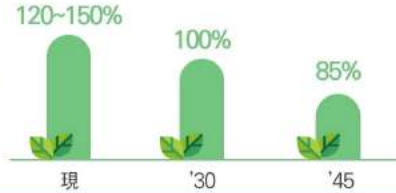
산업 동향

3) 바이오에너지

목표 바이오연료 선도기술 확보

| 핵심지표 |

▶ 바이오연료 가격경쟁력
(동종 화석연료 대비)



· 혁신전략 ·

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 경제성·활용수요 부족 ② 원료(바이오매스) 수급 한계 ※ 국내 바이오중유 연료 생산기술은 최고 수준(단식산업, JC케미칼 등)으로 평가되나 발전기, 선박용 엔진 및 산업용 보일러 등의 적용기술은 아직 미흡한 수준 ※ 수송용 바이오 경유-에탄올(GS-칼텍스, 단식 산업 등) 기술이 실증단계이나, 사업성 확보를 위해서는 발효당, 목질계 등 다양한 바이오매스 원료 생산·전환·활용 역량 필요	①② 전력 및 수송용 연료로 활용 확대를 위해 다양한 바이오에너지의 저비용·고효율·고품질화·대량생산 기술 개발 · 특히, 미활용 바이오매스* 활용 및 적용처 확대를 위해 기술개발에서 상용화까지 전주기적 민-관 협력 추진 * 농산(볏짚, 왕겨 등), 축산(가축의 분뇨 등), 임산(가죽, 잎 등 목재부산물), 도시폐기물(음식물 쓰레기, 하수 슬러지 등) 국내 미활용 바이오매스 다량 존재	바이오매스 생산·수송·활용을 위한 통합 관리체계 구축, 신재생에너지 보급 지원 제도* 개선을 통해 조기 확산 지원 * 바이오디젤 혼합비율 상향, 바이오연료(바이오선박유, 바이오항공유, 바이오에탄올 등)에 대한 기술기준 개발 및 활용방안 검토 등

바이오에너지 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
 전력/열 생산기술	고형연료/가스활용 2.9/0.43 TWh 전력생산	바이오 고형연료 기술/시스템	통합 시스템 실증	CCUS 연계(35) CCUS 연계(35) 해와수소 연계(40)	('30) 바이오 고형연료 활용 6.2 TWh 전력생산 ('45) 바이오가스 활용 1.5 TWh 전력생산
		바이오중유 공정 구축	사용화 및 이전확산		
		분산형 바이오가스 플랜트 구축		보급 확산	
 수송용 연료 생산 기술	동종 화석연료 대비 가격 120~150% 수준	바이오CNG고질화 및 바이오 LBM생산 공정 구축	상용화		('35) 바이오 CNG 고질화 비용 50% 절감 ('30) 바이오휘발유·기존 발효당 단계 대비 75% 절감 ('45) 바이오선박유/항공유· 연료품질기준 100%
		바이오용 발효당 생산 기술 개발/상용화	연료용 알코올 및 휘발유 생산 기술 개발/상용화		
		유지계원료 기반 바이오경유	유지계 Drop-in 바이오경유	해와수소 연계(40)	
		목질계 바이오경유 기술 개발	상용화 및 확산		
		바이오중유 선박유 실증	바이오경유/알코올/CNG 선박유 실증	상용화 및 확산 해와수소 연계(40)	
		저에너지 소모형 바이오 항공유 생산기술 개발		상용화 및 사업화	

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간 ▼ 타분야 기술연계

기대효과

신기술 기반의 바이오에너지를 활용한
무탄소·저탄소 전력 생산 및 수송용 연료 대체

정책 동향

세 계 유럽, 미국, 브라질 등 바이오매스가 풍부한 주요국은 재생연료 의무혼합제도 등 바이오연료 활용 촉진 정책을 운영하고 있으며, 도로수송 부문 뿐만 아니라 선박 및 항공 부문에서도 온실가스 배출규제가 강화됨에 따라 친환경 바이오연료 수요 증가 전망

유럽 지속가능한바이오연료를 활용한 전력/열 보급 기반 구축 및 수송부문의 탈탄소화를 위해 재생에너지지침 개정(EU-RED II, '18)

미국 바이오연료 의무 도입량 확대 및 비식용 바이오연료 이용 촉진 정책(RFS2) 운영

ICAO / IATA / IMO 항공 및 선박 부문의 온실가스 감축 비전 채택 및 규제 시행

국 내 바이오디젤 혼합비율 상향 조정(3.0% → 3.5%)을 통해 바이오연료 보급 확대 기반을 마련하였으며, 미활용/폐자원 바이오매스 에너지화, 바이오연료 적용처 확대 등을 위한 기술개발 지원 계획 수립

시장현황 및 전망

세 계 세계 각국의 재생연료 혼합의무화 제도 시행으로 수송연료 중심으로 바이오연료 시장이 형성되어, 시장규모는 약 1,756억 달러 수준으로 연평균 3% 이상의 성장률로 꾸준히 확대 전망

※ (바이오경유) 유럽을 중심으로 2019년 340억 달러에서 2025년 480억 달러 수준으로 성장 전망

국 내 바이오가스, 바이오중유, 바이오디젤이 상용 보급되고 있으며, 시장규모는 약 1.38조 원 수준으로 바이오디젤 혼합비율 상향조정, 항공유 부문 수요 증가로 국내 바이오연료 시장 규모는 꾸준히 유지될 전망

※ (바이오중유) 발전용으로 한정하여 사용 중인 바이오중유 시장은 2018년 기준 3,400억 원 수준

※ (바이오경유) 시장규모는 약 7,000억 원(60만 kl) 수준에서 2030년 1조 2,000억 원(100만 kl)으로 증가 전망

바이오에너지



전력/열 생산기술 저급/미활용 바이오매스나, 가용 잠재량이 풍부한 바이오매스의 청정연료화 기술 개발과 바이오연료의 적용처 확대를 위한 실증 연구 활발

수송용 연료 생산기술 지속가능한 바이오연료의 보급 확대를 위한 비식용 바이오매스 등 원료 다변화 연구개발과 차세대 바이오연료의 품질 향상, 적용성 검증, 경제성 확보를 위한 실증/상용화 연구 활발

● 저급 유지를 활용한 바이오경유(FAME) 및 바이오항공유(OTJ) 생산 기술의 경우 파일럿 실증 및 상용화 수준의 기술 확보

● Drop-in 바이오경유 등 차세대 바이오연료의 요소기술 및 양산기술, 공정단가 절감 기술, 바이오항공유/선박유의 기술개발 및 실증 연구가 추진 중이며, HVO, 바이오항공유 등은 선진국 대비 기술격차 존재

전력/열 생산기술 유럽을 중심으로 열병합발전소와 연계한 바이오가스 산업과 발전용 바이오중유 산업이 성장하는 추세이며, 국내는 바이오그린열 산업이 전력 및 열 수요 산업으로 확대되고 있고, 현재 발전용으로만 보급중인 바이오중유의 경우 적용처 확대 노력 중

※ 한국 세계 최초 발전용 바이오중유 상용화(전면보급) 성공('19)

수송용 연료 생산기술 2세대 바이오연료(HVO)가 상용화되어 시장 점유율을 확대하는 추세이며, 바이오매스의 지속가능성 기준 강화 차원에서 비식용 바이오매스 유래 차세대 바이오연료 생산 기술 및 저탄소 바이오항공유 기술 개발 활발

