

제184회 한림원탁토론회

탄소중립 2050 구현을 위한 과학기술 도전 및 제언

일시 : 2021년 4월 7일(수), 15:00

(한국과학기술한림원 유튜브 채널에서 실시간 생중계)



초대의 말씀

지구 온난화로 인해 폭염과 폭설, 해수면 상승과 거대 태풍 등 이상기후 현상이 세계 곳곳에서 나타나고 있습니다. 이에 국제사회는 2015년 신기후체제 출범에 관한 ‘파리협정’을 채택하였으며, 2018년에는 유엔(UN) 산하 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)는 2050년까지 지구의 이산화탄소 순배출량을 제로(0)로 만들기 위한 탄소중립을 달성해야 한다는 국제사회의 공동 목표를 제시한 바 있습니다.

우리나라도 이에 발맞춰 ‘지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략’을 바탕으로 2050년 ‘Net-Zero’사회 구축을 이루겠다는 비전 아래 범부처적으로 추진 방향과 부문별 전략을 준비 중에 있습니다. 특히 미국 바이든 정부에서 중점적으로 내세우고 있는 에너지와 환경 정책은 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 관련 산업의 구조 개편과 관련 기술개발 등에 큰 영향력을 주게 될 것으로 예상됨에 따라 우리 과학기술계의 역할이 더욱 중요해지는 시기라 할 수 있습니다.

이에 한국과학기술한림원은 관련 분야 전문가분들을 모시고 에너지와 환경 관련 국내외 동향과 정책 시나리오를 분석하고 탄소중립 구현을 위해 해결해야 할 핵심과제로서 과학기술 이슈와 연구개발 정책 방향을 토론하는 자리를 만들고자 합니다. 바쁘시더라도 많은 관심과 참여 부탁드립니다.

2021년 4월

한국과학기술한림원 원장

한림원탁토론회는 국가 과학기술의 장기적인 비전과 발전전략을 마련하고 국가사회 현안문제에 대한 과학기술적 접근 및 해결방안을 도출하기 위해 개최되고 있습니다.

제184회 한림원탁토론회 탄소중립 2050 구현을 위한 과학기술 도전 및 제언
PROGRAM

사회: **홍순형** 한국과학기술한림원 기획정책담당 부원장

시간	구분	내용
15:00~15:05 (5분)	개 회	개 회 사: 한민구 한국과학기술한림원 원장
15:05~15:25 (20분)	주제발표 1	탄소중립 시대를 위한 과학기술 이슈 및 도전 박진호 영남대학교 화학공학부 교수
15:25~15:45 (20분)	주제발표 2	탄소중립을 위한 에너지 분야의 과학기술적 과제 정병기 녹색기술센터(GTC) 소장
15:45~16:05 (20분)	주제발표 3	탄소중립 2050 국가환경 정책의 과제 윤제용 한국환경정책평가연구원 원장
16:05~16:30 (25분)	지정 토론 좌 장	홍순형 한국과학기술한림원 기획정책담당 부원장
	토론자	학 계 선양국 한양대학교 에너지공학과 교수
		하경자 부산대학교 대기환경과학과 교수
		연 구 계 이창근 한국에너지기술연구원 부원장
		산 업 계 노기수 LG화학 사장
		정 부 김성수 과학기술정보통신부 연구개발투자심의국장
16:30~17:00 (30분)	종합토론	
17:00	폐 회	

※ 본 토론회에서 논의된 내용은 한국과학기술한림원의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

사회자 및 발표자 약력

사회 및 좌장



홍순형

한국과학기술한림원 기획정책담당 부원장

- KAIST 신소재공학과 교수
- 前 한국연구재단 기초연구본부장
- 前 지식경제 R&D 전략기획단 MD

주제발표



박진호

영남대학교 화학공학부 교수

- 한국에너지학회 회장
- 前 세계공학한림원 평의회 에너지위원회 위원장
- 前 산업통상자원 R&D 전략기획단 에너지산업 MD



정병기

녹색기술센터(GTC) 소장

- 국가기후환경회의 전문위원
- 前 한국과학기술연구원 연구기획조정본부장
- 前 나노기술연구협의회 부회장



윤제용

한국환경정책평가연구원 원장

- 유네스코 물 안보 국제연구교육센터 이사
- (사)한국물포럼 이사
- 前 환경연구기관장협의회 회장

패널 약력

토론자



선양국

한양대학교 에너지공학과 교수

- 미국 전기화학회 정회원
- 한양배터리센터 센터장
- 前 삼성종합기술원 수석연구원



하경자

부산대학교 대기환경과학과 교수

- IBS 기후물리연구단 교수
- 부산대 기후과학연구소 소장
- 한국기상학회 수석부회장



이창근

한국에너지기술연구원 부원장

- 한국신재생에너지학회 수석부회장
- 前 한국에너지기술연구원 기후변화연구본부장
- 前 CSLF(탄소회수저장리더십포럼) 한국기술그룹대표



노기수

LG화학 사장

- 前 LG화학 CTO
- 前 LG화학 재료사업부문장
- 일본 미쓰이(Mitsui)화학 수석연구원



김성수

과학기술정보통신부 연구개발투자심의국장

- 前 원자력안전위원회 기획조정관
- 前 과학기술정보통신부 과학기술정책과장
- 前 과학기술정보통신부 성과평가정책과장

I

주제발표

주제발표 1 탄소중립 시대를 위한 과학기술 이슈 및 도전

- 박진호 영남대학교 화학공학부 교수

주제발표 2 탄소중립을 위한 에너지 분야의 과학기술적 과제

- 정병기 녹색기술센터(GTC) 소장

주제발표 3 탄소중립 2050 국가환경 정책의 과제

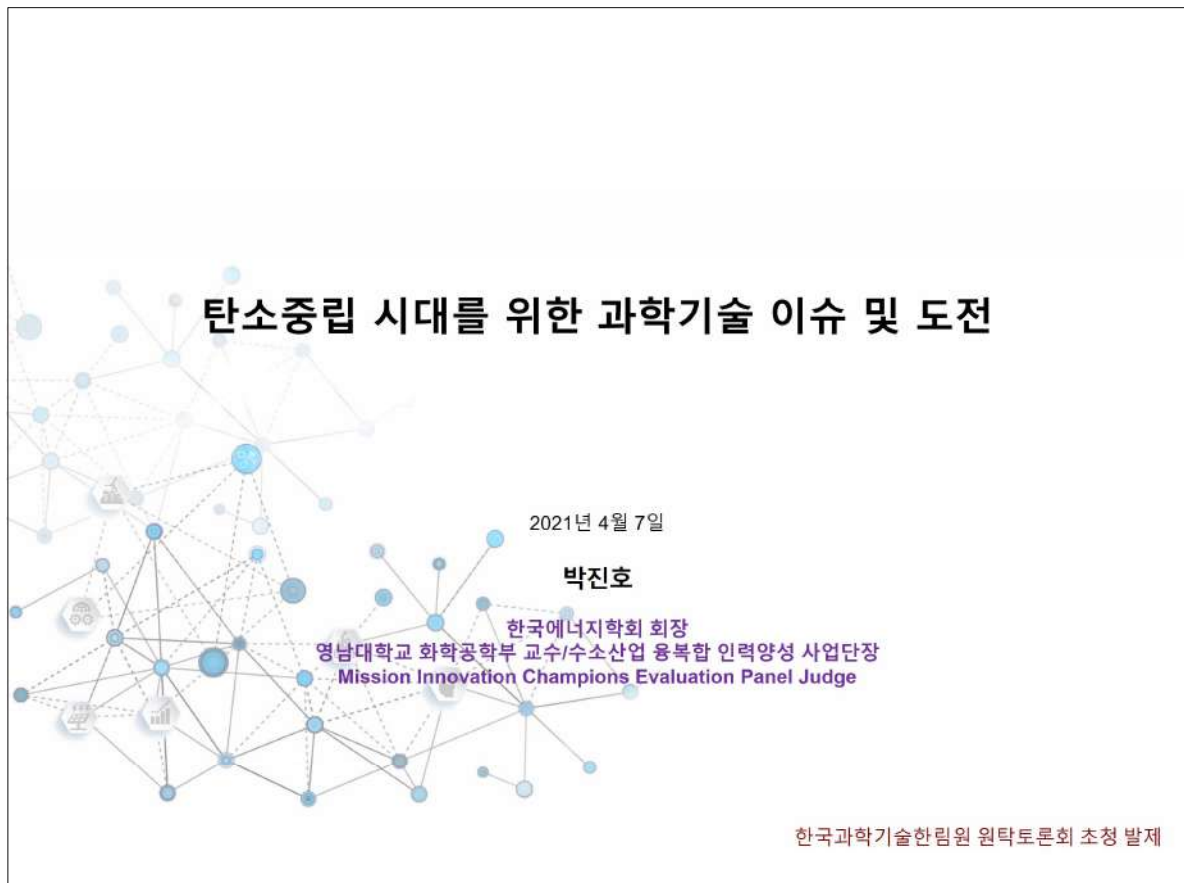
- 윤제용 한국환경정책평가연구원 원장

주제발표 1

탄소중립 시대를 위한 과학기술 이슈 및 도전

박진호

영남대학교 화학공학부 교수



목차

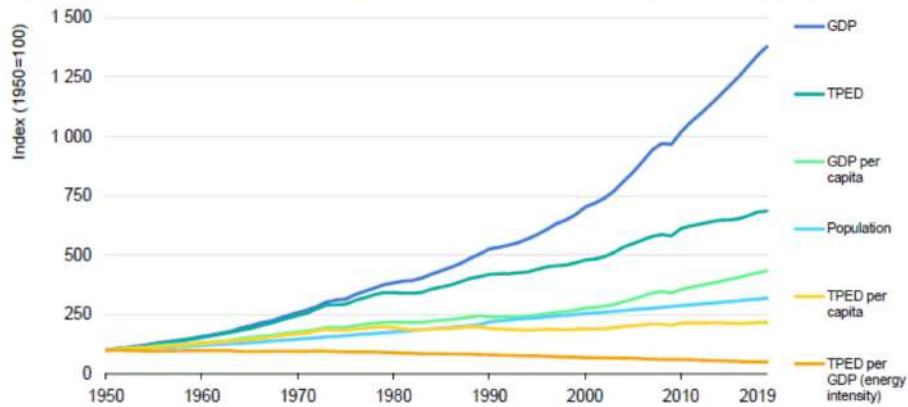
1. 글로벌 에너지 시장 동향과 온실가스 배출 현황
2. 탄소중립의 의의와 국제사회의 움직임
3. 탄소중립과 관련한 과학기술 이슈와 도전

Part 1. 글로벌 에너지 시장 동향과 온실가스 배출 현황

글로벌 에너지시장 동향

- Energy demand has historically been driven by GDP and population, reaching a sevenfold increase from 1950.
- World energy consumption is expected to increase nearly 50% between 2018 and 2050 in the reference case — with almost all of the increase occurring in non-OECD countries.

Figure 1.1 Global total primary energy demand, population and GDP, 1950-2019



Note: TPED = total primary energy demand.

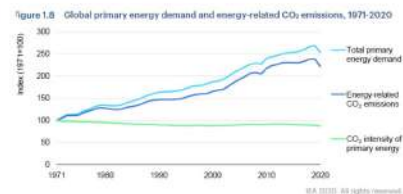
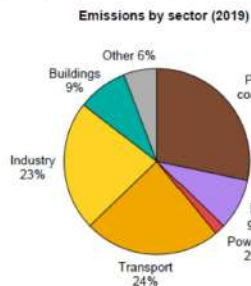
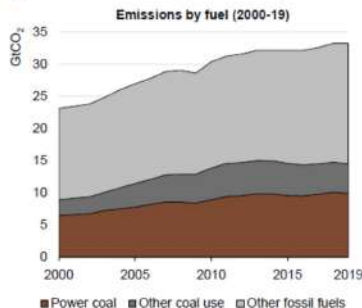
*Source: Energy Technology Perspectives 2020, IEA

4

에너지소비와 온실가스

- 에너지(특히 화석) 소비가 증가함에 따라 에너지 관련 온실가스 배출량도 같이 증가
- 석탄이 집중 사용되는 전력생산부문이 총 온실가스배출량의 약 40% 차지(그 다음 교통, 산업, 건물)
- Covid-19로 인해 2020년에 가장 큰 폭의 온실가스 감소가 예상되며 전년대비 8% 정도 하락 전망
- 2050 탄소중립을 위해서는 매년 7-8% 이상의 배출량 감소가 지속적으로 이루어져야 함

Figure 1.9 Global energy-related CO₂ emissions by fuel (left) and sector (right), 2000-19



IEA 2020. All rights reserved.

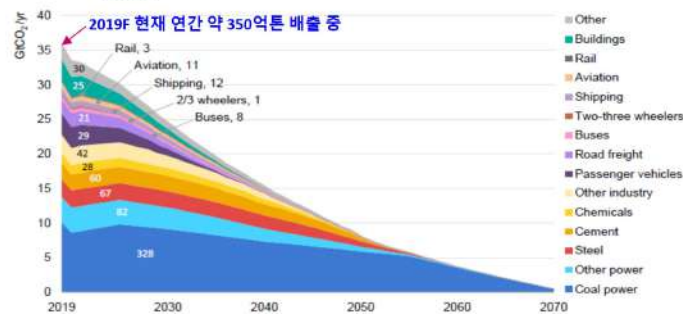
*Source: Energy Technology Perspectives 2020, IEA

5

부문별 온실가스 현황과 전망

- 기존 시설의 수명 등을 고려할 때 향후 50년간 세계 온실가스 누적량은 최대 750 GtCO₂에 이를 전망
- 이 누적 방출량은 **전력부문 (55%), 중공업부문 (26%), 수송부문 (11%), 건물부문 (3%)** 등으로 예상
- 향후 인구와 소득에 있어 OECD/non-OECD 국가 공히 모두 증가할 것으로 예상되나, 에너지원단위와 탄소원단위는 지속적으로 감소할 것으로 전망(**한국의 GDP순위: 세계 14위, 이산화탄소배출순위: 7위**)
- 기후변화 대응과 탄소중립의 달성에 있어 **기존 시설들을 어떻게 할 것인가?**에 대한 대책 마련 필요

Figure 1.11 Global CO₂ emissions from existing energy infrastructure by sub-sector, 2019-70



IEA 2020. All rights reserved.

Notes: Includes assets under construction in 2019, the base year of this analysis. Numeric area labels on the graph denote cumulative emissions quantities by sub-sector in GtCO₂. Analysis includes industrial process emissions, and emissions are accounted for on a direct basis. Annual operating hours over the remaining lifetime are based on the level in 2019.

*Source: Energy Technology Perspectives 2020, IEA

Part 2. 탄소중립의 의의와 국제사회의 움직임

탄소중립(Carbon Neutral)이란?

The “safe levels” of CO₂ (350 ppm) was surpassed back in 1987.



Carbon Neutral : if the amount of CO₂ emissions you put into the atmosphere is the same as the amount of CO₂ emissions you remove from the atmosphere.

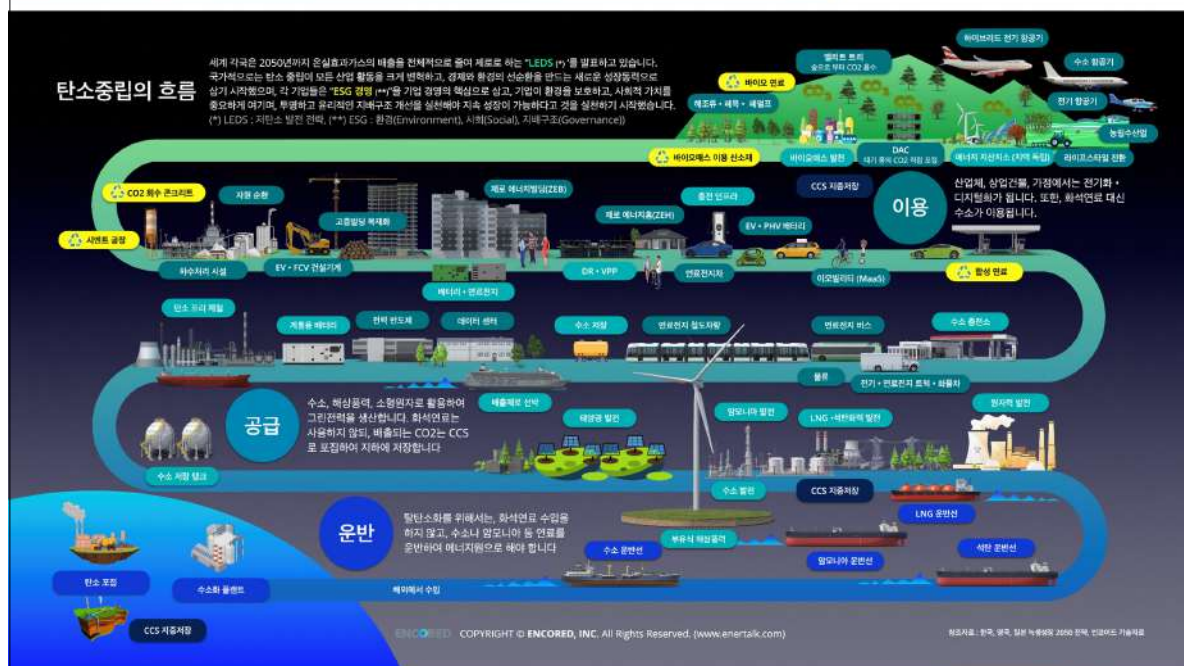
It is broadly the same as “Net Zero” or “Net Zero Emissions.”

