Ⅲ. 중장기 심층연구

탄소중립경제로의 길: 우리나라 기후테크의 현황과 과제

목 차

탄소중립경제로의 길: 우리나라 기후테크의 현황과 과제

경제연구원 이동원, 성원, 심세리, 이인로, 정성준, 최이슬, 김동재, 조태형

KEY TAKEAWAYS

① **기후위기 해결 및 지속가능경제 구축을 위한 국제사회의 요구가 높아지는 가운데 탄소배출이 '0'인 탄소중립경제carbon neutral economy로의 전환 과정에서 기후테크Climate Technologies의 중요성이 부각되고 있다.** 기후테크는 온실가스를 감축하고 기후변화에 적응하면서도 경제적 수익을 창출하는 기술이며 탄소중립 전환을 뒷받침하는 핵심요소이다. 기후테크 혁신은 탄소중립경제로의 전환 과정에서 경제활동의 위축을 최소화하고 새로운 성장동력을 창출할 기회를 제공한다.

② **특허출원건수를 기준으로 주요국의 기후테크 혁신실적을 비교한 결과, 우리나라는 양적으로는 양호한 모습을 보였다.** 미국 특허청에 등록된 특허자료를 분석해 보면, 2011~21년 중 우리나라의 기후테크 특허출원건수는 세계 3위로 글로벌 상위 수준이었다. 또한 미국·일본 등이 2010년대 초중반 이후 정체되거나 감소세를 보였으나 우리나라는 최근까지도 꾸준히 증가해 왔다.

③ **그러나 우리나라 기후테크 특허는 특정 기업과 기술에 편중된 데다 후속파급력, 창의성, 범용성 등 질적 성과에서 미흡하였다.** 기후테크 특허의 2/3 이상이 4개 기업과, 2차전지·전기차·재생에너지·정보통신기술 등 4개 기술분야에 집중되었다. 반면, 화학·정유·철강 등 탄소 다배출산업의 탄소저감기술이나 탄소 포집·활용·저장 기술CCUS과 같은 핵심유망기술에서는 특허실적이 부진하였다. 또한 2차전지·전기차·재생에너지 등 주력 기술분야에서도 대부분의 질적 특허평가지표가 10대 선도국(특허출원건수 상위국) 중 하위권에 머물렀다.

④ **이처럼 우리나라의 기후테크 혁신실적이 특정 기업과 기술에 편중되고 질적 성과가 미흡한 이유는 다음과 같이 분석되었다.**

첫째, 기후테크 혁신에서 중장기적 필요성보다는 단기적 성과가 우선시되고 있다. 우리나라 기후테크는 2차전지·전기차·재생에너지 등 이미 상용화 단계에 진입했고 시장 성장세가 견조해 빠른 투자수익 회수를 기대할 수 있는 분야에 집중되었다. 이들 기술분야는 2022년에 기업 기후테크 연구개발비의 65%를 차지한 반면, 핵심유망기술인 CCUS는 1%에 불과했다. 또한 신기술 개발의 학술적 기반이 되는 기초연구에 대한 장기적 투자 부족도 10대 선도국에 못미치는 특허인용건수 등 질적 성과를 낮추는 요인으로 작용했다.

⑤ **둘째, 정부의 R&D 지원과 탄소가격 정책이 중장기적 시각의 기후테크 혁신을 충분히 유도하지 못하고 있다.** 저탄소에너지기술에 대한 정부의 R&D 투자 비중은 2021년 2.9%로, 중국 제외 10대 선도국 중 최하위를 나타냈다. 또한 탄소배출권 가격 등 유효탄소가격도 2023년 기준 26.0유로/tCO_2로, 10대 선도국 평균(64.7유로/tCO_2) 대비 크게 낮은 수준이었다.

⑥ **셋째, 신생중소기업 등의 기후테크 혁신자금 조달여건이 취약하다.** 우리나라의 녹색채권 발행규모는 2021년 이후 본격 증가했으며, 2016~23년 중 GDP 대비 0.30%로, 10대 선도국 평균(0.57%)보다 크게 낮았다. 또한 기후테크에 대한 벤처캐피탈 투자 규모도 같은 기간 GDP 대비 0.003%로, 10대 선도국(평균 0.019%) 중 일본에 이어 두 번째로 낮은 수준을 나타냈다.

⑦ **이러한 문제를 극복하고 기후테크의 「선두 개척자」first mover로 도약하기 위해서는 기후테크 혁신정책을 다음과 같은 방향으로 추진할 필요가 있다.**

첫째, 기업이 기술개발 성과를 충분히 보상받을 수 있도록 정부의 기후테크 R&D 지원을 강화해야 한다. 이를 통해 R&D 활동이 기후테크 중심으로 전환되도록 「**유도된 혁신**」induced innovation을 촉진해야 한다. 특히 탄소 다배출산업의 탄소저감기술과 CCUS 등 개발 필요성이 높은 분야에 대한 지원을 확대해야 한다.

⑧ **둘째, 탄소배출 기업이 기후위기로 인한 피해비용을 부담하도록 탄소가격제의 실효성을 높여야 한다.** 이를 통해 기존에 탄소배출기술의 갱신에 치우친 「**왜곡된 혁신**」distorted innovation을 탄소저감기술 개발로 전환해야 한다. 탄소가격제로 확보된 세수는 저탄소기술 혁신을 위한 R&D 자금으로 환류되도록 제도를 설계해야 한다. 탄소가격제 실효성 제고는 EU 탄소국경조정제도CBAM 등 외국의 무역규제에 따른 세수 유출 가능성을 완화하는 데 도움이 될 것이다.

⑨ **셋째, 기업이 기술 상용화 이전에 수익을 내지 못하는 「죽음의 계곡」valley of death을 효과적으로 건너갈 수 있도록 혁신자금 공급여건을 확충해야 한다.** 이를 위해 투자회수시장secondary market(M&A, IPO 등) 확대, 정부벤처캐피탈의 역할 강화, 단기 투자회수를 지양하는 공공 인내자본patient capital 제공 등 벤처캐피탈 투자 활성화 방안을 적극 추진해야 한다.