● 특히 유럽, 미국 등을 중심으로 차세대 바이오항공유 관련 기술 개발 협력 및 시범 운행 확대 추세

※ 핀란드 Neste Oil社, 세계 최초 Drop-in 바이오경유(HVO) 90만 톤/년 규모 생산플랜트 상용화

※ 미국 Boeing社, 페유 유래 HEFA 디젤(그린디젤) 15%를 혼합한 항공유로 시험비행 완료

기술개발 현황

산업 동향

4) 철강·시멘트

목표 철강·시멘트 산업 저탄소 전환기술 확보

| 핵심지표 |

▶ 수소환원제철 기술
연·원료대체율(수소)▶ 시멘트 석회석
대체가능율▶ 시멘트 순환연료
대체가능율

• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 철강·시멘트 부문 배출량 감축 시급* ② 철강산업 에너지 원단위효율 한계돌파** 를 위한 혁신기술 필요 * 2019년 국가 온실가스 배출량 철강 1.17억 톤(16.7%), 시멘트 3.9천만 톤(5.6%) ** 국내 철강 산업의 에너지 효율 추가 절감 가능성 : 중국·인도의 1/4, 유럽의 2/3(IEA)	① 철강·시멘트 분야 탄소 다배출공정 탈피 ② 연료·원료 대체 혁신기술 개발 • (장기 혁신기술) 수소환원제철 기술 개발과 (중단기 과제) 철강·시멘트 산업 저탄소 연료·원료 대체 기술 개발의 2-Track 추진 • 중장기 전략과 연계하여 2-Track 추진을 위해 그린수소, 바이오에너지 및 CCUS 등 관련기술의 활용·연계 추진	산업현장에 직접 적용하는 실증 인프라* 구축 및 실용화를 위한 규제개선, 인증제도 마련** 등 지원 추진 * 산학연 R&D 협업체계 및 테스트베드 실증 인프라 구축 ** 폐기물 활용 지원 정책, 혼합시멘트 혼합재 품질관리를 위한 표준화·인증 등

철강·시멘트 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
 저탄소/무탄소 그린 재철 기술	수소환원 제철연구 단계 (수소사용률 0%)	수소제철 신기술 및 저탄소 연·원료 대체 혁신기술 개발	실증	▼ CCUS 연계(40) ▼ 수소 연계(35)	('30) 수소환원제철 및 저탄소 고로 개발 ('40) 수소환원제철 수소사용률 100% ('50) 수소환원제철 기술적용 탄소중립
 탄소 저감형 친환경 시멘트 기술	석회석 대체 자원 전무 순환연료 대체율 24% 수소버너/적용전무	비탄산업 원료·혼합재 함량 증대기술 개발	상용화	▼ CCUS 연계(30)	('40) 석회석대체율 ≥8% ('40) 순환연료대체율 ≥65% ('50) 2 MW버너 개발·적용

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

▼ 타분야 기술연계

기대효과

친환경 원료·연료대체 및 공정 저탄소화로 철강·시멘트 산업 부문
'50년 탄소중립 달성 기여※ 예) 철강, 시멘트 탄소중립 혁신기술이 한창에 모두 적용될 경우 '40년 CO₂ 배출을 '19년 대비 20% 내외 감축 가능

정책 동향

- 세 계** 각국의 잇따른 탄소중립 선언과 탄소국경세 등 관련 제도 등으로 대표적 온실가스 다배출산업인 철강·시멘트의 산업 구조 고도화 및 친환경 신공정 R&D 확대 추진
- 독일** 연방교육부 친환경 철강생산을 위한 연구개발 사업 지원 및 독일시멘트협회 2050년 탄소감축 목표 설정
- 영국** 영국광물생산협회 2050년 감축 목표 설정
- 일본** 친환경 제철 공정 R&D를 지원하는 금속소재 산업경쟁력 강화 플랜 등 추진
- 국 내** 정부의 탄소중립 목표 설정, 철강 및 시멘트 업계의 탄소중립 공동선언문 서명·발표

시장현황 및 전망

- 세 계** 국가 기간산업으로 분류되는 철강·시멘트 산업은 산업성장 및 경제상황, 특히 개도국의 상황에 따라 수요 변동이 발생하는 분야이지만 생산량은 현 수준을 유지할 전망
- ※ 세계 철강 생산량: ('00) 8.5억 톤 → ('20) 18.8억 톤
- ※ 세계 시멘트 생산량: ('10) 32.8억 톤 → ('19) 41.0억 톤
* 최고 '14년 41.9억 톤 기록
- 국 내** 국가 제조업 내 큰 비중을 차지하는 철강·시멘트는 대표적 온실가스 다배출산업으로 탄소중립 목표달성을 위한 혁신 기술 필요
- ※ 철강 생산량: ('00) 4,310만 톤 → ('19) 7,141만 톤(세계 6위)
- ※ 철강 산업 생산액 99조 원(제조업 중 6.3%), 수출액 310억 달러(4.1%), 부가가치 23조 원(4.1%)
- ※ 시멘트 국내 수요('19): 4,948만 톤(최고 '97년 6,000만 톤)
- ※ 시멘트 수출('19): 650만 톤('11년 1,000만 톤 기록)

철강·시멘트



저탄소/무탄소 그린제철 기술

기존 고로 공정에서 사용하는 석탄 연료 대신 수소 연료를 사용하는 수소환원제철 기술 개발이 필요하며 상용화 기술은 장기적 연구개발이 요구되어 글로벌 철강사는 기존 직접환원철 기반의 기술을 추진 중이며, 수소환원제철 이외에 기존 공정(고로, 전로) CO₂ 저감 기술인 산소고로, 전로 스크랩 다량 사용 기술, 폐자원 활용 확대기술 등이 개발 중

저탄소/무탄소 그린제철 기술

선도국의 철강사는 탄소중립 기술개발을 위해 수소 제조, Green 전력, CO₂ 재활용 등 산업 전반의 범위에서 범협력 체계를 구축하고 기술 개발 전략 수립 및 추진 중이나 여전히 개발 진행도는 낮은 상황이며 상업화에 추가적 연구개발 필요

※ 포스코에서 보유하고 있는 FINEX 유동환원로를 이용한 수소환원제철 기술에 대해 기술적 차별화를 기반으로 조기 상용화 기술 개발 추진 필요하며 정부-기업의 범국가적 프로젝트 필요

탄소저감형 친환경시멘트 기술

시멘트 분야 미래 혁신기술로서 선진국을 중심으로 저탄소 배출, CO₂ 흡수 시멘트 콘크리트 기술에 대한 연구개발 및 투자 중

탄소저감형 친환경시멘트 기술

선도국의 시멘트사들은 온실가스 감축을 위해 다양한 방안을 도출·적용 중이며, 철강산업 및 수소산업 등과의 연계를 통한 온실가스 감축방안도 적극적으로 추진 중

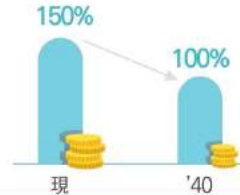
기술개발 현황

산업 동향

5) 석유화학

목표 저탄소 차세대 석유화학 기술 구현

| 핵심지표 |

▶ 탄소중립원료 제품 가격경쟁력
(동종 석유화학제품 대비)

• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 탄소중립 원료 이용공정의 기술신뢰성·경제성 부족* ② 운전최적화에 의한 효율 향상은 한계 도달** * 석유화학 원료와 공정 부문의 다양한 혁신 노력들이 동시에 진행되고 있으나 연구 단계이거나 소규모 적용 수준 (SK, LG, 롯데, 한화 등 주요 기업들이 탄소중립 노력 중) ** LG화학 나프타 분해-정제(NCC) 플랜트의 에너지효율은 세계 최고 수준에 도달	① 바이오매스, 순환자원 활용 석유화학 원료, 고부가 제품 제조기술 ② 공정 전기화(신재생 연계), 저에너지화 기술 개발 ■ 산업계 수요 기반으로 경제성 확보가 가능한 원료, 공정 우선 개발 ※ 석유화학 공정의 탄소저감 혁신기술은 현재 개념수준, 구현을 위한 중장기 소재개발 및 공정화 R&D 필요 → 정밀한 기술성, 환경성 평가를 통한 상용화 기간 단축 추진	탄소중립 제품·공정 조기 보급 및 활용 촉진을 위한 지원 제도*, 온실가스 감축효과 인증 기준 등 마련 * 금융 지원 등 인센티브 제도, 탄소중립 원료 이용제품 의무사용비율 규정 등

