ISSN 2635-618X

2021-19(통권 제319호)

Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

KISTEP Issue Paper

탄소중립 달성을 위한 정부 연구개발 정책 및 투자방향

한웅용 · 전은진 · 손영주

Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

KISTEP 한국과학기술기획평가원
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

탄소중립 달성을 위한 정부 연구개발 정책 및 투자방향

(A Study on the Research & Innovation Challenges for the Carbon Neutral Economy)

한웅용·전은진·손영주

Han,Woongyong · Jun,Eunjin · Sohn,Youngjoo

Ⅰ. 서론

Ⅱ. 해외 주요국의 탄소중립 정책 및 R&D 동향 분석

Ⅲ. 한국의 탄소중립 정책 및 R&D 추진현황

Ⅳ. 결론 및 정책제언

[참고문헌]

Ⅰ. Background

Ⅱ. The Carbon Neutral Strategy of the Major Nations

Ⅲ. The Carbon Neutral Strategy of the Republic of Korea

Ⅳ. Conclusions and Recommendations

[References]

KISTEP 한국과학기술기획평가원
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

요 약

작성 배경

- 본고에서는 해외 주요국의 탄소중립 관련 정책 및 R&D 추진 현황을 살펴보고 우리나라와 비교 분석함으로써 효과적인 탄소중립 실현을 위한 정책적 시사점을 제시하고자 함

해외 주요국의 탄소중립 실현을 위한 정책 및 R&D 동향

- 온실가스 배출량과 GDP 추이를 조망해보면, 우리나라와 중국을 제외한 주요국은 경제성장과 온실가스의 탈동조화(decoupling) 단계에 도달
- 저탄소 에너지 발전 비중을 살펴보면, 한국, 프랑스 및 미국은 원자력이 가장 높으나 미국은 풍력 비중 역시 높으며, 영국과 독일은 풍력 비중이 가장 높고, 일본은 태양광 비중이 높은 반면, 중국은 수력 비중이 가장 높음
- 해외 주요국별 R&D 투자 현황은 국가별 기후 및 지리적 여건을 반영한 특성을 보임
  - 프랑스, 영국 및 일본은 원자력 R&D 비중이 높고, 중국은 화석연료 효율화에 중점을 두고 있으며, 일본, 중국 및 독일은 수소경제 달성을 위한 R&D의 비중이 높음
- 기술분야는 지상 뿐 아니라 항공 수송효율화, 온실가스 관측체계 구축, 바이오에너지, 소재·부품 재활용 기술 등을 중점 개발 중임

국내 현황

- 국내 목표 상향안은 도전적 목표치로 평가할 수 있으며 단기간에는 기존의 감축 방식을 강도 높게 추진함으로써 상향된 NDC(Nationally Determined Contribution)를 달성할 것이나, 장기적으로는 R&D를 통한 기술패러다임 전환이 요구됨
- 정부 R&D 투자는 저탄소에너지, 녹색산업생태계 구축, 인프라 녹색 전환, 탄소중립 기반 구축 분야 순으로 집중 투자되고 있으며 2022년에는 전년 대비 40.1% 증가된 예산이 편성됨

결론 및 정책제언

- 해외 주요국 사례와 국내 현황을 비교·분석한 결과를 바탕으로, 2050 탄소중립 실현을 위해 다음과 같이 세 가지 정책을 제안함

- (제도적 측면) 보다 다양한 기술 및 학문 분야 간 협력을 통한 기술 융복합이 촉진될 수 있도록 임무지향적 혁신정책 원칙을 도입하고 이를 위해 관련 법령 개정 등 필요

- (거버넌스 측면) High Risk-High Payoff형 혁신기술 R&D를 장기적 관점에서 안정적으로 추진하기 위한 제도적 기반 마련 필요

- (연구개발 측면) 주요국의 연구개발 동향 분석을 바탕으로 아래 6가지 사항을 제언함
  첫째, 산업 탈탄소화를 지원할 수 있는 기술개발 사업 추진
  둘째, 항공부문 수송효율화 기술에 대한 연구개발 지원 확대 및 구체적인 전략 수립
  셋째, 제1차 전지구적 이행점검 대비 온실가스 농도 측정 등에 관한 연구개발 지원 강화
  넷째, 탄소 제거기술에 대한 지원 확보 및 다양한 기술조합을 시도할 수 있는 제도적 기반 마련
  다섯째, 소재/부품의 장수명화 및 재활용 기술에 대한 연구개발 강화
  여섯째, 미래 수소 수요에 대응하기 위한 수소제조기술의 다양한 기술시즈 확보

※ 본 이슈페이퍼는 한국과학기술기획평가원에서 발간한 위탁연구보고서『탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석』의 내용을 발전시킨 것으로 한국과학기술기획평가원의 공식 의견이 아닌 필자의 견해임을 밝힙니다.

Abstract

Background

- This study reviews major nations' policies and R&D investment for the Carbon Neutrality. And by comparing the strategy of major nations' and that of the Republic of Korea, we propose a few policy agendas needed to effectively reach Net-zero targets

Carbon Neutral Strategy of the Major Nations

- When we analyze the relationship between GHG emissions and the growth of GDP per capita , except China and the Republic of Korea, major nations decoupled economic growth from carbon emissions
- Looking at what type of sources account for renewable energy in major nations, in Korea, France and USA nuclear power is the main source of renewable energy, and UK and Germany depend mainly on wind power. In Japan, renewable energy comes from solar and hydropower is the main source in China
- Major nations are adopting R&D strategy which is suitable to their climate and geographical environment
  - In France, UK and Japan, the R&D for nuclear power is the largest in renewable energy R&D investment. China is focusing the efficiency of fossil energy and Japan, China and Germany are also increasing R&D investment for the hydrogen economy
- In technology fields, major nations endeavor to improve the transportation efficiency of air as well as land. And Greenhouse gas emission monitoring systems, bioenergy, recycling of materials and components are key technologies which major nations are concentrating their effort on developing

Carbon Neutral Strategy of the Republic of Korea

- The Korean government's revising up 2030 NDC target to 40% vs. previous 26.5% can be said to be bold revision
- In the short run, the revised NDC plan can be implemented with aggressive propelling with the existing reducing methods but in the long run, it can be successfully achieved by shifting of technology paradigm
- The Korean government increased the R&D budget of 'Green New Deal Field' in 2022FY by 40.1% compared with the previous year. Focus Areas of the Green New Deal are ① Low-carbon and Decentralized Energy Supply, ② Innovation in the Green Industry, ③ Green Transition of Infrastructures, ④ building Net-zero infrastructures

Conclusion and Recommendation

- From comparison and analysis of foreign major nation's Net-Zero policies and R&D investment with those of Korea, we recommend three national policy agenda
- (Institution) To stimulate convergence of technologies and interdisciplinary research, mission-oriented innovation policy should be introduced and that principles be enacted
- (Governance) To support long run and stable implementation of High Risk-High Payoff type R&D, we have to construct an institutional basement
- (R&D) Based on analysis and review of foreign major nations' Net-Zero R&D trend, we propose the following six agendas
  First. Design of R&D program for industrial decarbonization
  Second. Enlargement of R&D investment to improve the efficiency of air transportation and strategy establishment
  Third. Preparing the Global stocktake, enforcement of R&D project measuring and monitoring GHG intensity

Fourth Guarantee of budget and institute support for carbon removal technology and trial of varied technological combination
Fifth Encouragement of R&D for technologies of Longevity and reuse of Material and components
Sixth, To cope with future demand for hydrogen, securing hydrogen producing technology seeds

Ⅰ 논의배경

■ 기후 변화에 대한 전 지구적 대응이 요구됨에 따라 우리나라도 기후변화 대응 정책 및 R&D 추진을 통해 국제적 노력에 일조하고 있음

- 국제사회는 기후변화 문제의 심각성을 인식하고, 변화를 촉구하고자 교토의정서(1997), 파리협정(2015) 등을 채택하였고, 우리나라도 파리 협정 비준(2016)

- 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)는 2015년 파리 협정 채택 시 합의된 1.5˚C 목표의 과학적 근거를 마련(2018)

  - IPCC는 2100년까지 지구 평균온도 상승폭을 1.5℃ 이내로 제한하기 위해서는 전지구적으로 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 최소 45% 이상 감축하여야 하고, 2050년경에는 온실가스 배출 넷제로(Net-zero)를 달성하여야 한다는 경로를 제시

  - 한편, 2℃ 목표 달성 경로의 경우, 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 약25% 감축하여야 하며, 2070년경에는 온실가스 배출 넷제로(Net-zero)를 달성해야 한다고 제시

■ 2019년 9월 뉴욕에서 개최된 기후정상회의 명칭은 '기후행동 정상회의'였으며, 2019년 12월 '제25차 기후변화당사국 총회(COP25)'의 핵심 의제 또한 '행동해야 할 시간(Time for Action)'이었음[1)]

  - 세계 각국은 2016년부터 자발적으로 온실가스 감축 목표를 제출했고, 모든 당사국은 2020년 까지 '파리협정 제4조 제19항'에 근거해 지구평균기온 상승을 2℃ 이하로 유지하고, 나아가 1.5℃를 달성하기 위한 장기저탄소발전전략(LEDS*)과 국가온실가스감축목표(NDC**)를 제출하기로 합의

    * LEDS : Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies (장기저탄소발전전략)

    ** NDC : Nationally Determined Contribution(국가 온실가스 감축 목표, 5년 주기 제출)

  - 스웨덴(2017), 영국, 프랑스, 덴마크, 뉴질랜드(2019), 헝가리(2020) 등 6개국이 '탄소중립'을 이미 법제화 하였으며, 유럽, 중국, 일본 등 주요국들이 탄소중립 목표를 선언

1) https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148881562 대한민국 정책브리핑

- 조 바이든 미국 대통령 당선인도 취임 직후 파리협정에 재가입하고 2050년까지 탄소중립을 이루겠다고 약속한 바 있음

  * EU(유럽연합) : '그린딜'(2019.12)을 통해 2050년 탄소중립 목표 발표
  * 중국 : 2060년 이전까지 탄소중립 달성 선언(2020.9.22. UN총회, 시진핑 주석)
  * 일본 : 2050 탄소중립 목표 선언 (2020.10.26. 의회연설, 스가 총리)

■ 우리나라는 문재인 대통령이 2020년 10월 28일, 국회 시정연설에서 2050 탄소중립 계획을 처음으로 천명

- 11월 3일 국무회의 모두발언을 통해 "우리도 국제사회의 책임 있는 일원으로서 세계적 흐름에 적극 동참해야 한다"며 "기후위기 대응은 선택이 아닌 필수"라고 강조

- 12월 7일 홍남기 경제부총리 겸 기획재정부 장관 주재 '제22차 비상경제 중앙대책본부회의'를 개최하여 '2050 탄소중립 추진전략'을 확정·발표했고, 15일 국무회의에서 '2050 장기저탄소발전전략(LEDS)'과 '2030 국가온실가스감축목표(NDC)' 정부안이 확정됐음

■ 2050 탄소중립위원회는 2021년 10월 18일, 제2차 전체회의를 통해 「2050 탄소중립 시나리오안」과 「2030 국가 온실가스 감축목표 상향안」을 심의·의결함

- 국가 온실가스 감축목표(NDC)는 "2018년 온실가스 총배출량 대비 40% 감축"으로 기존 감축 목표인 2018년 온실가스 배출량 대비 26.3%감축에서 대폭 상향됨

■ 우리나라는 탄소 저감을 위해 극복해야 할 많은 사회·경제적 여건들에 직면하고 있어서 장기 전략의 초기 정책 구성이 중요하며 기술혁신을 통한 경제구조의 탈탄소화가 절실한 상황임

- 제조업 및 탄소집약적 산업의 비중이 높고, 신재생에너지 개발에 불리한 기후 조건과 이미 도달한 높은 전력효율로 인한 기대감축 규모가 낮은 등 추가적인 탄소 저감을 실현하는 것에는 많은 어려움이 존재함

- 특히 장기적으로 넷제로(Net-Zero)를 달성하기 위해서는 배출 원인의 구조적 전환을 위한 기술혁신이 시급한 상황임

- 본고에서는 해외 주요국의 탄소중립 관련 정책 및 R&D 추진현황의 비교분석을 통해 우리나라의 탄소중립 실현을 위한 정책 및 R&D투자 방향에 대한 시사점을 제시하고자 함

  - 주요국의* 탄소저감을 위한 정책 및 R&D 투자현황을 비교·분석 함으로써 우리나라에 적합한 탄소중립 정책수립과 함께 탄소중립의 효과적 달성을 위한 R&D 예산 편성전략을 도출할 필요가 있음