Other Keywords : carbon negative, zero emissions, low carbon/low emissions
carbon positive/climate positive

탄소중립의 흐름

탄소중립의 흐름

세계 각국은 2050년까지 온실효과가스의 배출을 전체적으로 줄여 제로로 하는 “LEDS (L)”을 발표하고 있습니다. 국가적으로는 탄소 중립에 모든 산업 활동을 크게 변화하고, 경제와 환경의 선순환을 만드는 새로운 성장동력으로 삼기 시작했으며, 각 기업들은 “ESG 경영 (E)”을 기업 경영의 핵심으로 삼고, 기업이 환경을 보호하고, 사회적 가치를 중요하게 여기며, 투명하고 윤리적인 지배구조 개선을 실현해야 지속 성장할 수 있다고 것을 실천하기 시작했습니다. (*1) LEDS : 저탄소 발전 전략, (*2) ESG : 환경(Environment), 사회(Social), 지배구조(Governance)



*LEDS: Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies (장기저탄소발전전략)

*ESG: Environment, Social, Governance

*출처: 최중웅, 인코어드(2021)

탄소중립(Carbon Neutral) 산업



10

기후변화대응을 위한 국제사회의 노력

*UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

**COP: Conference of the Parties

- 1992년 유엔기후변화협약 채택(1994년 발효)**
1992년 환경개발회의(UNCED)에서 시범을 시작, 행평성, 공통의 그러나 차별화된 책임과 개발 국가 선진국과 개발도상국에 대한 종류의 기후변화 대응
※ 2006년 5월 현재, 196개국과 유럽연합(EU)이 당사국. 우리나라는 1992년 가입
- 1997년 (COP3) 교토의정서 채택(2005년 발효)**
기후변화협약을 구체적으로 이행하기 위하여 제3차 교토의정서는 제1차 공약기간인 2008년에서 2012년까지 온실가스 배출량을 1990년도 수준에 비하여 평균 5.2% 감축하도록 규정하고 있다.
※ 2006년 5월 현재, 191개국과 유럽연합(EU)이 당사국. 우리나라는 2002년 비준
- 2007년 (COP13) 발리행동계획 채택**
제13차 당사국총회는 발리행동계획을 채택하여 교토의정서 제1차 공약기간 이후에 적용될 협의를 채택하기 위한 Post-2012 협상을 시작하였다.
- 2009년 (COP15) 코펜하겐 총회에서 post-2012 협상 결렬**
Post-2012 협상 시한이었던 2009년 제15차 당사국총회에서 국가 간의 의견 차이와 협상 과정상 문제로 협상이 결렬되어 기후체제에 위기를 초래하였다.
- 2011년 (COP17) 더반 총회에서 교토의정서 공약기간 연장, 신기후체제 수립을 위한 Post-2020 협상 개시**
제17차 당사국총회는 교토의정서 제2차 공약기간을 2013년부터 2020년까지 정하였으며, 2015년 제21차 당사국총회를 협상 시한으로 설정하고 신기후체제를 위한 Post-2020 협상을 시작하였다.
※ 교토의정서 제2차 공약기간을 규정된 도해개정안은 2006년 5월현재도 발효되지 않음
- 2015년 (COP21) 신 기후체제의 기반이 되는 파리협정 채택**



◆ 신 기후체제(new climate regime)

기후체제에서 '체제'는 '국제체제(international regime)'를 의미한다. 국제체제는 '국제관계의 특정 영역에서 행위자들의 기대가 모여 만들어진 원칙(principles)·규범(norms)·규칙(rules)과 의사결정과정(decision-making procedures)의 집합'이다. 보다 넓게 해석하면 행위자들도 포함된다.

그렇다면 기후체제는 '기후변화에 대응하기 위하여 국제사회가 필요하다고 생각하는 규범적 규칙(normative rules)과 이를 결정하여 이행·강제하고 발전시키는 기관(institutions), 그리고 그 과정에서 사용되는 절차상의 수단(procedural tools)'이라고 볼 수 있을 것이다.

교토의정서에 기반한 기후체제를 '교토(의정서) 체제'라고 하였다. 파리협정이 발효되면 그에 기반한 기후체제가 시작되는데, 이를 교토의정서 체제와는 다른 새로운 기후체제라는 의미로 '신 기후체제'라고 부른다.

INDC 설정에 의한 자발적 의무감축

출처: 교토의정서 이후 신기후체제 파리협정 길라잡이, 환경부(2016.05)

11

Mission Innovation

클린에너지장관회의(CEM)와 연계하여 활동

Mission Innovation (MI) is a global initiative of 24 countries and the European Commission (on behalf of the European Union) working to reinvigorate and accelerate global clean energy innovation with the objective to make clean energy widely affordable. MI was announced at COP21 on November 30, 2015, as world leaders came together in Paris to commit to ambitious efforts to combat climate change.

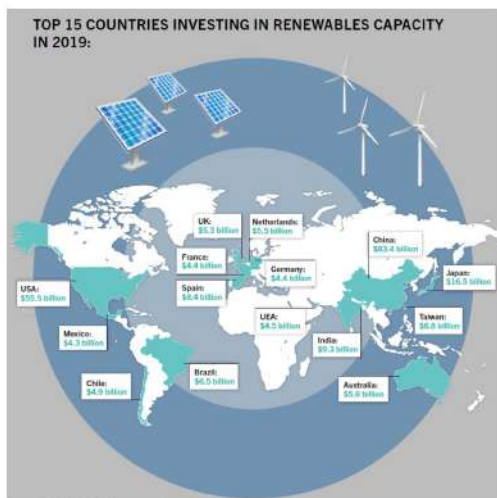
As part of the launch statement, members committed to:

1. Seek to double their governmental and/or state-directed clean energy research, development and demonstration (RD&D) investments over five years.
2. Work closely with the private sector as it increases its investment in the earlier-stage clean energy companies that emerge from government programs.
3. Build and improve technology innovation roadmaps and other tools to help in our innovation efforts, to understand where RD&D is already happening, and to identify gaps and opportunities for new kinds of innovation.
4. Provide, on an annual basis, transparent, easily accessible information on their respective clean energy RD&D efforts.



OECD 중심의 에너지 전환 가속화

에너지 패권은 자원보유국 주도에서 기술보유국 주도로 이동?



*Source: FS-UNEP Collaborating Center, Global Trends in Renewable Energy Investment 2020

IN 2019 AGAIN, RENEWABLES DWARFED CONVENTIONAL GENERATION SOURCES IN TERMS OF BOTH CAPACITY ADDITIONS AND INVESTMENT.

Nearly 78% of the net new generating capacity added (globally) in 2019 was in wind, solar, biomass and waste, geothermal and small hydro.

New capacity investment in renewables in 2019 excluding large hydro was three times that in coal, gas and nuclear.

- OECD 국가 및 신흥경제국 중심으로 에너지전환 급속도로 진행
- 청정에너지·에너지효율 분야가 새로운 일자리 창출의 보고로 등극

재생에너지의 가격 급락과 보급 확대 추세 - 경제·산업 측면과 주민 수용성?

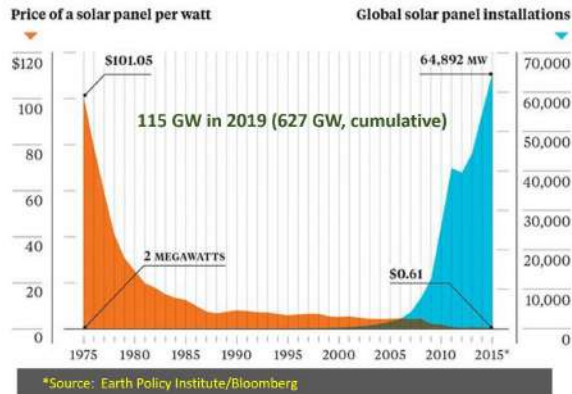
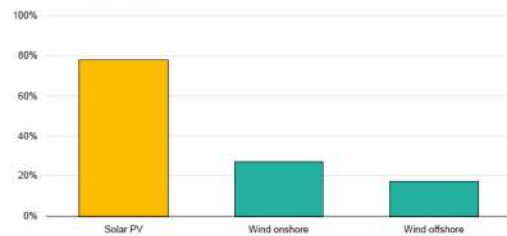
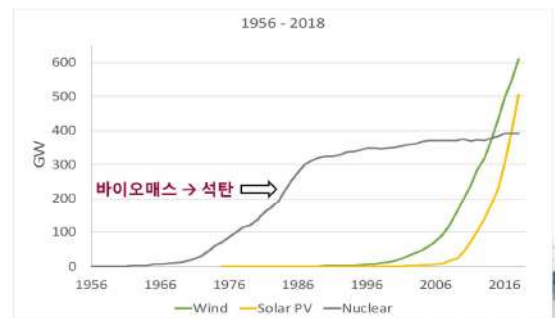


Figure 1.5 Reduction in capital cost since 2010 for PV and wind power generation technologies



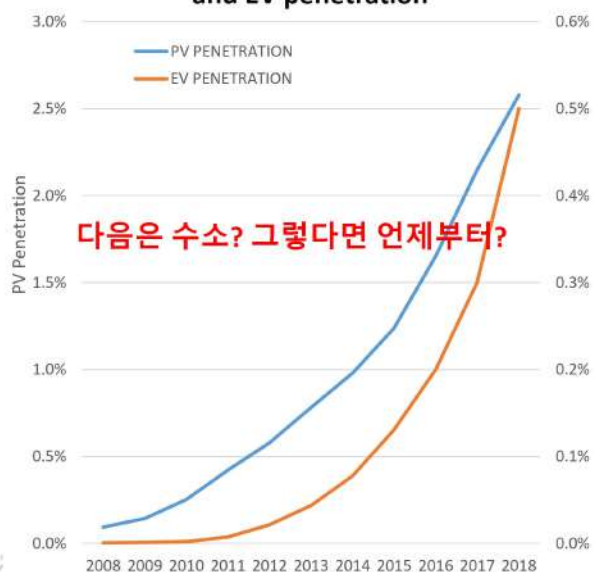
*Source: IEA Energy Technology Perspective (2020)

<Everett Rogers> Diffusion of Innovations Theory



수송분야의 전기화 가속: Joint Development

Comparison between PV penetration and EV penetration

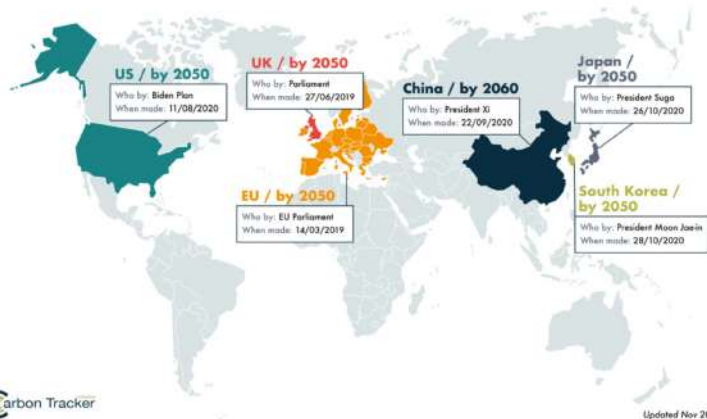


- In Europe, countries such as Norway or Iceland have reached, in 2018, respectively 46% and 17% of electric vehicle penetration.
- In the rest of the world, electric vehicles represent just below 5% of the car fleet in China and 2.5% in the USA.
- More than 2 million electric vehicles were sold in 2018, representing a 68% increase compared to 2017.
- But EV needs zero-carbon electricity to be really decarbonized.

탄소중립 선언

- 한국을 비롯한 120여개 국가가 순배출량을 0으로 만드는 탄소중립을 선언하거나 추진 중
 - 유럽과 미국은 수입품 등 모든 항목에 대해 탄소세를 부과하겠다는 환경규제 시사
 - 미국은 2035년까지 탈탄소 발전 달성 및 2050년 탄소중립 달성 선언(Clean Energy Revolution)
 - 중국은 2030년까지 배출량 감축 전환, 2060년 탄소중립 달성 선언(Zero Carbon China)

KEY RECENT NET ZERO POLICY COMMITMENTS



*출처: The Net Zero Policy Commitments, Carbon Tracker, 2020

16

[EU] European Green Deal



Von der Leyen

- The European Green Deal is Europe's plan to **make the EU's economy sustainable**
- There are no net emissions of greenhouse gases by 2050
- Economic growth is decoupled from resource use
- **No person and no place is left behind: just transition**



*출처: 김영재, 한국에너지학회 제1차 콜로키움, 2021

17

[영국] 2050 탄소중립

10대 계획과 현실

보리스 총리의 10대 환경 계획의 실현 방안

전기 자동차 계획 : 2030년까지 휘발유/디젤 자동차 신규 판매금지 조치 현실 : 충전 네트워크가 20배가 되는 매우 야심찬 목표 달성	해상 풍력 계획 : 2030년까지 모든 가정에 전원을 공급할 충분한 에너지를 생산할 수 있는 해상 풍력 현실 : 매주 하나의 터빈을 건설하는 데 필요한 민간투자 £480 억	수소 계획 : 2030년까지 5기가 와트의 저탄소 연료를 생산하기 위해 일체의 협력 현실 : 향후 20년 동안 주택의 2500만개의 가스 보일러를 교체	원자력 계획 : 소형 원자로 개발을 위한 신기술 투자 현실 : 여전히 200억 파운드가 들어가는 Sizewell C 원전 건설에 대하여 피로감	대중 교통 계획 : 연기와 자전거 타기를 포함한 저탄소 수송을 위한 50억 파운드 투입 현실 : 새로운 자전거 도로로 인한 도로에서 의 수백마일의 정체에 대한 우려
항공 계획 : 세계 최초의 상업용 탄소 제로 비행기 개발 지원 현실 : 에어버스 모델에 대한 계획은 아직 15년이 남았으며 대사업 합의가 안됨	탄소 포집 계획 : 유해한 배출물을 포집하고 저장하는 기술의 세계적 리더가 됨 현실 : 매우 비싸고 새로운 기술로 인하여 기업들 간의 협력이 필요	자연 생태 계획 : 매년 75,000 에이커의 나무를 심목하는 것을 포함하여 자연 환경을 보호하고 복원 현실 : 녹색당은 '임목이 충분히 공급하지 않고 필요한 일부뿐만 반영되었다'고 함	가정 주택 및 빌딩 계획 : 기존 건물의 열을 (재)하기 위해 개선된 단열 및 히트펌프를 단계적으로 도입 현실 : 주택을 따뜻하게 보온하기 위해 이중 또는 삼중 유리화 단열조치가 필요	혁신과 금융 계획 : 녹색 신기술 개발 및 녹색 금융의 글로벌 중심지화 현실 : 관련은 자난달 글로벌 녹색금융 리더 로서와 자위를 잃음

ENCORIED. COPYRIGHT © ENCORIED, INC. All Rights Reserved. (www.enertalk.com)

출처 : 영국 의회

*출처: 최중웅, 인코어드(2021)

18

Part 3. 탄소중립과 관련한 과학기술 이슈와 도전

탈탄소화 관련 Global Consensus

어떻게 진정한 카본제로 에너지를 구현할 것인가?

- 에너지 생산·소비와 관련한 온실가스 배출이 전체의 75%(국내 93%) 정도 차지
- 따라서, 에너지 분야 탄소배출 제로화 전략이 많은 국가의 가장 중요한 정책 요소
- 탄소제로를 만족하는 에너지시스템을 구현하기 위한 네 가지 주요 전략은?

OECD (Optimize, Electrify, Capture, and Decarbonize)

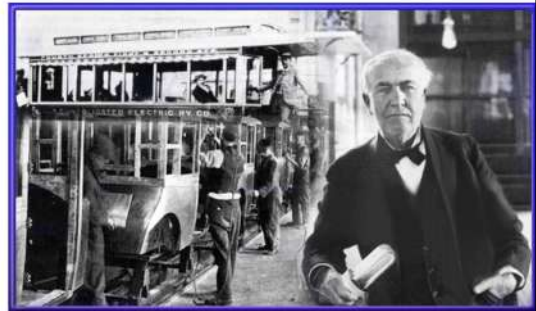
1. Reduce energy use through improved efficiency (Optimize)
2. Shift energy demand to electricity and away from combustion of fossil fuels (Electrify)
3. Direct capture and utilization of CO₂ (Capture)
4. Shift entirely to zero-carbon technologies to generate electricity (Decarbonize)

- 위 네 가지 전략은 모든 주요 에너지 소비 부문 즉, **산업/수송/건물 및 에너지 전환 (발전)** 부문에 모두 적용되어야 할 것임

20

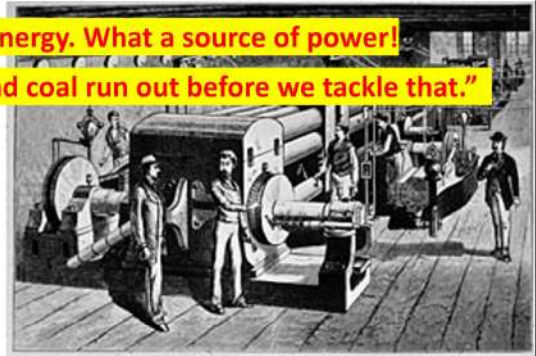
Edison Transformation

전기가 처음 발명되었을 때에는?
직류전기로 구성된 마이크로그리드



"I'd put my money on the sun and solar energy. What a source of power!"

"I hope we don't have to wait until oil and coal run out before we tackle that."