석유화학 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
 탄소중립 원료 활용	[바이오나일론] 現 석유화학제품 대비 가격 150% 이상	● 해외선도기술도입(26-) 해외수소 연계(40-) ▼ 바이오나프타생산기술 실증 바이오나일론/폴리에스터/폴리올레핀 가격경쟁력 확보 및 사업화			석유화학제품 대비 가격경쟁력 100% 확보 (25) 바이오나일론 (30) 바이오폴리에스터 (40) 바이오폴리올레핀
		◎ 기존 나프타 가열분해로 투입(26-)			
		페플라스틱 화학원료화 기술 개발 및 실증		사업화	
		◎ 해중합 플랫폼 실증 원료(25) ◎ 페플라스틱 활용플랫폼 실증 원료(30)		상용화	
		메탄직접전환/부생 CO전환 원천기술 개발 및 실증			
 공정탄소 저감	탄소저감 新 공정 개발 TRL 2~3	재생전력 대량공급 ▼ 전기가열 분해 및 전기화학적 합성공정 요소기술 개발 및 실증			(40) 재생E 연계 전기가열로 보급 및 기존 가열분해로 20% 대체
		상용화			
		에너지절약형 나프타 분해/신개념 COTC/저에너지 분리소재-공정 기술 개발 및 실증 상용화			

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간 ◎ 상용화 시기 ▼ 타분야 기술연계 ● 해외 연계

기대효과

탄소중립 원료·제품 생산 및 그린화 新공정 적용으로
석유화학 부문의 저탄소 산업 전환에 기여

정책 동향

세 계 탄소 고배출 산업인 석유화학 산업에 대한 탈탄소화 압력이 거세짐에 따라, 지속가능한 석유화학 산업으로의 전환을 가속화하기 위한 생태계 구축, 규제 도입 등 정책적 지원 강화 활발

EU 2021년 플라스틱세 시행, 2023년 탄소국경세 도입하여 순환경제사회로의 이행 추진

미국 탄소국경세 도입 선언 및 셰일가스 개발 제한 시도

중국 2060 탄소중립을 목표로 석유화학 업종 탄소배출량 정점 도달 실현 목표

국 내 석유화학 산업구조 저탄소화 및 신산업 육성을 위한 기술개발 지원 확대, 투자여건 개선, 민관협력 강화 추진

※ 민·관 소통창구 마련, 석유화학 탄소중립 시나리오 수립 등을 위해 석유화학 탄소제로위원회 출범(’21.2) 및 대규모 R&D 사업 기획 중

석유화학



탄소중립 원료 활용 납사에 의존적인 원료 구조를 바이오매스, 페플라스틱, 부생자원으로 대체하기 위한 연구개발 활발

● BASF, SABIC, 한화솔루션 등 페플라스틱 화학원료화 프로젝트 추진

● Natureworks, BASF, DOW 등 생분해성 플라스틱 원천/상용화 기술개발 추진

공정탄소 저감 운전 최적화에 의한 효율향상 및 탄소저감의 한계를 극복하기 위한 공정 전기화 및 신공정 도입 연구 본격화

● BASF, DOW, Shell 등 석유화학 핵심유닛 크래커 전기화 연구개발 착수

세 계 유가의 불확실성, 탄소배출 규제 등으로 인해 기업의 채산성이 악화되었으나, 일상생활 뿐만 아니라 에너지시스템 현대화에서도 석유화학 제품은 널리 활용되고 있어 석유화학 제품 시장은 성장세를 유지할 전망

● ※ 석유화학 제품 시장규모: (’21) 540조 원 → (’30) 약 870조 원 (Globenewswire.com, ’21)

국 내 에틸렌 생산능력 기준으로 세계 4위, 2020년 기준 28.7조 원(248억 달러)규모의 무역흑자 실현

세 계 ‘대량생산/선형경제’에서 ‘지속가능/순환경제’로의 패러다임 전환에 대응하기 위한 글로벌 석유화학업계의 생존 노력 가속화

● BASF ‘2050 탄소중립 넷제로 달성’ 선언

● 석유기업, 제품 수요기업 등 밸류체인 내 동종/이종업종간의 기술제휴, 공동투자를 통해 원료 다변화, 제품 포트폴리오 차별화 추진

국 내 국내 석유화학업계는 대내외적인 환경변화에 대응하고 미래 먹거리 창출을 위하여 자체적인 탄소중립 목표를 설정하고 탄소중립 성장 가속화

● LG화학 ‘2050 탄소중립 성장 선언’, 롯데케미칼 ‘2030 탄소중립성장’ 선언 등 RE100 추진, 설비/공정 개선, 친환경제품 개발 등의 분야에 투자 확대

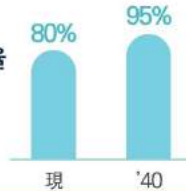
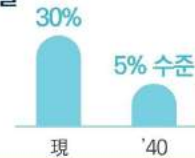
기술개발 현황

산업 동향

6) 산업공정 고도화

목표 산업 온실가스 제어 및 효율 극대화

| 핵심지표 |

▶ 반도체·디스플레이
공정가스 배출저감기술 효율▶ 산업공정 에너지효율
설계 오차

• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 공정가스 지구온난화지수(GWP)는 CO₂의 수 백~수 만배* ② 제조업 중심 경제구조, 산업공정 에너지효율 향상이 탄소중립에 필수** * 주요 공정가스 GWP100 (CO₂=1) : NF₃ 16,100, CF₄ 6,500, c-C₄F₈ 8,700, CHF₃ 11,700 ** 향후 20년간 에너지 관련 온실가스 감축의 40% 이상이 효율향상으로 감축(IEA, '20) ※ 재생에너지, 미래차 등 전력반도체 수요 증가 (19년 약 450억\$ → '23년 약 530억\$)로 반도체 산업 확장으로 인한 공정가스 배출량 증가 전망	① 고(高) GWP 공정가스 대체·제어·인종 기술 ② 산업효율 향상을 위한 스마트 그린 기기·공정·공장 고도화 기술 개발 추진 • (단기) 배출가스 저감효율 향상기술과 (중·장기) 신규 저(低)GWP 공정가스 개발의 2-Track 추진 • 실증 및 사업화를 위한 수요업체, 제조 업체와 기술전문가의 협업체계 및 테스트베드 인프라 구축 추진	개발된 대체·효율화 기술의 실제 산업 적용을 위한 공인인증체계 확립 등 현장 도입 유인책 강구