    * 미국, EU, 독일, 프랑스, 영국, 일본, 중국 등 7개국

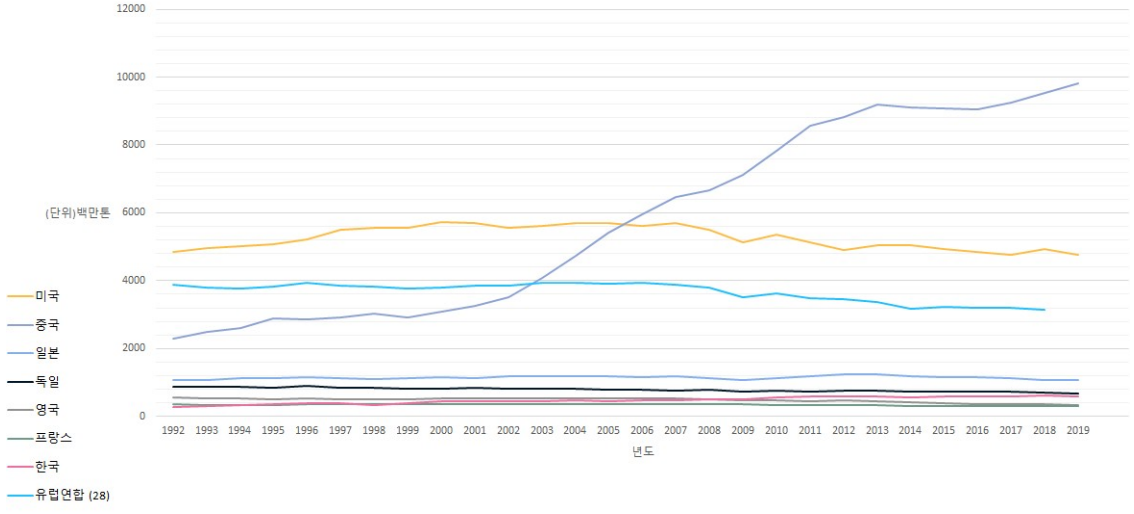
II 해외 주요국의 탄소중립 정책 및 R&D 동향 분석

II.1 에너지 관련 지표 분석

1. 온실가스 배출 현황

- 현재 온실가스 최다 배출국인 중국의 배출량은 여전히 지속적으로 증가 중이나, 세계 2위 배출국인 미국의 배출량은 점차 감소 추세

  - 독일, 영국, 프랑스, 일본 등 주요국 역시 배출량이 감소하는 추세인 반면, 우리나라는 증가 추이를 보임
    - 상기 주요국들의 2000~2010년 초중반까지의 배출량 감소세는 중국의 개방으로 인한 오프쇼어링에서 비롯된 자국내 산업구조의 변화에 기인한 것으로 추정됨
    - 2010년대 중반 이후 감소 추세는 각 국가별로 활발히 전개된 에너지 전환 정책으로 인한 재생에너지 보급·확산이 일부 반영된 것으로 보임



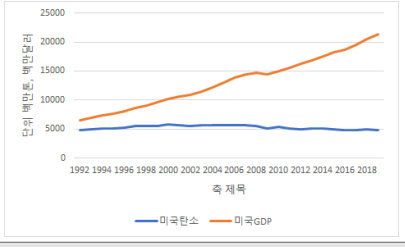
※ [자료] IEA Energy Atlas 내용을 종합하여 연구진 작성

[그림 1] 주요국별 온실가스 배출량 변화 추이(1992~2019)

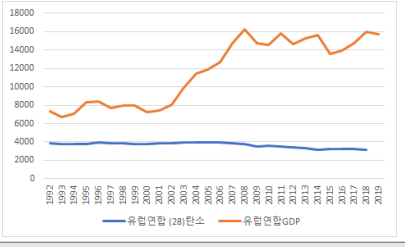
■ 온실가스 배출량과 GDP 추이를 보면, 우리나라와 중국을 제외한 주요국은 경제성장과 온실가스의 탈동조화 단계에 도달

- 우리나라와 중국 역시 2010년대부터 배출량 증가세가 완화되는 경향

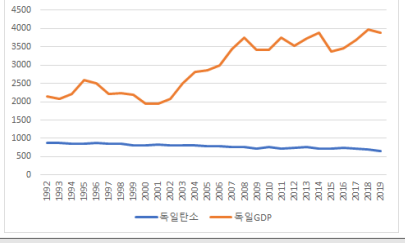
※ 우리나라의 2010-2017년간 탈동조화지수는 0.27로 약한 탈동조화 단계로 분석(국회예산정책처(2020))



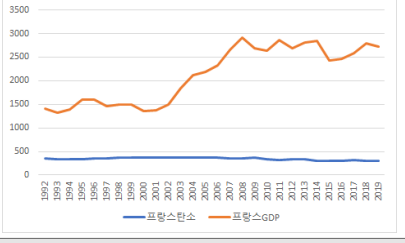
〈미국의 GDP 및 탄소배출량 변화 추이〉



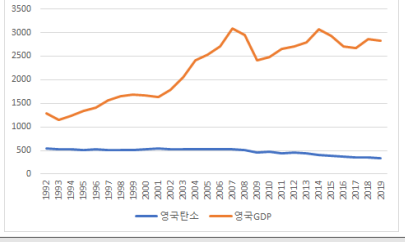
〈EU의 GDP 및 탄소배출량 변화 추이〉



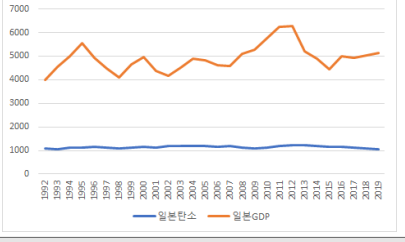
〈독일의 GDP 및 탄소배출량 변화 추이〉



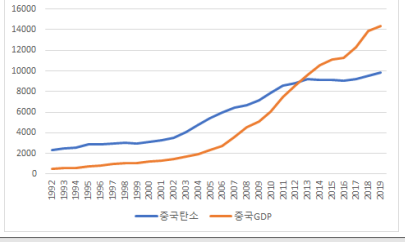
〈프랑스의 GDP 및 탄소배출량 변화 추이〉



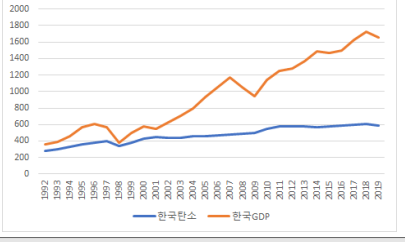
〈영국의 GDP 및 탄소배출량 변화 추이〉



〈일본의 GDP 및 탄소배출량 변화 추이〉



〈중국의 GDP 및 탄소배출량 변화 추이〉



〈한국의 GDP 및 탄소배출량 변화 추이〉

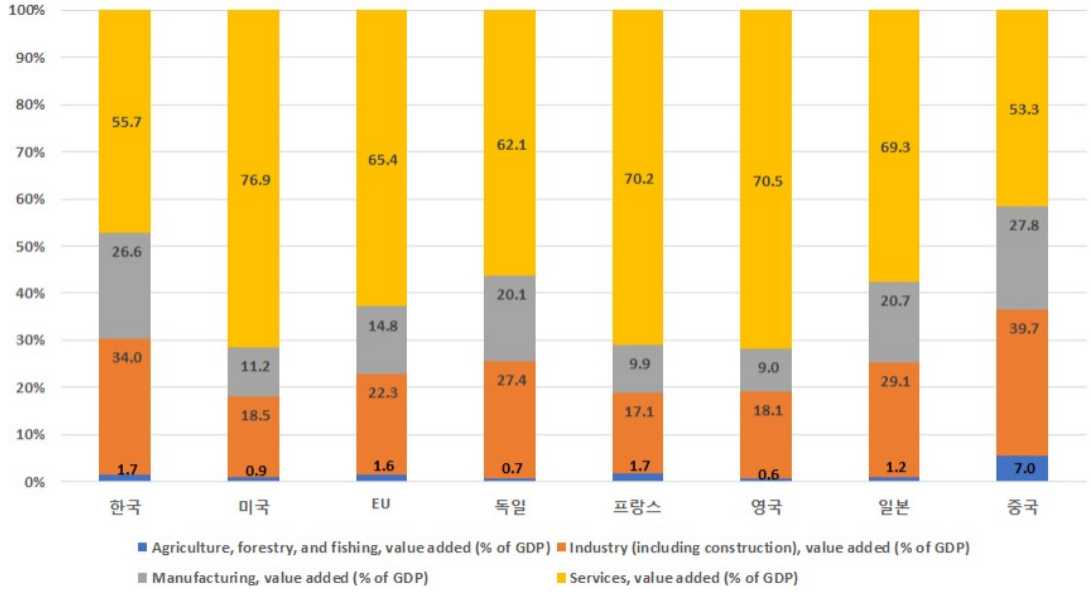
※ [자료] IEA 및 IMF Database를 활용하여 작성

[그림 2] 주요국별 GDP 및 탄소배출량 변화 추이 비교(1992~현재)

2. 산업 및 에너지 공급 구조

- 서비스 산업 중심의 미국, EU, 프랑스, 영국 등은 제조업 중심 국가보다 탄소 배출량 감축에 유리한 상황에 놓여 있음

  - 독일 및 일본은 제조업 비중이 상대적으로 높음에도 불구하고 지속적인 재생에너지 중심으로의 에너지전환 노력 및 기술혁신을 통해 탈동조화 상태에 도달한 것으로 분석됨



※ [자료] World Bank Databank의 데이터를 활용하여 연구진 작성

[그림 3] 주요국별 경제활동별 GDP 비중 비교(2018년 기준)

- 미국, EU, 독일, 프랑스는 온실가스 배출량이 가장 높은 에너지원 중 하나인 석탄의 에너지공급 비중을 20% 미만으로 억제 중

  ※ 에너지 공급량에 대한 에너지원별 비중이 상기 국가의 온실가스 배출량 감소에 일조하는 것으로 추정됨

  - 중국을 제외한 주요국은 상대적으로 온실가스 배출량이 적은 것으로 평가되고 있는 천연가스의 에너지 공급 비중이 높은 편

  - 프랑스는 원자력의 비중이 예외적으로 높아(41.6%), 발전·전환 부문의 탈탄소화를 달성하기 상대적으로 용이한 상태

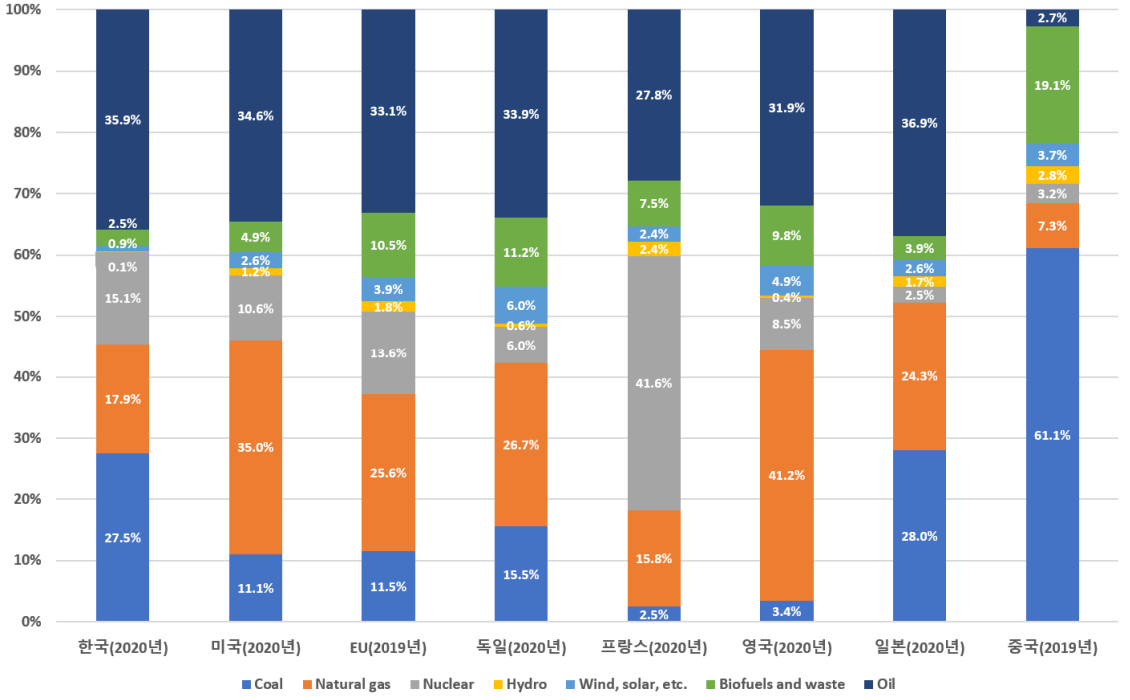
- 중국은 석탄의 에너지공급 비중이 전체의 61.1%를 차지하고 있어, 단기적인 온실가스 감축을 위해 청정화력 기술개발을 가속화할 것으로 전망됨

- 한국은 석탄의 에너지 공급 비중이 27.5%로 다소 높은 편이며, 원자력 비중 역시 프랑스 다음으로 높음

  - 한국은 재생에너지원의 에너지공급 비중은 약 0.9%에 불과*하여, 비교군 중에서 가장 낮은 비중을 보이고 있음

    ※ 독일(6.0%)〉영국(4.9%)〉EU(3.9%)〉중국(3.7%)〉미국/일본(2.6%)〉프랑스(2.4%)〉한국(0.9%)순

  - 정책적·경제적·기술적·환경적 요인 등을 객관적으로 조망함으로써 저조한 재생에너지원 공급량 비중의 원인을 다각도로 살펴볼 필요가 있음



※ [자료] IEA Countries & Regions 데이터를 활용하여 연구진 작성

[그림 4] 주요국의 총에너지공급량 내 에너지원 비중 비교(2020년 기준)