*Source: Prof. Mohammad Shahidelpour, IIT

21

재생에너지 확대 관련 이슈

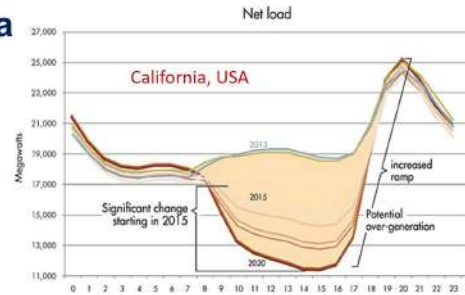
Existing Grid Infrastructure & Market System Not Yet Ready for RE

Existing electricity grids and substations are not fully ready for transmission & distribution of ever-increasing renewable electricity – not enough grids where RE is largely generated; not fully distributed RE power sources. Current market system for electricity transaction is not optimized for distributed sources such as renewables.

National-level Peak Shifting in Korea

Increase of solar power causes Korean-style Duck Curve to occur, which shifts peak load time from 3 pm to 5 pm.

There are variety of solutions to mitigate the duck curve, and the most common method is using energy storage systems and the way in which the system is connected to other systems to increase system inertia – Energy storage, DR, financial incentives & strategic curtailment, forecasting tools, microgrids, etc.



Curtailment of RE in Jeju Island

Power generation capacity of Jeju Island is 1,350 MW, of which the renewable energy generation capacity is 436 MW (about 32% - Wind 266 MW, Solar 160 MW, and Others 8.8 MW).

As of 1 pm on 2018-11-22, out of total 610 MWh of Jeju Island, the amount of renewable energy generation was 309 MWh, accounting for 49%.

Due to the high fluctuations in the output of renewable power generation, the curtailment operation is required, and the number of curtailments of renewable power generation on Jeju Island is gradually increasing to 6 times in 2016, 16 times in 2017, 17 times in 2018 and to 19 times in 2019.

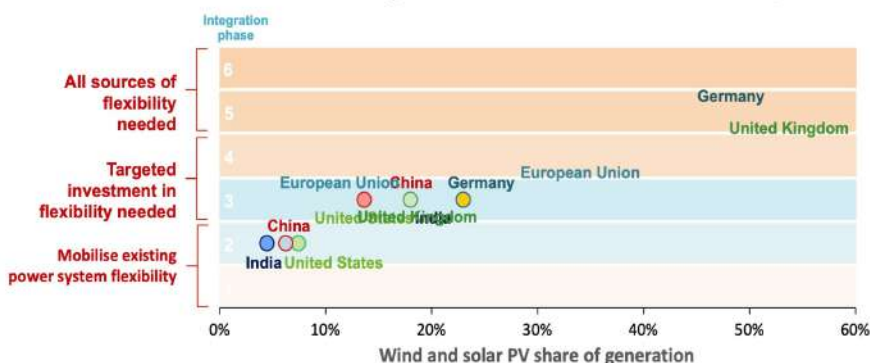
Year	Number of Curtailments	Amount of Curtailment (MWh)
'15	3	152
'16	6	252
'17	16	1,301
'18	17	1,366
'19 (~6.3)	19	3,975

재생에너지 전력 확대 관련 이슈

Flexibility: cornerstone of tomorrow's systems



Phases of integration with variable renewables share, 2030



Higher shares of variable renewables raise flexibility needs and call for reforms to deliver investment in power plants, grids & energy storage, and unlock demand-side response

세계공학한림원평의회 에너지위원회 보고서



제2차 온실가스 감축 계획 (2019년 10월)

Where are We?

2017년말 현재, 709.1 Mton의 온실가스 (CAGR 3.3% since 1990)

에너지 생산 및 소비 관련이 87% (1990년 대비 2.6배 증가)

2021년 산업부 탄소중립 R&D 전략 Kick-off 회의: ~93%

① 산업 (55%), ② 건물 (22%), ③ 수송 (14%)

- 이산화탄소 총배출량 세계 7위; 1인당 CO₂ 배출 세계 18위;
위;
온실가스원단위 세계 60위 (0.45 kg CO₂/USD)

Where do We want to be?

INDC: 37% reduction (BAU) by 2030 → Roadmap 2016.12 & 201

*로드맵수정(2020.12.15): '17년 배출량 대비 24.4% 감축

- By 2030, from 709 Mton of CO₂ (2017) to 536.0 Mton of CO₂ (target):
173 Mton of CO₂ (24.4%) reduction

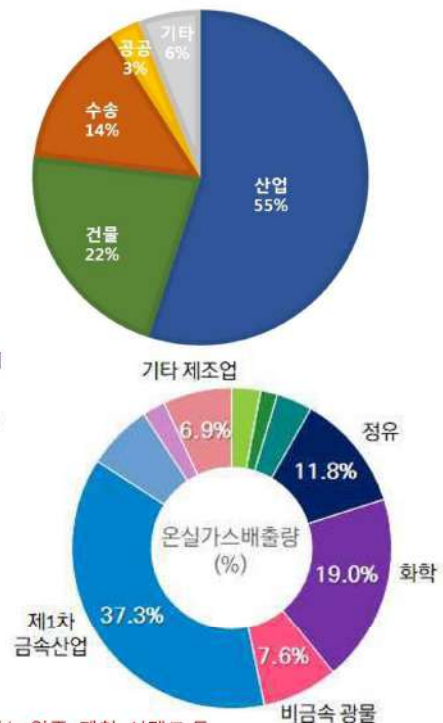
Carbon Net-Zero by 2050

대한민국 국회(2020년 9월 24일) - “기후위기 비상선언”

채택(찬성: 252, 기권: 6)

문재인 대통령(2020년 10월 28일) - “2050 탄소중립” 선언

*1차금속: 고로, 전기로 등의 설비를 갖추고 금속광물을 가공하는 업종: 제철, 시멘트 등



2030 온실가스 배출 목표의 시사점

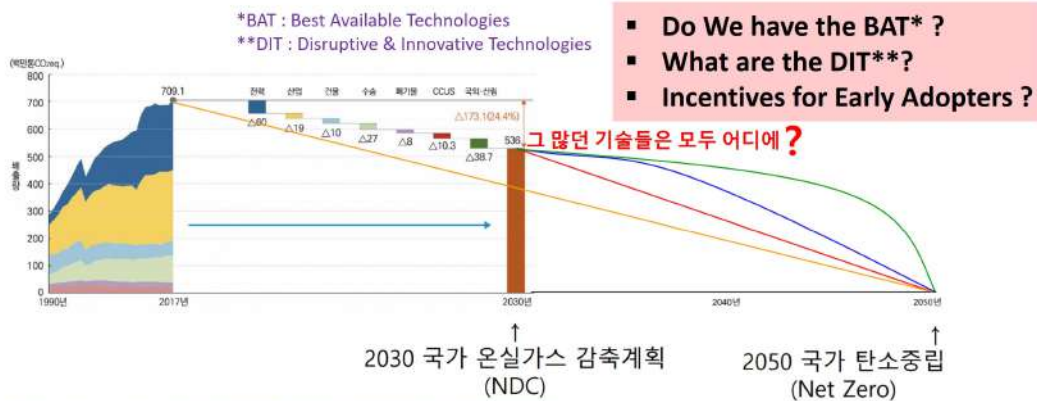
< 2030년 국가 온실가스 감축 목표 >

(단위 : 백만톤 CO₂ %)

부문		배출량 (17)	배출전망 (30 BAU)	감축목표		
				목표 배출량	BAU대비 감축량(감축률)	주요 감축수단
국내 부문별 목표		-	850.8	574.3	△276.4 ¹ (32.5%)	
배출원 감축	산업	392.5	481.0	382.4	△98.5 (20.5%)	√효율개선 √냉매대체 √연·원료전환 √폐열활용
	건물	155.0	197.2	132.7	△64.5 (32.7%)	√단열강화(신규·기존) √설비개선 √BEMS 확대
	수송	99.7	105.2	74.4	△30.8 (29.3%)	√친환경차 확대 √연비개선 √친환경항공 보급 √바이오·젤
	폐기물	16.8	15.5	11.0	△4.5 (28.9%)	√재활용확대 √메탄가스 회수
	공공(기타)	20.0	21.0	15.7	△5.3 (25.3%)	√LED 조명 √재생에너지 확대
	농축산	20.4	20.7	19.0	△1.6 (7.9%)	√분뇨 에너지화 √논물관리
	탈루 등	4.8	10.3	7.2	△3.1 (30.5%)	
감축 수단 활용	전환	(253.1)	(333.2) ²	(192.7)	(△140.5) ³ (42.2%)	√전원믹스 개선 √수요관리
	탄소포집·활용	-	-	-	△10.3	√탄소포집·활용·저장
국외감축 등		-	-	-	△38.3 (4.5%)	산림흡수+국제시장활용
감축 수단 활용	산림흡수원	(-41.6)	-	-	△22.1	√경제활동저지 조성 √도시숲 확대
	국외감축 등	-	-	-	△16.2	√양자협력 √SDM
합계		709.1 ⁴	850.8	536.0	△314.8 (37%)	국내(32.5%)+국외(4.5%)

비고 : 1. 목표배출량은 부문별 배출량 합계에서 전환부문 전원믹스 및 CCUS로 인한 감축량 반영
2. 전환부문은 전기·열 사용에 따라 부문별 배출량에 기 포함 전체 배출량 합계에서 제외
3. 추가감축잠재량 34.1백만톤을 포함한 것으로 20년 NDC 제출 전까지 감축목표 및 수단 확정
4. 산림부분 흡수량을 제외하지 않은 총 배출량

탄소중립사회 구현 관련 과학기술 이슈



*출처 : 위) 손정락, 아래) 김명재, 한국에너지학회 제1회 콜로키움, 2021

세계적으로 혁신노력은
에너지공급 중심으로 편향
되어 있음 -> 체계적인 편향
성과 미정합성 존재, 일부
분야는 심각한 低투자

향후 혁신은 어느 방향으로?
또한 어떻게?

directed innovation efforts & inputs

	supply	end-use
modelling	21%	21%
publications	27%	27%
roadmaps	38%	38%
collaborations	31%	31%
breakthrough	32%	32%
OECD R&D	17%	17%
BRIMCS R&D	17%	17%
niche markets	38%	38%

innovation outcomes & objectives

	supply	end-use
capital invest	68%	68%
capacity	90%	90%
cost reduction	71%	71%
econ. returns	99%	99%
social returns	93%	93%
future returns	73%	73%
glob. mitigation	64%	64%
nat. mitigation	63%	63%

국내 주요 온실가스배출 업종의 탄소중립 선언

철강, 석유화학, 시멘트 및 비철금속 업계의 2050 탄소중립 선언 이어져...

철강업계, '2050 탄소중립 공동선언문' 발표... '그린철강위원회' 출범

출처: 이진호 기자 | 승인: 2021.02.03 10:04

성윤모 장관, "저탄소 사회는 선택의 문제가 아닌 반드시 가

[인더스트리뉴스 이진호 기자] 온실가스 최대 배출업종 중 하나인 철강'에 호응해 '철강업계 2050 탄소중립 공동선언문'을 발표했다. 2011년부터 국가 전체 배출량의 16.7%, 산업부문의 30%를 차지하고 있



'1차 그린철강위원회' 출범식. 왼쪽부터 탄소 중립추진위원회 위원장인 2050년 탄소중립 선언을 위해 '그린철강위원회' 출범식 2월 2일 개최했다. [사진=산업통상자원부]



시멘트 업계도 '탄소중립'...7개社 그린뉴딜 위 출범

원료 석회석 분해 시 배출하는 CO2 저감해야...기술개발 박차

박영란 기자 | 입력: 2021.02.17 11:00 - 수정: 2021.02.17 11:03 | 환경산업



시멘트 산업계별 탄소 중립추진위원회

산업부은 온실가스 배출량 약 10%를 차지하는 시멘트 배출을 집중인 시멘트 업계가 탄소중립 대

정책

석유화학업계, '2050 탄소중립' 위해 탄소제로위 출범

조선배즈 세종=박정영 기자

입력: 2021.02.09 18:17

산업부 "친환경 원료·연료 활용 대규모 연구개발 추진"

온실가스를 배출이 많은 석유화학업계가 '2050 탄소중립'을 위해 '석유화학 탄소제로위원회'를 출범시켰다. 산업통상자원부는 9일 대전 SK환경과학기술연구원에서 탄소중립을 추진하고 민간 소통을 강화하기 위해 '석유화학 탄소제로위원회 출범식'을 열었다고 밝혔다.



박영란 산업통상자원부 차관이 9일 대전 SK환경과학기술연구원서 열린 '석유화학 탄소제로위원회 출범식'에 참석해 강연을 하고 있다. [연합뉴스]

탄소중립 에너지 구현 및 산업육성의 선결조건

■ 제도개선 및 시장시스템 혁신

- Self-consumption, RE100, P2P Trading, Carbon Tax, Carbon Footprint, Cap & Trade 등

■ 녹색금융 확대 및 활성화

- High-risk 투자 및 Risk-sharing 투자 확대, ESG 기반 투자 확대 등

■ R&D 확충 및 전략적 Top-Down R&D 추진

- 공동개발 플랫폼 구축, 소·부·장 R&D 확대, 실증 R&D 확대 등

■ 공공 조달(Procurement)에 기반한 초기시장 창출

- Early Adopter 육성 및 민간의 자발적인 참여 촉진 등

■ 국제협력 강화 및 리더십 확대

- 국제기구 활동에의 적극적 참여 및 분야별 리더 육성 등

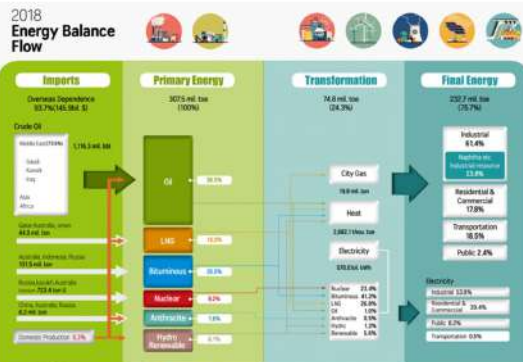
■ 국민 소통 강화 및 인식 제고/교육/홍보

시나리오/통계 기반 탄소중립 전략 수립

ECHO (Energy, Carbon & Hydrogen Optimization)

1. Energy Balance
2. Carbon Balance Included
3. Hydrogen Balance

Global Optimization (Domestic & Overseas Included)



Carbon Balance Flow

Hydrogen Balance Flow

한국의 특성, 장점 및 보유역량, 차별화전략은?

- 에너지 생산 및 소비 포트폴리오 상세 분석
- 전력 **Balance**에 이어 탄소 및 수소 **Balance** 추적 조사
- 산업, 수송, 상업/주거 형태 분석
- 에너지 생산 및 **CO₂** 저감 잠재력 평가
- 지자체 및 기초단체와의 연계
- 민간과의 협력 및 공조 체계 구축
- 미래지향적 비전 설정 및 비전과의 연계
- 구체적 사업기획 및 이행 주체 선정

30

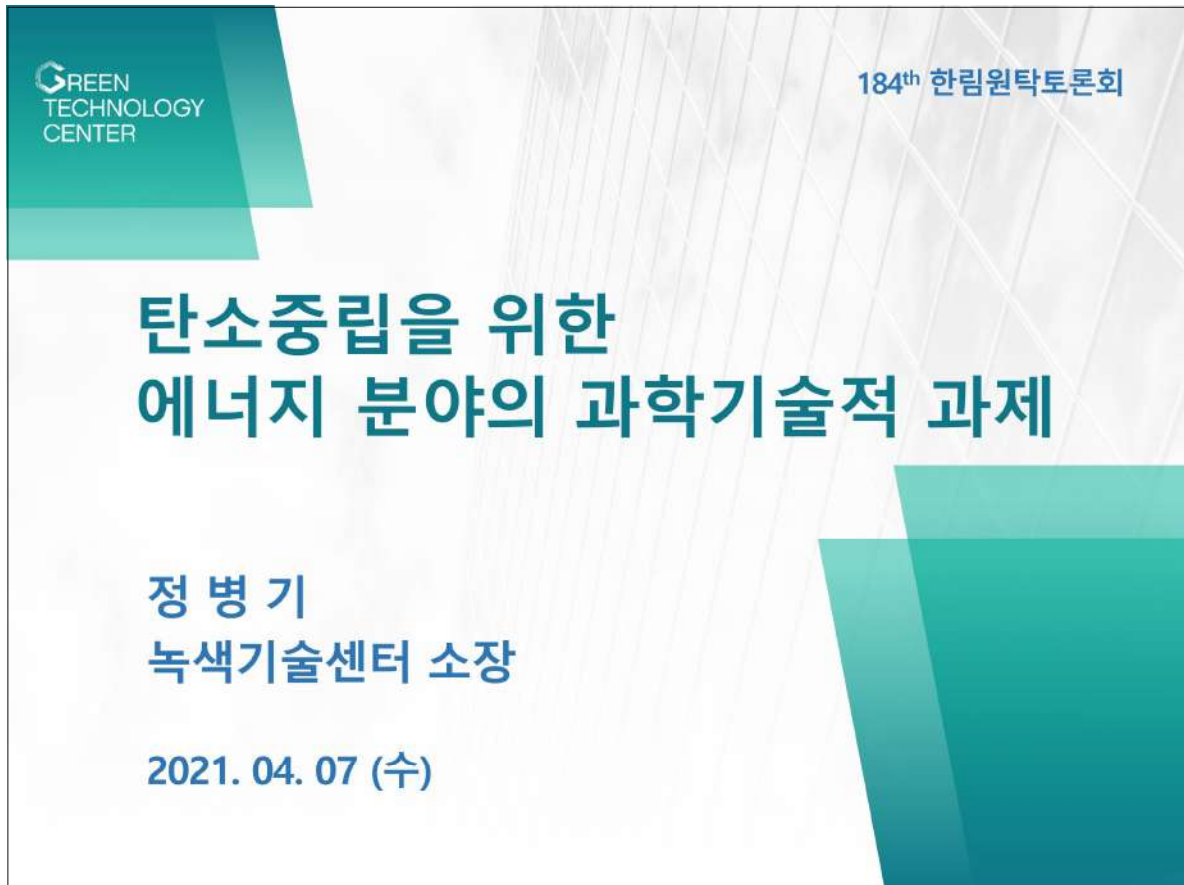
경청해주셔서 감사합니다.