산업공정 고도화 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
반도체·디스플레이 그린공정 개발	저감효율 80%	배출제어시스템 고도화	시스템 실증·상용화		('40) 저감효율 ≥95%
	GWP요소 기술개발 중	친환경·폐가스 기술 확보	적용 및 양산 기술 개발		('40) 친환경가스 양산기술
	최고 대비 85% 수준	GWP 국가 인증체계개발	Global GWP 인증체계개발	GTP 측정기술개발	('30) GWP글로벌인증체계
		반도체·디스플레이 고효율·자전력 소재기술	반도체·디스플레이 고효율·자전력 제조기술	사업화	('30) 고효율 전력반도체 집적화·공정 기술 확보
산업기기·공정 효율화	에너지원단위 0.150 TOE/백만원	요소기술개발	핵심 소재 개발 및 기기 효율 향상	사업화	('40) 에너지원단위 0.119 TOE/백만원
	현장오차 30%	AI FEMS 및 공정설계 최적화 지원 에너지트윈 개발	실증		('30) IE5급 전동기 상용화
	효율개선 2~5%	스마트팩토리 센서·시스템 및 공장맞춤형 시스템개발	상용화		('30) 에너지트윈 현장오차<5%
					('30) 그린스마트팩토리 에너지절감율 10%

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기대효과

공정가스 배출 제어 및 친환경 공정 전환,
산업 기기·공정·공장의 에너지효율 극대화로 산업공정 저탄소화 실현

※ 예) '30년 친환경 대체가스 기술 확보로 고(高)GWP 온실가스 활용 공정에 GWP 1500이하 신규 공정가스 확보

정책 동향

시장현황 및 전망

세 계 주요국의 잇따른 탄소중립 선언에 따라 관련 정책 및 제도 마련 중

EU 2050 기후중립 목표 발표와 함께 탄소국경세 도입 추진 중 ('23년 시행 예정)

중국 '14차 5개년 계획('20.10)'에서 오염물질 배출저감 및 효율향상 등 6대 목표 발표

국 내 산업에서 배출되는 불소계 온실가스의 감축 목표 향상 및 산업부문 에너지 효율 향상 추진 중

• '반도체·디스플레이 탄소중립위원회' 출범 및 대표기업 4개사 '2050 반도체·디스플레이 탄소중립 공동선언문' 선언

• 선진국형 고효율·저소비로 전환을 목표로한 제3차 에너지기본계획('19.6), 에너지효율 혁신전략('19.8) 및 제6차 에너지이용 합리화 기본계획('20.8) 발표

반도체·디스플레이
그린공정개발

친환경차 보급 확대 및 신재생에너지 활용
요구 증대에 따른 전력 반도체 수요 확대,
OLED 비중 확대 등으로 지속적인 시장 성장과
스크러버 시장의 동반 성장 전망

반도체 공정 및 전력기기 시장은 GWP가 낮은 신규
온실가스를 이용한 친환경 기술개발이 활발하며
추후 관련 시장 지속 확대 전망

※ 반도체공정 Low-GWP 신규 온실가스 사용량 전망:
('20) 0 ton/yr → ('30) 1,300 ton/yr

산업기기
공정 효율화

산업부문 온실가스 감축 효과를 위해 IoT 및
AI기술이 결합된 고효율·지능화 산업기기, FEMS,
그린 스마트팩토리 등 산업기기·공정 효율향상
확대 추진

10만 TOE이상의 에너지 다소비 기업의 FEMS 설치 의무화
시행('25년)에 따라 FEMS 시장 지속 확대 전망

산업공정 고도화



반도체·디스플레이
그린공정개발

온실가스와 NO_x를 동시에 저감할 수 있는
처리기술과 Low-GWP 소재 개발에 초점

• 제품 성능의 고도화, 정밀화에 따라 공정가스 사용량과
종류가 다양해져 배출가스 제어기술의 고효율 및 소형화
장비에 대한 연구 진행 중

• Low-GWP 대체소재는 3M, Honeywell 등 글로벌
불소화학 기업 중심으로 개발·제조·판매 되고 있어
해외의존도가 매우 높고 선제적 특허출원으로 기술
장벽이 매우 높은 실정

산업기기
공정 효율화

혁신적 온실가스 감축을 위해 에너지 다소비 공정·
공장 중심으로 효율향상 기술 개발 중

• 고온(200℃급) 히트펌프, IE5급 차세대 전동기,
IoT 기반 공정 효율 최적화 등

반도체·디스플레이
그린공정개발

온실가스와 NO_x를 동시에 저감할 수 있는
처리기술과 Low-GWP 소재 개발 절실

• 공정가스 배출제어는 초기 선도국의 기술을 수입 했었으나,
국내 전자산업의 발전에 따라 내수시장의 대부분을 국내
중소기업이 주도 중

• 온실가스 검증·인증 측정과 관련하여 신규 개발 온실가스의
GWP값 측정을 위한 인증기관 전무

산업기기
공정 효율화

에너지 다소비 공정을 중심으로 선도국과 기술격차를
좁히기 위해 노력 중이며 다양한 효율 향상 시도들이
시장에 반영되는 중

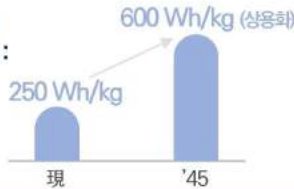
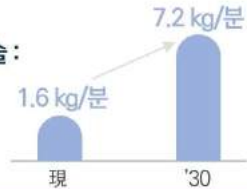
기술개발 현황

산업 동향

7) 수송효율

목표 탄소 배출 없는 차세대 모빌리티 확보

| 핵심지표 |

▶ 차세대전지
에너지 밀도 :▶ 수소
고속충전기술 :

• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 전기차 성능 경쟁 심화* ② 산업차량, 철도, 선박 등 수소 활용 확대** 필요성 증대 * 기존기술 한계를 극복하는 차세대 전지 확보, 충전 편의성 증대를 위한 기술경쟁 치열 (일본 Toyota, 미국 Solid Power, 독일 Volkswagen, 한국 삼성, 현대차 등이 전고체전지 시장선점 경쟁) ** 국내 차량의 4.5%인 중·대형상용차, 대형 트럭이 수소부문 배출량의 22.5% 차지 ※ 자율주행차군집주행으로 15.9% 연료 절감 및 2~5% CO ₂ 저감 효과 확인(日)	① 차세대 배터리 · 충전기술 조기 상용화 ② 연료전지 고내구 · 고효율화 기술개발 추진 · 차세대 기술의 수요 맞춤형 개발 · 상용화를 목표로 완성차 기업과 공동연구를 추진 (충전기술 등 인프라 개발 및 표준화인증 등 병행)	안전기준 마련, 충전소 입지 개선 등 차량 보급속도에 비해 더딘 인프라 구축 가속화 ※ 전기차 충전기 의무설치 건물('22년 기준으로 신축건물 5%, 기존건물 2%) 단계적확대, 수소충전소의 입지 규제 완화 등 검토

수송효율 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
전기 모빌리티 	[시스템 에너지밀도] 250 Wh/kg	차세대전지(금속공기 등) 시스템 개발 ◎전고체전지 개발 완료('26)		상용화	('45) 차세대전지 에너지밀도 600 Wh/kg
	[무선충전] 6.6 kW	대용량 충전 기술 개발		상용화 ◎고속 충전 시간 8분 달성('30)	('45) 무선충전 용량 ≥500 kW
수소 모빌리티 	[상용차] 내구 16만 km	상용 및 철도용 시스템 개발		상용화	('30) 상용차 내구 80만 km
	[설비 국산화] 40%	선박 및 항공용 시스템 개발		상용화	('35) 철도/선박 상용화
		충전/병커링 기술 개발 및 실증 수소 기저재 국산화율 100% 및 고속 충전기술 확보('30) ◎		상용화	('40) 병커링 상용화
지능형 모빌리티 	[자율차/선박] 레벨2/레벨1	C-ITS-자율차 협력 주행/자율운행선박 기술개발		상용화	('50) 자율차 레벨5/자율운행선박 레벨4

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

◎ 상용화 시기

친환경 모빌리티 성능 향상으로 보급 확대를 견인

※ 예) (전기차) 주행거리 향상(406 km → 975 km)으로 서울-부산 충전 없이 왕복 가능
 (수소차) 고속 충전기술(1.6→7.2 kg/분) 확보로 충전시간(넥스 기준) 5분→1분 미만으로 단축