⑩ **본고에서 OECD 회원국 대상으로 분석한 결과, 위의 세 가지 정책들을 효과적으로 활용할 경우 우리나라가 기후테크 분야에서 「선두 개척자」first mover로 도약할 잠재력이 있는 것으로 나타났다.** 정부 R&D 지원, 탄소가격 인상, 기후테크 벤처캐피탈 투자 모두를 40%씩 확대할 수 있다면 혁신의 양과 질을 모두 반영한 기후테크 혁신성과가 최상위국 수준에 이르는 것으로 산출된다.

1. 검토배경

1. 기후위기 해결 및 지속가능경제 구축을 위한 국제사회의 요구가 높아지면서, 탄소배출을 "0"으로 줄이는 탄소중립경제carbon neutral economy로의 전환이 중대한 당면과제로 부상하였다. 각국은 2015년 파리협정을 통해 지구의 온도상승폭을 산업화 이전 대비 1.5°C 이내로 억제[140]하기 위해 자발적으로 「온실가스 감축목표」Nationally Determined Contributions, NDCs를 수립하고 제출하기로 합의하였다. 우리나라도 2020년에 2050년까지 탄소중립을 실현하겠다고 선언[141]했으며, 2021년에는 「온실가스 감축목표」[142]를 UN에 제출하였다(표 1.1). 이와 함께 글로벌 통상환경도 탄소중립 의무를 강화하는 방향으로 변화하고 있다. 글로벌 기업들은 「RE100」Renewable Electricity 100%[143] 캠페인을 통해 공급망 내 협력업체에 재생에너지 사용을 요구하고 있다. EU는 「탄소국경조정제도」Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM를 도입해 2026년부터 수입품의 탄소배출량에 따라 추가비용을 부과할 예정이다(표 1.2).

주요국은 탄소중립을 위해 온실가스 감축목표를 수립

[표 1.1] 주요국의 온실가스 감축목표

국 가	탄소중립 목표연도	국가 온실가스 감축목표[1]
E U	2050년	▸1990~2030년 중 55% 감축
미 국	2050년	▸2005~2030년 중 50~52% 감축
영 국	2050년	▸1990~2030년 중 68% 감축
일 본	2050년	▸2013~2030년 중 46% 감축
중 국	2060년	▸2005~2030년 중 65% 감축
한 국	2050년	▸2018~2030년 중 40% 감축

주: 1) 탄소중립 실현을 위한 중간단계 목표
자료: UNDP, UNFCCC

EU는 수입품에 추가 탄소배출비용을 부과할 예정

[표 1.2] EU 탄소국경조정제도의 주요 내용

구 분	내 용
배 경	▸EU 내 환경규제 강화로 인한 탄소누출* 방지 * 탄소 다배출산업이 低규제 국가로 생산기지를 이전해 탄소배출량이 유지되는 현상
대상 품목	▸총 6개 탄소 다배출 품목 - 철강, 알루미늄, 시멘트, 비료, 전력, 수소 ▸플라스틱, 정유제품 등의 추가 가능성 상존
시행 시기	▸(23.10~25.12월) 시범 시행(배출량 보고의무) ▸(26.1월 이후) 본격 시행(인증서 구매의무)
배출 범위	▸특정조건 내 간접배출*도 포함 * 외부 에너지 구매·사용에 따른 탄소배출

2. 탄소중립경제로 전환하려면 다양한 탄소감축수단이 필요한데, 이를 뒷받침하는 핵심요소가 온실가스 감축 및 기후변화 적응을 위한 기술, 즉 기후테크Climate Technologies이다. IEA(2021a)는 탄소중립을 실현하기 위한 주요 탄소감축수단key pillars of decarbonisation으로 다음 7가지를 제시하였다.

---

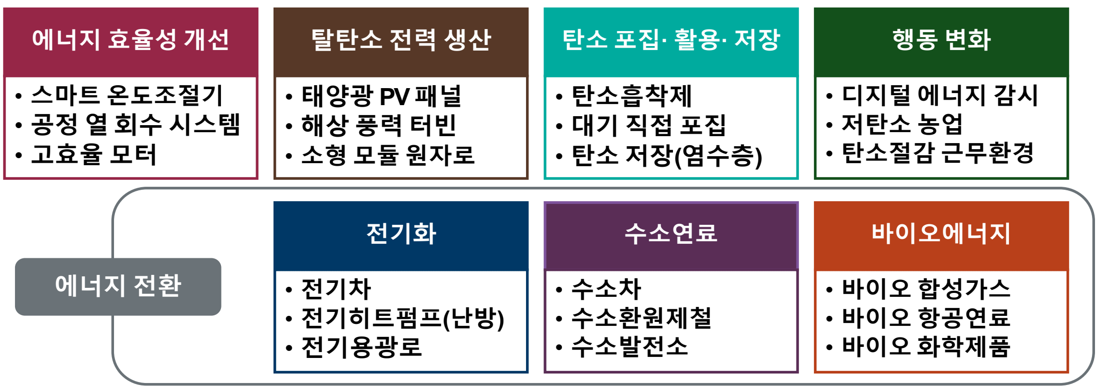
140) 2018년 UN 산하 「기후변화에 관한 정부 간 협의체」(IPCC)가 발표한 「지구온난화 1.5℃ 특별보고서」(Special Report on Global Warming of 1.5°C)에 따르면, 지구의 온도상승폭이 산업화 이전 대비 +1.5℃을 상회할 경우 폭염과 집중호우 빈도 증가, 해수면 상승, 생태계 다양성 손실 등 기후변화의 부정적 영향이 급격히 증가할 것으로 분석되었다.
141) 「2050 탄소중립 선언」(20.10월 대통령 국회시정연설) 및 「2050 탄소중립 추진전략」(20.12월)
142) 「2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안」(21.10월 발표, 21.12월 UN 제출)
143) 「RE100」은 기업이 사용하는 전력을 태양광과 풍력 같은 재생에너지로 100% 충당하겠다고 자발적으로 공약하는 캠페인이다. 2014년 9월에 시작된 이 캠페인에는 2024년 11월 기준으로 총 434개 기업이 가입했으며, 이 중 우리나라 기업은 36개가 참여하고 있다(자료: there100.org).