Thank you for listening !

주제발표 2 탄소중립을 위한 에너지 분야의 과학기술적 과제

...

정 병 기
녹색기술센터(GTC) 소장



탄소중립을 위한 에너지 분야의 과학기술적 과제

I 신기후체제 에너지 이슈

II 탄소중립을 위한 에너지 기술 혁신 방향

III 탄소중립을 위한 연구개발 전략

신기후체제 및 탄소중립 시대의 도래

GREEN
TECHNOLOGY
CENTER

국제사회는 기후 위기 해결을 위해 전 지구적 적극대응 방안 모색

유엔기후변화협약 채택('92.5) 및 교토의정서 채택('97.12)

- 지구온난화 방지를 위해 온실가스의 인위적 배출을 규제하는 협약
- UNFCCC의 구체적 이행을 위한 교토의정서 발효('05.2월)
역사적으로 온실가스 배출에 책임이 많은 선진국에게 온실가스 감축 의무 부과
효과적인 감축의무 달성을 위해 배출권 거래제 등 교토메커니즘 도입
- 개발도상국의 감축 의무 제외 및 미국 등 많은 국가 불참, 하향식 목표 설정 등 한계 존재

파리협정 채택('15.12) 및 발효('16.11)

- '15년 12월 COP21에서 신기후체제 출범에 합의하는 파리협정 채택
- 
- Nations Unies
Conférence sur les Changements Climatiques 2015
Paris, France
- 교토의정서 한계 극복 및 모든 선·개도국 온실가스 감축 참여
21세기말까지 산업화 이전 대비 지구 평균 온도 상승을 2°C 이하로 유지 및 1.5°C로 억제 노력
모든 당사국의 NDC 제출 의무 부과 및 2020년 말까지 2050 LEDS 수립 촉구

IPCC 지구온난화 1.5°C 특별보고서 채택('18.10)

- 파리협정에서 합의된 1.5°C 목표의 과학적 근거 제시
- 세기말 지구 평균온도 상승을 1.5°C로 억제 위한 '50년 탄소중립 목표 제시
현재 속도로 지구온난화가 지속될 경우 2030~2052년 사이 1.5°C 초과 전망
2030년까지 2010년 대비 CO₂ 최소 45% 감축, 2050년까지 0 (배출=흡수) 달성 필요



출처: 제48차 IPCC 총회 개최 박세기상장

탄소중립의 '열쇠 말'은 에너지 전환



탈탄소 경제 이행을 위해서는 에너지 분야의 전 영역에서 근본적 혁신 필요

탄소기반 경제

탈탄소 경제

에너지 시스템 전환의 국제적인 추세는 **탈탄소화, 분산화, 디지털화**

Decarbonization

Decentralization

Digitalization

3

주요국의 탄소중립 대응 현황



탈탄소 선도국은 탄소중립 목표 법제화 및 이행 위한 제도·정책 적극 추진

국가명	탄소중립 선언 · 법제화	탄소중립 관련 정책
유럽연합	2050년까지 탄소중립 목표에 법적 구속력을 부여하기 위한 유럽 기후법 제출 (2023)	· 석탄화력발전소 규제 강화 및 2030년까지 석탄화력발전 종료 계획 발표 · 에너지 소비 중 재생에너지 비중 20% 수송부문 에너지 10% 재생에너지로 충당
영국	기후변화법 개정을 통해 2050년 온실가스 감축목표를 100%로 상향 (19.6)	· 2025년까지 석탄발전소 전면 폐쇄 , 2035년 내연기관차 완전 퇴출 · 해상 풍력 을 통해 전력의 1/3 공급, 2030년까지 자국산 부품 60%로 확대
스웨덴	기후법에 2045년 탄소중립 목표 명시 (17.6)	· 2020년 4월 석탄화력발전소 가동 중단 완료 · BP21 정책을 통해 2045년까지 항공기부문 화석연료 제로화 , 제조업 공정 그린화
덴마크	기후변화법에 2050년 탄소중립 목표 명시 (19.12)	· 2050년까지 북해석유/가스 탐사생산 중단, 2030년까지 내연기관차 판매 중단 · 2030년까지 총 2400MW 규모 대규모 해상풍력단지 조성
독일	연방기후보호법에 2050년 탄소중립 목표 명시 (19.12)	· 2038년까지 자국 석탄(갈탄) 화력발전 전면 폐쇄 · 2030년까지 그린수소 생산설비 5GW 설치 (연 14TWh 수소 생산), 70억 유로 투자
프랑스	에너지 및 기후법에 2050년 탄소중립 목표 명시 (19.11)	· 2022년까지 프랑스 내 모든 광역시에서 석탄발전 가동 전면 중단 · 수소에너지 기술개발 및 인프라 구축에 70억 유로 계획
미국	2050년까지 탄소중립 달성 선언 (20.1)	· 석유, 가스 시추에 대한 세금 공제 혜택 폐지 계획 · 4년 간 태양광, 풍력 등 청정에너지 인프라에 2조 달러 투입 예정
일본	2050년까지 탄소중립 달성 선언 (20.10)	· 암모니아 혼소의 화력발전 활용 확대(20% 혼소 실증 및 2025년 실용화 목표) · 해상풍력 집중 도입을 통해 2040년까지 30~45GW(원전 45기분) 확충

4

우리나라 탄소중립 대응 현황

GREEN
TECHNOLOGY
CENTER

G20 국가로서 선도대열에 동참하여 탄소중립 선언 및 이행전략 마련

대통령
주요
발언

UN기후행동정상회의의 기조연설('19.9) 저탄소사회 전환 공약

한국판 뉴딜('20.7)

저탄소 경제전환으로 일자리 창출 및 경기 부양

국회 시정연설('20.10)

2050 탄소중립 계획 처음 천명

G20 정상회의('20.11)

2050 LEDS 마련, 2030 NDC 갱신 공약



2050 탄소중립 추진전략('20.12.7)

3대 정책 방향	10대 과제
목표 경제구조의 저탄소화	기회 신유망 저탄소산업 생태계 조성
① 에너지 전환 가속화 ② 고효율 산업구조 혁신 ③ 미래모빌리티로 전환 ④ 도시·국토 저탄소화	유망 탄소중립 사회로의 공정전환
① 에너지 전환 가속화 ② 고효율 산업구조 혁신 ③ 미래모빌리티로 전환 ④ 도시·국토 저탄소화	① 취약 산업 계층 보호 ② 지역중심의 탄소중립 실현 ③ 탄소중립 사회에 대한 국민연식 제고

216월까지 LEDS 및 NDC 이행을 위한 2050 탄소중립 시나리오 마련

2050 LEDS('20.12.15)

2050 탄소중립 기본방향

- 1 깨끗하게 생산된 전기수소의 활용 확대
- 2 에너지 효율의 혁신적인 향상
- 3 탄소 제거 등 미래 기술의 상용화
- 4 순환경제 확대로 산업의 지속가능성 제고
- 5 탄소 흡수 수단 강화

2030 NDC 갱신('20.12.15)

NDC 산정 방식 개선

기존	변경
전망치 기준	절대량 기준
'30년 BAU 대비 37%	'17년 배출량 대비 24.4%

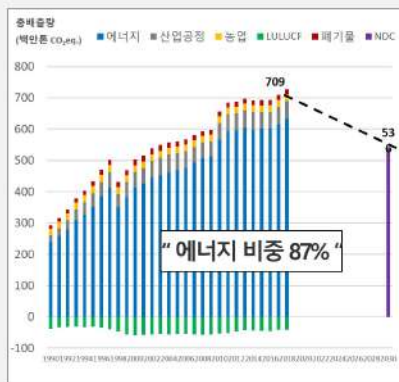
5

국내 온실가스 배출 현황 및 이슈

GREEN
TECHNOLOGY
CENTER

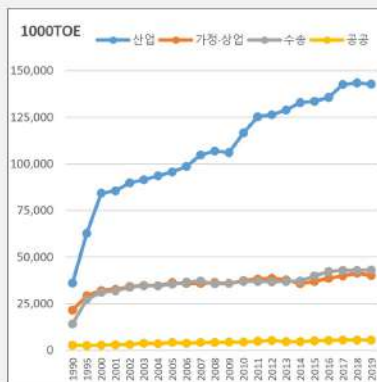
화석연료 의존도가 높은 에너지 부문, 특히 산업부문 배출이 큰 비중 차지

부문별 온실가스 배출량 추이



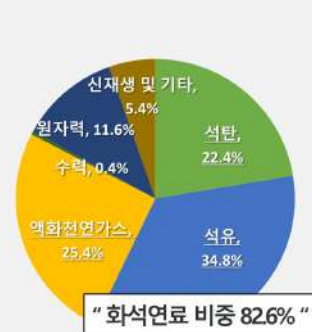
출처: KESIS 침조하여 작성 (자료원: 2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서)

최종에너지 부문별 소비량 추이



출처: KESIS 침조하여 작성 (자료원: 에너지발전사)

1차에너지 원별 구성('20.12)



출처: KESIS 침조하여 작성 (자료원: 에너지통계월보)

6

탄소중립을 위한 에너지 분야의 과학기술적 과제

I 신기후체제 에너지 이슈

II 탄소중립을 위한 에너지 기술 혁신 방향

III 탄소중립을 위한 연구개발 전략

국내 2050 LEDS 이행을 위한 기술혁신 이슈

GREEN
TECHNOLOGY
CENTER

저탄소 전환을 가능케 할 에너지 생산·공급·소비 전 부문의 기술혁신 필요

	배출이 “없는”	배출이 “적은”	배출 후 “제거”
2050 LEDS 부문	신재생에너지	에너지 효율화 및 수요관리	CCUS
발전	재생E 중심의 안정적 전력 공급을 위한 발전량 극대화 및 경제성 확보	재생에너지 변동성 및 간헐성 극복을 위한 발전량 및 피크 부하 예측, 계통유연성 확보	석탄발전 점진적 감축 및 에너지 안보를 위한 청정화력발전-CCUS 연계 및 백업전원 구축
산업	공정에서 소비되는 화석연료를 저탄소연료(바이오매스 등)로 대체	설비 에너지 절감을 위한 스마트 공장 및 산단	산업 공정에서의 직접 배출 가스 제거, 원료 전환 방법으로서의 CCU (Carbon to X)
수송	청정에너지원(전기, 수소, 바이오연료) 활용 친환경 모빌리티 및 인프라	운행 최적화를 통한 에너지 절감을 위한 지능형교통시스템 및 자율주행차	
건물	BIPV, 히트펌프 등을 활용하여 건물 자체 내에서 재생E 생산·활용	BEMS 등을 통한 건물E 효율 개선, 기기의 전기화·효율화, 스마트시티	



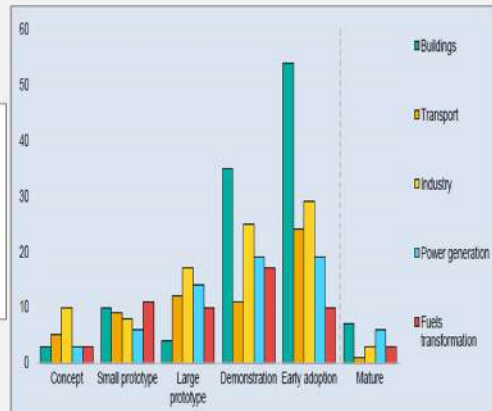
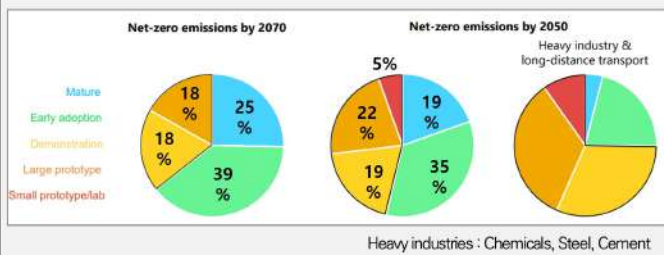
탄소중립을 위한 기술 혁신 전망 I

GREEN
TECHNOLOGY
CENTER

탄소중립 달성을 위해서는 현재 성숙도가 낮은 기술의 조기 상용화 필요

기술성숙도별 탄소중립에 필요한 배출량 감축 누적기여도

부문별 청정에너지기술 기술성숙도별 개수 분포



출처: Energy Technology Perspective 2020 (IEA), Launch to the press

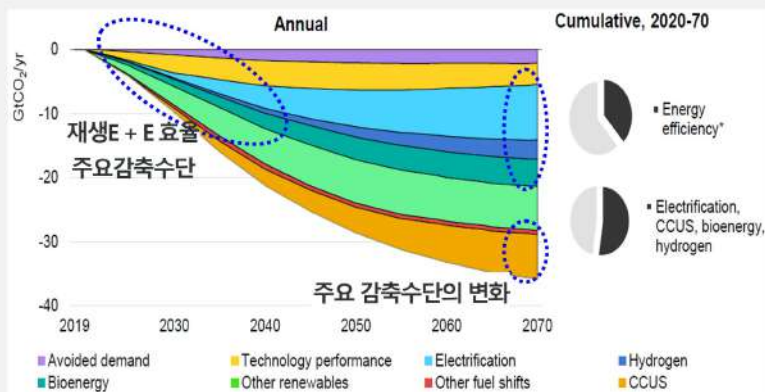
출처: Energy Technology Perspective 2020 (IEA)

11

탄소중립을 위한 기술 혁신 전망 II

GREEN
TECHNOLOGY
CENTER

전기, 수소연료, 바이오에너지 활용을 통한 에너지 전환 및 CCUS 역할 중요

글로벌 에너지 부문 CO₂ 감축 전망

에너지 효율이

2020-2070 누적 감축분 약 40%에 기여

* 기존기술, 공정 효율 개선 및 저탄소 전력, 재생E, 수소 연료 기반 장비로의 사용전환 등을 통한 에너지 효율 개선 포함

전기화, 수소연료, CCUS, 바이오에너지가

2020-2070 누적감축분 절반 이상에 기여

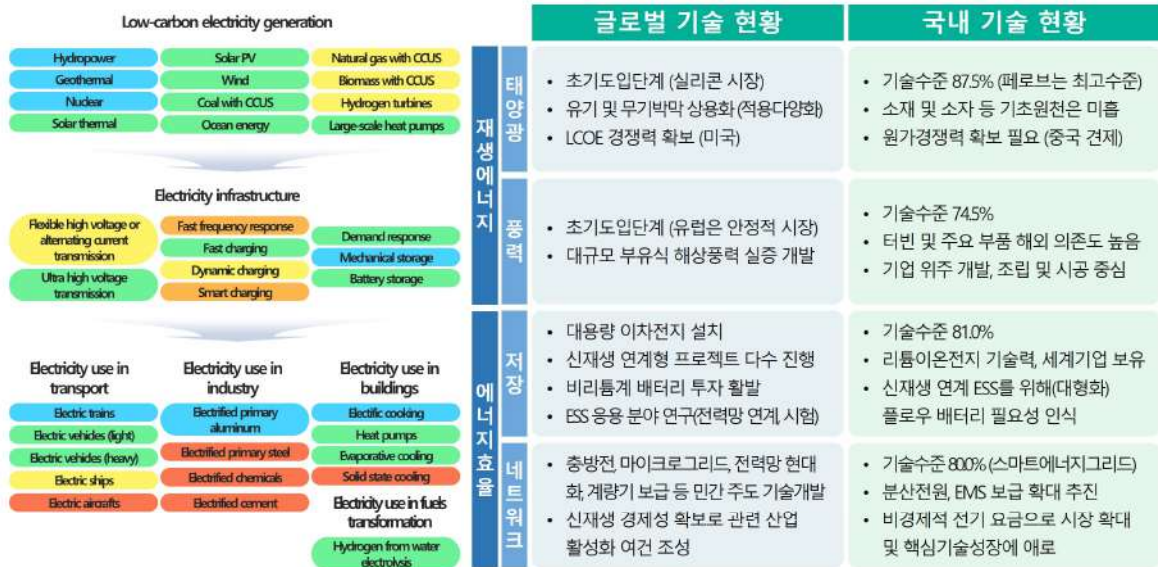
출처: Energy Technology Perspective 2020 (IEA)

12

탄소중립 기술 혁신의 전략적 방향 ① 전기화



'전기화' 밸류체인별 세부기술 성숙도 및 기술개발 현황



출처: Energy Technology Perspective 2020 (IEA)