기대효과

정책 동향

- 세 계** 수송 분야의 온실가스 배출 저감 및 탄소중립을 실질적으로 구현하는데 기여할 수 있는 방안으로 친환경차로의 전환을 가속화하기 위한 연비표준, 구매보조금 등의 지원정책을 강화
- 미국** 2025년까지 10개 주에서 ZEV 330만 대 누적 보급 및 연방과 주정부에서 친환경차 대상으로 세액공제, 구매보조금 등을 지원
- 독일** 2030년까지 BEV-FCEV 누적 보급 대수 700~1,000만 대 및 구매보조금 상향(BEV-FCEV 5~6,000 유로, '20.6) 등 추진
- 중국** 2025년까지 신에너지자동차(BEV, PHEV, FCEV) 비중 20% 목표 설정 및 수소차 산업 발전을 위해 지원제도 개편
- 국 내** 제4차 친환경자동차 기본계획('21.2)을 통해 2030년 수송 부문 온실가스 배출량 24% 감축 및 2030년 친환경차 785만 대* 판매 추진
- * 목표 판매량(누적): 전기차 300만 대, 수소차 85만 대, 하이브리드차 400만 대

수송효율



- 전기 모빌리티** 기존 리튬이온전지의 한계를 극복하기 위한 차세대 전지시스템 확보 및 충전 시간 단축을 위한 급속 및 무선충전 기술을 확보하기 위한 R&D 중점 추진
- 수소 모빌리티** 수소전기차의 연료전지 시스템을 기반으로 한 대용량 및 장거리 주행에 적합한 상용차/철도/선박 연료전지 시스템 개발과 함께 수소충전인프라의 국산화 및 고도화 기술 개발 중
- 자율형 모빌리티** 자율주행차 및 자율운항 선박의 안전한 주행과 ICT 인프라와 연계하기 위한 혁신기술개발 수행 중

시장현황 및 전망

- 세 계** 글로벌 친환경차 판매량은 2019년 약 435만 대로 최근 4년간 연평균 21%의 성장률을 기록 (제4차 친환경자동차 기본계획, '21)
- ※ 전기차: ('20) 212만 대 → ('25) 1,068만 대 → ('30) 2,815만 대
→ ('40) 6,600만 대(BloombergNEF, '21)
- ※ 수소차: ('20) 8,339대 → ('25) 2.5만 대 → ('30) 5.4만 대
→ ('40) 221만 대(BloombergNEF, '21)
- 국 내** 공공기관 친환경차 구매(임차) 의무 강화, 전기-수소차 충전을 위한 인프라 구축이 확대됨에 따라 전기 및 수소차 보급이 확대될 것으로 전망
- ※ 전기차(누적): ('20) 13.5만 대 → ('25) 113만 대
→ ('30) 300만 대
- ※ 수소차(누적): ('20) 1.1만 대 → ('25) 20만 대 → ('30) 85만 대

기술개발 현황

산업 동향

8) 건물효율

목표 탄소중립 건물 구현 기술 기반 구축

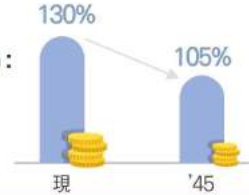
| 핵심지표 |

▶ 건물 에너지 효율 ('30):



30% 향상 기술 확보

▶ 제로에너지 건축비(리모델링 대비):



• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 제로에너지건물 의무화 추진 ② ICT기반 건물 에너지 최적운영 서비스 시장 확대* ③ 단위기술의 통합·연계 미흡 * 구글, 아마존 등의 플랫폼 기업은 ICT 기술을 바탕으로 건물운영 기술 시장 점유율 확대 ※ 국내 ICT 기반 건물에너지 효율화 시장은 글로벌 다국적 기업이 60~70%의 시장을 점유 중이나 SKT, KT 등의 통신기업의 기술 개발 및 투자로 시장점유율 확대 중	① 제로에너지건물 경제성 확보를 위한 외피성능 향상 ②③ 차세대 냉난방 등 단위기술 고효율화 및 ICT융합기술 개발 - 출연연 중심의 단위기술 연계 및 통합 플랫폼 개발·실증을 추진하고, 기업 협력을 통한 통합기술 비즈니스 모델 구축 ※ 기존 단위건물의 에너지 소비효율향상 한계를 극복할 수 있는 ICT 기반의 혁신적인 시스템 융합 및 운영 핵심 기술 확보	노후 건축물* 효율향상을 위한 금융지원 등 제도적 지원 방안 검토, 건물 효율 관련 공공데이터 활용체계 마련 * 건물분야의 국가 온실가스 저감을 위해서는 전국 건축물의 약 38% (274만동)를 차지하고 있는 노후 건축물의 성능개선이 중요

건물효율 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
 건물적용 단위기술	기존 건축물 에너지제로화 비용: 기존 리모델링 비용 대비 130%	냉난방/설비·기기 고효율화 고성능 외피 및 부하저감 요소기술	시스템 적용 실증 Net-Zero 건물 최적화	상용화 실증 사업화	('45) 기존 리모델링 비용 대비 105% 이내
 운영 및 융합기술	TRL 3	자율운영형 xEMS(Level 3) 개발 커뮤니티 기반 신재생 연계 에너지시스템 통합 플랫폼 구축	실증 디지털화 (분산자원관리) ▼	상용화 비즈니스모델 확보	('35) 에너지 시스템 통합 플랫폼 구축(TRL 7)

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간 ▼ 타분야 기술연계

기대효과

단위설비기술 고효율화 및 에너지사용·운영 최적화 적용으로 건물 에너지소비 대폭 절감

※ 예시) 개발된 혁신기술이 건물에 모두 적용되었다고 이상적으로 가정시
 '40년경에는 '19년 건물부문 에너지 소비량의 약 40%를 절감 가능

정책 동향

세 계 건물 부문은 주요 에너지소비 부문으로 주요국에서는 건물부문의 효율향상 및 온실가스 배출량 감소를 위한 도전적인 목표를 수립하고 정책적 지원 강화

EU

2019년부터 공공, 2021년부터 민간 신축 건축물의 Nearly Zero Energy Building 의무화 명시

독일

2030년까지 건물부문의 온실가스 배출량 67% 감축(1990년 대비), 2050년까지 건물분야의 탄소중립 실현 목표

일본

제로에너지빌딩 기술 실증 및 대중화 촉진을 위해 다양한 형태의 보조금을 지급

미국

DOE가 운영하는 건물에너지 정보 플랫폼(SEED)를 통해 건물에너지 성능 정보 수집·저장·분석

국 내 제로에너지건축물 인증제 시행('17.1) 및 녹색건축법 개정('19.4)으로 제로에너지건축물 의무화 근거규정 마련 및 단계적' 의무화 추진 중

* 2020년 모든 공공기관(연면적 1,000㎡ 이상),
2023년 공공기관(연면적 500㎡ 이상),
2025년 민간부문으로 확대

건물효율



국가주도의 기술개발 프로그램* 및 기업주도의 실증을 통해 건물 및 커뮤니티 규모에서의 에너지 효율향상 및 온실가스 저감을 위한 차세대기술개발수행 중

* 미국 DOE는 ARPA-E 및 EERE 프로그램을 통해 건물에너지효율 향상을 위한 기술개발을 추진하고 있으며, 유럽은 Horizon 2020을 통해 건물에너지성능 향상 및 스마트화 기술 개발에 중점 투자