3. 저탄소 재생 에너지 현황

■ 저탄소에너지 발전 부문에서 한국, 프랑스는 원자력 비중이 여전히 높으나, 영국·독일은 풍력이 원자력을 제치고 저탄소 발전 비중 1위를 차지함

- 독일과 영국의 풍력 발전 비중은 40%를 초과하는데, 북해의 풍부한 풍력자원을 적극적으로 활용한 결과로 분석됨

- 미국 역시 원자력 발전 비중이 49.0%로 높은 편이며, 풍력은 제2의 저탄소 발전원으로서 자리매김 중

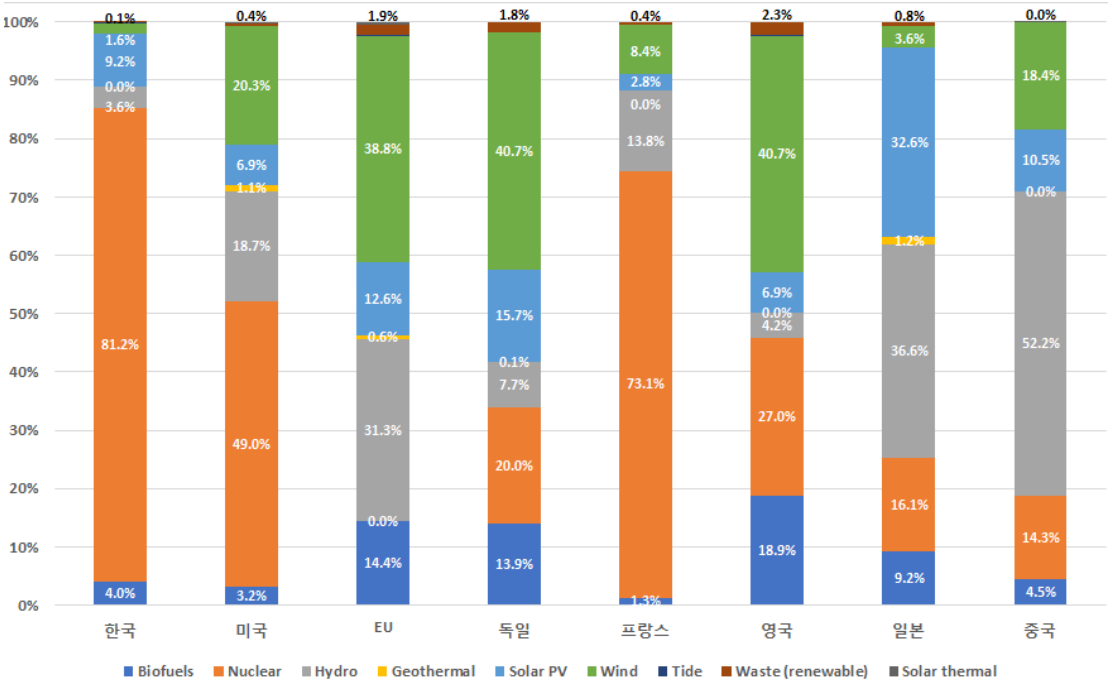
  - 광활한 유휴지를 활용한 육상 풍력의 비중이 높고, 최근 해상풍력 확대 움직임을 감안할 때 향후 미국의 풍력 발전량은 더욱 증가할 것으로 전망됨

- 일본의 높은 태양광 발전 비중은 후쿠시마 원전 사고 이후 원전 가동을 중단한 이후 적극적으로 신재생에너지 보급 확대 정책을 추진했기 때문으로 분석됨

  - 2012년 7월 발전차액지원제도(FIT) 도입 이후 신재생발전 설비 및 발전량이 증가하였으며 특히 비주택용 태양광 발전이 크게 증가(KEEI(2018))

    ※ 비록 최근에 원전을 재가동하였으나 아직 예전만큼의 발전량에 도달하지 못한 상태임을 감안할 때, 저탄소 발전량 내 재생에너지 비중이 상대적으로 확대되어 보이는 착시효과가 발생될 수 있음을 감안할 필요

- 중국의 경우 재생에너지의 대부분을 수력(52.2%)이 차지하고 있으며, 풍력(18.4%), 원자력(14.3%), 태양광(10.5%) 역시 상당한 비중을 차지하고 있는 것으로 분석됨



※ [자료] IEA Countries & Regions 데이터를 활용하여 연구진 작성

[그림 5] 주요국의 저탄소에너지 발전 비중(2020년 기준)

II.2 탄소중립 정책 현황 분석

1. 법령 현황

- EU, 영국, 프랑스, 독일, 일본에서는 탄소중립 목표를 성문법상에 명시함으로써 적극적인 탄소중립 정책을 추진하기 위한 제도적 기반을 마련

  - 특히 독일은 당초 기후보호법(Klimaschutzgesetz)를 통해 2050년 탄소중립 목표를 제시하였으나, 최근 위헌 판결*로 인해 목표를 더욱 상향(탄소중립 달성시점 : 2050년(기존) ⇒ 2045년(변경))

    * 미래세대의 기본권 침해가 위헌사유로 제시됨

  - 미국은 UNFCCC에 제출한 장기저탄소발전전략, 국가온실가스감축목표 등을 통해 2050년 탄소중립 목표를 제시하였으나 아직 법제화가 추진되지는 않는 상태

    - 중국 또한 정책상으로만 2060년 탄소중립 목표를 제시

〈표 1〉 주요국별 탄소중립 목표 관련 법률 제·개정 현황

국가명	제·개정년도	명칭	주요내용
EU	2021	유럽기후법 (EU Climate Law)	• 법률 제정을 통해 2030년 중간목표로서 1990년대비 55% 감축 제시 • 2050년 목표로 EU의 기후중립대륙 달성을 설정
독일	2020	연방기후보호법 (Bundes-Klimaschutzgesetz)	• 법률 제정을 통해 장기목표인 2050년 탄소중립 목표 지향을 명시
프랑스	2019	에너지 및 기후에 관한 법 (2019.11.8.) (Loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat)	• 2050년 기후목표 법제화
영국	2019	기후변화법 (Climate Change Act)	• 법개정을 통해 주요 선진국 중 최초로 탄소중립 목표를 법정화
일본	2021	지구온난화대책추진법 (地球温暖化対策推進法)	• 법 개정을 통해 2050년까지 탈탄소사회* 실현 명시 * 인간 활동에 수반하여 발생하는 온실가스 배출량과 흡수작용의 보전/강화에 의해 흡수되는 온실가스 흡수량 간의 균형이 보전된 사회를 지칭

2. 탄소중립 관련 정책 현황

■ (전환 부문) 기존의 재생에너지 중심의 에너지 전환 정책상의 목표들이 상향되는 등 전환 부문의 탈탄소화가 가속화되는 중

- 미국은 2035년까지 전력 부문 탄소 무배출을 목표로 청정에너지 등에 대한 연구개발 투자를 확대
  - 단, 미국은 청정에너지를 재생에너지에 국한하지 않고 원자력, 화력발전+CCUS를 범위 내 포함

    ※ 청정수소 생산에 대해서도 동일한 범위를 적용
- EU는 기존 재생에너지 지침(Renewable Energy Directive) 상의 2030년 재생에너지원 사용 비중 목표를 기존 32%에서 40%로 상향조정

■ (산업 부문) 재생에너지 도입 확대만으로는 탈탄소화가 어려운 산업 부문 탈탄소화 대응이 본격화되는 추세

※ 최근 COVID19를 계기로 영국 등 주요국에서 제조업 육성을 적극 추진하고 있어, 향후 산업 부문에서 발생하는 탈탄소화 대책에 관한 논의가 더욱 활성화될 것으로 전망됨

- 미국은 새로운 장기저탄소발전전략을 통해 산업공정에서 배출되는 온실가스 대응을 위해 산업 CCUS 대응, 대체 공정 개발(수소환원제철 등) 등의 추진을 명시
- 영국은 주요국 중 최초로 '산업 탈탄소화 전략(Industrial Decarbonisation Strategy)'을 수립
  - 산업단지 내 CCUS 도입, 저탄소 연료전환, 에너지효율성 향상을 추진하는 동시에 혁신기술 개발 및 실증사업 지원

■ (수송 부문) 전기차·수소연료전지차 등 육상교통 차원의 대응을 넘어 항공 감축을 위한 정책적 조치를 강화

※ 국제민간항공기구에서 채택한 국제항공탄소상쇄·감축제도(CORSIA)의 영향으로 파악

- EU 등에서 항공유 내 바이오연료 등의 혼입 비중을 설정하는 등 규제 강화 움직임

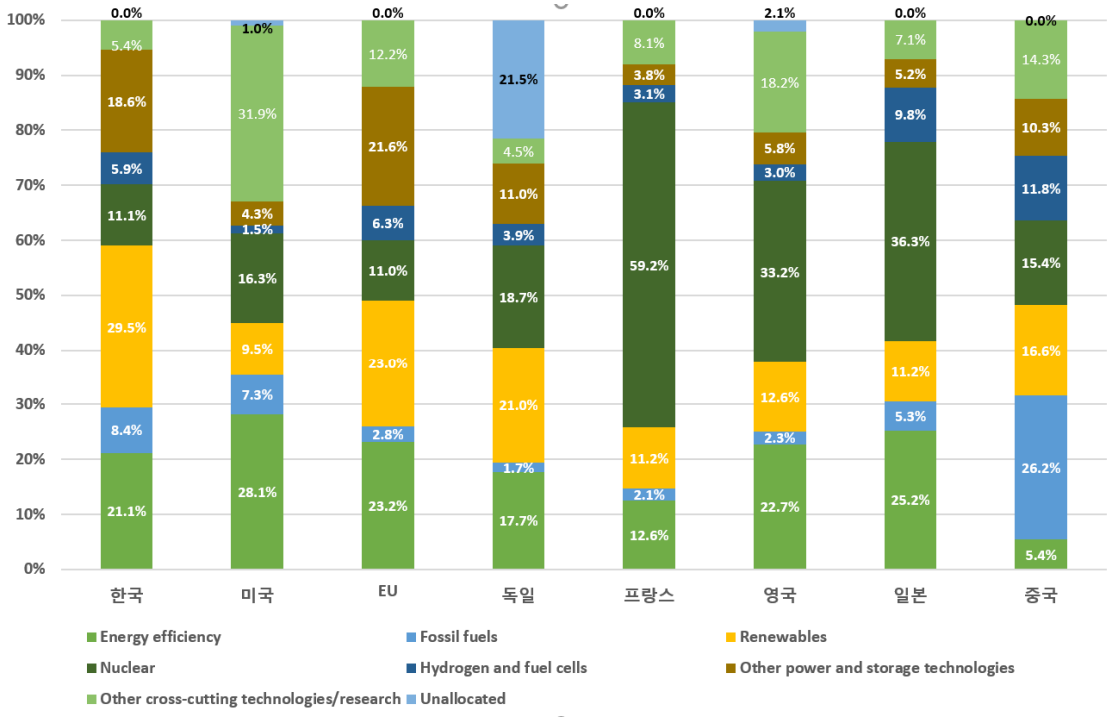
- (폐기물 부문) 프랑스, 영국, 일본 등에서는 기후변화 대응을 위해 순환경제와의 연계를 강화할 필요성을 인식
  - 특히 일본의 경우, 순환경제를 미래에 발생할 수 있는 자원고갈에 대한 선제적 대응책으로서도 주목하여 경제산업성 주도 하에 「순환경제비전 2020」을 수립

- (탄소흡수원 및 제거 부문) 육상 및 해양 기반 탄소흡수원 관리를 강화하는 동시에 공학적 방식의 탄소제거기술 확보를 가속화
  - 미국과 영국 등에서는 바이오에너지 연계 CCUS(BECCS), DAC 등 공학적 방식의 탄소제거 기술 적용을 탄소중립 경로 중 하나로 고려하여 정책을 수립

Ⅲ 탄소중립 R&D 동향 분석

1. R&D 투자 현황

- IEA Energy Technology RD&D 통계에 따르면 비교군 중 한국의 재생에너지 RD&D (Research, Development and Demonstration) 투자 비중이 가장 높은 것으로 파악됨 (29.5%)
  - 한국은 에너지저장 부문에 대한 RD&D 투자 비중 또한 높은 수준(18.6%)인 점을 감안하면, 현 정부의 재생에너지 중심 에너지전환 정책이 반영된 것으로 보임
    - 수소·연료전지 분야 투자 비중은 5.9%로 비교군 중에서 높은 편으로, 최근의 한국의 수소경제 R&D투자 확대가 반영된 것으로 추정
  - 프랑스는 전통적으로 원자력 RD&D 투자 비중이 높은 국가였으며, 영국과 일본도 재생에너지 비중이 높음에도 불구하고 원자력 RD&D 투자 비중이 30%대로 높은 편
  - 중국은 화석연료 관련 RD&D에 대한 투자 비중이 가장 높은 것으로 나타나고 있는데, 화석연료의 효율적 이용을 통해 현재 에너지공급량 중 가장 높은 비중을 차지하는 석탄의 온실가스 배출 문제에 대응하기 위한 조치로 해석가능
  - 일본, 중국, 독일 등 수소경제를 선점하기 위한 정책적 노력을 경주하고 있는 국가들은 수소·연료전지 RD&D에 대한 투자 비중 또한 상대적으로 높은 것으로 나타남