출처: 2018년 기술수준평가 (KISTEP)를 참고하여 정리

13

탄소중립 기술 혁신의 전략적 방향 ② 수소



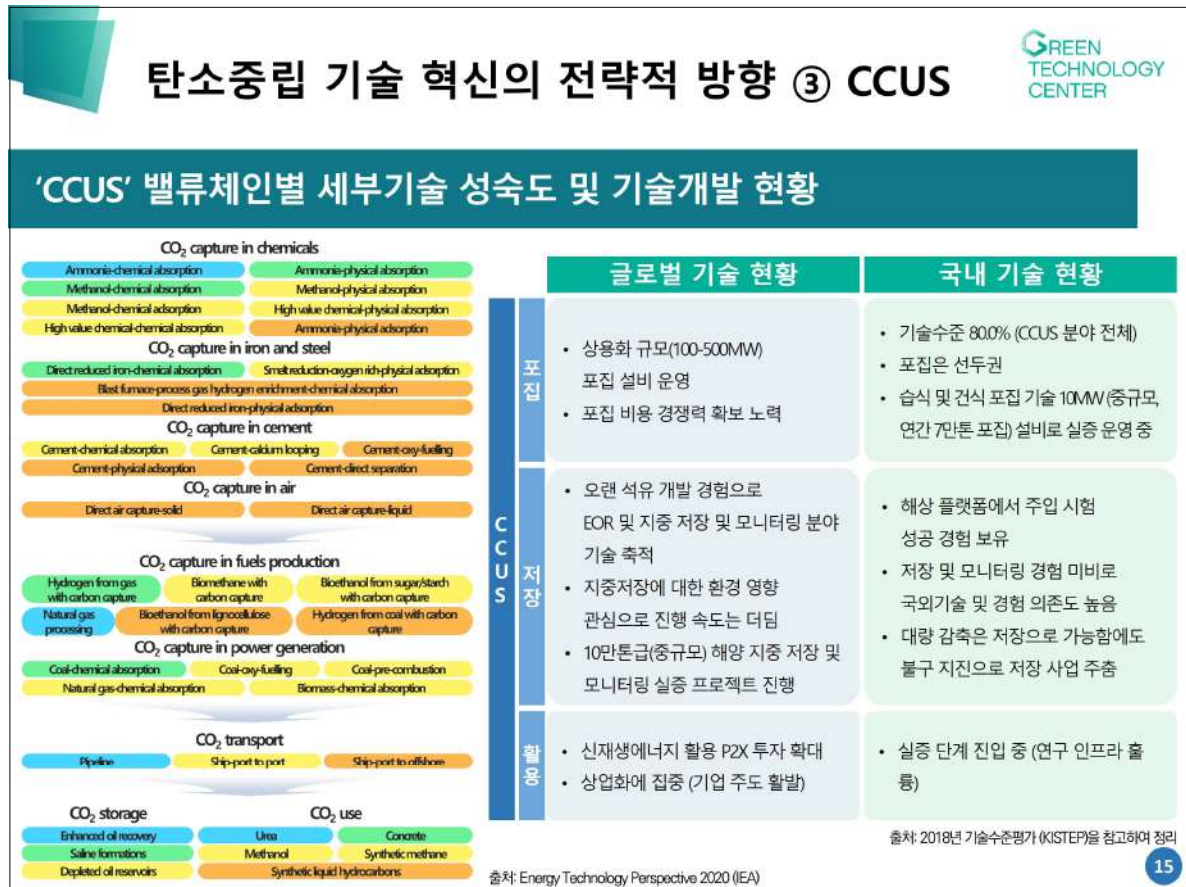
'수소' 밸류체인별 세부기술 성숙도 및 기술개발 현황



출처: Energy Technology Perspective 2020 (IEA)

출처: 2018년 기술수준평가 (KISTEP)를 참고하여 정리

14



15



16

탄소중립을 위한 에너지 분야의 과학기술적 과제

I 신기후체제 에너지 이슈

II 탄소중립을 위한 에너지 기술 혁신 방향

III 탄소중립을 위한 연구개발 전략

탄소중립 연구개발 투자전략 ('21.3, 관계부처 합동)

GREEN
TECHNOLOGY
CENTER

에너지 대전환 방향 고려, 10대 핵심 투자 분야 도출

	현재		방향
에너지 생산	화석연료 등	➡	탈탄소화 (재생 에너지 등)
에너지 가공·유통	석유제품, 가스, 전기 등	➡	전기화, 수소화
에너지 소비	산업·수송·건물 多배출	➡	산업공정 혁신, 에너지 고효율화



탄소중립 연구개발 부문별 전략



① 재생에너지 : 태양광, 풍력

✓ 태양광 : 실리콘계 초고효율화 및 차세대 태양전지 선점

- (단기) 초고효율 모듈 개발 및 태양광 입지 다변화를 통한 보급 역량 강화
 - ➔ 단가 저감 및 고효율 결정질 실리콘 및 모듈화 기술, 수·해상/영농형/건물형 태양광 기술 개발
- (장기) 스마트 태양전지 기술 개발 및 고효율 소재·소자 등 미래 원천기술 개발
 - ➔ 초경량 모바일 태양전지/고감도 스마트 태양전지 개발 및 신규 소재 디자인 및 자가 무독성 고효율 소재소자 개발

✓ 풍력 : 풍력 핵심기술 국산화 및 선도기술 개발

- (단기) 풍력터빈 핵심부품 국산화 및 초대형·장수명 풍력기술 개발
 - ➔ 핵심부품 국산화 및 공급체계, 실증 테스트베드 및 인증체계 구축
 - ➔ 12MW 이상 초대형 풍력발전시스템 개발
- (장기) 부유식 해상풍력 시스템 개발·실증 및 풍력단지 연계형 기술 개발
 - ➔ 부유식 해상풍력 플랫폼 설계 및 제작, 통합제어 및 실증운용기술 개발
 - ➔ 육·해상 풍력단지 설계, 단지 구축 및 운영유지, 단지개발 수용성 향상모델 개발

19

탄소중립 연구개발 부문별 전략



② 수소경제 활성화 : 수소생산, 이동·저장, 활용 및 연료전지

✓ 수소생산

그린·저탄소 수소생산
핵심 원천기술 개발

- (단기) 수소생산기술 고효율/국산/저가화 및 수전해 핵심원천기술 확보
 - ➔ CCS 연계 저탄소 수소 생산 기술, 상용화된 개질 수소 기술 확대, 알칼라인/고분자전해질 수전해 기술, 성능향상 및 스케일업
- (장기) 그린수소 생산기술 및 차세대 수소 생산 기술 개발
 - ➔ 재생에너지 연계 수전해 기술 상용화, 차세대 수전해, 비귀금속계 전극, 수소/산소 혼합 방지용 신규소재 등

✓ 수소활용(충전)

수소충전부품 기능통합 및
모빌리티 효율내구성 개선

- (단기) 수소 충전·저장 기술 국산화 및 수소 모빌리티 활용 실증 기반 기술 개발
 - ➔ 압축, 저장, 충전 부품 국산화 및 부품 신뢰성 확보기술 개발, 수소모빌리티 활용분야 실증 기반 기술 개발 및 신시장 창출 기술 개발
- (장기) 독자적 수소 충전기술 개발 및 글로벌 경쟁력 우위 확보
 - ➔ 부품수 최소화 기능통합을 통한 고효율 충전(기체·액체) 기술 확보, 효율향상, 고내구 소재·부품, 응용분야별 연료전지시스템 기술 개발

✓ 연료전지(발전용)

초고효율 연료전지 시스템
개발 및 국산화

- (단기) 고효율 발전용 SOFC 기술개발 및 분산형 중합에너지 공급 시스템 개발
 - ➔ 전기효율 60% 및 종합효율 80% 이상 고효율 SOFC 설비기술, 연료전지 기반 중합에너지 공급 시스템 기술
- (장기) 그린수소 연계 연료전지시스템 개발 및 전기 효율 70% 이상 혁신제품 개발
 - ➔ 재생에너지 연계형 연료전지 시스템 기술, 마이크로열병합용, 분산발전용 연료전지 소형화/다양화/신뢰성 확보 기술 등

20

탄소중립 연구개발 부문별 전략

③ 온실가스 고정(CCUS) : CO₂ 포집, 저장, 활용✓ CO₂ 포집CO₂ 포집 트랙레코드 확보 및 배출원별 대규모 실증

- (단기) 규모 격상 및 장기실증운전, 다양한 배출원에 적용가능한 CO₂ 포집기술 확보
 - ➔ 150MW급 대규모 CCS 실증을 위한 포집원·포집기술FEED 설계, 기술 적용처별 플랜트 설계, 다양한 배가스 조건별 CO₂ 포집기술
- (장기) 가스발전·산업부문 CO₂ 포집기술 고도화 및 기 개발 포집 기술의 상용화
 - ➔ 경제성 제고 및 포집규모 격상 실증, 기개발 또는 개발 중인 기술 실증 및 조기 상용화

✓ CO₂ 저장

대규모 저장소 확보 및 단계적 저장 실증

- (단기) 대규모 저장소 단계적 확보, 중규모 (연 40만톤) 실증 기반 안전 관리 기술 확보
 - ➔ 국내 대륙붕 탐사시추를 통한 유망구조 선별 및 저장가능량 평가, CO₂ 누출경로 확인 및 역학적 안전성 평가, 안정환경관리시스템 구축
- (장기) 차세대 저장 원천 기술개발, 대규모 실증 기반 기술 고도화·상용화 기반 조성
 - ➔ 민간기업 참여 유도를 위한 저장비용 절감, 하이브리드 CCS 구축, 기술 자립화, 기개발된 기술의 업스케일 및 고도화

✓ CO₂ 활용

CCU 혁신·융합기술 개발 및 민간참여형 기술 실증 확대

- (단기) 조기 상용화 기술 확보 및 CCU 기술 적용에 따른 감축 방법론 확립
 - ➔ 저탄소공정 기반 화학제품 생산, CO₂ 기반 고부가 화학제품 생산 기술, 온실가스 감축 방법론 확립 및 감축량 평가인증 기반 구축
- (장기) 민간참여형 CCU 실용화 확대, 발전·철강·시멘트·석유화학산업 연계 기술 개발
 - ➔ 기업 참여를 통한 실증사업, 산업맞춤형 CCU 전주기 기술, 블루수소 생산을 위한 수소+CCU 기술

21

탄소중립 연구개발 부문별 전략



④ 네트워크 고도화 : 스마트그리드, 에너지 저장

✓ 스마트그리드 : 전력망 안정화, 차세대 지능형 전력망 기술 기반 에너지전환

- (단기) 분산자원 연계 전력망 유연성 확보 및 전력시스템의 확장성·신뢰성 확보 기술 개발
 - ➔ 신재생 전원 통합 관제, 분산전원관리, 친환경·지능형 전력기기 등, 지능형 전력망 시스템 시험·인증 및 표준화
- (장기) 지능형 전력시스템 기술 개발 및 다양한 전력시스템 실증
 - ➔ AC/DC 혼용 배전망시스템, 광역계통 감시보호제어시스템, 디지털 변압기 등, 차세대 지능형 전력망 모델 실증

✓ 에너지저장 : 고안전·장주기 ESS 신기술 개발 및 실증

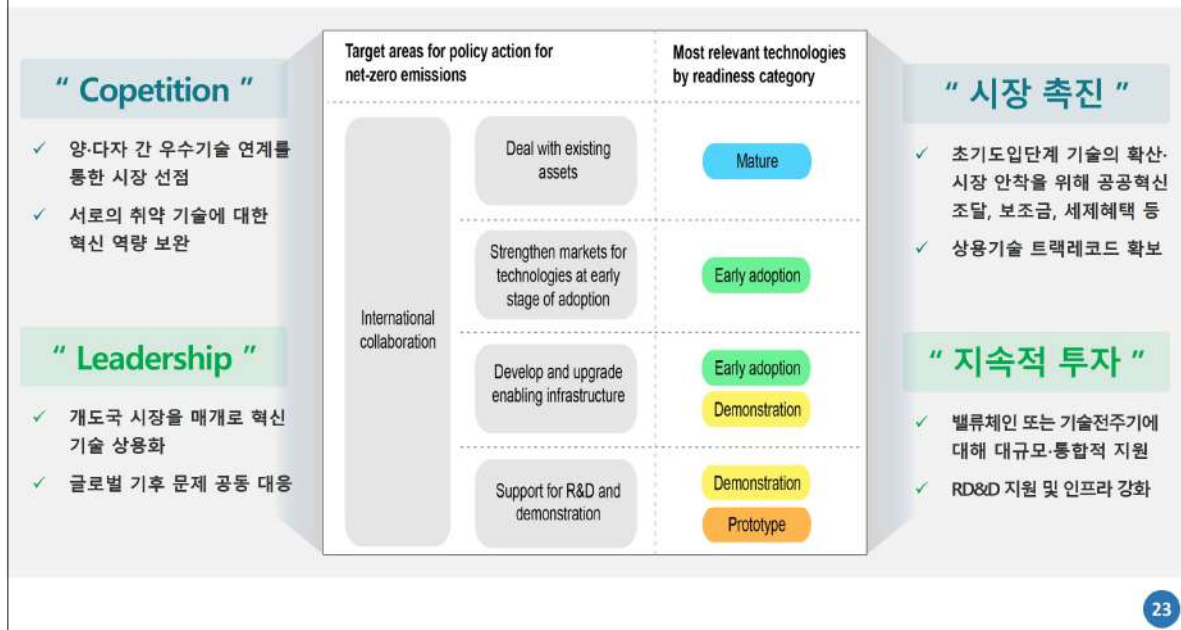
- (단기) 재생에너지 발전제약 해소를 위한 대용량 ESS 개발 및 선박용 ESS 패키징 기술 국산화
 - ➔ 신재생에너지 연계 수십MW급 장주기 ESS, 저가 공정 및 재활용기술개발, 미래형 친환경 선박용 ESS 패키징 기술
- (장기) ESS 기술·시장 경쟁력 강화를 위한 트랙레코드 확보 및 차세대 에너지저장 기술 개발 및 상용화
 - ➔ 대용량 흐름전지, 선박용 ESS 등 실증, 차세대 해수이차전지 및 연계 기술

22

탄소중립 기술혁신을 위한 정책 방향



'기술성숙도'에 따라 다양한 정책 설계 및 전략적 기술협력 추진 필요



23

요약



신기후체제의 개막에 따라 우리를 비롯한 주요국은 탄소중립을 선언하고 이행기반 마련에 박차를 가하고 있음. 탄소중립은 Decarbonization, Decentralization, Digitalization을 특징으로 한 에너지 대전환을 근간으로 하는 바, 화석연료 의존도가 높고 에너지 집약적 산업구조를 가진 우리에게 매우 도전적 과제임.



2050 탄소중립을 위해서는 에너지 생산·공급·소비에 걸쳐 근본적인 기술혁신이 필요하며 특히 현재 기술 성숙도가 낮은 기술들의 연구개발을 통한 조기 상용화가 필수적임. 대표적으로 ①전기화 ②수소 및 수소연료 전환 ③탄소 포집·저장·활용기술들이 있음.



탄소중립을 위한 연구개발 주요부문인 ① 태양광 및 풍력의 재생에너지 ② 수소 생산·이동·저장 활용 및 연료전지 ③ 이산화탄소 포집·저장·활용, ④ 스마트그리드 및 에너지저장 기반 네트워크 고도화 등 각개에 대해 단계별 상용화를 위한 연구개발전략 수립 필요함.

24



감사합니다

주제발표 3 탄소중립 2050 국가환경 정책의 과제

윤 제 용
한국환경정책평가연구원 원장

한국과학기술 한림원 탄소중립 원탁토론회 (2021.4.7)

2050 탄소중립 국가환경 정책의 과제

윤제용 원장

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute



목 차

◆ 기후위기와 온실가스 배출

대한민국의 특성은 (온실가스 및 에너지 사용)?

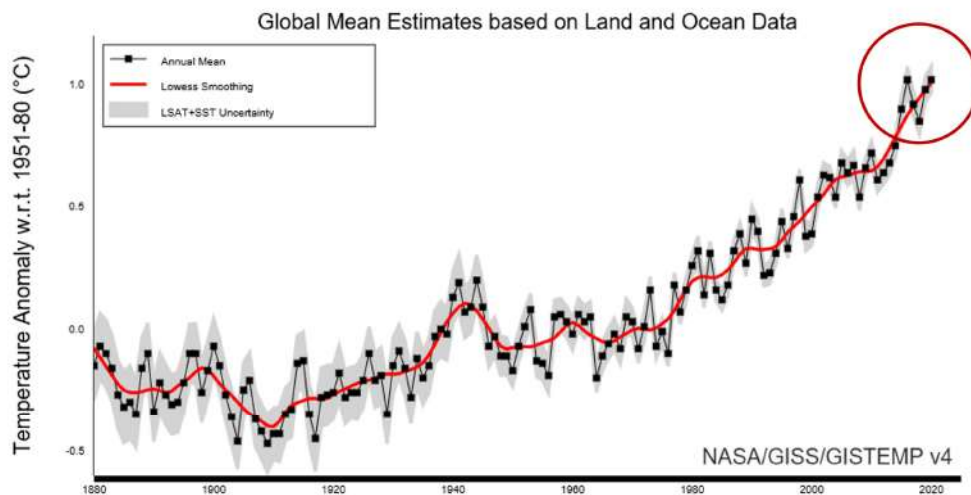
◆ 기후위기와 탄소중립

◆ 탄소중립을 위한 국가환경정책 과제와 방향



지구온난화 가속화 증거!