제로 에너지 건물

제로에너지 건물 구현을 위한 핵심기술로 신재생에너지-설비시스템, 외파-신재생에너지 간 융복합 기술 등 개발 및 실증 중

BEMS

글로벌 기업(Siemens, Honeywell 등)은 자사 시스템에 의해 관리되는 전 세계 건물의 에너지 정보를 수집하고 분석하여 운영방안을 제공하는 BEMS 기술 개발 추진 중

기술개발 현황

시장현황 및 전망

세 계 건물에너지효율에 대한 투자는 2017년 1,400억 달러, 2025년 2,200억 달러, 2040년 3,600억 달러에 달할 것으로 전망

2018년 에너지효율 투자 규모는 2,400억 달러로 특히 건물부문에 1,390억 달러가 투자되어 가장 높은 비중(58%) 점유

※ (제로에너지건물) 2018년 약 9억 달러에서 2024년 21억 달러로 증가하여 연평균 15.6% 성장 예상

※ (BEMS) 세계 BEMS 시장의 매출은 2017년 40억 달러에서 2026년 131억 달러로 증가 전망

국 내 국내 건물에너지효율 시장은 2017년 3.3조 원에서 2026년 5.28조 원으로 연평균 5.2% 성장 전망

※ (제로에너지건물) 2030년까지 제로에너지건축물 단계적 의무화 시행으로 2014년 8.6조 원에서 2024년 20조 원까지 확대 전망

친환경 건축물

각국의 온실가스 감축 목표 및 건축물 친환경 정책 트렌드에 따라 제로에너지건축물 시장 및 관련분야 산업 급성장 중

※ 친환경건축물 시장에서 HVAC, 스마트 조명, 빌딩 시스템 관련 부문 시장이 전체 시장의 약 80%를 차지

ICT 기반 운영기술

글로벌 선도 다국적 기업이 기술 개발을 주도 주도하고 있으며, 최근 구글, 아마존 등의 플랫폼 기업들이 빅데이터와 인공지능 기술을 바탕으로 기술 혁신과 시장 점유율 확대 추진

※ (세계) Google은 빅데이터, 클라우드, 인공지능을 적용한 빌딩 공조제어 개발, 상용화 추진 중이며 ABB, 네덜란드 헤이그 대학 등이 참여하여 나노그리드 기술을 적용한 스마트빌딩을 설계 건설

※ (국내) Siemens, Honeywell 등 글로벌 다국적 기업들이 국내 시장을 점유 중이며, SKT, KT 등의 통신 기업과 고유 기술을 보유한 중소기업 중심의 기술 개발 및 투자를 통해 시장 점유율 확대 추진 중

산업 동향

9) 디지털화

목표 디지털화 → 디지털 기반 에너지효율 최적화

| 핵심지표 |



▶ 데이터센터 전력 소모 :
('30) 20% 이상 저감



▶ 계통 운영시스템 적용 :
('40) AI 기반 차세대 계통 운영시스템 적용

· 혁신전략 ·

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① ICT기술확산에 따른 전력소비 증가* ② 에너지데이터 활용 필요성 ③ 분산전원 확대**에 따른 전력 안정성·품질 문제 부상 * 전세계 전력 소비 중 ICT 분야 비중 (Nature, '18) : 11%('19) → 21%('30) ** 2020년 68.9 TWh(총 발전량의 11.9%) → 2034년 132.2 TWh(총 발전량의 20.9%) ※ 에너지 공급자뿐 아니라 Google, Apple 등 IT기업과 Verizon, KT, SKT, LG U+, 한전 등 기업들이 에너지 플랫폼 구축 및 데이터센터 지능형 운영을 통한 전력효율 개선 추진	① ICT디바이스·인프라 고효율화 ② 에너지 데이터 집적·활용 기술 ③ 차세대 전력망 및 대용량 에너지저장 기술 개발 추진 · 산학연 협력연구 및 배전인프라를 통한 성능검증 및 실증, 에너지저장시스템의 전주기 기술확보 (소재부품-시스템 통합)	차세대전력망 운영기술 국제표준화 추진, 분산전원 출력변동성 완화, 자율제어 등 연계기술기준 마련, 변전소 등 인프라 보강 · 에너지 데이터의 신뢰성·보안성 확보 및 데이터를 공동 활용할 수 있는 개방형 빅데이터 서비스 체계 마련 ※ 단위규모(가정, 빌딩, 공장 등)별로 에너지절약을 위한 데이터 관리는 이루어지고 있으나 해당 데이터의 공유를 통한 플랫폼 형태의 서비스 제공은 미흡

디지털화 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
ICT 기기 및 인프라 효율화	PUE: (민간) 2.03 (공공) 3.13	고효율 ICT장치·AIoT 개발	기저국 효율화 ◎기술 실증 및 상용화	사업화	('45) 자율형 PUE 관리 (민간) 1.5(공공) 2.3
에너지 데이터 활용	적용 도메인별 AI 알고리즘 적용 단계	데이터 협업분석 플랫폼 구축	에너지 통합 수급관리 실증	디지털 트윈-AI협력 에너지 서비스 플랫폼 기술	('30) 에너지 원간·산업간 정보 연계, 데이터유통
분산자원 관리	TRL 3~4	동기/비동기 협조운영 및 AI 기반 분산전원 최적운영	실증	사업화	('45) AI 기반 분산전원 최적 관리시스템 실증
차세대 전력망	TRL 5	MVDC 요소기기 개발 및 실증선로 구축	운영	AI 기반 EMS 계통운영	('35) 전고체전지 ESS 탑재 및 운용
		자가고안전 ESS	상용화	차세대 ESS용 전지개발	('40) AI 기반 자율운전 배전운영시스템

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간 ◎ 상용화 시기

기대효과

AI, 빅데이터 등 디지털화 혁신기술의 쏠분야 적용으로 에너지소비 절감 기대

※ 예) 데이터센터 효율화 기술 적용으로 '19년 5.27 TWh의 20%인 1.05 TWh 절감 가능

정책 동향

세 계 에너지 효율화 및 재생에너지 확대정책 대응을 위해 ICT 기반 차세대 인프라 구축을 포함한 에너지 운영·관리 고도화 추진

독일

에너지전환 디지털법(GDEW)에 따라 스마트미터링의 확산과 축전을 위해 일정규모 이상 전력 소비자 및 생산자에게 스마트미터링 의무화 시행

일본

에너지효율 향상을 위해 IoT·AI·빅데이터의 활용 확대와 다양한 산업과의 연계 강화 추진

호주

분산자원 통합운영, 스마트 인버터 도입 등 인프라 선진화, 제도 개선 등을 목표로 하는 분산에너지 DER 로드맵 수립

국 내 한국판 뉴딜 추진으로 경제 전반의 디지털 혁신을 위해 D.N.A.(Data-Network-AI) 생태계 강화, 교통·수자원·도시·물류 등 기반시설의 디지털화 및 에너지 관리 효율화 지능형 스마트그리드 구축 추진

시장현황 및 전망

세 계 ICBM(IoT, Cloud, Big Data, Mobile) 확대, 인공지능(AI), 4차 산업혁명 도래로 다량의 데이터 발생·유통

※ 전 세계 전력 소비 중 ICT 분야 비중(Nature, '18) : 11%(19) → 21%(30)

■ 상업용 데이터센터 관련 세계 시장 규모는 19년 405억 달러에서 '25년 2,085억 달러까지 증가할 전망

※ 대규모 ICT 기업들은 데이터센터 및 기업 운영에 필요한 전력을 신재생에너지로 조달하고자 노력(구글(10 TWh 중 100%), 애플(1.3 TWh 중 100%), 페이스북(3.2 TWh 중 75%))