※ [자료] IEA Energy Technology RD&D DB 및 Mission Innovation 홈페이지를 활용하여 연구진 작성

[그림 6] 주요국별 에너지 기술 RD&D 대분류별 투자 비중 비교

주요국의 최근 탄소중립 R&D 프로그램 예산 및 투자는 각국의 국내상황에 주력으로 활용되는 기술분야에 대한 비중이 높은 경향을 나타냄

- (미국) 기초과학과 기타 기반 기술의 투자 비중이 높은 특색을 보임

  ※ 근거자료 : 에너지부 프로그램국, 국립과학재단, 항공우주국, 지질조사국, 농무부 농업연구청 등에서 수행되는 탄소중립 R&D프로그램의 예산안

  - 기초과학의 경우 에너지부 과학국에서 주로 수행되며, 기타 기반기술의 경우 NASA에서 진행하는 위성관측기술개발에 대한 내용 포함

  - 기술분야에서는 원자력 R&D에 대한 비중이 높은 가운데, 태양광 및 풍력 등 재생에너지와 건물·산업·수송 등 에너지효율화 기술에도 상당 부분 투자 중

- (EU) 수송효율화 기술, 에너지 저장, 기타 기반 기술 투자 비중도 높은 편이며, 재생에너지 분야에서는 태양광, 풍력, 바이오에너지의 투자 비중이 높은 편

  ※ 근거자료 : Horizon Europe 및 Euratom Work Programme

- (독일) 태양에너지, 풍력, 수소연료전지의 투자 비중이 높으며, 건물·산업·수송효율화에 대한 투자 비중도 높은 편

  ※ 근거자료 : 제7차 에너지연구 프로그램(7. Energieforschungsprogramm) 연차보고서

- (프랑스) 자국 내 의존도가 가장 높은 원자력 에너지 기술 분야에 대한 투자규모가 압도적으로 높은 가운데, 재생에너지 부문에서는 바이오에너지, 태양광에 대한 R&D 투자가 높은 것으로 나타남

  ※ 근거자료 : 공공부문 에너지 R&D 지출 통계

  - 독일, 영국 등 근린국에 비해 자연환경조건이 온화하여 태양광 및 바이오매스를 활용하기 쉬운 환경에 기인하는 것으로 분석됨

- (영국) 산업 효율화, 에너지저장, 수소연료전지에 대한 R&D 투자 비중이 높음

  ※ 근거자료 : UKRI 성과계획서 및 국립감사원의 산업전략도전기금 감사보고서 등

  - 최근 산업전략도전기금(ISCF) 내 '산업의 탈탄소화', '기반산업의 변혁' 등 산업탈탄소화 도전과제 설정

  - EV 등 확산을 뒷받침해줄 수 있는 에너지로서 원자력의 중요성을 강조하면서 '저가형 원자로' 등의 도전과제 신설

- (일본) 2011년 이후 원전 중단에도 불구하고 원자력 R&D 비중이 높으며, 타 국가 대비 CCUS R&D 기술 비중이 상당히 높은 특색을 보임

  ※ 근거자료 : 문부과학성, 경제산업성, 환경성 예산안

  - 원자력을 대체하기 위해 화력발전 비중을 높일 수 밖에 없는 전력상황에서 온실가스 배출량 문제에 대응하기 위한 기술적 대안으로써 CCUS를 선택하였음을 시사

  - 에너지원 부문에서는 수소연료전지 및 지열에너지에 대한 투자 비중이 높은 편

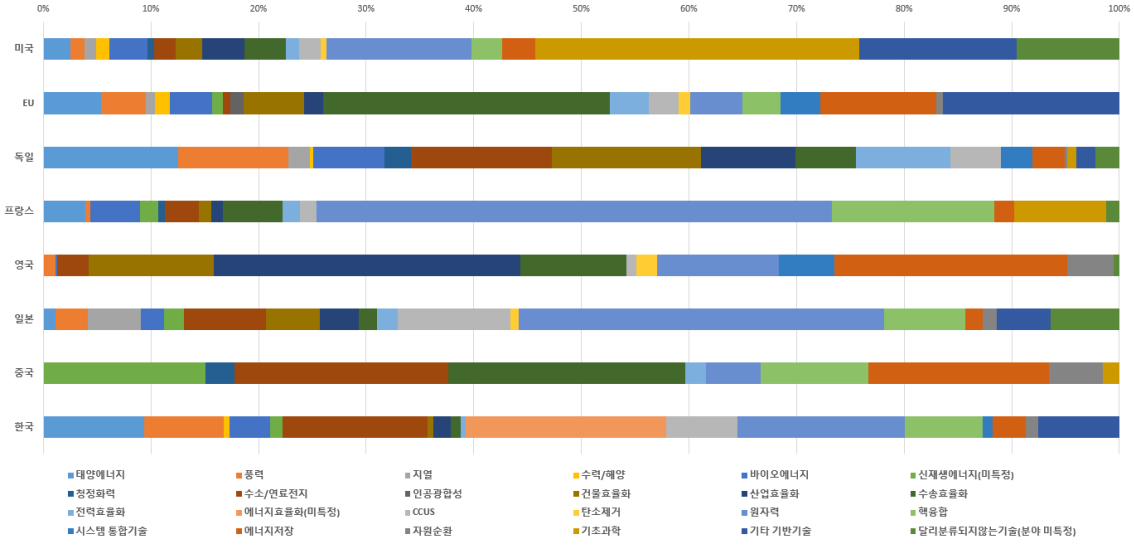
    ※ 지각활동이 활발한 특성상 지열에너지가 풍부한 일본 자연환경적 특성이 적극적인 R&D 투자 요인으로 작용한 것으로 추정됨

- (중국) 수송효율화, 수소연료전지, 에너지 저장에 대한 투자 비중이 높아, 친환경 자동차 산업의 주도권 확보를 위한 적극적 R&D 투자를 진행하고 있는 것으로 분석됨

  ※ 근거자료 : 국가자연과학기금위원회 소관 기금 및 국가중점연구개발계획 전문프로그램 공모자료

- (한국) 원자력, 수소·연료전지, 태양광, 풍력 등 에너지원 분야에 대한 예산 투자 비중이 높은 편

  ※ 근거자료 : 기후환경연구개발사업, 원자력 및 핵융합기술개발사업, 산업기술혁신사업 시행계획



[그림 7] 탄소중립 R&D 프로그램에서의 기술분야별 투자 비중 추정치 비교

2. R&D 거버넌스

- EU, 독일, 영국, 일본 등에서는 임무지향적 혁신정책을 도입하고 다양한 분야/주체들이 임무해결을 위해 협력할 수 있는 기반을 마련 중

  - EU는 신규 출범된 Horizon Europe 프로그램을 임무 중심으로 편성하여, 각 주제별로 다양한 학문들이 연관되도록 연구환경을 조성

    - 과학기술적 주제임에도 인문사회과학 영역의 효율적 배분 혹은 인문사회 전문가 참여를 필수요건으로 제시하는 경우도 있음

  - 일본은 제6기 과학기술혁신기본계획 수립 과정에서 최근 과학기술기본법을 개정하여 인문사회 영역까지 포함한 기술 융복합을 촉진할 수 있는 기반을 조성

■ 온실가스 배출 규제로 발생하는 시장 선점을 위해 혁신기술의 상용화를 보다 가속화하기 위한 연구개발단계별 연계를 강화

- 미국은 에너지부 내 청정에너지실증국을 신설함으로서 에너지부 내 기초과학(과학국)-응용(응용과학국)-실증(청정에너지실증국)에 이르는 전주기 지원 체계를 구축

- 영국은 높은 기초과학 역량 대비 상용화 성과가 미진하다는 자성 하에 기초과학을 관장하는 연구회와 상용화를 지원하는 영국혁신청(Innovate UK)를 통합하여 영국연구혁신기구(UKRI)를 출범

  - 상용화 단계 저탄소 기술개발을 집중 지원하는 넷제로 혁신포트폴리오* 출범을 병행

    ※ 첨단 CCUS, 바이오에너지, 직접공기포집 및 온실가스 제거, 와해성 기술, 에너지 저장 및 유연성, 미래 해상풍력, 가정 및 건물, 수소, 산업 연료 전환 등 기술영역 지원

■ 와해성 기술 확보를 위해 DARPA 모델 도입·운영이 확산되고 있으며, 해당 조직 내 탄소중립 관련 혁신기술 확보를 위한 연구개발 진행 중

- (독일) 2019년 10년간 한시조직으로서 연방도약혁신기구(Bundesagentur für Sprunginnovation; SPRIN-D)를 신설하고 약 10억 유로의 예산을 투자

  - 250m 높이의 고공육상풍력, 디지털 컴퓨터 대비 10만 배 속도 및 소비전력의 1/10,000화를 구현하는 칩 상의 아날로그 컴퓨터 등 탄소중립 관련 혁신기술개발이 진행 중

- (프랑스) 혁신위원회의 주관하에 건강, 안전, 이동성 및 지속가능한 개발 측면에서 유의미한 주요 도전과제(Grand Défi)를 선정하여 지원

  - 2018년 '지속가능한 수송을 위한 고밀도 에너지 저장장치 개발'을 새로운 도전과제로 설정하고 3천만 유로를 배분

- (일본) 지구환경재생을 향한 지속가능한 자원순환 실현* 등의 문샷 목표를 설정하여 지원하는 문샷형 연구개발사업을 운영 중

  ※ 동 영역에서 온실가스 회수·자원전환·무해화 기술개발, 질소화합물 회수·자원전환·무해화 기술개발, 생분해 타이밍과 속도를 조절하는 해양 생분해성 플라스틱 개발 등이 추진 중

- (영국) BEIS 산하조직으로 첨단연구발명기구(Advanced Research and Invention Agency; ARIA)를 신설(2021)

  ※ 아직 구체적인 임무 등은 미설정 상태

3. 기술개발 동향

- 전기차·수소연료전지차 등 육상교통 부문에 치중되었던 수송 효율화 기술 R&D 투자 범위가 항공 부문으로 확대되는 경향

  - 공통적으로 EU 지침 변경 등에 대응하기 위한 바이오항공유 등 탄소중립연료 개발과 전력화 등 에너지원 전환을 추진함과 동시에 소재 경량화 등을 통한 에너지 효율화를 병행

    - 영국은 이에 더해 최근 항공부문의 녹색화를 모색하는 미래항공(Future Flight) 과제를 통해 팝업 공항 등 새로운 항공 인프라 구축을 추진

  - 일본은 경제산업성 주도로 주행거리별로 기종을 나누어 연구개발 방향성 및 테마를 도출하는 등 구체적인 전략 수립을 추진 중

- 전지구적 이행점검(Global Stock Take; GST)*를 대비하기 위한 온실가스 관측체계 구축 및 기술개발 추진

  ※ 전지구적 이행점검은 범지구적 장기목표와 NDC 총합과의 격차를 줄이기 위해 신설된 일종의 의욕상향 메커니즘으로, 2023년부터 5년 주기로 시행 예정

  - 일본은 1, 2차 전지구적 이행점검을 대비하여, GOSAT 시리즈 위성을 활용한 배출량 검증 기술 고도화 관련 예산 증액

  - 미국도 NASA 지구과학 미션 등을 통해 에어로졸 등 기후변화 요인들에 대한 위성관측기술개발에 대한 투자 강화

- 실질적인 탄소중립 달성을 위한 탄소 제거 기술의 중요성이 부상하고 있으며, 이에 수반하여 배출흡수를 위한 매개체로서의 바이오에너지 활용성 부각

  - 미국, EU, 영국, 일본 등에서 기배출된 대기중 탄소제거를 통해 탄소중립 실현에 일조하기 위해 탄소흡수(Carbon Negative)연구개발 프로그램 추진 중

    ※ (미국) 화석에너지및탄소관리국의 이산화탄소제거(Carbon Dioxide Removal) 프로그램, APRA-E HESTIA 프로그램, 지질조사국 에너지자원 프로그램/(EU) Horizon Europe/(영국) UKRI 전략적 우선순위기금 및 BEIS 넷제로혁신포트폴리오/(일본) 문샷형연구개발사업(목표 4)

- 블루카본, 해양 알칼리화, 바이오차 등 자연 기반 탄소제거 이외에도 BECCS, DACCS 등 CCUS를 활용한 공학기반 탄소제거 기술 다수 존재
- 기술간 한계 극복 및 시너지 극대화를 위해 탄소제거기술간 다양한 조합이 시도 중

※ 예시 : 영국 넷제로혁신포트폴리오 중 '직접공기포집 및 온실가스 제거' 분야

- 기존 바이오에너지의 경우 석유의 직접적인 대체재 관계에 놓인 특성상 석유가격 하락으로 개발 유인이 약화되었으나, 탄소흡수를 구현할 수 있는 매개체로서의 활용성이 부각

※ 바이오에너지는 그 자체로 탄소중립 에너지이므로 바이오에너지와 탄소제거기술을 연계할 경우 배출 흡수(Negative Emission)을 구현가능

- 가장 많이 고려되는 요소는 BECCS 이나, 최근 바이오차를 이용한 탄소지중저장도 적극적으로 검토되는 경향

연구개발 단계에서부터 소재·부품의 재활용 기술개발을 병행

- 성공적인 에너지전환으로 분산형 전원 및 2차전지 사용이 확산될 경우, 해당 소재/부품의 수명연한 경과 시점의 폐기물 규모는 막대할 것으로 전망되는 상황
- 영국과 독일에서는 태양광, 2차전지 등의 장수명화와 함께 리사이클링 기술개발을 함께 추진하고 있는 점을 주목할 필요

수소경제의 확산으로 인한 미래수소 수요 확보 가능성에 대한 우려와 함께 화석연료기반 수소제조에 대한 유보적 입장이 등장

- 주요국 모두 수소경제 추진전략을 수립하여 향후 적극적인 기술개발 및 보급 정책이 추진될 것으로 전망되고 있음
- 수소경제 활성화로 미래 수소의 수요가 확대될 것으로 전망되는 상황에서, 수전해 수소만으로 충분한 수소 조달이 가능할지 여부에 대해서는 불투명한 상태