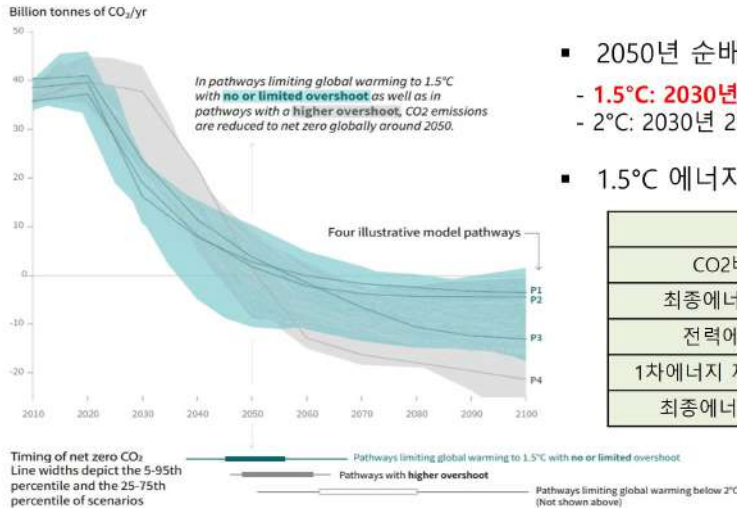
- 2020 : 근대 기상관측 이래 가장 더운 해.
산업화 이전 대비(1880-1920년 평균) 1.29°C 상승
- 2014~2020 : 기상관측 이래 가장 더운 7년



출처: NASA Goddard Institute for Space Studies

1.5°C 대응 탄소 예산

1.5°C 대응 이산화탄소 배출경로 : IPCC 1.5°C 보고서(2018)



- 2050년 순배출 제로 달성 (2010년 기준)
 - 1.5°C: 2030년 45% 감축 (한국: 24.4% 2017년 기준)
 - 2°C: 2030년 20% 감축
- 1.5°C 에너지전환 시나리오 (2010년 기준)

	2030년	2050년
CO ₂ 배출	58%	93%
최종에너지수요	15%	32%
전력에너지	60%	77%
1차에너지 재생에너지	-	49-67%
최종에너지 전력	-	34-71%

4

1.5°C 대응 탄소 예산

탄소 예산(Carbon Budget)

: 지구 기온 상승을 억제하기 위해 배출할 수 있는 잔여 이산화탄소 양 (IPCC 1.5°C 보고서(2018), CO₂ 만 대상)

Table 2.2: The assessed remaining carbon budget and its uncertainties. Shaded grey horizontal bands illustrate the uncertainty in historical temperature increase from the 1850-1900 base period until the 2006-2015 period, which impacts the additional warming until a specific temperature limit like 1.5°C or 2°C relative to the 1850-1900 period.

Additional warming since 2006-2015 [°C] (1)	Approximate additional Earth-system temperature increase since 1850-1900 [°C] (1)	Remaining carbon budget (excluding Earth-system temperature increase) [GtCO ₂] (2)	Remaining carbon budget (including Earth-system temperature increase) [GtCO ₂] (3)	Key uncertainties and comments (4)	Non-CO ₂ forcing and response uncertainty (5)	TCRE distribution uncertainty (7)	Historical temperature uncertainty (1)	Recent emissions uncertainty (8)
		Percentiles of TCRE						
0.3		33 rd	567					
0.4		29 th	468					
0.5		25 th	350					
0.6		21 st	232					
0.7		17 th	114					
0.8		13 th	-4					
0.9		9 th	-122					
1.0		5 th	-240					
1.1		1 st	-358					
1.2			-476					
1.5			-670					
2.0			-1320					

가정: 전 세계 1년 온실가스 배출량 = 40 GtCO₂

5

국가별 온실가스 배출

I 국가별 온실가스 배출량

국가	배출량 (MtCO ₂ e) LULUCF 포함	순위	1인당 배출량 (tCO ₂ e)	순위	GDP당배출량 (tCO ₂ e/ 백만USD)	순위	1850-2014 CO ₂ 누적배출량 (MtCO ₂)	순위
중국	11,601	1	9	54	666	60	168,762	2
미국	6,319	2	20	19	383	106	374,584	1
인도	3,202	3	2	137	459	90	39,332	7
인도네시아	2,472	4	10	46	968	38	10,098	24
러시아	2,030	5	14	27	559	76	105,236	3
브라질	1,357	6	7	70	432	96	12,373	19
일본	1,322	7	10	39	278	138	52,688	6
캐나다	867	8	24	10	568	74	29,101	9
독일	817	9	10	42	232	150	86,025	4
이란	801	10	10	41	621	67	13,381	17
멕시코	729	11	6	84	357	118	16,003	13
한국	632	12	12	32	372	112	14,263	16
사우디아라비아	583	13	19	21	379	109	9,657	25
남아프리카(공)	527	14	10	45	781	46	15,974	14
호주	523	15	22	14	514	83	15,631	15
영국	494	16	8	62	201	160	71,281	5

출처: World Resources Institute, CAIT Climate Data Explorer

6

국내 온실가스 배출

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

I 국내 부문별 온실가스 배출량 tCO₂eq

2018년 부문별 온실가스 배출량

단위: 백만톤

부문	에너지	산업공정	농업	폐기물	계
온실가스 배출량	632.4	57.0	21.2	17.1	727.6
비율	86.9%	7.8%	2.9%	2.3%	100%

2018년 부문별 온실가스 배출량(부문 재분류)

단위: 백만톤

부문	전환	산업	건물	수송	농업	폐기물	기타	계
온실가스 배출량	287.6	243.6	52.5	98.1	21.2	17.1	7.6	727.6
비율	39.5%	33.5%	7.2%	13.5%	2.9%	2.3%	1.0%	100%

자료: 에너지공단, 국가온실가스 배출량 종합정보 시스템

7

국내외 에너지 소비량

Ⅰ 에너지소비(에너지밸런스) 국제비교(2018, IEA)

단위: 백만톤, TOE

국가	최종 에너지 총소비	산업	수송	건물	Non-energy	산업+Non- energy
한국	182,205	49,371	35,147	42,923	50,820	100,191
	-	27.1%	19.3%	23.6%	27.9%	55.0%
EU	1,151,449	265,749	328,403	424,532	99,272	365,021
	-	23.1%	28.5%	36.9%	8.6%	31.7%
독일	222,678	57,957	56,141	83,162	21,749	79,706
	-	26.0%	25.2%	37.4%	9.8%	35.8%
프랑스	151,377	27,828	45,310	59,928	13,391	41,219
	-	18.4%	29.9%	39.6%	8.9%	27.2%
영국	128,744	21,619	41,433	55,044	7,929	29,548
	-	16.8%	32.2%	42.8%	6.2%	23.0%
미국	1,594,130	276,580	638,100	488,534	149,417	425,997
	-	17.4%	40.0%	30.7%	9.4%	26.7%
일본	283,020	82,211	70,550	90,937	34,138	116,349
	-	29.1%	24.9%	32.1%	12.1%	41.1%
중국	2,066,636	997,672	327,235	441,675	178,606	1,176,278
	-	48.3%	15.8%	21.4%	8.6%	56.9%

8

목 차

◆ 기후위기와 온실가스 배출

◆ 기후위기와 탄소중립

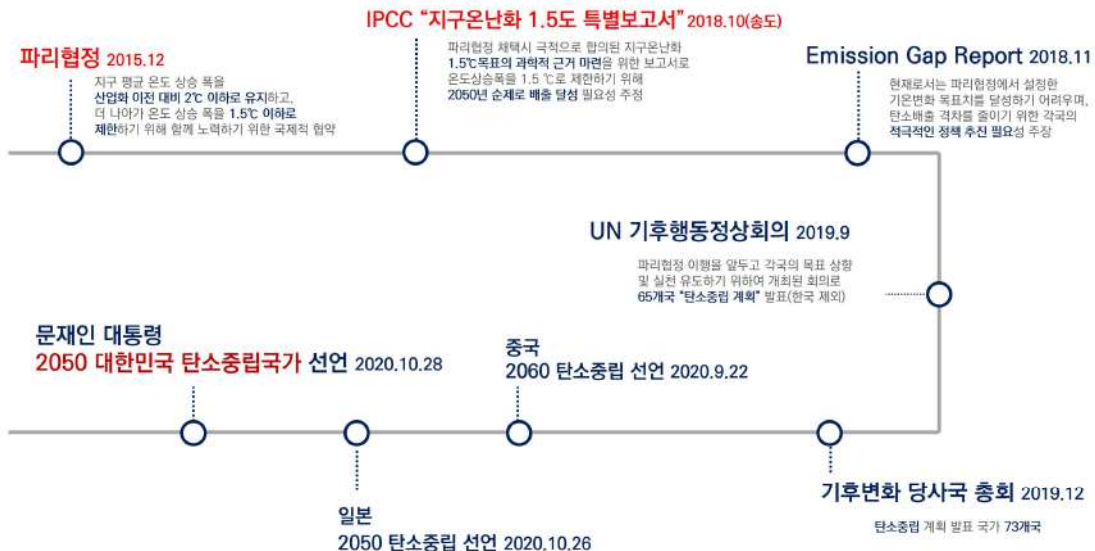
대한민국 탄소중립 추진의 역동성은 어디에서!

◆ 탄소중립을 위한 국가환경정책 과제와 방향



기후위기와 탄소중립

탄소중립선언을 하기까지



10

기후위기와 탄소중립

I 글로벌 무역과 금융질서 재편



세계적 탄소국경조정 도입 논의 본격화

- EU는 유럽그린딜 목표 달성과 탄소누출 방지를 위한 탄소국경조정 메커니즘을 2023년부터 도입할 것을 선언
- 미국 바이든 대통령 역시 대선캠페인에서 통해 기준에 못 미치는 탄소집약적 수입품에 대해 탄소 조정요금을 부과할 것을 공약
- EU는 자동차 배출규제 상향, 플라스틱세 신설, 수입산 폐배터리 탄소정보 제공 등 다양한 환경규제를 강화해 가는 중



주요 국제기구의 탄소규칙 강화


- 세계무역기구(WTO)는 무역환경지속가능성협약체(TESSD)를 신설('20년 11월)하여, 친환경제품 관세 인하 및 고탄소제품 상계관세 부과 논의
- 경제협력개발기구(OECD)는 회원국에게 탄소세 부과, 탄소거래시장 설립, 화석연료 보조금 폐지를 강력히 권고
- 국제금융기구(IMF)는 고탄소투자와 저탄소투자에 대해 상환기간을 차별화하여 저탄소투자에 혜택을 줄 것을 논의 중
- 국제결제은행(BIS)은 기후변화위험 금융감독 관리체계 구축 등 선제적 대응을 권유

11

기후위기와 탄소중립


한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

I 기업 지속가능경영의 강화



RE100 (기업 사용 전력을 100% 재생에너지로 충당)

- '14년 영국 비영리법인 The Climate Group에서 발족한 자발적 이니셔티브
- 연간 0.1 TWh 이상 전력소비 기업 대상, 참여신청 후 이행계획서를 제출하고 매년 이행실적 제출
- 현재 전 세계 284개 기업 가입 (한국은 SK 계열사 6개 '20년 가입), 애플, 아메리칸 익스프레스, TSMC, 3M, BMW 등이 대표적
- 금융, IT, 컨설팅, 농식품 기업이 70%를 차지하나, 최근 제조업, 기간산업 등의 참여 증가



ESG(환경, 사회, 거버넌스)

- 기업의 환경적 책임에 대한 사회적 요구가 높아지고, 불이행 시 생산비용이 증가하는 세계적 추세에 대응하는 기업의 움직임
- 최근 삼성, 현대차, SK, 포스코 등 대기업 중심으로 저탄소/친환경 경영 선언
- ESG 경영 관련 대기업과 금융권을 중심으로 친환경 프로젝트 투자를 위한 채권인 그린본드 발행 활발
- 2025년부터 자산 2조원 이상의 모든 기업 지속가능경영보고서 공시 의무화, 2030년부터는 모든 코스피 상장사에게 공시 의무 부여

12

기후위기와 탄소중립

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

I 바이든 당선으로 미국의 그린뉴딜, 탄소중립 정책 강화

2050년 탄소중립의 글로벌 의제화

- 파리협정('15년 채택, '16년 발효)에 따른 파리기후체제의 2021년 공식 출범
- UN기후행동정상회의('19년 9월) 이후 121개국이 기후목표 상향에 동의
- '19년 12월 기후야심동맹(Climate Ambition Alliance)이 결성되어 73개국이 2050년 탄소중립 달성을 위해 노력할 것을 결의
- EU('19년 12월), 중국('20년 9월), 일본('20년 10월), 한국('20년 10월), 미국(바이든 대통령 '20년 대선공약) 등 세계 주요국이 탄소중립 선언 (세계 배출량 63%)

➡ 미국의 기후정책에 대한 경제, 산업분야 대응 필요성 증가

13

그림 : 중앙일보(2020.11.10) <https://news.joins.com/article/23916216>

목 차

- ◆ 기후위기와 온실가스 배출
 - ◆ 기후위기와 탄소중립
 - ◆ 탄소중립을 위한 국가환경정책 과제와 방향
- 지속가능발전 국가의 계기로!**



탄소중립 이행

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

탄소중립 추진전략 (2020.12.7)

비전 “적응적(Adaptive) 감축”에서 “능동적(Proactive) 대응”으로
: 탄소중립 경제성장 삶의 질 향상 동시 달성

3+1 전략



[적응] 경제구조 모든 영역에서 低탄소화 추진

- 주요 온실가스 배출원인 발전·산업·건물·수송 분야에 대한 기술개발 지원, 제도개선 등을 통해 온실가스 조기 감축 유도

[기회] 신유망 저탄소 산업 생태계 육성

- 탄소중립 패러다임에 맞게 기존 혁신 생태계를 점검·보완하고 저탄소산업을 새로운 성장 동력으로 인식·육성하는 체계 구축

[공정] 공정(公正)전환을 통해 전국민 참여 유도

- 전환 과정에서 소외되는 계층·산업이 없도록 하고, 전 국민적 공감대를 토대로 지역·민간 등이 주도하는 Bottom-up 방식 추진

[기반] 탄소중립 인프라 강화

- 재정제도 개선 및 녹색금융 활성화, 기술개발 확충, 국제협력 등을 통해 탄소가격 시그널 강화 및 효과적인 탄소감축 이행 지원

자료: 관계부처 합동 “2050 탄소중립” 추진전략(안) (2020. 12. 7)

15

탄소중립 동향

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

I 탄소중립 후속조치

장기 저탄소발전전략 (LEDS)	2050 탄소중립 시나리오	2030 국가온실가스 감축목표(NDC) 갱신
목표: 2050 탄소중립 <ul style="list-style-type: none"> ① 청정 전기/수소의 모든 부문 이용 확대 ② 에너지 효율 혁신적 향상 ③ 탄소제거 등 미래기술 상용화 ④ 순환경제 확대로 산업의 지속가능성 제고 ⑤ 탄소 흡수 수단 강화 	목표: '21년 수립 <ul style="list-style-type: none"> ① 잠축잠재량, 기술수준, 비용편익분석 결과를 고려 ② 국내 여건을 고려 ③ 복수의 2050 탄소중립 시나리오 수립 	목표: '17년 대비 24.4% 감축 <ul style="list-style-type: none"> ① 감축 목표를 선진국 기준인 절대량 방식으로 전환 ② 국외 감축비중 축소 ③ 국내감축비중 확대 ④ 2025년 이전 2030년 목표 상향 추진

자료: 환경부

16

탄소중립 여건 : 온실가스 배출 현황

분 야	'90년	'95년	'00년	'05년	'10년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
총배출량	292.2	435.9	503.1	561.8	657.6	697.0	691.5	692.3	692.6	709.1
순배출량	254.4	405.0	444.8	507.7	603.8	652.8	649.3	649.9	648.7	667.6
에너지	240.4 (82%)	352.2 (81%)	411.8 (82%)	468.9 (83%)	566.1 (86%)	605.1 (87%)	597.5 (86%)	600.8 (87%)	602.7 (87%)	615.8 (87%)
산업공정	20.4	45.2	51.3	55.7	54.7	54.8	57.3	54.4	52.8	56.0
농 업	21.0	22.8	21.2	20.5	21.7	21.2	21.3	20.8	20.5	20.4
폐기물	10.4	15.7	18.8	16.7	15.0	15.9	15.4	16.3	16.5	16.8
(LULUCF)	(-37.7)	(-30.9)	(-58.3)	(-54.0)	(-53.8)	(-44.2)	(-42.2)	(-42.4)	(-43.9)	(-41.6)

출처: 제2차 기후변화대응기본계획 (일부 수정)

17

탄소중립 시나리오

- 시나리오 : 미래의 가능한 행동이나 이벤트를 기술한 것
(A description of possible actions or events in the future)
- 탄소중립 시나리오 : 2050년 탄소중립을 달성하는 부문별 온실가스 배출량/흡수량 및 이를 위한 기술 및 정책 수단 포함
 - 부문과 배출원의 상세화에 따라 시나리오의 구체성이 달라짐
- 필요 시 시간적 흐름을 포함하는 경로(pathway)로 표시

자료: 이창훈 "탄소중립의 이해" (2021.2.18)

18

탄소중립 시나리오

탈탄소 에너지전환 시나리오 사례 (이창훈 외, 2019)

2050 최종에너지 이용 (백만 TOE)

	산업	가정	상업	공공	수송	합계
석탄	4.9					4.9
석유	1.4				2.0	3.4
도시가스	4.7	4.6	2.1	-	-	11.4
전력	46.0	7.0	11.2	4.4	9.0	73.8
열에너지	-	1.1	0.3	0.1	-	1.4
신재생	13.0	1.1	0.3	0.1	1.2	20.4
합계	70.0	13.7	13.9	4.6	12.2	114.4
전력비중	65.8%	51.1%	80.7%	95.6%	73.8%	64.5%

- 2018년 최종에너지 사용량 182 (백만 TOE)

2050 이산화탄소 배출량 (백만tCO₂eq)

	산업	가정	상업	공공	수송	합계
석탄	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0
석유	3.6	0.0	0.0	0.0	5.6	9.2
도시가스	2.5	2.4	1.1	0.0	0.0	6.0
전력	10.6	1.3	2.2	0.3	2.0	16.5
열에너지	0.0	0.6	0.2	0.1	0.0	0.8
신재생	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합계	34.7	4.3	3.5	0.4	7.6	50.5
비중	68.7%	8.5%	7.0%	0.7%	15.1%	100.0%
흡수원						-50.5