■ 스마트그리드 글로벌 시장은 2027년 1,060억 달러 규모가 될 것을 전망하며 연평균 20.8% 성장할 것으로 예상

국 내 약 58개 주요 민간 데이터센터의 연간 전력사용량은 2019년 기준 약 5,272 GWh로 추정되어 2019년 국내 연간 전력생산량의 약 0.9%에 차지

디지털화



IoT

기업을 중심으로 IoT 자체 플랫폼을 개발하고 타 플랫폼과 연계하여 다양한 서비스 제공

데이터 센터

AI 기술을 접목한 데이터센터 내 ICT 서비스 운용, 냉각, 공조의 소비전력 절감, 관리 최적화 등을 통한 PUE(Power Usage Effectiveness)감축 노력
※ (구글) 알파고 AI 활용 데이터센터의 냉각시스템 지능형 운영을 통해 40% 냉각비용 절감

에너지 Data 활용

에너지 데이터 허브 활용을 위한 IT 인프라 운영 및 에너지 데이터 플랫폼 개발 추진 중

분산 자원관리

태양광, 풍력 중심으로 시스템 연계 및 전력계통의 신뢰성과 안정도 제고를 위한 기술개발 추진 중

차세대 전력망

전 세계적으로 계통 유연성 향상 기술, 신 배전 기술 등의 개발과 DC 인프라 적용을 위한 실증연구 추진 중

IoT

사물인터넷과 에너지산업의 융합으로 다양한 응용서비스 분야에서 새로운 사업기회와 부가가치 창출

데이터 센터

ISO/IEC JTC 1/SC 39에서는 Sustainability, IT and data centers를 목표로 국제표준화 진행

에너지 Data 활용

에너지 공급자뿐만 아니라 Google, Apple 등 IT기업과 Verizon, KT, LG U+ 등 다양한 기업들이 에너지 플랫폼 구축 중

분산 자원관리

국내의 경우 2014년부터 수요자원 거래시장 개설되어 운영되고 있으며, 2019년에는 소규모 전력중개시장이 개설되어 혼합형 VPP를 구축하기 위한 제반 마련 중

차세대 전력망

국내에는 HVDC 및 LVDC 기술개발을 기반으로 MVDC에 대한 핵심제품 및 기자재 개발이 이루어지고 있으며, 관련 연구 및 시장형성에 적극적인 노력 중

기술개발 현황

산업 동향

10) CCUS

목표 CCUS 상용화 기술 확보

| 핵심지표 |

▶ CO₂ 상용급 포집
가격경쟁력▶ CO₂ 전환 제품
가격경쟁력
(기존 시장가 대비)

• 혁신전략 •

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 고비용 및 상용화 불확실성* ② 국내저장소 미확보 및 낮은 사회적 수용성 ③ 민간투자 유인책 부족 * 미국, 노르웨이 등에서 원유생산 시 CO ₂ 주입을 통해 원유회수율을 증진하여 경제성을 확보하는 기술을 상용화하였으나, 순수한 CCUS기술은 상용화 가능성 불확실	① 혁신소재 개발, 효율향상, 대형화로 비용 저감 ② 국내 환경(배출원, 저장소, 시장수요) 기반 실증연구를 통한 검증·안전성 확보 • 포집-저장 연계 기술개발을 통한 대규모 CO ₂ 처리, 수확장출 가능한 포집-활용 제품화 가속을 위한 산·학·연 공동개발 방식 추진	CCS 사회적 수용성 확보 CO ₂ 이송·저장·활용 관련법령 정비, 국가 관리·평가 체계 구축 및 민간 확산을 위한 인센티브 도입

CCUS 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
포집	포집비용 \$60~70/톤	연소배가스 포집 중·대규모 실증		CCS사업 추진	포집 비용 저감
		산업공정 및 기타포집 기술 개발		대규모 실증 및 상용화	('30) \$30/톤 (50) \$20/톤
		◎ 일부기술상용화			
저장	100 톤 시험 주입	저장소 확보 및 중·대규모 실증		상용화	('30) 잠재용량 확보 (50) 대규모 저장
활용	파일럿 실증	연료·화학제품 핵심 기술개발 및 공정최적화		상용화 확대	기술 상용화
		◎ 일부기술상용화			
		광물탄산화 제품 실증 기술 개발	상용화		('25) 기술경쟁력 확보 (선진국 대비 90%)
		차세대 탄소소재와 핵심 기술 개발		상용화	('40) 가격경쟁력 확보 (옛 시장가 대비 100%)

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간 ◎ 상용화 시기

기대효과

'50년 연간 일정규모 이상의 CO₂ 저장* 및 약 5조원 규모의 CCU 신산업** 창출 기대

* 국산 포집기술 비용혁신과 상용화 및 적극적인 국내·외 해양저장소 확보를 통한 CCS사업 확대시

** 경제적인 CCU 신기술 도입을 통해 '17년 생산량 및 가격 기준, CCU 기반 주요 제품이 석유화학제품(경유, 플라스틱 등) 10% 대체시

정책 동향

세 계 주요국은 CCUS 대규모 실증과 상용화 확대를 위해 법·제도·재정 지원 방안을 마련하여 관련 시장과 산업을 육성 중

미국 「45Q Tax Credit」 정책으로 포집·처리된 CO₂당 최대 50달러 세액공제 혜택 제공

호주 「기후변화대응 저탄소 기술로드맵(20)」 수립, 정부가 집중 투자할 우선순위 기술에 CCS 포함

중국 「CCUS 기술발전로드맵(19)」 수립을 통해 2050년까지 단계별 중장기 목표 및 발전방향 제시

일본 CO₂ 포집 및 활용 활성화를 위한 「탄소 재활용 로드맵(19)」 수립

국 내 「제3차 녹색성장 5개년 계획(19)」을 수립하여 「CCUS 원천 및 실증기술 확보」 계획을 마련하고, 「탄소중립기술혁신로드맵(21)」 및 「CCU 기술혁신 로드맵(21)」 발표를 통해 관련 R&D 추진기반 마련

CCUS

CO₂

포집 미국, 캐나다, 노르웨이 등에서 포집된 CO₂와 EOR(Enhanced Oil Recovery)을 연계하여 수백만 톤/년 이상의 포집 기술을 개발 중이며, 국내 포집 기술은 선진국 대비 70~90% 수준

저장 대규모 저장의 경우 수용성 확보를 위해 해양 지중저장이 활발하게 추진되고 있으며, 노르웨이와 호주는 세계 최대 규모의 해양 CCS 프로젝트를 운영
※ 국내는 저장기술 자립화 및 중규모 해상 저장 실증 연구를 추진 중으로, 포항 영일만 해상에 100톤 규모 시험주입 성공

활용 전세계적으로 CO₂ 활용기술 개발연구가 확대되고 있으며, 건축소재 및 메탄올, 폴리우레탄 등의 화학제품 생산 등 일부 기술은 상용화 단계에 진입
※ 국내는 화학·생물전환, 광물화 기술 개발을 통하여 연료, 화학제품, 건축소재 등을 핵심 소재 및 공정 요소기술을 확보하고 있으며, 파일럿 규모의 실증 연구단계 추진 중

세 계 CCUS 기술은 전 세계적으로 시장이 형성되기 시작하는 단계로, 배출권 시장 확대 등으로 인하여 향후 큰 폭으로 성장 가능할 것으로 전망

※ 현재 글로벌 CCUS 시장은 2020년 27억 달러 규모에서 연평균 성장률 4.6%로 2025년 33억 달러 전망

국 내 현재 관련 시장은 미형성 단계이나, 탄소중립 선언에 따른 CCUS 기술수요 및 기업 관심도 증대로 시장 형성 가능성 향상

※ CCUS 국내 시장은 연평균 7.6% 수준으로 전망

포집 전 세계적으로 석탄화력, 시멘트, 철강, 석유화학 산업에서 CO₂ 포집 실증 진행 중

저장 2017년 이후 상업적 CCS 프로젝트는 저장용량과 사업 수가 지속적으로 증가하고 있으며, 2020년 전 세계 상업규모 CCS 사업은 28개 사업에서 연간 저장용량 40백만 톤(Mtpa)규모로 운영 중