- 풍부한 북해 풍력자원을 보유한 독일 및 EU 역시 장소적 한계 때문에 수소수입국이 될 가능성이 있는 것으로 전망되고 있음(National Resources Canada(2020))

※ 독일 연방교육연구부(BMBF)에서는 청정수소에 대한 글로벌 가치사슬(GVC) 구축을 위한 포석으로서 풍부한 재생에너지자원을 가진 국가와 연구개발협력을 활용하는 움직임을 보이고 있음

- 또한 독일은 국가수소전략초안에서 녹색수소만을 강조했던 당초 입장을 수정하여 청색수소·청록수소 등 탄소중립 수소에 관한 내용을 포함

- 최근 미국 바이든 행정부의 예산안 등을 살펴보면 재생에너지 전력을 활용한 수전해 수소 이외에도 화석연료*/원자력 기반 수소 제조도 청정수소의 범주에 포함하는 경향

  * 단, 탄소를 관리하는 조건 하에서 인정

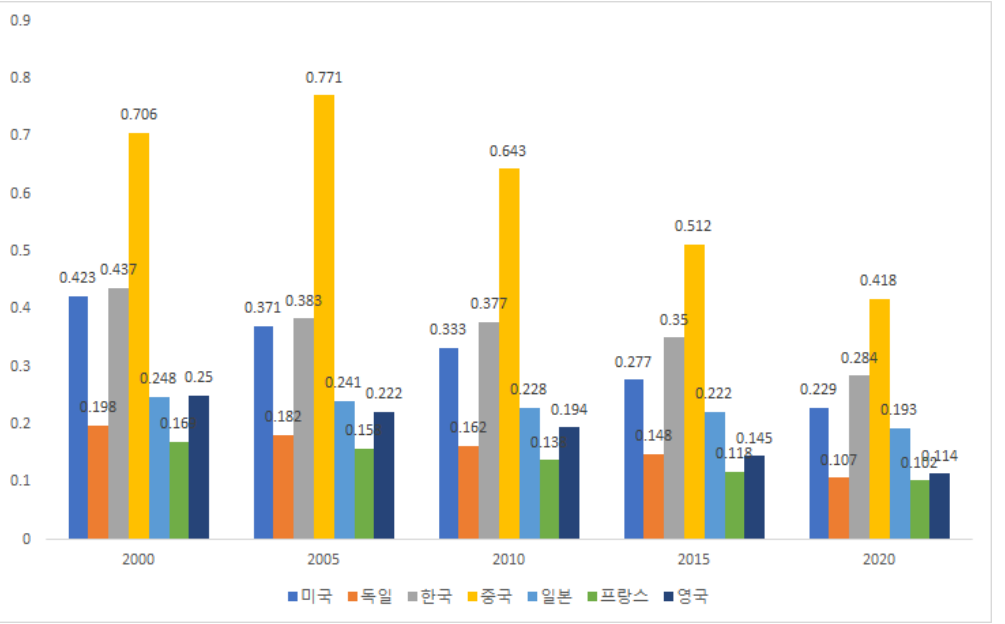
- 일본은 수소기본전략 수립(2017) 이전 시점부터 CCUS 등을 적용한 화석연료유래 수소를 CO2-free 수소의 범주에 포함시켰으며, 글로벌가치사슬 구축 전략을 병행하여 추진 중

Ⅳ 한국의 탄소중립 정책 및 R&D 추진현황

1. 경제·사회적 여건

- 지구 온난화로 인한 기후변화에 대한 대응 필요성은 전세계적 공감대를 형성하고 있으며, 우리나라도 파리협정을 비준함에 따라 도전적으로 2050탄소중립 전략을 수립
  - ①에너지 다소비 산업구조, ②짧은 달성기간, ③신재생에너지에 불리한 자연환경 등으로 2050년 탄소중립 달성을 위한 난관이 존재함
  - 우리나라는 타 선진국 대비 에너지를 다량 사용하는 제조업(철강, 석유화학) 비중이 높은 특징을 지니고 있음
    - 또한, 탄소집약도가 높은 고탄소 에너지원을 사용함으로써 다량의 온실가스를 배출하게 되어 온실가스 배출량 감축에 어려움을 겪고 있음

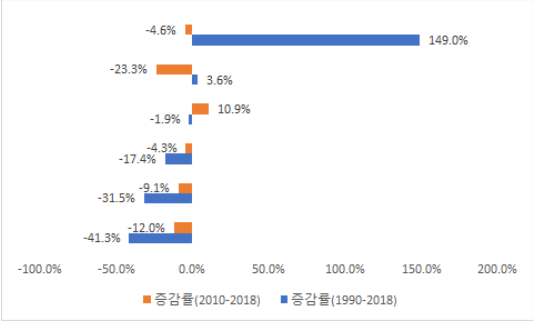
(단위 : CO2/$; CO2는 kg, $는 2015년 미국 ppp)



[자료] Enerdata (2021).

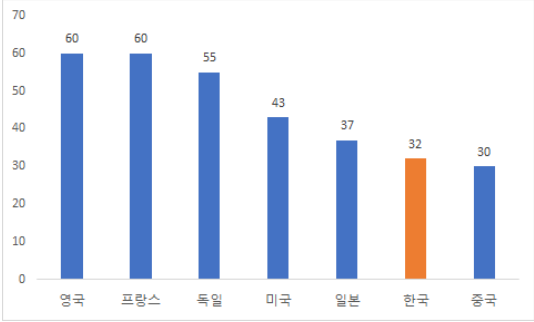
[그림 8] GDP 대비 이산화탄소 배출량

- 오랜 기간에 걸쳐 탄소 감축을 시작한 해외 주요국들과 달리 짧은 기간 내에 탄소배출량 감축을 실현해야 하는 상황임
  - 우리나라는 아직 탄소배출이 감소 추세로 돌아서지 못한 상황이며, 중국은 2030년 탄소배출량 최정점을 기점으로 증가폭 둔화를 목표로 하고 있음
  - 반면, 미국, 영국, 독일, 프랑스, 일본 등의 선진국은 배출량이 감소하고 있으며 경제성장과 온실가스 배출의 탈동조화가 나타나고 있음



[자료] OECD(2021).

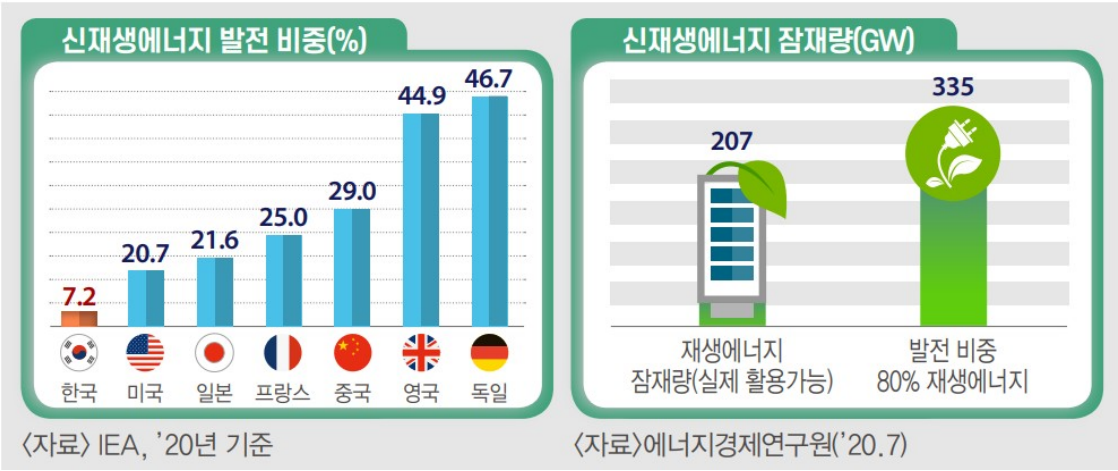
[그림 9] 기간별 CO2 배출 증감률(%)



[자료] 환경부(2021).

[그림 10] 탄소중립 목표달성기한(년)

- 재생에너지 보급에 중요한 자연조건에 있어서도 기후, 국토 면적 등에서 불리해 우리나라는 풍력, 태양광 등의 발전효율이 저조함



[자료] KFI(2021) 재인용.

[그림 11] 신재생에너지 발전비중 및 향후 잠재량

- 2050년 기준 전력 사용의 80%를 재생에너지로 충당하기 위해서는 335GW의 발전설비가 필요하나, 실제 활용가능한 재생에너지 잠재량은 207GW에 불과해 목표달성이 어려운 상황
- 우리나라는 기후기술 종합 분야에서 세계 최고수준인 미국을 기준으로 80%의 기술수준을 보유하고 있으며, 기술격차는 3.0년*인 것으로 나타났으며

  * 녹색기술센터(2021), 「2020 기후기술수준조사」
- 산업계는 에너지효율이 이미 상당 부분 고도화 돼 있어 현재 기술로 추가 감축하는 게 쉽지 않다는 의견임

● 위의 한계점 등으로 인해 다양한 정책 수단 중 기술혁신을 위한 R&D의 중요성이 더욱 강조됨

2. 법령 및 정책 현황

■ 기후위기 대응과 2050 탄소중립 달성을 위한 법적 기반인 '기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)'이 9월 24일자로 제정되어 2022년 3월 25일자로 시행 예정

● 2050년 탄소중립을 국가 비전으로 명시하고, 이를 달성하기 위한 국가전략, 중장기 온실가스 감축목표, 기본계획 수립 및 이행점검 등의 법정 절차를 체계화

- 본 법 제정의 의의는 ① 전 세계 14번째로 2050 탄소중립 비전과 이행체계의 법제와, ② 2050년 탄소중립을 실질적으로 지향하는 중간단계 목표를 설정, ③ 미래세대, 노동자, 지역주민 등이 참여하는 협치(거버넌스)를 법제화, ④ 탄소중립을 이행하기 위한 실질적인 정책수단을 마련 ⑤ 탄소중립 과정에 취약지역·계층을 보호하는 정의로운 전환을 구체화 ⑥ 중앙 일변도의 대응체계를 중앙과 지역이 협력하는 체계로 의 전환을 들 수 있음

■ 우리나라는 기후변화 대응의 필요성에 따라 다양한 정책 및 계획을 수립하여 시행 중

● 「제5차 국가환경종합계획」(2020~2040), 「제2차 기후변화대응 기본계획」(2020~2040), 「제3차 녹색성장 5개년계획」(2019~2023), 「제3차 국가 기후변화 적응대책」(2021~2025) 등의 정책 계획이 수립됨

■ 문재인 대통령이 2020년 10월 28일, 국회 시정연설에서 “우리도 국제사회의 책임 있는 일원으로서 세계적 흐름에 적극 동참해야 한다”며 “기후위기 대응은 선택이 아닌 필수”라고 강조함으로써 2050 탄소중립 계획을 처음으로 천명

● 이후 11월 22일, G20 정상회의 제2세션에서 “2050 탄소중립은 산업과 에너지 구조를 바꾸는 담대한 도전이며, 국제적인 협력을 통해서만 해결 가능한 과제”라면서 “한국은 탄소중립을 향해 나아가는 국제사회와 보조를 맞추고자 한다”고 2050 탄소중립에 대한 한국의 의지를 밝힘

- 12월 7일 홍남기 경제부총리 겸 기획재정부 장관 주재 ‘제22차 비상경제 중앙대책본부회의’를 개최하여 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 확정·발표하였고, 15일 국무회의에서 ‘2050 장기저탄소발전전략(LEDS)’과 ‘2030 국가온실가스감축목표(NDC)’ 정부안을 확정

■ 2050 탄소중립위원회는 2021년 10월 18일, 제2차 전체회의를 통해 「2050 탄소중립 시나리오안」과 「2030 국가 온실가스 감축목표 상향안」을 심의·의결

● 2015년 6월 최초로 2030 NDC를 수립한 이후 2050 탄소중립 선언에 따른 후속 조치로서 「탄소중립녹색성장기본법」의 입법 취지*, 국제 동향, 국내 여건 등을 고려해 감축목표를 설정

* 2030년 온실가스 배출량은 2018년 대비 35% 이상 감축(법 제8조제1항)