2018년 이산화탄소 배출량 727 (백만tCO₂eq)¹⁹

탄소중립 시나리오

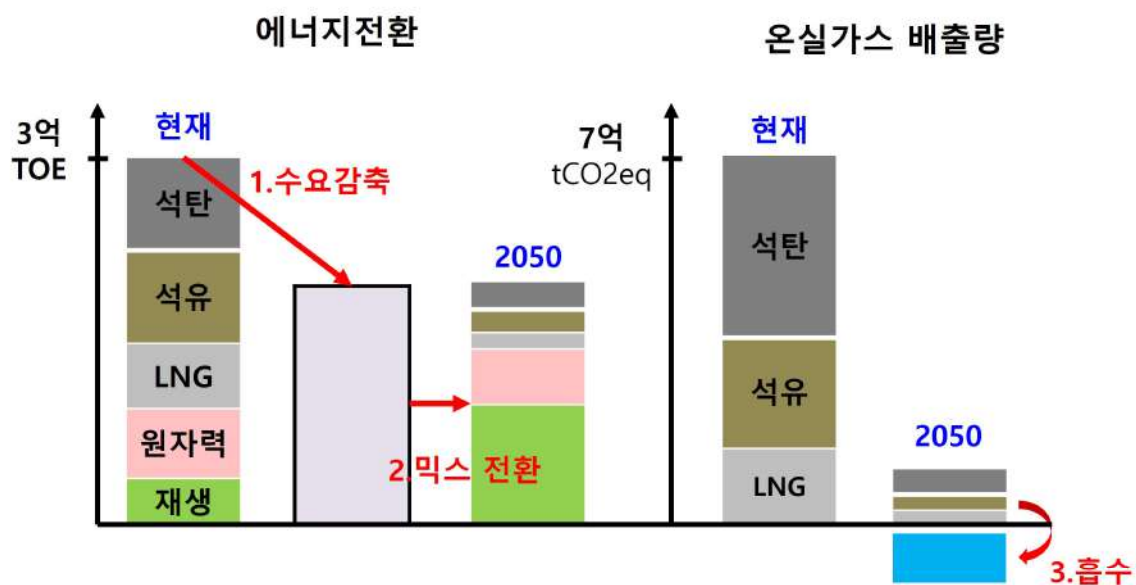
탈탄소 에너지전환 시나리오 사례 (이창훈 외, 2019)

2050 연료별 발전량 및 배출량

발전연료	발전량(TWh)		발전량 믹스		배출량 믹스	
	2017	2050	2017	2050	2017	2050
석탄	238.8	-	43.1%	-	80.7%	-
석유	8.7	-	1.6%	-	1.5%	-
천연가스	122.8	46.8	22.2%	5.0%	17.8%	100%
원자력	148.4	86.9	26.8%	9.3%	-	-
신재생에너지	34.9	801.5	6.3%	85.7%	-	-
합계	553.5	935.1	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

20

2050 탄소중립 추진전략 : 모식도



자료: 이창훈 "탄소중립의 이해" (2021.2.18) (일부 수정)

21

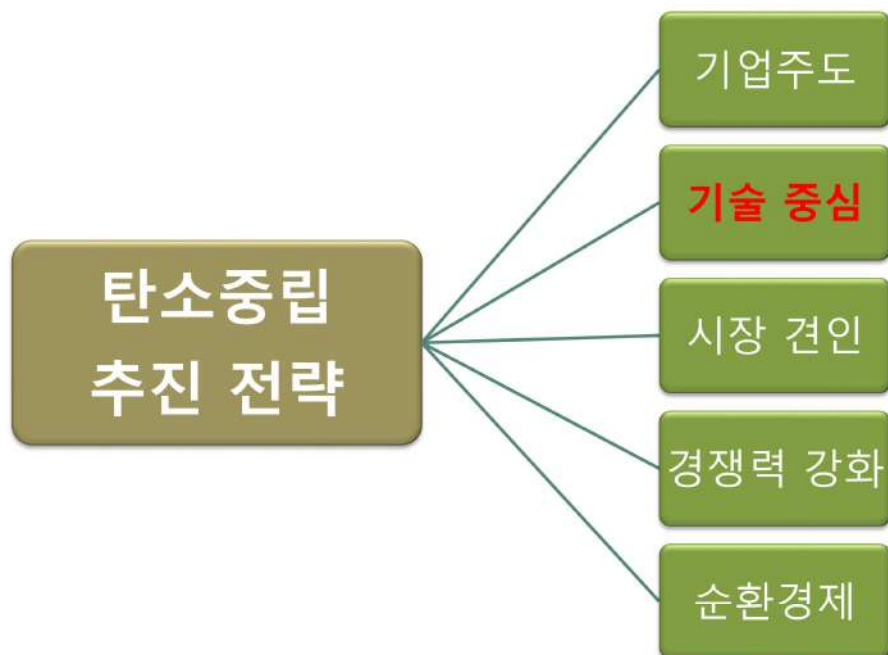
탄소중립 추진 전략

1. 에너지 수요관리: **에너지 절약 및 효율화** (산업, 건물, 수송)
2. 무탄소 에너지 공급 (**전기화와 재생에너지**)
 - 에너지 수요를 전기화
 - 재생에너지 중심 전력생산
 - :무탄소 에너지원인 재생에너지가 주로 전력을 생산
3. **원료(산업체) 대체, 탄소저장, 마이너스 배출**
 - 연료가 아니라 원료로 에너지를 이용하거나(철강, 석유화학 등), 공정 중에 배출되는 경우(시멘트 등) “전기화+재생에너지”가 대안이 될 수 없음
 - 원료를 대체, **CCUS** 또는 **마이너스 배출**을 통해 상쇄 필요
 - * 마이너스 배출: Bio Energy with CCS, Direct Air Capture, LULUCF 등
4. 최근 **행동 변화(behavioral change)**를 통한 온실가스 감축 주목
 - 순환경제, 식습관 변화 등

자료: 이창훈 “탄소중립, 국가전략 및 추진방향” 제56차 환경리더스포럼 (수정)

22

탄소중립 추진 전략



자료: 이창훈 “탄소중립, 국가전략 및 추진방향” 제56차 환경리더스포럼

23

탄소중립 추진 방향 1 : 기업 리더십

- **기업과 산업이 주도적으로 탄소중립전략 마련 및 시행**
 - 기업과 산업이 주도적으로 탄소중립전략을 마련하고 정부에 필요한 지원 및 정책을 요구
 - “탄소중립”이라는 목표가 확정됨에 따라 목표를 둘러싼 (규제)협상은 없어지고, 수단을 둘러싼 논의만 가능
- **온실가스배출의 전략적 의미를 확산시켜야 함**
 - 규제(국내규제, 국제규제)와 시장(자본시장, 공급망, 소매시장)이 탄소중립 이슈로 확대시켜야 함.
 - 온실가스 배출은 더 이상 도덕적 = 부수적 문제가 아니라 기업의 생존과 경쟁력을 좌우하는 경제적 = 전략적 문제로 대두

자료: 이창훈 “탄소중립, 국가전략 및 추진방향” 제56차 환경리더스포럼 (일부 수정)

24

탄소중립 추진 방향 2 : 기술 중심

- **혁신적 탄소 감축기술 개발 필요**
 - 현재 상용화된 기술로는 불가능하거나 비용이 너무 높음
 - 특히 고탄소 산업분야 핵심기술은 개발 초기단계 : 수소환원제철, P2X(Power to Methanol), 클링커대체원료
 - DAC, CCUS, 그린수소 생산, 보관, 수송, 이용 기술
- **국내외 R&D 협력을 통한 기술(경쟁력) 확보**
 - 민관 R&D 협력 : 핵심기술 확보 위한 전방위적 민관 협력
 - 국제 공동 연구 강화 : 모든 국가에서 대규모 R&D 투자 계획

자료: 이창훈 “탄소중립, 국가전략 및 추진방향” 제56차 환경리더스포럼 (일부 수정)

25

탄소중립 추진 방향 3 : 적극적인 시장 활용

- 정부 규제보다는 시장이 기업의 탄소중립을 견인해야 함
 - 투자시장 : 기후리스크 평가 강화
 - 상품시장-B2B : 공급망의 탈탄소화 추진 기업 증가
 - 상품시장-B2C : 소비자들의 저탄소 소비 강화
- 정부의 역할은 시장이 작동할 수 있도록 규칙 설정 및 인프라 마련
 - 일관된 정책신호 : 탄소중립 목표 설정 및 장기적 정책로드맵 제시
 - 시장친화적 정책신호 : Carbon pricing 지속적 강화
 - 정보제공(기업) : 기업의 기후환경 정보 공시 강화, 제3자 평가
 - 정보제공(제품) : 제품의 탄소발자국 계산, 제공
 - 인프라 구축 : 재생에너지, 그린 수소 소요량 확보

자료: 이창훈 "탄소중립, 국가전략 및 추진방향" 제56차 환경리더스포럼 (일부 수정)

26

탄소중립 추진 방향 4 : 경쟁력 강화

- 녹색성장: 탄소중립과 기업경쟁력 강화 동시 추진
 - 주류 산업의 탄소경쟁력 확보 : 기후 및 산업정책적 관점
 - 녹색 산업의 시장경쟁력 확보 : 산업정책적 관점
- 무역 장벽 대응 및 탄소누출 방지
 - 우리나라 국경조정조치 마련 : 미국, EU 국경조정조치에 대응하고 우리나라 산업의 탄소누출을 방지하는 방안 마련
- 산업구조관점의 전략적 선택 필요
 - 쇠퇴 산업(화석연료관련 산업 등) : 업종 전환 및 포용적 전환
 - 고탄소 소재산업(철강, 석유화학 등) : 고부가가치화 및 탄소경쟁력 확보

자료: 이창훈 "탄소중립, 국가전략 및 추진방향" 제56차 환경리더스포럼 (일부 수정)

27

탄소중립 추진 방향 5 : 순환경제

- 탄소중립의 새로운 동력으로 순환경제를 추진해야 함
 - 순환경제는 온실가스 감축이 어려운 소재산업을 위한 효과적인 감축수단임.
 - 대상 소재산업: 철강, 석유화학, 시멘트 등
 - 주요효과
 - 1) 소재소비 감소로 유발되는 우리나라 온실가스 감축
 - 2) 원자재 채굴 및 수송 관련 국외 온실가스 감축에 기여
- 순환경제의 핵심 내용
 - 신규 자원 이용 및 최종 처분(매립, 소각) 최소화: **사용기간 연장**, 재사용, 재활용 등
 - 생산-유통-소비-폐기 전과정의 혁신 필요 : 정책, 기술, 인프라, 인식

자료: 이창훈 "탄소중립, 국가전략 및 추진방향" 제56차 환경리더스포럼 (일부 수정)

28

감사합니다

자료관련 문의: KEI 기후에너지연구실 신동원 실장 (dwshin@kei.re.kr)



II

패널토론

좌 장: **홍순형** 한국과학기술한림원 기획정책담당 부원장

토론자: • **선양국** 한양대학교 에너지공학과 교수

• **하경자** 부산대학교 대기환경과학과 교수

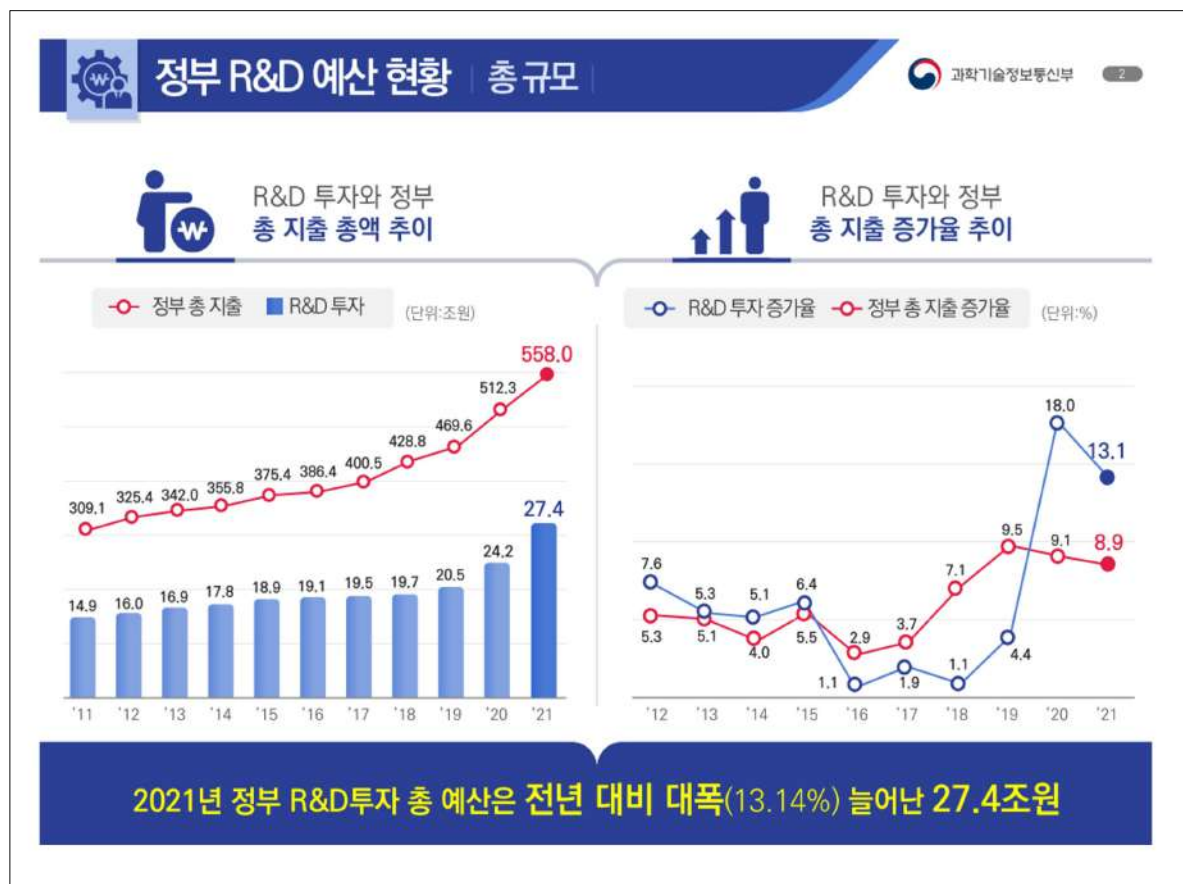
• **이창근** 한국에너지기술연구원 부원장

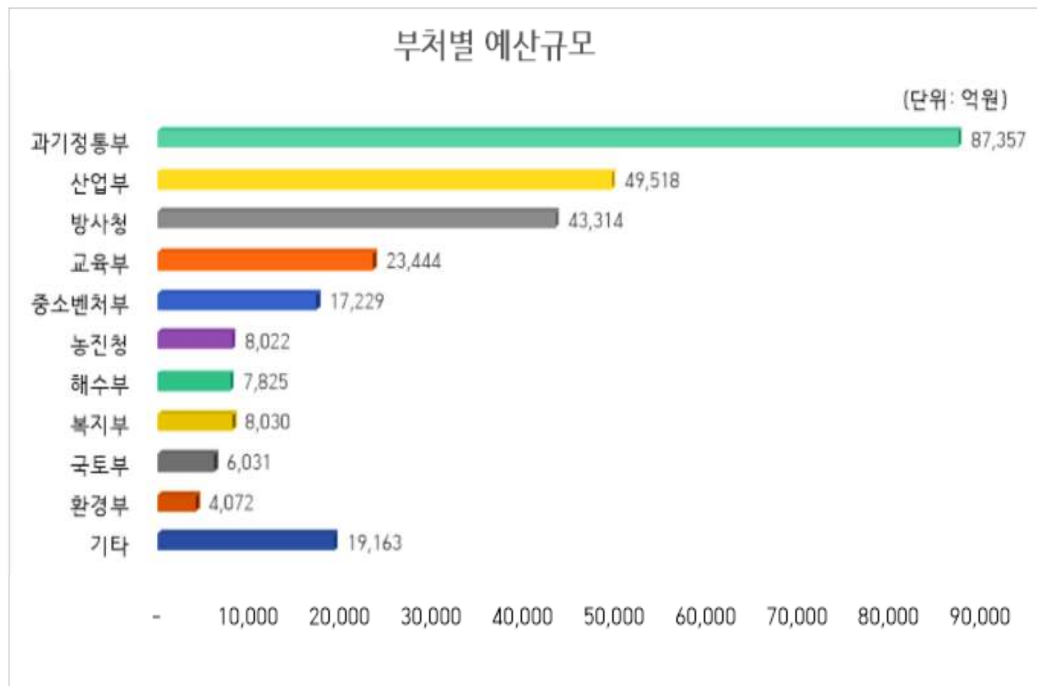
• **노기수** LG화학 사장

• **김성수** 과학기술정보통신부 연구개발투자심의국장

지정토론

선 양 국
한양대학교 에너지공학과 교수





* '20년도 대비 과기정통부 9.4% 증액, 산통부 18.7% 증액

9대 기술분야별 R&D 투자 현황 (2019년~2020년)

(단위: 억원)