※ 저장용량 : (19) 37백만 톤/년 → (20) 40백만 톤/년

※ 총 사업수* : (19) 51개 → (20) 65개

* 운영, 건설, 설계, 계획 중 사업 포함

활용 전세계적으로 정부·민간 주도의 다양한 CCU 프로젝트 추진 중

기술개발 현황

산업 동향

2050 탄소중립 미래상

바이오에너지

수송용바이오연료
(바이오항공유 등)



전기차 충전소

철강시멘트

그린철강

석유화학

바이오 석유화학

CCUS

해양 연계 CCS
/ 산업연계 CCU

풍력

해상풍력 인공섬

수소

해외수소수입



산업공정 고도화

공장에너지관리시스템(FEMS)

태양광

도시형태양광

건물효율

제로에너지하우스

디지털화

데이터센터

태양광

태양광발전소

수송효율

전기차+충전소 / 수소차+충전소 / 수소철도

수소차 충전소

수소

그린수소생산(수전해)



| 탄소중립 기술혁신 추진전략 |

총괄위원회				
소속		직위	성명	
민간위원장	한국에너지기술연구원		원장	김 종 남
자문위원	한화에너지		상무	김 동 준
	김앤장 환경에너지연구소		연구소장	김 성 우
	LG전자		연구위원	김 화 년
	부경대학교		교수	남 광 희
	KT		센터장	배 송 식
	한양대학교		교수	원 장 목
	고려대학교		교수	이 관 영
	서울대학교		교수	이 동 근
	(주)미코		연구소장	최 성 호
총괄분과장	한국에너지기술연구원		실장	박 민 희
기술분과 위원장	태양광·풍력	한국에너지기술연구원	단장	윤 재 호
	수소		본부장	양 태 현
	바이오에너지	한양대학교	교수	상 병 인
	철강·시멘트	연세대학교	교수	손 일
	석유화학	서강대학교	교수	나 정 결
	산업공정 고도화	한국표준과학연구원	연구소장	강 상 우
	수송효율	한국선급	센터장	천 강 우
	건물효율	한국에너지기술연구원	본부장	정 학 근
	디지털화	한국전자통신연구원	단장	이 일 우
	CCUS	한국화학연구원	실장	최 지 나

| 탄소중립 기술혁신 추진전략 |

전문분과위원회

분야	소속		직위	성명
태양광· 풍력	분과장	한국에너지기술연구원	단장	윤 재 호
	간사	한국에너지기술연구원	책임연구원	이 정 인
	녹색에너지연구원		실장	정 득 영
	고려대학교		교수	이 해 석
	신성이엔지		이사	이 은 주
	한화솔루션		팀장	김 기 홍
	한국과학기술원		교수	서 장 원
	한국에너지기술연구원		책임연구원	김 석 우
	광운대학교		교수	송 승 호
	인하대학교		교수	정 준 모
	유니슨		연구소장	방 조 혁
	한국선금		책임연구원	이 상 래
수소	분과장	한국에너지기술연구원	본부장	양 태 현
	간사	한국에너지기술연구원	연구원	김 혜 진
	경일대학교		교수	박 진 남
	한국에너지기술연구원		책임연구원	정 성 욱
	포항공과대학교		교수	윤 창 원
	(주)헥사		대표이사	강 대 임
	(주)두산퓨얼셀		상무	문 상 진
바이오 에너지	분과장	한양대학교	교수	상 병 인
	간사	한국연구재단	연구원	문 경 은
	공주대학교		교수	오 세 천
	한국해양과학기술원		책임연구원	강 성 균
	한국에너지기술연구원		센터장	이 진 석
	(주)바이오테크서비스		이사	방 기 연
	슈가엔		대표	오 경 근

| 탄소중립 기술혁신 추진전략 |

전문분과위원회

분야	소속		직위	성명
철강· 시멘트	분과장	연세대학교	교수	손 일
	간사	한국에너지기술연구원	기술원	정 혜 림
	아주대학교		교수	박 은 덕
	한국세라믹기술원		수석연구원	추 용 식
	한국에너지기술연구원		실장	곽 영 태
	아세아시멘트		이사	강 봉 희
	현대제철		책임	조 종 오
	쌍용C&E		팀장	임 채 용
	포스코		수석	손 상 한
	컴버stek		대표이사	류 인
석유 화학	분과장	서강대학교	교수	나 정 결
	간사	한국연구재단	연구원	문 경 은
	한국화학연구원		본부장	황 영 규
	한국과학기술연구원		책임연구원	엄 영 순
	LG화학		책임	강 무 성
	롯데케미칼		파트장	민 형 기
	SK이노베이션		수석	박 재 연
산업 공정 고도화	분과장	한국표준과학연구원	연구소장	강 상 우
	간사	한국에너지기술연구원	기술원	정 혜 림
	한국에너지기술연구원		단장	문 승 현
	한국전자통신연구원		실장	손 지 연
	삼성전자		그룹장	김 경 아
	SK머티리얼즈		수석	곽 정 훈
	주식회사 뉴텍		연구소장	이 승 현
	인천테크노파크		선임연구원	김 정 식
CCUS	분과장	한국화학연구원	실장	최 지 나
	간사	한국화학연구원	선임연구원	안 진 주
	공주대학교		교수	권 이 균
	경북대학교		교수	이 수 출
	한국에너지기술연구원		책임연구원	류 호 정
	한국해양과학기술원		책임연구원	이 상 훈
	한국남동발전		부장	정 동 진

| 탄소중립 기술혁신 추진전략 |

전문분과위원회

분야	소속		직위	성명
수송 효율	분과장	한국선급	센터장	천 강 우
	간사	한국에너지기술연구원	연구원	김 혜 진
	인천대학교		교수	허 진
	한양대학교		정교수	엄 석 기
	한국전자통신연구원		실장	민 경 욱
	한국철도기술연구원		책임연구원	이 강 원
	한국가스공사		수석연구원	이 영 철
	(주)EPM		전무	이 현 동
건물 효율	분과장	한국에너지기술연구원	본부장	정 학 근
	간사	한국에너지기술연구원	선임연구원	배 치 혜
	고려대학교		교수	조 충 호
	금오공과대학교		교수	류 성 룡
	한국건설기술연구원		수석연구원	김 유 민
	한국에너지공단		실장	최 재 동
	(주)나라컨트롤		이사	김 진
디지털화	분과장	한국전자통신연구원	단장	이 일 우
	간사	한국에너지기술연구원	선임연구원	배 치 혜
	이화여자대학교		교수	허 진
	한국전기연구원		본부장	이 정 호
	한국과학기술연구원		책임연구원	조 원 일
	한국에너지기술연구원		책임연구원	채 수 용
	한국데이터센터연합회		전무	채 효 근
	한전 전력연구원		실장	김 주 용

| 탄소중립 기술혁신 추진전략 | 10대 핵심기술 개발 방향

발 행 일	2021년 9월
발 행 인	김 종 남
발 행 처	한국에너지기술연구원
주 소	(34129) 대전시 유성구 가정로 152
디 자 인	레드포인트
인 쇄	신광사
본 보고서는 www.ctpp.re.kr 에서도 보실 수 있습니다. 무단 전재 및 복사를 금합니다.	