① **(에너지 효율성 개선)** 산업, 건물, 운송 부문에서 기술과 프로세스를 개선해 에너지 소비를 줄인다.
② **(탈탄소 전력 생산)** 태양광, 풍력, 원자력, 수소 등 탈탄소 에너지원으로 전력을 생산한다.
③ **(탄소 포집·활용·저장)** 화석연료 사용이나 산업 공정에서 배출된 탄소를 포집해 저장하거나 활용한다.
④ **(행동 변화)** 개인, 기업, 정부가 에너지 소비와 탄소 배출을 줄이도록 행동 변화를 유도한다.
⑤ **(전기화를 통한 에너지 전환)** 운송 등의 화석연료 기반 시스템을 전기로 전환한다.
⑥ **(수소연료를 통한 에너지 전환)** 산업, 난방 등에서 화석연료 대신 수소연료를 활용한다.
⑦ **(바이오에너지를 통한 에너지 전환)** 발전, 산업 등의 에너지원을 화석연료에서 바이오에너지(동식물 유기물 등)로 전환한다.

이러한 탄소감축수단을 구현하려면 다양한 기후테크의 활용이 필수적이다(그림 1.1). IEA(2023)에 따르면, 탄소중립경제 전환에 필요한 기후테크 중 약 35%는 아직 상용화되지 않고 개발단계에 머물러 있다. 따라서 상용화된 기술의 생산비용을 획기적으로 낮추는 동시에, 아직 개발 중인 기술을 빠르게 상용화하기 위해서는 기후테크 혁신을 촉진할 필요가 있다.

탄소중립경제 전환을 위한 탄소감축수단을 구현하려면 다양한 기후테크의 활용이 필수적

[그림 1.1] 탄소감축수단과 이를 위한 주요 기후테크



자료: IEA(2021a, 2023)를 재구성

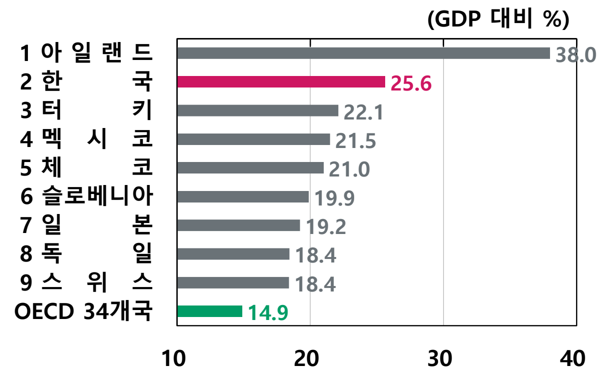
3. 특히, 탄소중립경제로 전환하는 과정에서 경제활동의 위축을 최소화하고 새로운 성장동력을 창출하기 위해서도 기후테크의 육성이 필수적이다. 「온실가스 감축목표」를 달성하는 방안은 크게 두 가지로 나눠볼 수 있다. 첫 번째는 온실가스 배출이 많은 상품의 생산을 줄이는 방안이다. 그러나 이는 코로나 위기 수준에 가까운 경제활동 위축을 초래할 가능성이 크다. 예를 들어, 우리나라가 「온실가스 감축목표」

를 달성하려면 연평균 4.2%의 감축률이 필요한데, 이는 코로나 위기였던 2020년의 온실가스 감소율인 5.4~6.4%[144]에 근접하는 수준이다. 두 번째는 상품의 생산규모는 유지하면서 기후테크를 활용해 생산과정에서의 탄소배출을 줄이는 방안이다. 이 방안은 경제활동을 위축시키지 않으면서, 기후테크 분야의 기술주도권을 확보할 기회를 제공한다. 특히 화학, 철강 등 탄소배출이 많지만 다른 산업에 기초소재를 공급하기 때문에 대체하기 어려운 산업에서 탄소저감기술을 상용화한다면 탄소중립 실현과 동시에 많은 경제적 성과도 기대할 수 있다.

4. 더욱이 우리나라는 탄소배출이 많은 제조업 중심의 수출주도 경제구조를 가지고 있어 기후테크 혁신이 시급한 상황이다. 2022년 기준 우리나라 제조업 부가가치가 GDP에서 차지하는 비중이 25.6%로, OECD 회원국 중 아일랜드에 이어 두 번째로 높은 수준을 나타내고 있다(그림 1.2). 이러한 경제구조의 영향으로, 우리나라의 1인당 온실가스 배출량은 OECD 회원국 중 5위로 상위권을 차지하고 있다(그림 1.3). 따라서 EU의 「탄소국경조정제도」 시행 등와 같은 국제 사회의 기후위기 대응 압박이 강화될 경우, 우리 경제에 큰 부담으로 작용할 가능성이 높다. 따라서 기후테크 혁신은 단순히 기후위기에 대응하는 것을 넘어, 우리 경제의 지속가능성과 국제경쟁력을 확보하기 위한 필수 과제가 되고 있다.

우리나라는 제조업 중심의 경제구조를 가짐

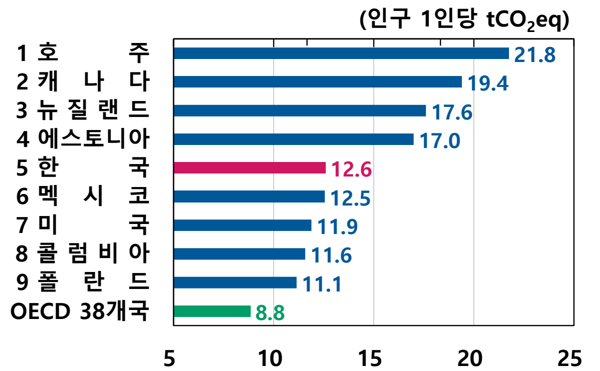
[그림 1.2] OECD 회원국의 제조업 부가가치 비중



주: 1) 2022년 기준
자료: World Bank

우리나라의 경제규모 대비 온실가스 배출량은 높은 수준

[그림 1.3] OECD 회원국의 1인당 온실가스 배출량



주: 1) 2023년 기준
자료: EDGAR Community GHG Database

5. 본고는 이러한 배경을 바탕으로 우리나라 기후테크의 현황과 과제에 대해 살펴보고자 한다. 이를 위해 2장에서는 기후테크 특허 현황을 주요국과 비교 분석함으로써 우리나라 기후테크의 특징을 도출하였다. 그리고 3장에서는 이러한 특징의 원인과 문제점을 심층적으로 분석하였다. 4장에서는 이를 바탕으로 우리나라 기후테크 혁신을 촉진하기 위한 정책방향을 제시하였다. 마지막으로 5장에서는 전체 내용을 종합하고 주요 시사점을 도출하였다.