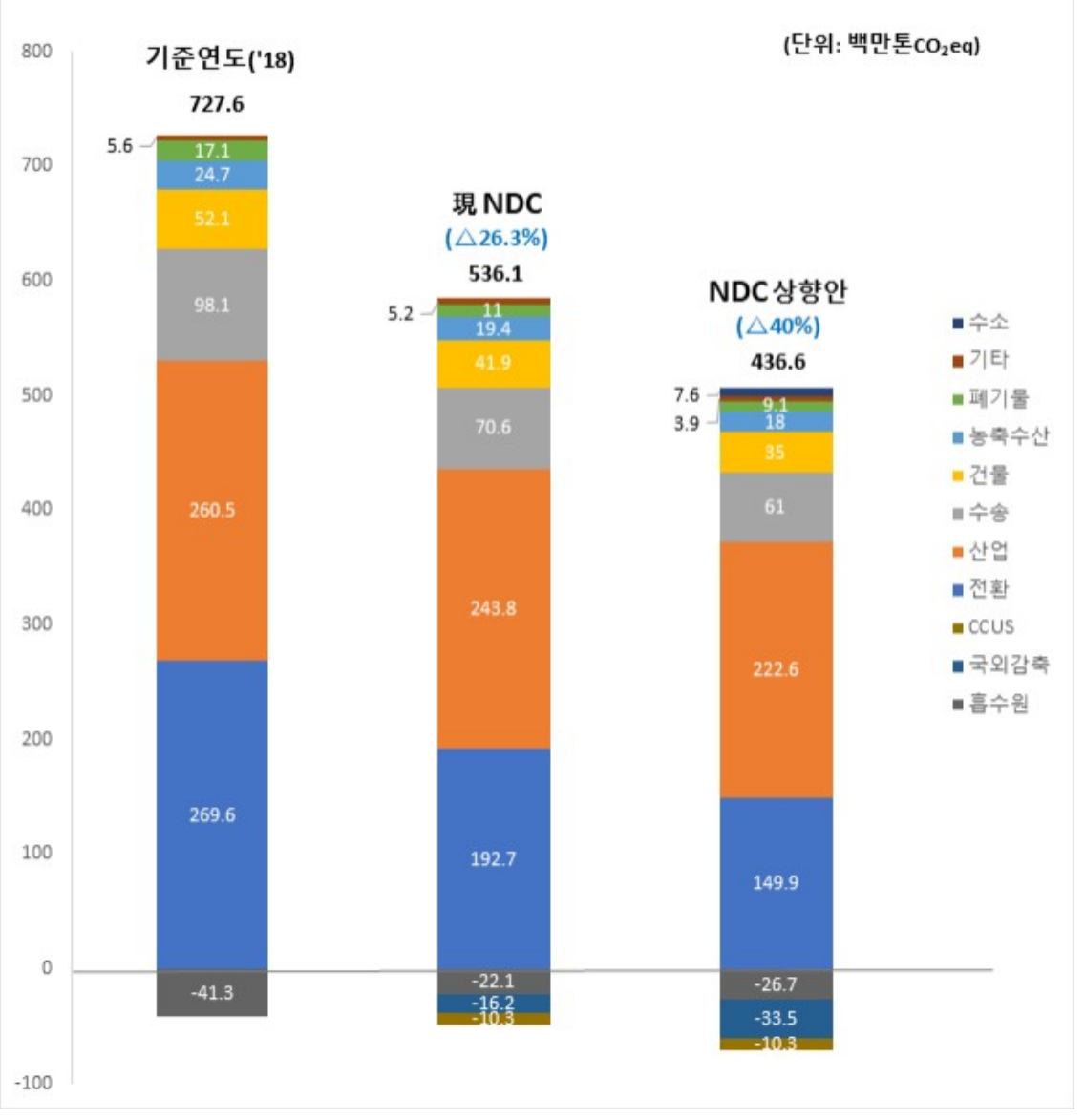
- 국가 온실가스 감축목표(NDC)는 “2018년 온실가스 총배출량 대비 40% 감축”으로 기존 감축 목표인 2018년 온실가스 배출량 대비 26.3% 감축에서 대폭 상향

● 정부는 2020년 10월 국가비전으로 ‘2050 탄소중립’을 선언하고 후속 대응으로 ‘2050 탄소중립 시나리오’ 수립을 추진하여, 이후 8월 탄소중립위원회(‘21.5 출범)는 3개의 안이 제시된 ‘2050 탄소중립 시나리오 초안’*을 발표

* 탄소중립 시나리오 초안 : △2050년에도 석탄발전소 7기가 운영되는 제1안, △석탄발전이 중단되고 LNG 발전만 일부 이뤄지는 제2안, △화석발전이 전면 중단되고 그린 수소 생산 비중을 높이는 등 획기적인 감축 노력을 가정한 제3안의 총 3개 시나리오 제시

- 2021년 10월 18일, 문재인 대통령이 참석한 가운데 열린 탄소중립위원회 제2차 전체회의에서 △화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 줄이는 A안, △화력발전이 잔존하는 대신 이산화탄소 포집 및 활용·저장(CCUS) 등 제거기술을 적극 활용하는 B안, 2개의 시나리오를 확정, 심의·의결

* 시나리오는 ‘기후위기로부터 안전하고 지속가능한 탄소중립 사회’를 만든다는 비전을 바탕으로 ▲책임성 ▲포용성 ▲공정성 ▲합리성 ▲혁신성의 원칙 등 5가지 원칙을 설정



[자료] 관계부처합동(2021), 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안.

[그림 12] NDC 상향안(2030년) 모식도

■ 과학기술정보통신부(이하 '과기정통부') 장관이 주재하는 제16회 과학기술관계장관회의(2021. 3. 31.(수))에서 「탄소중립 기술혁신 추진전략」과 「탄소중립 연구개발 투자전략」을 발표

- 우리나라는 에너지 부문에서 석탄발전 비중이 높고, 철강·시멘트·석유화학 등 탄소배출량이 많은 제조업 비중이 커 탄소중립은 매우 도전적인 과제이며, 탄소중립 실현 과정에서 기업과 국민들의 부담을 줄이기 위해서는 기술혁신이 핵심적 수단이 될 것임

- 「탄소중립 기술혁신 추진전략」은 장기저탄소발전전략(LEDS)을 기반으로 탄소중립 실현을 위한 산업 현장의 시급한 수요를 반영하여 10대 핵심기술을 도출하고, 핵심기술별 혁신전략을 담고 있음

태양광/풍력 초고효율화/대형화	수소 전주기 기술 확보	바이오에너지 선도기술 확보	철강·시멘트 산업 저탄소 전환	저탄소 차세대 석유화학 구현
산업공정 효율 극대화	무탄소 차세대 수송 기술	탄소중립 건물 기반 기술	디지털화 기반 효율 최적화	CCUS 상용화 기술 확보

- 이를 바탕으로 금년부터 관련 부처가 탄소중립 R&D를 본격 추진하며, 효율적 추진을 위해 현장특화형 저탄소화 R&D*와 중장기 기초·원천기술**의 2-Track으로 '全주기 함께 달리기'를 추진

  * 산업 부문별 고탄소 공정·제품을 신속히 대체하는 것을 목표로 각 부처에서 소관 산업·부문별로 신규 R&D사업을 기획·착수

  ** 파급 효과가 큰 도전적 원천기술을 확보하기 위해 민간 최고전문가 중심으로 산학연 연구팀을 구성하여 (가칭)'탄소중립 10대 기술혁신 프로젝트'를 기획 추진

■ 정부는 2050 탄소중립 실현을 위한 R&D 투자 전략으로서 국내 기술역량 확보가 꼭 필요한 분야를 중심으로 민간의 마중물 및 미래의 자양분 역할에 역점

● (마중물과 자양분 역할) 국내 기술역량 확보가 꼭 필요한 분야를 중심으로 민간의 마중물 및 미래의 자양분 역할에 역점

※ 국내 수요 면에서 경제성이 부족한 분야는 R&D보다 선진국과 기술도입 및 협력 모색

- (단기 관점) 민간 호응 동참의 기폭제 역할을 하는 마중물 역할로서 기술경쟁력, 국내 수요(시장), 탄소감축 효과 면에서 유망하고 기술의 개발부터 상용화까지 성공의 경험 축적이 가능한 분야를 우선 지원

- (중장기 관점) 2050년까지 국가의 미래를 준비하는 자양분으로서 민간이 나서기 어려운 한계돌파형 기술(차세대 태양전지, CCUS 등) 개발 및 2050년까지 탄소중립의 동력이 될 기초기술 역량과 저변을 확충

● (선제적 대응) '탄소중립 시나리오' 수립(6월, 환경부) 전에 '탄소중립 R&D 투자전략' 및 범부처 '기술혁신 추진전략'을 수립

※ '22년도 R&D 사업의 기획 및 예산을 요구하고, 탄소감축 효과가 크면서 현장에서 시급한 기술의 개발 실증 R&D부터 우선 착수

3. 탄소중립 관련 2022년 R&D 예산

- 2022년 정부 R&D 예산안에서 탄소중립은 한국판 뉴딜 2.0 정책과 연계, 중점투자분야로 관리되고 있음
  - 특히 한국판 뉴딜 2.0에서 기존 그린뉴딜에 탄소중립 추진기반 구축 항목이 포함되며 재정지원, 민간참여, 제도개편 등 전방위적 정책 우선순위를 배정받아 예산반영도 크게 증가
  - R&D 분야 10대 중점투자 분야* 중 전년대비 가장 높은 예산규모의 증가율을 시현

    * ❶한국판뉴딜, ❷BIG3, ❸소재·부품·장비, ❹감염병, ❺국민안전, ❻우주·항공, ❼Next D.N.A. ❽국정과제(기초연구, 중소기업R&D), ❾혁신인재, ❿국제협력

[자료] 관계부처합동(2021), 한국판뉴딜 2.0.

[그림 13] 한국판 뉴딜 2.0 신규 과제

- 탄소중립(그린뉴딜) 분야 정부 R&D 투자는 2021년 1.31조원에서 2022년 1.84조원으로 대폭(40.1%) 증가함
  - 사업 수는 2021년 126개에서 2022년 210개로 67% 증가하였으며, 예산 규모가 작은 분야일수록 더 높은 예산 증가율을 나타냄

- R&D 분야 예산을 한국판뉴딜 2.0의 체계에 맞춰 4개 소분류별로 분석 한 결과 저탄소·분산형 에너지 확산에 가장 많은 예산이 투입되었으며 그 다음으로 녹색산업 혁신 생태계 구축, 도시·공간·생활 인프라 녹색전환, 탄소중립 추진기반 구축 순으로 집중 투자됨

〈표 2〉 한국판뉴딜2.0 분야별 탄소중립분야 R&D 예산 변화

(단위:백만 원, 개)

분야	'21 예산*	'22 예산*	증가율(YoY%)	'21 사업수	'22 사업수
탄소중립추진 기반구축	43,365	89,358	106.1%	8	68
인프라녹색전환	117,078	173,135	47.9%	13	23
저탄소에너지	825,202	1,120,239	35.8%	69	101
녹색산업생태계	327,796	457,790	39.7%	36	18
총합계	1,313,441	1,840,522	40.1%	126	210

* 예산은 각각 2021, 2022년 국회확정값

[자료] 각 년도 정부예산요구서 기반으로 저자 추계

〈표 3〉 부처별 탄소중립분야 R&D 예산 변화

(단위:백만 원, 개)

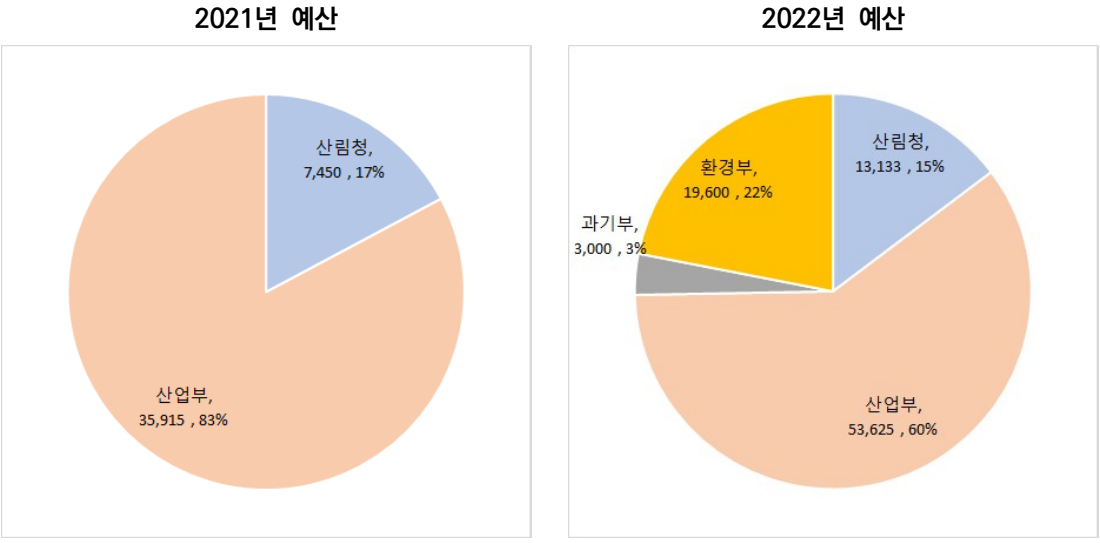
부처	'21 예산*	'22 예산*	증가율 (YoY%)	비중 (`22예산)	'21 사업수	'22 사업수
산업부	834,269	1,192,438	42.9	64.8	72	112
환경부	160,007	198,503	24.1	10.8	16	26
과기부	170,659	170,276	-0.2	9.3	13	24
해수부	33,367	83,763	151.0	4.6	5	17
국토부	59,913	73,517	22.7	4.0	9	13
중기부	16,753	45,030	168.8	2.4	2	4
농진청	7,298	23,752	225.5	1.3	2	5
산림청	11,199	22,215	98.4	1.2	3	4
농식품부	12,000	19,811	65.1	1.1	1	2
기상청	7,976	11,217	40.6	0.6	3	3
총합계	**1,313,441**	**1,840,522**	**40.1**	**100.0**	**126**	**210**

부처별로는 산업부의 예산 증가폭이 가장 컸으며, 비중 역시 증가함

- 현재 탄소중립 달성을 위한 노력이 기초·원천기술보다는 개발 및 산업 기술 위주로 나타나고 있음
- 과기부의 경우 예산의 절반 이상(59%)를 차지하던 기후변화대응기술개발사업의 규모 감축으로 예산이 감소한 것으로 나타남
- 사업 수 증가에 비해 예산액 증가율은 낮은 것으로 보이나 이는 대형 사업 추진의 시차에 따른 것으로, 현재 진행중인 탄소중립 관련 사업의 예비타당성조사 결과에 따라 대형 사업 추가, 예산의 대폭 증가가 나타날 수 있음