구분	2019년(A)		2020년(B)		증감(B-A)	증감률(%)
	금액	비중(%)	금액	비중(%)		
생명·보건의료	25,319	12.3	30,693	12.7	5,373	21.2
우주·항공·해양	21,671	10.6	28,818	11.9	7,146	33.0
ICT·SW	24,431	11.9	27,947	11.5	3,517	14.4
소재·나노	12,769	6.2	18,813	7.8	6,044	47.3
에너지·자원	16,931	8.2	17,730	7.3	800	4.7
기계·제조	12,697	6.2	16,374	6.8	3,678	29.0
농림수산·식품	10,085	4.9	12,356	5.1	2,271	22.5
건설·교통	7,388	3.6	7,540	3.1	153	2.1
환경·기상	6,379	3.1	6,510	2.7	131	2.1
기타1)	67,659	33.0	75,412	31.1	7,753	11.5
합계	205,328	100.0	242,195	100.0	36,867	18.0

출처: 2020년도 정부연구개발예산 현황분석, KISTEP

과기정통부 예산 중 **기후 에너지 예산 비중은 8.6%**에 불과함

항목	기후·에너지	미래	바이오	나노·소재	첨단융합 기술	우주·해양극지	원자력	핵융합	방사광 가속기
금액 (백만원)	159,107	62,588	533,656	273,732	87,042	334,925	245,623	71,973	80,625
백분율 (%)	8.6	3.4	28.9	14.8	4.7	18.1	13.3	3.9	4.4

-2021년 산통부 에너지예산 1조 931억원 (22%)

R&D 전략방안

1. 수송용

도로의 탄소배출량이 절대적 이므로 내연기관차의 친환경차 전환 필수적

- 1) 내연기관차량의 전기·수소 등 친환경 차량 전환을 가속화하고, 환경개선효과가 큰 버스·화물차 등 상용차 집중 전환
- 2) 전기차 충전기 (전국 2천만세대)와 수소충전소등의 인프라 완비
- 3) 이차전지·연료전지 한계돌파형 기술개발을 통해 내연기관보다 우수한 가격 경쟁력 확보 (2024년 배터리 팩 가격 \$100/kWh)
 - * (이차전지) 전고체/리튬메탈전지 개발 → 안전성과 에너지밀도 대폭 증대
 - * (연료전지) 백금 사용량 감축 및 대체 소재 개발 등으로 제조단가 인하
 - * (선박) 하이브리드/연료전지 선박 개발 가속화

2. 신재생에너지용 에너지저장 장치

- 신재생에너지 (풍력, 태양광) 보급확대와 피크/소비전력 분산을 위한 고성능 에너지저장개발이 필수 적임
고안정성, 저가격, 장수명 이차전지 개발 (ex, 전고체 이차전지)

3. 제언

- 에너지 관련 연구개발비 대폭 확대 요망 (e.g. 20%)
- 이를 통해 개발된 기술을 차세대 성장동력 산업으로 육성하여 신성장동력 및 일자리 창출 기회로 활용

지정토론

하 경 자

부산대학교 대기환경과학과 교수

탄소중립 실현을 위한 과학(기술) 분야의 도전과제들

▪ 과학기반의 온실기체 감시 및 종합관측 시스템 구축

- 배출량 산정치의 불확실성 해소를 위한 과학/관측기반 접근 주도
- 온실기체 위성 및 지상관측 등 온실기체 거동 모니터링 인프라 구축

▪ 탄소 순배출제로(배출원 ↓ - (흡수량 및 포집량 ↑) = 0)

- 저탄소사회를 향한 지자체 역량을 고려하여 세 항목 구별한 접근
- 지오엔지니어링, CCUS, CCS와 기후과학-공학 융합 모델링으로 항목별 도전

▪ 탄소중립 지원을 위한 임무 지향형 과학기술 R&D 선도적 확대

- 기후-탄소사이클-에너지-경제 예측의 Digital Twin 시스템 개발
- AI기법을 활용한 청정에너지기술, 에너지 효율, 지구시스템 모델링 R&D로 지역적, 국가적 기후변화 예측성 향상해야 함

1

지정토론

노 기 수
LG화학 사장

기업의 탄소중립 추진 현황

1. 탄소중립의 중요성

- 유럽 중심의 강력한 탄소 감축 정책이 구체화 되고 있으며, 미국/중국의 동참으로 글로벌 트렌드 현실화
- COVID-19에 따른 플라스틱 사용량 증가 및 플라스틱 폐기물 해결에 대한 사회적 압박 증대로 사용 규제 강화
- ESG 지표 공시/기업신용평가 반영 움직임 확대 및 ESG 지수에 따른 투자 확보 Risk 증가

2. 기업들의 탄소중립 추진방향

- 단 · 중기적 : 개선이 용이한 기존 공정/설비 효율 향상 및 리사이클 플라스틱 확대를 통해 CO₂ 배출을 저감
- 장기적 : 에너지 절감형 혁신적 Process 개발, CO₂ 전환 및 화이트 바이오 소재 등 저탄소 제품 확대에 대응

국내	해외
LG, 롯데, SK 등 대기업 중심으로 ESG 전담 조직을 구성하고 실제 비즈니스/기술 개발 연계 강화	BASF, Apple 등 '탄소중립/순환경제'로의 전환을 위해 쉘 Value Chain에서 다양한 혁신 프로그램 추진 및 혁신적 기술 개발



3. 국내 기업들의 탄소중립 추진현황



4. Issue 및 건의 사항

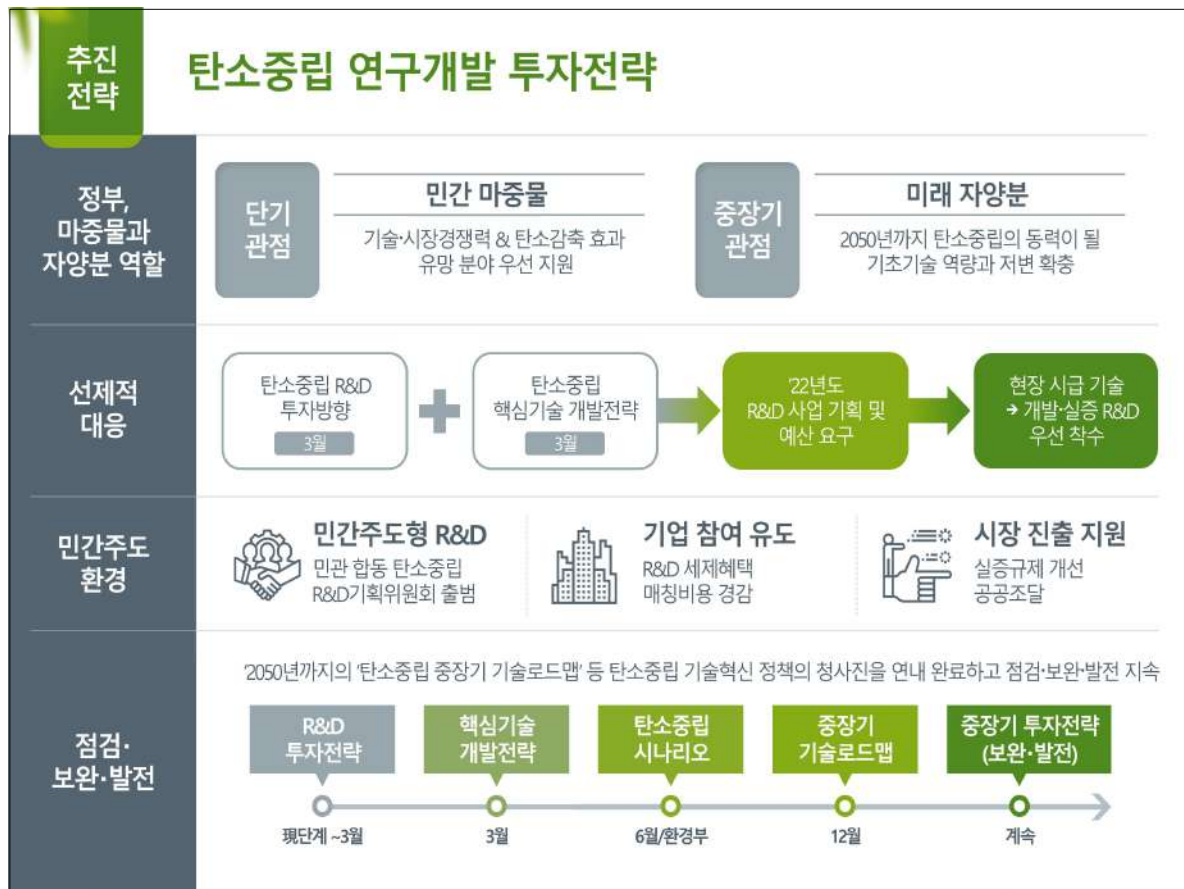
- 탄소중립을 위하여 친환경 재생에너지 사용과 혁신적인 신기술 개발이 절대적으로 필요하며 이를 위해 정부/기업간의 적극적인 협업과 글로벌한 Open Innovation이 요구됨
- 글로벌 기업들은 선제적 기후 변화 대응을 위해 순환경제 프로그램을 추진하고 있으며, 원료와 재료 주기(Material Cycle) 신규 사업모델 측면에서 접근하고 있으나 대부분의 탄소중립 프로그램이 경제성이 떨어지고 원료 확보 및 규제 완화를 위해 정부의 적극적인 지원이 요구됨
- 종합적인 관점에서 정부/산업/학계의 전략방향 수립 및 실행 계획을 구체화하고 관련 Player들과의 협력 체계를 강화해 나갈 필요가 있음

지정토론

김 성 수

과학기술정보통신부 연구개발투자심의국장





한림원탁토론회는...

한림원탁토론회는 국가 과학기술의 장기적인 비전과 발전전략을 세우고, 동시에 과학기술 현안 문제에 대한 해결방안을 모색하기 위한 목적으로 개최되고 있는 한림원의 대표적인 정책토론행사입니다.

지난 1996년 처음 개최된 이래 지금까지 160여회에 걸쳐 초중등 과학교육, 문·이과 통합문제, 국가발전에 미치는 기초과학 등 과학기술분야의 기본문제는 물론 정부출연연구소의 발전방안, 광우병의 진실, 방사능, 안전 방제 등 국민생활에 직접 영향을 미치는 문제에 이르기까지 광범위한 주제를 다루고 있습니다.

한림원은 과학기술 선진화에 걸림돌이 되는 각종 현안문제 중 중요도와 시급성에 따라 주제를 선정하고, 과학기술 유관기관의 최고책임자들을 발제자로 초빙하여, 한림원 석학들을 비롯해 산·학·연·정의 전문가들이 심도 깊게 토론을 진행하고 있습니다.

토론결과는 책자로 발간, 정부, 국회와 관련기관에 배포함으로써 정책 개선방안을 제시하고 정책 입안자료를 제공하여 여론 형성에 기여하도록 힘쓰고 있습니다.

■ 한림원탁토론회 개최실적 (2019년 ~ 2021년) ■

회수	일 자	주 제	발제자
133	2019. 2. 18.	수소경제의 도래와 과제	김봉석, 김민수, 김세훈
134	2019. 4. 18.	혁신성장을 이끄는 지식재산권 창출과 직무발명 조세제도 개선	하홍준, 김승호, 정지선
135	2019. 5. 9.	과학기술 정책성과와 과제	이영무
136	2019. 5. 22.	효과적인 과학인재 양성을 위한 전문연구요원 제도 개선 방안	곽승엽

회수	일 자	주 제	발제자
137	2019. 6. 4.	마약청정국 대한민국이 흔들린다 마약류 사용의 실태와 대책은?	조성남, 이한덕
138	2019. 6. 28.	미세먼지의 과학적 규명을 위한 선도적 연구 전략	윤순창, 안병옥
139	2019. 8. 7.	일본의 반도체·디스플레이 소재 수출규제에대한 과학기술계 대응방안	박재근
140	2019. 9. 4.	4차 산업혁명 시대 농식업(Agriculture and Food) 변화와 혁신정책 방향	권대영, 김종윤, 박현진
141	2019. 9. 25.	과학기술 기반 국가 리스크 거버넌스, 어떻게 구축해야 하는가?	고상백, 신동천, 문일, 이공래
142	2019. 9. 26.	인공지능과 함께할 미래 사회, 유토피아인가 디스토피아인가	김진형, 홍성욱, 노영우
143	2019. 10. 17.	세포치료의 생명윤리	오일환, 이일학
144	2019. 11. 7.	과학기술 석학의 지식과 경험을 어떻게 활용할 것인가?	김승조, 이은규
145	2020. 2. 5.	신종 코로나바이러스 감염증 대처방안	정용석, 이재갑, 이종구
146	2020. 3. 12.	코로나바이러스감염증-19의 중간점검 - 과학기술적 관점에서 -	김호근
147	2020. 4. 3.	COVID-19 팬데믹 중환자진료 실제와 해결방안	홍석경, 전경만, 김제형
148	2020. 4. 10.	COVID-19 사태에 대비하는 정신건강 관련 주요 이슈 및 향후 대책	심민영, 현진희, 백종우
149	2020. 4. 17.	COVID-19 치료제 및 백신 개발, 어디까지 왔나?	신형식, 황응수, 박혜숙
150	2020. 4. 28.	Post COVID-19 뉴노멀, 그리고 도약의 기회	김영자
151	2020. 5. 8.	COVID-19 2차 유행에 대비한 의료시스템 재정비	전병율, 홍성진, 염호기
152	2020. 5. 12.	포스트 코로나, 어떻게 살아남을 것인가? : 정보 분야	강홍렬, 차미영
153	2020. 5. 18.	포스트 코로나, 어떻게 살아남을 것인가? : 경제·산업 분야	박영일, 박진
154	2020. 5. 21.	젊은 과학자가 바라보는 R&D 과제의 선정 및 평가 제도 개선 방향	김수영, 정우성
155	2020. 5. 25.	포스트 코로나, 어떻게 살아남을 것인가? : 교육 분야	이윤석, 이혜정

회수	일 자	주 제	발제자
156	2020. 5. 28.	지역소재 대학 다 죽어간다	이성준, 박복재
157	2020. 6. 19.	대구·경북에서 COVID-19 경험과 이를 바탕으로 한 대응방안	김신우, 신경철, 이재태, 이경수, 조치흠
158	2020. 6. 17.	코로나 이후 환경변화 대응 과학기술 정책포럼	장덕진, 임요업
159	2020. 6. 23.	포스트 코로나 시대의 과학기술교육과 사회적 가치	이재열, 이태억
160	2020. 6. 30.	코로나19 시대의 조현병 환자 걱정 치료를 위한 제언	권준수, 김 윤
161	2020. 7. 9.	Living with COVID-19	정은옥, 이종구, 오주환
162	2020. 7. 15.	포스트 코로나 시대, 농식품 산업의 변화와 대응	김홍상, 김두호
163	2020. 7. 24.	건강한 의료복지를 위한 적정 의료인력과 의료제도	송호근, 신영석, 김 윤, 안덕선, 한희철
164	2020. 7. 30.	젊은 과학자가 보는 10년 후 한국 대학의 미래	손기훈, 이성주, 주영석
165	2020. 8. 7.	집단면역으로 COVID-19의 확산을 차단할 수 있을까?	황응수, 김남중, 천병철, 이종구
166	2020. 8. 24.	포스트 코로나 시대, 가속화되는 4차산업혁명	윤성로, 김정호
167	2020. 9. 8.	부러진 성장사다리 닦고 싶은 여성과학기술리더가 있는가?	김소영, 문애리
168	2020. 9. 10.	과학기술인재 육성을 위한 대학의 역할	변순천, 안준모
169	2020. 9. 17.	지난 50년 국가 연구개발 투자 성과, 어떻게 나타났나?	황석원, 조현정, 배종태, 배용호
170	2020. 9. 23.	과학기술 재직자 역량 강화 전략	차두원, 김향미
171	2020. 9. 25.	COVID-19 치료제의 개발 현황	김성준, 강철인, 최준용
172	2020. 10. 7.	미래세대 기초·핵심역량 제고 방안	송진웅, 권오남
173	2020. 10. 13.	대학의 기술 사업화 및 교원 창업 활성화 방안	이희숙, 이지훈, 심경수
174	2020. 10. 14.	한국판 뉴딜, 성공의 조건은?	박수경
175	2020. 10. 22.	성공적인 K 방역을 위한 코로나 19 진단 검사	이혁민, 홍기호, 김동현
176	2020. 11. 5.	4단계 BK21 사업과 대학의 혁신	노정혜, 정진택, 최해천
177	2020. 11. 9.	COVID-19의 재유행 예측과 효과적 대응	이종구, 조성일, 김남중
178	2020. 11. 27.	우리나라 정밀의료의 현황과 미래 : 차세대 유전체 염기서열 분석의 임상응용과 미래	방영주, 박웅양, 김열홍

회수	일 자	주 제	발제자
179	2020. 12. 4.	대학 교수평가제도의 개선방안	최태림, 림분한, 정우성
180	2020. 12. 8.	COVID-19의 대유행에서 인플루엔자 동시감염	김성준, 송준영, 장희창
181	2020. 12. 9.	COVID-19 환자 급증에 따른 중환자 진료 대책	김제형, 홍석경, 공인식
182	2020. 2. 19.	세계대학평가 기관들의 객관성 분석과 국내대학을 위한 제언	이준영, 김 현, 박준원
183	2021. 4. 2.	인공지능 시대의 인재 양성	오혜연, 서정연

제184회 한림원탁토론회

탄소중립 2050 구현을 위한 과학기술 도전 및 제언

이 사업은 복권기금 및 과학기술진흥기금 지원을 통한 사업으로
우리나라의 사회적 가치 증진에 기여하고 있습니다.

행사문의

한국과학기술한림원(KAST) 경기도 성남시 분당구 돌마로 42(구미동) (우)13630
전화 (031)726-7900 팩스 (031)726-7909 이메일 kast@kast.or.kr