144) Liu et al.(2020) 및 Global Carbon Project(2021)의 추정결과이다.

2. 우리나라 기후테크의 현황과 특징

6. 기후테크는 기후Climate와 기술Technology의 합성어로, 온실가스 감축과 기후변화 적응에 기여하면서도 경제적 수익을 창출하는 기술을 의미한다[145).] IEA(2021b) 등에 따르면 기후테크는 에너지 공급망의 흐름에 따라 다음 세 가지로 크게 분류할 수 있다[146)](표 2.1).

- **(에너지 공급 기술)** 태양광, 풍력 등 저탄소 에너지를 생산하는 기술이다.
- **(에너지 사용여건 조성 기술)** 2차전지, 수소연료 등 저탄소 에너지를 저장하고 소비처로 전달하는 기술, 에너지 사용 과정에서 발생하는 탄소를 포집·활용·저장하는 기술Carbon Capture, Utilization & Storage, CCUS 등이다.
- **(에너지 소비 기술)** 소비 에너지를 화석연료에서 전기, 수소 등 저탄소 연료로 전환하는 기술(전기차, 수소환원제철 등), 원재료를 저탄소 물질로 대체하여 탄소 배출을 줄이는 기술(친환경 바이오소재 등), 기후변화에 적응하기 위한 기술(의료 및 제약, 기상정보 감시 등) 등이다.

기후테크는 크게 ① 에너지 공급 기술, ② 에너지 사용여건 조성 기술, ③ 에너지 소비 기술로 분류

[표 2.1] 기후테크의 분류

구 분	내 용	대표 기술분야[1)]	예 시
에너지 공급	- 저탄소 에너지의 공급	▸재생에너지	- 고효율 태양전지 - 해상풍력 부유체 시스템
에너지 사용여건 조성	- 저탄소 에너지의 저장・운반 - 탄소 포집・제거	▸2차전지	- 2차전지 모듈・시스템
		▸수소연료	- 수소 저장・운송
		▸탄소 포집・활용・저장(CCUS)	- 직접 공기 포집
에너지 소비	- 저탄소 에너지・원재료 전환 - 에너지 소비 효율성 개선 - 기후변화 적응	▸전기차	- 대형트럭용 전기구동모터
		▸화학・정유 생산공정	- 친환경 바이오소재
		▸철강・광물(시멘트) 생산공정	- 수소환원제철
		▸정보통신기술(ICT)	- 저전력 반도체

주: 1) 정부의 「탄소중립 100대 핵심기술」(23.5월), 우리나라의 주력 기술분야, 기술 개발의 필요성(주력수출산업 활용, 핵심유망기술 등) 등을 고려하여 선정. 전체 기후테크 기술분야에 대한 세부내용은 IEA(2020)를 참고
자료: IEA(2021b)를 재구성

145) UNFCCC(2016), 2050 탄소중립녹색성장위원회(2023)

146) 2050 탄소중립녹색성장위원회(2023)는 기후테크를 크게 ① 클린테크(재생·대체에너지 생산 및 분산화), ② 카본테크(탄소 포집·저장·감축), ③ 에코테크(자원순환, 저탄소원료, 친환경제품 개발), ④ 푸드테크(저탄소 식품 생산 및 축산), ⑤ 지오테크(탄소 관측, 기상정보 활용) 등 5가지로 분류하였다. 또한 「기후변화대응 기술개발 촉진법」에서는 기후변화대응 기술을 크게 온실가스 감축 기술과 기후변화 적응 기술로 나누고 있다. 한편 정부가 중점 육성을 추진 중인 「탄소중립 100대 핵심기술」(23.5월)은 다음과 같이 4개 부문, 17개 중점 분야로 구성되어 있다.

탄소중립 100대 핵심기술 구성

부 문(4개)	중점 분야(17개)	기술 개수
▸에너지 전환	- 태양광, 풍력, 수송공급, 무탄소 전력공급, 전력저장, 전력망, 에너지통합시스템, 원자력	35개
▸산 업	- 철강, 석유화학, 시멘트, 탄소 포집・활용・저장 기술(CCUS), 산업일반	44개
▸수송・교통	- 친환경 자동차, 탄소중립 선박	13개
▸건물・환경	- 제로에너지건물, 환경	8개

7. 본고는 우리나라의 기후테크 혁신실적을 분석하기 위해 미국 특허청USPTO에 등록된 특허자료를 활용하였다. 선행연구에서 특허통계는 혁신실적을 측정하는 객관적 지표로 널리 사용되고 있다(Griliches 1984, Popp 2002, Acemoglu et al. 2016)[147]. 특히, 미국 특허청 자료가 자주 활용되는데, 이는 미국이 세계 최대 단일시장으로, 강력한 특허권 보호 체계를 갖추고 있을 뿐만 아니라 출원 및 등록 절차가 엄격하여, 다양한 국가의 기업이 특허를 출원하고 특허의 품질도 우수하기 때문이다[148]. 본고는 미국 특허청의 원시자료, OECD STI Micro-data Lab의 기업-특허 매칭자료 등을 활용하여 국가수준 및 기업수준의 특허통계를 구축하였다. 또한 선행연구를 참고하여 기후테크 특허를 CPCCooperative Patent Classification[149]의 분류체계를 바탕으로 정의하였다. 구체적으로, 「(Y02) 기후변화 완화 및 적응 기술」 및 「(Y04S) ICT 기반 지능형 전력망Smart Grid 기술」에 해당하는 특허를 기후테크 특허로 정의하였다(IEA 2021b, Amoroso et al. 2021)[150].