4개 분야 중 가장 많은 예산이 증가된 분야는 신규 중점분야로 추가된 탄소중립 추진 기반 구축 분야임

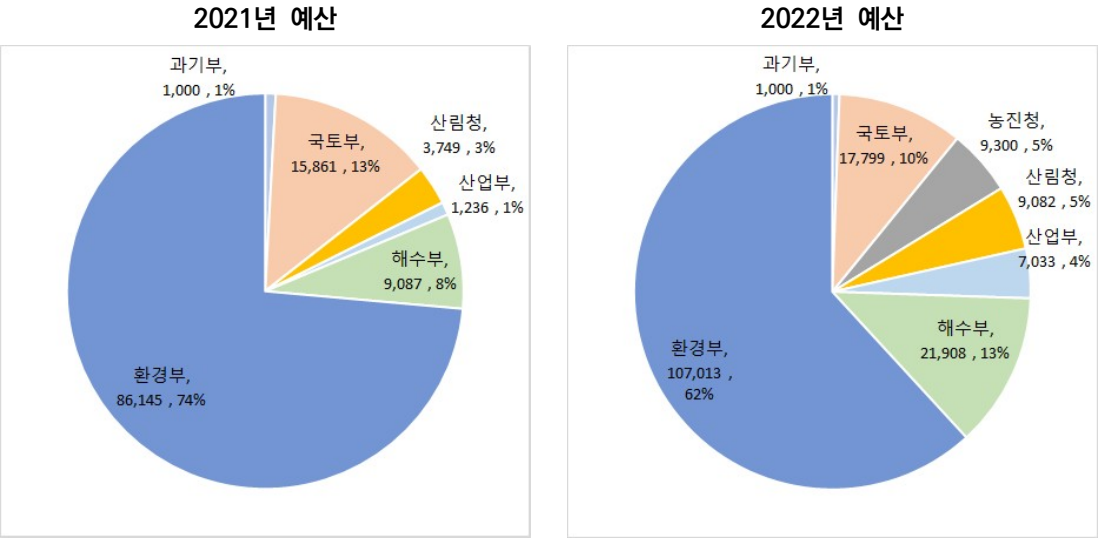
- 온실가스 감축 기반 마련을 위한 제도 및 전문인력을 양성하고, 에너지·폐기물의 순환경제 활성화, 탄소흡수원 확충 등을 목적으로 함
- 대표사업은 산림부문 탄소중립 추진기반 및 실증기술 연구(70억 원, 신규), 폐플라스틱 활용 원료·연료화 기술개발사업(52억 원, 신규) 등
- 탄소중립 추진 기반 구축 분야는 21년 산업부 위주에서 22년 환경부, 과기부 등의 부처예산이 증가함



[자료] 각 년도 정부예산요구서 기반으로 저자 추계

[그림 14] 탄소중립 추진 기반 구축 분야 부처별 예산 변화

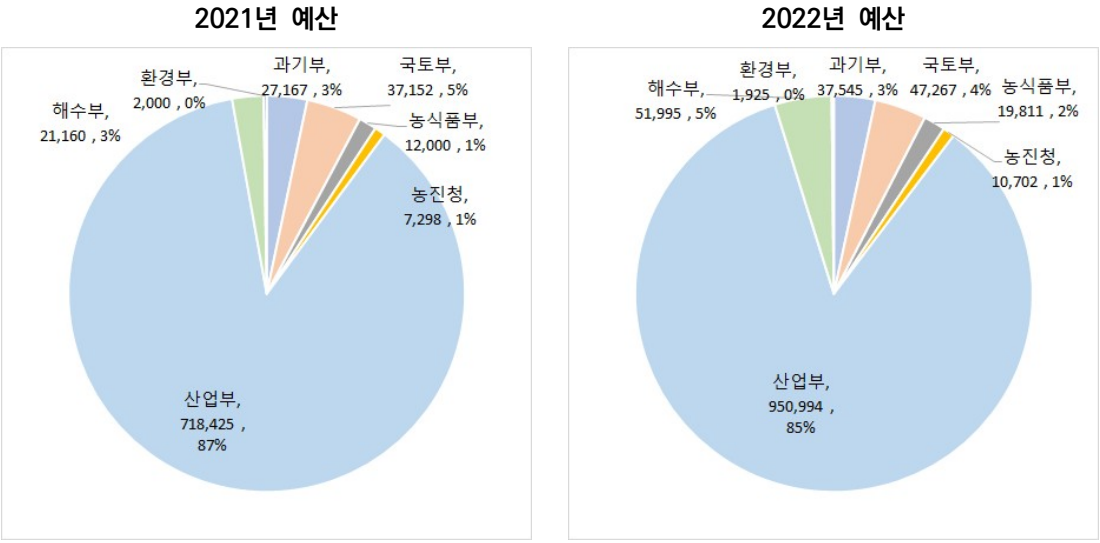
- 도시·공간·생활 인프라 녹색 전환 분야는 건축물에서 사용되는 에너지, 스마트시티의 물 관리 등 생활 인프라의 친환경 전환을 목표로 함
  - 국민생활과 밀접한 공공시설을 제로에너지화하고, 도시·농촌·해양 등 각 지역에 맞는 녹색 생태계를 회복하며, 상수도 정비 및 수재해에 대비하고 자원을 확보하는 과제를 포함
  - 대표사업은 건축물 에너지 디지털 진단 및 설계(42억 원, 신규), 해양 미세플라스틱 오염 대응 및 관리기술개발사업 (73억 원, 신규) 등
  - 도시·공간·생활 인프라 녹색 전환 분야는 환경부 R&D 사업 비중이 높으나, 2022년 예산 확대와 함께 해수부, 산림청, 농진청 등 사업수행부처의 다변화가 나타나고 있음



[자료] 각 년도 정부예산요구서 기반으로 저자 추계

[그림 15] 도시·공간·생활 인프라 녹색 전환 분야 부처별 예산 변화

- 저탄소 에너지 분야는 가장 많은 예산이 투입되는 분야로, 직접적인 탄소 감축에 도움을 줄 수 있는 에너지 기술 개발을 목표로 함
  - 에너지 효율을 향상시키는 지능형 스마트 그리드 구축, 신재생에너지 확산기반 구축 및 에너지 전환 지원, 전기차·수소차 등 그린 모빌리티 보급 확대 등이 주된 목표임
  - 대표사업은 신재생에너지핵심기술개발사업(1822억 → 2180억 원), 차세대 AC/DC 하이브리드 배전 네트워크 기술개발사업(234억 원, 신규)
  - 저탄소 에너지 분야는 21년, 22년 R&D 2개년 모두 산업부 수행이 대부분이나 다양한 부처에서 사업 규모가 증가추세임



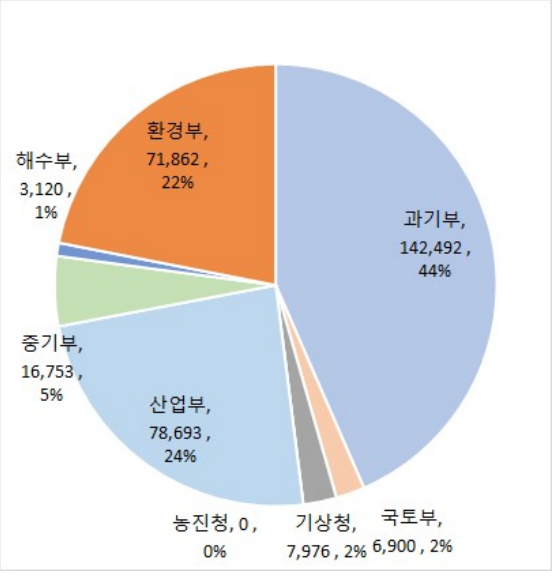
[자료] 각 년도 정부예산요구서 기반으로 저자 추계

[그림 16] 저탄소 에너지 분야 부처별 예산 변화

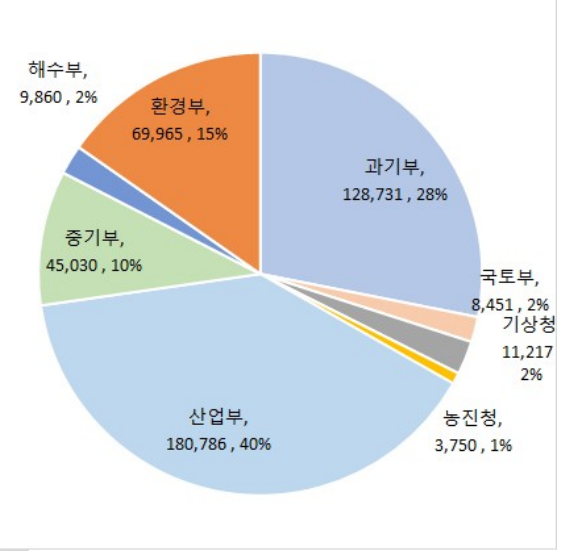
- 녹색 산업 혁신 생태계 구축 분야는 녹색 선도 유망기업을 육성하고 저탄소·녹색 산단 조성을 통한 에너지 전환, CCUS(이산화탄소 포집·저장·활용기술; Carbon Capture Utilization and Storage)등 녹색 혁신 기술 기반을 조성하고 녹색 금융 등을 확대하는 분야임
  - 장기적으로 탄소 감축의 역할을 할 제조공정 상의 탄소감축기술 개발, CCUS등 혁신 기술 개발, 스마트그린 산단 조성 등 에너지 플랫폼을 확대하는 과제 등을 수행
  - 철강*·석유화학 등 탄소를 다량 발생시키는 산업의 장기적인 구조적 전환을 이끌 수 있는 기술 개발

    * 수소환원제철기술 등 2030년 이후 현 NDC 목표 이후 2050년 탄소중립에 영향을 미치는 기술
  - 산업생태계 조성을 위한 사업들로 산업부 예산의 비중이 크게 증가하였으며 이는 현행 NDC에 부합하는 것으로 평가할 수 있음

2021년 예산



2022년 예산



[자료] 각 년도 정부예산요구서 기반으로 저자 추계

[그림 17] 녹색산업 혁신 생태계 구축 분야 부처별 예산 변화

V 결론 및 정책제언

해외 주요국의 경제성장과 탄소배출량 간의 탈동조화 경향은 적극적인 탄소중립 선언의 기반이 된 것으로 분석됨

- 온실가스 배출량과 GDP 추이를 보면, 우리나라와 중국을 제외한 주요국은 경제성장과 온실가스의 탈동조화 단계에 도달
  - 독일 및 일본은 지속적인 재생에너지 중심으로의 에너지전환 노력 및 기술혁신을 통해 탈동조화 상태에 도달한 것으로 분석되며 우리나라와 중국 역시 2010년대부터 배출량 증가세가 완화되는 경향을 보임

※ 독일(6.0%)〉영국(4.9%)〉EU(3.9%)〉중국(3.7%)〉미국/일본(2.6%)〉프랑스(2.4%)〉한국(0.9%) 순으로 한국은 재생에너지원의 에너지공급 비중이 가장 낮음

- 저탄소에너지 발전 부문에서 한국과 프랑스는 원자력의 비중이 높고, 영국·독일은 풍력이 가장 높은 저탄소 발전 비중을 차지함

EU, 영국, 프랑스, 독일, 일본에서는 탄소중립 목표를 성문법상에 명시함으로써 적극적인 탄소중립 정책을 추진하기 위한 제도적 기반을 마련함

- 미국은 아직 법제화가 추진되지는 않는 상태이며 중국 또한 정책상으로만 2060년 탄소중립 목표를 제시

재생에너지 도입 확대만으로는 탈탄소화가 어려운 산업 부문 탈탄소화 대응이 본격화

- 미국은 새로운 장기저탄소발전전략을 통해 산업공정에서 배출되는 온실가스 대응을 위해 산업 CCUS 대응, 대체 공정 개발(수소환원제철 등) 등의 추진을 명시
- 영국은 주요국 중 최초로 '산업 탈탄소화 전략(Industrial Decarbonisation Strategy)'을 수립