8. 주요국의 기후테크 혁신실적을 비교 분석한 결과, 우리나라는 ① 특허출원건수 기준 세계 3위로 글로벌 상위권에 속하지만, ② 4개 기업이 전체 기후테크 특허의 약 70%를 차지하여 특정 기업과 기술에 과도하게 편중된 경향을 보인 데다, ③ 후속파급력, 창의성, 범용성, 급진성 등 질적 측면에서는 크게 미흡한 한계를 드러냈다.

▸ [특징 1] 전체 기후테크 혁신실적은 특허출원건수 기준 세계 3위로 상위권

9. 2011~21년[151] 중 우리나라는 기후테크 특허출원건수에서 세계 3위를 기록하며 글로벌 상위권에 속하였다(그림 2.1). 전세계 기후테크 특허의 91%를 「10대 선도국」[152]이 생산하며 이 분야의 혁신을 주도하고 있는데, 우리나라는 점유율 8%로 미국(35%)과 일본(27%)에 이어 세 번째를 차지했다. 이는 독일(6%), 프랑스(4%) 등 주요 유럽 선진국보다 높은 수준이다. 또한 국가 규모를 고려한 인구 만명당 특허출원건수 기준으로도 우리나라는 1.6건을 기록해 룩셈부르크[153](3.0건), 일본(2.3건), 스위스(2.2건)에 이어 4위에 올라 상위권을 나타냈다.

147) 다만, 모든 혁신실적이 특허로 출원되는 것은 아님에 유의할 필요가 있다. 예를 들어, 기술도용 위험이나 민감성을 우려하여 특허 출원을 꺼리는 경우가 있으며, 서비스업 혁신실적은 특허보다 지식재산권으로 등록되는 경우가 많다. 그러나 지식재산권 자료는 체계적이지 않아 분석 활용도가 낮고 다른 객관적 혁신지표를 찾기 어렵기 때문에 선행연구에서는 특허자료를 실증분석의 주요 자료로 사용하고 있다.

148) 미국 특허청에 등록된 특허를 기반으로 한 연구는 다음의 두 가지 한계를 갖는다. 첫째, 양질의 특허라도 미국이 아닌 유럽, 일본 등 다른 주요 국가의 특허청에만 등록되는 경우가 있다. 둘째, 미국 특허등록 과정에서의 지역적 이점이나 정책적 유인 등으로 인해 미국의 혁신실적이 과대 평가될 가능성이 있다. 이러한 점을 고려해 일부 연구는 두 개 이상의 특허청에 동시에 등록된 특허만을 분석대상으로 삼기도 하지만, 이는 기후테크 특허분석을 위한 관측치수를 크게 줄이는 단점이 있다. 이에 따라 본고는 미국 특허청에 등록된 특허를 중심으로 분석을 진행하였다.

149) CPC는 선행기술 조사의 효율성을 높이기 위해 미국 특허청과 유럽 특허청이 공동으로 개발한 분류체계로, 2013년부터 도입되었다. 우리나라 특허청도 2015년부터 신규출원특허에 CPC 코드를 부여하고 있다.

150) 기후테크 특허분류에 대한 세부내용은 <별첨 1>을 참고하기 바란다.

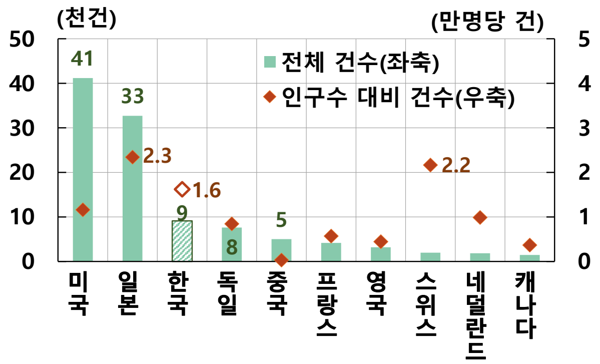
151) 특허는 출원 후 등록까지는 약 1~3년의 시차가 존재하며, 이로 인해 출원은 되었으나 아직 등록되지 않은 특허는 관측치에 포함되지 않는다. 이를 감안해 분석기간을 2021년 이전으로 한정하였다.

152) 본고는 특허출원건수를 기준으로 상위 10개 국가를 「10대 선도국」으로 정의하였다. 그리고 통계자료가 부족한 국가가 있을 경우에는 「해당 국가 제외 10대 선도국」으로 언급하였다.

153) 룩셈부르크의 글로벌 기후테크 특허출원건수 점유율은 0.2%에 불과하다.

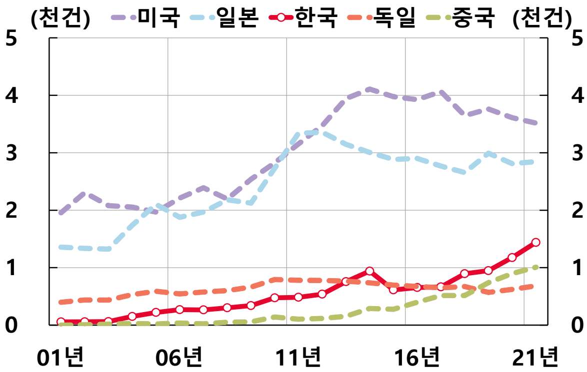
우리나라는 기후테크 특허출원건수 기준 세계 3위

[그림 2.1] 2011~21년 기후테크 특허출원건수



우리나라 기후테크 혁신실적은 증가세를 지속

[그림 2.2] 국가별·연도별 기후테크 특허출원건수

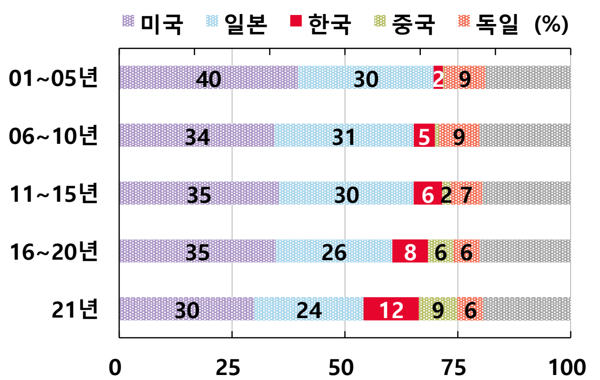


주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

10. 뿐만 아니라, 우리나라는 최근까지도 기후테크 특허출원이 꾸준히 증가하며 주요 선진국과 차별화된 흐름을 보이고 있다(그림 2.2). 미국, 일본, 독일 등 주요 선진국은 2010년대 초중반 이후 기후테크 특허출원이 정체되거나 소폭 감소하는 추세를 보여, 기후위기 대응이 지연될 수 있다는 우려를 낳고 있다[154]. 반면, 우리나라는 같은 시기 동안 중국과 함께 특허출원 증가세를 유지해 왔다. 그 결과, 전세계 기후테크 특허출원에서 우리나라의 점유율은 2001~05년 중 2%에서 2016~20년 중 8%로 약 4배 늘어났으며, 2021년에는 12%로 더욱 확대되었다(그림 2.3). 이는 2021년 기준으로 기후테크 이외 기술도 포함한 전체 분야의 특허출원에서 우리나라가 차지한 비중인 7%를 상당폭 웃도는 수준이다.

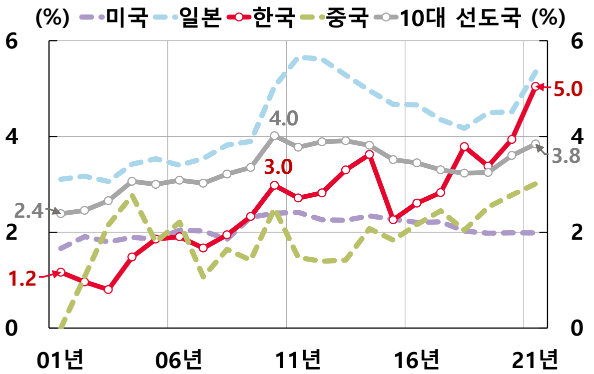
전세계 기후테크 특허 중 우리나라의 점유율이 확대

[그림 2.3] 기후테크 특허출원건수의 국가별 구성비



우리나라 전체 기술분야 특허 중 기후테크 비중이 확대

[그림 2.4] 국가별 전체 기술분야 특허출원건수 중 기후테크 비중



주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

154) 2010년대 이후 글로벌 기후테크 혁신이 정체된 원인으로 미국 셰일가스 생산의 급증에 따른 가스가격 하락(Acemoglu et al. 2023), 기후위기 대응에 대한 정책기조 약화(Cervantes et al. 2023) 등이 제시되었다.

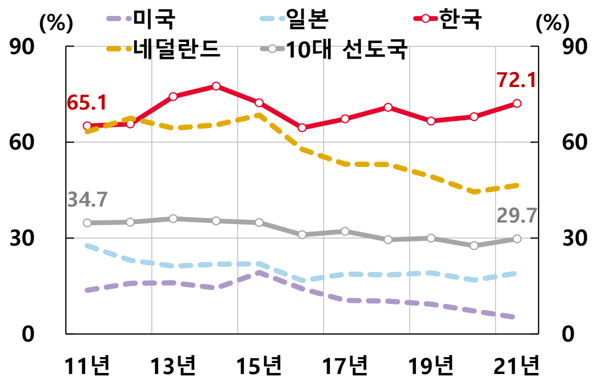
11. 아울러, 우리나라는 기후테크 분야의 혁신실적이 다른 기술분야에 비해 빠르게 증가하며, 전반적으로 기후위기 대응 강화 흐름에 부합하는 모습을 보이고 있다(그림 2.4). 국가별로 전체 기술분야 특허출원 중 기후테크가 차지하는 비중을 살펴보면, 10대 선도국 평균은 2001년 2.4%에서 2010년 4.0%로 늘어났다가 2021년에는 3.8%로 소폭 축소되었다. 반면 우리나라는 2001년 1.2%에서 2011년 3.0%, 2021년 5.0%로 꾸준히 확대되는 추세를 보였다. 그 결과, 2021년 기준 우리나라는 10대 선도국 중에서 일본(5.3%)과 영국(5.3%)에 이어 세 번째로 높은 비율을 기록했다.

▸ [특징 2] 특정 기업과 기술에 기후테크 혁신실적이 크게 편중

12. 국가별로 상위 4개 기업이 기후테크 특허출원에서 차지하는 비중을 비교한 결과, 우리나라는 약 70%로 특정 기업에 대한 편중이 매우 두드러졌다(그림 2.5). 2021년 기준으로 우리나라 상위 4개 기업의 기후테크 특허출원 비중은 72.1%로, 10대 선도국 평균치인 29.7%를 크게 상회하였다. 이는 두 번째로 높은 비중을 기록한 네덜란드(46.5%)와도 상당한 격차를 보이는 수치이다.