- 주요국의 탄소중립 R&D 프로그램 예산 및 투자는 각국에 주력으로 활용되는 기술분야에 대한 비중이 높은 경향을 나타냄
  - (미국) 기초과학과 기타 기반 기술의 투자 비중이 높은 특색을 보임
  - (EU) 수송효율화 기술, 에너지 저장, 기타 기반 기술 투자 비중도 높은 편이며, 재생에너지 분야에서는 태양광, 풍력, 바이오에너지의 투자 비중이 높은 편임
  - (독일) 태양에너지, 풍력, 수소연료전지의 투자 비중이 높으며, 건물·산업·수송효율화에 대한 투자 비중도 높은 편임
  - (프랑스) 원자력 에너지 기술 분야에 대한 투자규모가 압도적으로 높으며 재생에너지 부문에서는 바이오에너지, 태양광에 대한 R&D 투자가 높게 나타남
  - (영국) 산업 효율화, 에너지저장, 수소연료전지에 대한 R&D 투자 비중이 높음
  - (일본) 2011년 이후 원전 중단에도 불구하고 원자력 R&D 비중이 높으며, 타 국가 대비 CCUS R&D 기술 비중이 상당히 높은 특색을 보임
  - (중국) 수송효율화, 수소연료전지, 에너지 저장에 대한 투자 비중이 높아, 친환경 자동차 산업의 주도권 확보를 위한 적극적 R&D 투자를 진행하고 있는 것으로 분석됨
  - (한국) 원자력, 수소·연료전지, 태양광, 풍력 등 에너지원 분야에 대한 예산 투자 비중이 높은 편임
- EU, 독일, 영국, 일본 등에서는 임무지향적 혁신정책을 도입 중
  - 온실가스 배출 규제로 발생하는 시장 선점을 위해 혁신기술의 상용화를 보다 가속화하기 위한 연구개발단계별 연계를 강화
  - DARPA 모델 도입·운영을 통해 해당 조직 내 탄소중립 관련 혁신기술 확보를 위한 연구개발 진행 중
- 주요국의 탄소중립관련 기술개발동향을 살펴보면 육상교통 부문 위주에서 벗어나 항공 부문의 수송효율화 기술개발 관련 R&D가 강화되는 경향을 보임
  - 또한, 전지구적 이행점검(Global Stock Take; GST)을 대비하여 온실가스 관측체계 구축 및 기술개발을 추진 중이며, 수소경제 추진전략을 수립하여 향후 적극적인 기술개발 및 보급 정책이 추진될 것으로 전망되고 있음

- 한편, 연구개발 단계에서부터 소재·부품의 재활용 기술개발을 병행하고, 탄소제거기술의 중요성이 강조되고 배출흡수를 위한 매개체로서의 바이오에너지의 활용성이 부각되고 있음

■ 교토의정서 시기와는 달리 경제사회적 기반이 마련된 상황이므로, 향후에도 전지구적인 온실가스 감축 노력이 강화될 것으로 전망됨

- 해외 주요국들은 탄소중립 달성을 위한 정책적 노력을 강화하고 있으며, 자국내에만 그치지 않고 EU와 미국을 중심으로 탄소국경조정 메커니즘 도입이 활발히 논의되고 있음

■ 이러한 탄소중립 실현을 위한 국제적 정책 및 연구개발 동향 등을 고려할 때 우리나라의 효과적인 탄소중립 목표실현을 위해 다음과 같이 제도·거버넌스·R&D 투자방향의 세 가지 측면에서 제언함

- (제도적 측면) 기술 융복합이 촉진될 수 있도록 다양한 기술 및 학문 분야 간 협력을 통한 임무지향적 혁신정책 도입필요
  - 탄소중립 달성을 위해 도전적인 임무를 설정하고 분야를 초월한 연구개발 프로젝트가 진행될 수 있도록 기술분야 중심에서 임무 중심으로 사업 구조개편 필요
- (거버넌스 측면) High Risk-High Payoff형 혁신기술 R&D를 장기적 관점에서 안정적으로 추진하기 위한 기반 마련 필요
  - 현재 DARPA 모델을 적용한 범부처 혁신도전 프로젝트 사업이 진행되고 있으나, KISTEP 내부 조직의 형태로 소규모로 사업 지원조직을 운영하고 있는 상황
  - 장기/안정적 추진을 위하여 별도 공기업형 공공기관화(예시 : SPRIND-D(독일)) 혹은 부처 산하 기구(영국 ARIA)의 형태로 전환 검토 필요
- (연구개발 측면) 주요국의 연구개발 동향 분석을 바탕으로 아래 6가지 사항을 제언함
  첫째, 산업 탈탄소화를 지원할 수 있는 기술개발 사업 추진 강화
  둘째, 항공부문 수송효율화 기술에 대한 연구개발 지원 확대 및 구체적인 전략 수립
  셋째, 제1차 전지구적 이행점검 대비 온실가스 농도 측정 등에 관한 연구개발 지원 강화
  넷째, 탄소제거기술에 대한 지원 확보 및 다양한 기술조합을 시도할 수 있는 제도적 기반 마련
  다섯째, 소재/부품의 장수명화 및 재활용 기술에 대한 연구개발 강화
  여섯째, 미래 수소 수요에 대응하기 위한 수소제조기술의 다양한 기술 시즈(seeds) 확보

참 고 문 헌

- 전국경제인연합회(2021), 탄소중립 정책 현황 및 과제, Global Insight vol.44.
- 과학기술정보통신부(2018),「제4차과학기술기본계획」.
- 과학기술정보통신부. (2021).「2021년 과학기술정보통신부 종합시행계획 : 별첨 1. 과학기술분야별 세부사업 추진계획」.
- 과학기술정보통신부. (2021).「2021년도 기후·환경연구개발사업 시행계획안」.
- 과학기술정보통신부. (2021).「2021년도 원자력연구개발사업 시행계획」.
- 관계부처합동(2019),「제2차 기후변화대응 기본계획」.
- 관계부처합동(2019),「제3차 녹색성장 5개년 계획」.
- 관계부처합동(2019),「제3차 국가 기후변화 적응대책」.
- 관계부처합동(2020),「지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략」.
- 관계부처합동(2021),「제5차 국가환경 종합계획(2020-2040)」.
- 관계부처합동(2021),「「2050 탄소중립」 추진전략(안)」.
- 관계부처합동(2021),「2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안」.
- 관계부처합동(2021),「탄소중립 기술혁신 추진전략」.
- 관계부처합동(2021),「탄소중립 연구개발 투자전략」.
- 관계부처합동(2021),「한국판뉴딜 2.0」.
- 환경부(2021),「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)」
- 녹색기술센터(2021),「2020 기후기술수준조사」
- 산업통상자원부. (2020). 2021년도 산업기술혁신사업 통합시행계획.
- 양의석·임지영. (2018). 일본 신재생에너지 보급·확대 현황 및 주력 전원화 구상, 세계 에너지시장 인사이트 제18-30호 2018. 8. 27, 에너지경제연구원.
- 에너지경제연구원(2020), 한국판 그린 뉴딜의 방향 : 진단과 제언, 에너지현안브리프.
- 이상준, 우리나라 NDC 상향안의 평가와 전망, 전기저널(2021.11.12.)
- 전국경제인연합회(2021), 탄소중립 정책 현황 및 과제, Global Insight vol.44.

- 전은진 외. (2021). 탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석, 한국과학기술기획평가원 위탁 연구보고서, 녹색기술센터.
- 한국은행(2021), 국제사회의 탄소중립 추진 현황 및 경제적 영향, 국제경제리뷰, 2021-9호.
- 허가형. (2020). 주요국의 온실가스 배출량과 GDP의 탈동조화 경향과 시사점, NABO Focus 2020.9.29. 제24호, 국회예산정책처.
- Batini et al. (2014) Fiscal Multipliers : Size, Determinants, and Use in Macroeconomic Projections, IMF Technical Notes and Manuals No. 2014/04.
- BMWi. (2021). Bundesbericht Energieforschung 2021 : Forschungsförderung für die Energiewende.
- Commissariat général au développement durable. (2020). Les dépenses publiques de RetD en énergie en 2019. (https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-depenses-publiques-de-retd-en-energie-en-2019-hausse-des-financements-alloues-au-nucleaire (최종접속일자 : 2021-12-13))
- DOE. (2021). FY 2022 Budget Request to Congress.
- Enerdata, (https://yearbook.enerdata.co.kr/ (최종접속일자 : 2021-12-01)).
- EU. (2021). Euratom Research and Training Programme.
- EU. (2021). Horizon Europe Work Programme 2021-2022: 8. Climate, Energy and Mobility.
- Eurostat, renewable energy statistics, (https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics (최종접속일자 : 2021-12-01)).
- IEA(2021), Global Energy review 2021.
- IEA. (2021). Countries & Regions (https://www.iea.org/countries (최종접속일자 : 2021-08-31).
- IEA. (2021). Energy Technology RD&D Budgets Database (https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-technology-rd-and-d-budget-database-2 (최종접속일자 : 2021-08-24)).

- IMF(2020), “Mitigating Climate Change”, World Economic Outlook Ch3.
- IMF. (2021). IMF World Economic Outlook Database, 1 April 2021 (https://www.imf.org/en/Publications/SPROLLs/world-economic-outlook-databases#sort=%40imfdate%20descending(최종접속일자 : 2021-08-02)).
- Jaumotte et al. (2021), Mitigating Climate Change: Growth-Friendly Policies to Achieve Net Zero Emissions by 2050.
- Mission Innovation. (2021). Our Members : China. http://mission-innovation.net/our-members/china/(최종접속일자 : 2021-12-07)
- NASA. (2021). FY2022 Budget Estimates.
- National Audit Office. (2021). UK Research and Innovation’s management of the Industrial Strategy Challenge Fund, SESSION 2019–2021, 5 FEBRUARY 2021.
- NSF. (2021). FY2022 Budget Request to Congress.
- Natural Resources Canada. (2020). Hydrogen Strategy for Canada.
- OECD, (https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_GHG (최종접속일자 : 2021-12-01)).
- Science. (2021). New U.K. funding agency would tackle innovative research, 19 February 2021 (최종접속일자 : 2021-11-01).
- SPRIN-D 홈페이지 : https://www.sprind.org/
- UK Reserch and Innovation. (2021). Our Main Funds : Industrial Strategy Challenge Fund.(https://www.ukri.org/our-work/our-main-funds/industrial-strategy-challenge-fund/clean-growth (최종접속일자 : 2021-12-01).
- UKRI. (2020). UKRI Delivery Plan 2019.
- UNFCCC. (2021). Communication of long-term strategies. (https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies (최종접속일자 : 2021-12-12)).
- USDA. (2021). 2022 USDA EXPLANATORY NOTES –AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE.
- USGS.(2021). FY2022 USGS Budget Justification.

- WB. (2021). WB Databank(https://databank.worldbank.org/home.aspx (최종접속일자 : 2021-07-20)).
- 経済産業省. (2020). 令和3年度 資源・エネルギー関係概算要求の概要. 2021-3.
- 経済産業省. (2021). 令和４年度 資源・エネルギー関係概算要求の概要. 2021-8.
- 文部科学省. (2021). 令和3年度 予算のポイント. 2021-03-26.
- 文部科学省. (2021). 令和4年度 概算要求のポイント. 2021-8.
- 環境省. (2020). 令和4年度環境省重点施策集. 2020-9.
- 環境省. (2021). 令和4年度環境省重点施策集. 2021-8.

KISTEP 이슈페이퍼 발간목록

발간호	제목	저자
2021-18 (통권 제318호)	유럽연합의 임무주도형 혁신정책의 특징과 시사점	강진원(KISTEP)
2021-17 (통권 제317호)	대학 기술지주회사제도 개선방안	정동덕(KISTEP)
2021-16 (통권 제316호)	규제자유특구 운영 현황 분석 및 제도 개선 제언	이재훈, 박일주(KISTEP)
2021-15 (통권 제315호)	성장동력 현황 분석 및 정책 제언 -D.N.A와 BIG3-	김진용 외(KISTEP)
2021-14 (통권 제314호)	R&D인프라의 실증 데이터 활용을 위한 주요 이슈와 정책제언	유형정, 김선재, 권정은, 이승필(KISTEP)
2021-13 (통권 제313호)	신입과학기술인의 역량 인식 차이 분석	김지홍, 주혜정(KISTEP)
2021-12 (통권 제312호)	공공 R&D 투자의 사회·경제적 파급효과 분석	엄익천(KISTEP), 황원식(전북대학교)
2021-11 (통권 제311호)	지역대학 위기와 새 정부 고등교육정책 거버넌스 방향	오세홍, 안지혜, 유지은 (KISTEP)
2021-10 (통권 제310호)	기술개발지원 지역 R&D의 효율성 개선 방향 제언	박석종(KISTEP), 염성찬
2021-09 (통권 제309호)	바이오헬스 산업 성장가속화를 위한 정부R&D의 역할 및 예산배분 전략	홍미영, 김주원(KISTEP)
2021-08 (통권 제308호)	2045년을 향한 미래사회 전망과 핵심이슈 심층분석	정의진 외(KISTEP)
2021-07 (통권 제307호)	R&D시스템의 빅체인지 연구산업진흥법 제정의 의미와 시사점	허현회 (한국연구개발서비스협회), 이장재(KISTEP)
2021-06 (통권 제306호)	연구자 주도 기초연구의 향후 지원 방향 제언	윤수진(KISTEP)
2021-05 (통권 제305호)	기술 패권 시대의 대중국 혁신 전략	KISTEP 차이나포럼
2021-04 (통권 제304호)	중소기업 R&D 지원방식의 주요 이슈와 정책제언	안승구, 이선명(KISTEP) 이광훈(강원대학교)

필자 소개

▶ 한웅용

- 한국과학기술기획평가원 혁신정보분석센터 연구위원
- 043-750-2321 / hanwy@kistep.re.kr

▶ 전은진

- 녹색기술센터 기술총괄부 선임연구원
- 02-3393-3934 / honeysuckle@gtck.re.kr

▶ 손영주

- 한국과학기술기획평가원 R&D예산정책센터 연구원
- 043-750-2615 / yjsohn@kistep.re.kr

KISTEP ISSUE PAPER 2021-19 (통권 제319호)

‖ 발행일 ‖ 2021년 12월 22일

‖ 발행처 ‖ 한국과학기술기획평가원 혁신전략연구소
충청북도 음성군 맹동면 원중로 1339
T. 043-750-2300 / F. 043-750-2680
http://www.kistep.re.kr

‖ 인쇄처 ‖ 주식회사 동진문화사(T. 02-2269-4783)