우리나라 기후테크 특허의 70%를 4개 기업이 생산

[그림 2.5] 국가별 상위 4개 기업의 기후테크 특허출원건수 비중



주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

기후테크 특허실적이 특정 기업에 크게 편중

[표 2.2] 2011~21년 우리나라 기후테크 특허출원건수 기준 상위기업

기업명	국내 비중	글로벌 비중(순위)	주요 특허실적
LG화학[2]	30.6%	2.3%(1위)	2차전지, 전기차
LG에너지솔루션[2]	15.2%	1.2%(5위)	2차전지, 전기차
삼성전자	14.1%	1.1%(7위)	ICT, 2차전지
LG전자	8.1%	0.6%(12위)	ICT, 재생에너지
LS산전[3]	1.9%	0.1%(86위)	전력관리, 전기차
삼성디스플레이	1.6%	0.1%(103위)	재생에너지
포스코	1.2%	0.1%(135위)	2차전지, 철강공정
LG이노텍	1.0%	0.1%(159위)	재생에너지

주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준
2) LG화학 및 LG에너지솔루션은 20년에 분사
3) 20년에 LS일렉트릭으로 사명 변경
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

13. 우리나라 기후테크 혁신을 주도하는 상위 4개 기업은 2차전지, 전기차, 정보통신기술(ICT), 재생에너지 등 분야에서 두각을 나타내는 대기업이었다(표 2.2). 이들 기업은 2022년 기준 우리나라 전체 기업 연구개발(R&D) 지출의 29%를 차지하며, 혁신활동에 적극적으로 투자하고 있다[155]. 이러한 노력 덕분에 이들 기업은 글로벌 기업 중에서도 기후테크 특허출원건수에서 최상위권을 기록하고 있다. 그러나, 상위 4

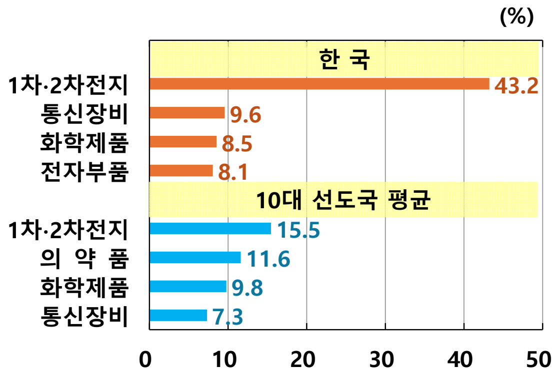
155) 기후테크 특허출원건수 기준 상위 4개 기업의 2022년 R&D 지출규모는 다음과 같다.

개 기업을 제외한 다른 기업들의 기후테크 특허출원은 상대적으로 저조하여, 글로벌 순위에서도 두드러진 차이를 보였다.

14. 이러한 기업 편중 현상은 기후테크 혁신실적이 특정 산업에 집중되는 주요 원인으로 작용하고 있다. 2011~21년 중 우리나라 기후테크 특허출원의 69.4%가 1차·2차전지, 통신장비, 화학제품, 전자부품 등 4개 산업에 집중되었다(그림 2.6). 이로 인해 Herfindahl-Hirschman 지수[156])로 측정한 기후테크 특허의 산업 집중도는 다른 국가에 비해 현저히 높은 수준을 나타냈다(그림 2.7). 특히, 2010년대 중반 이후 2차전지 산업의 급성장 등으로 이러한 산업 집중 현상이 더욱 심화되고 있는 것으로 나타났다.

우리나라 기후테크 혁신실적이 특정 산업에 집중

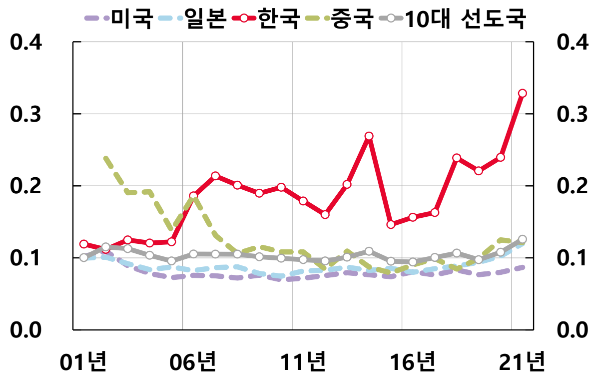
[그림 2.6] 2011~21년 기후테크 특허출원건수의 산업별 구성비



주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준
2) 구성비중 기준 상위 4개 산업을 도식
3) 유럽 통계청의 IPC 분류체계 - NACE 산업분류 간 매칭표를 이용해 시산. NACE 소분류(level3)를 기준
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

우리나라 기후테크 특허의 산업 집중도가 더욱 심화

[그림 2.7] 기후테크 특허출원건수의 산업집중도(HHI[3]))



주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준
2) 유럽 통계청의 IPC 분류체계 - NACE 산업분류 간 매칭표를 이용해 시산. NACE 소분류(level3)를 기준으로 하되, 특허출원건수가 크게 작은 산업은 중분류(level2)로 통합
3) Herfindahl-Hirschman Index
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

15. 기술분야별로도 우리나라의 기후테크 혁신실적은 뚜렷한 편중 현상을 보였다. 2011~21년 중 기후테크 특허출원건수를 기술분야별로 분석한 결과, 「에너지 공급 분야」에서는 재생에너지(7%), 「에너지 사용여건 조성 분야」에서는 2차전지(44%), 「에너지 소비 분야」에서는 전기차(7%) 및 정보통신기술(ICT, 7%)이 높은 비중을 차지

기업명	LG화학	LG에너지솔루션	삼성전자	LG전자	전체 기업
R&D 지출규모(억원)	8,665	7,896	209,441	30,343	894,213

자료: 2022년 1,000대 R&D투자 기업 스코어보드(2023), 2022년도 연구개발활동조사(2024)

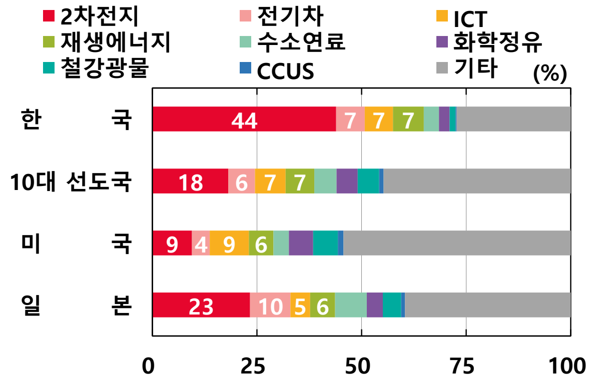
156) Herfindahl-Hirschman 지수는 시장집중도를 측정하기 위한 지표로, 본고에서는 기후테크 특허실적의 산업 집중도를 평가하기 위해 활용하였다. 구체적인 계산식은 다음과 같으며, 여기서, s_i는 전체 기후테크 특허 출원건수 중 i산업의 비중을, I는 분석대상 산업개수를 각각 의미한다.

$$HHI = s_1^2 + s_2^2 + \cdots + s_I^2$$

하였다(그림 2.8)[157]. 이들 4개 기술분야가 우리나라의 전체 기후테크 특허출원에서 차지하는 비중은 약 65%로, 주요국에 비해 특정 기술분야로의 쏠림 현상이 두드러졌다.

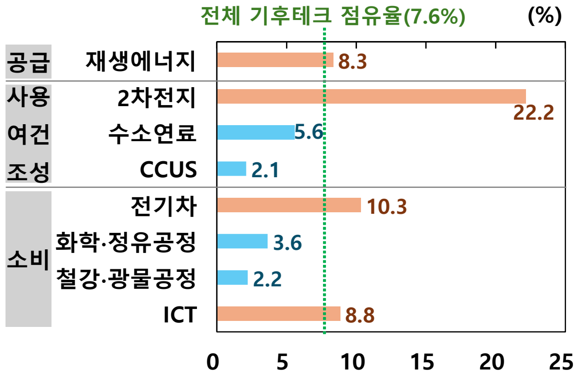
기술분야별로도 우리나라 기후테크 혁신실적은 편중

[그림 2.8] 2011~21년 기후테크 특허출원건수의 기술분야별 구성비



화학·철강공정, CCUS 등 기술분야의 혁신실적은 저조

[그림 2.9] 2011~21년 주요 기술분야별 우리나라 기후테크 특허출원건수의 글로벌 점유율



주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준
2) CCUS는 탄소 포집·활용·저장 기술을 의미
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

16. 주목할 점은 적극적인 혁신활동 촉진이 필요한 탄소 다배출 주력수출산업과 기후테크 핵심유망기술 분야에서 우리나라의 혁신실적이 크게 저조하다는 것이다. 정유, 화학, 철강 산업은 2023년 기준 통관수출 비중이 각각 8.2%, 7.2%, 5.6%로, 반도체(15.6%)와 자동차(11.2%)에 이어 주력수출산업으로 자리 잡고 있다. 그런데 2022년 기준 전체 산업의 온실가스 배출량에서 이들 산업이 차지하는 비중은 정유 10.6%, 화학 23.2%, 철강 35.5%에 달해 대표적인 탄소 다배출산업carbon intensive industry으로 꼽힌다[158]. 이에 따라 이들 산업에서 EU의 「탄소국경조정제도」CBAM 등 탄소무역장벽의 본격 시행에 대비하기 위해서는 탄소저감기술 개발이 시급한 상황이다. 또한, 탄소 포집·활용·저장 기술CCUS은 시멘트 등 탄소중립이 어려운 산업에서 탄소 배출을 줄일 수 있는 핵심유망기술로 주목받고 있으며, 현재 45개국 이상이 이 기술의 개발을 적극 추진 중이다(IEA 2023). 그러나 우리나라는 화학, 정유, 철강 산업의 탄소저감기술이나 탄소 포집·활용·저장 기술CCUS 분야에서 글로벌 특허출원건수 기준 점유율이 여전히 낮은 수준에 머물러 있다(그림 2.9).

157) 주요 기후테크 분야의 특허통계는 CPC 분류체계의 관련 코드를 매칭하여 시산하였다. 보다 자세한 내용은 <별첨 1>을 참고하기 바란다.

158) 주요 주력수출산업의 2023년 통관수출금액과 2022년 온실가스 배출량은 다음과 같다.

구 분	반도체	자동차	정유	화학	철강	전체 산업
▸2023년 통관수출금액(십억 달러)	98.6	70.9	52.0	45.7	35.2	632.2
▸2022년 온실가스 배출량(백만톤CO_2eq)	16.0	8.9	37.1	81.3	124.3	350.2[1)]

주: 1) 수송용 에너지 사용 부문은 제외 자료: 산업자원부, 에너지사용 및 온실가스 배출실태조사(KOSIS)

▸ [특징 3] 기후테크 혁신실적의 질$_{quality}$이 미흡

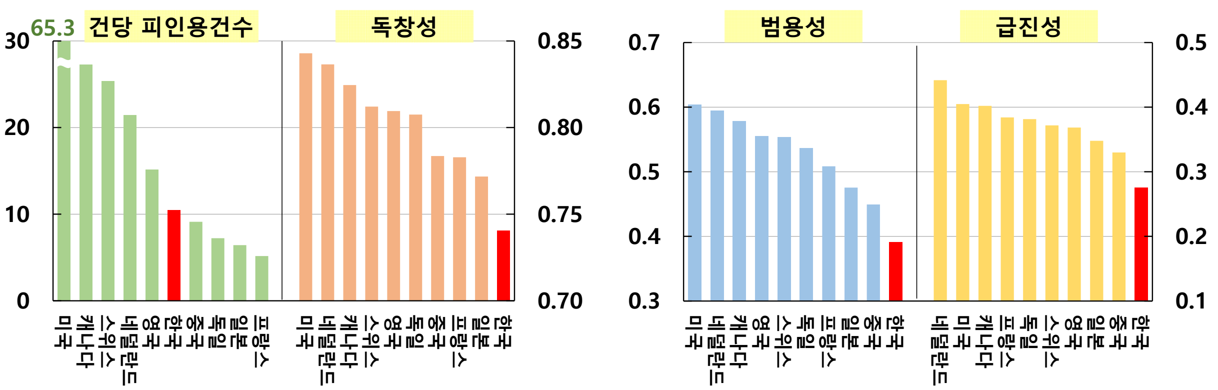
17. 미국 특허청에 출원된 특허 간에도 기술적 중요성이나 경제적 가치가 다를 수 있으므로, 출원건수뿐만 아니라 질적 특허평가지표도 함께 살펴보는 것이 중요하다 (Hall et al. 2001)[159]. 선행연구에서 주로 활용하는 질적 특허평가지표는 다음과 같다.

- **(건당 피인용건수$_{forward\ citation}$)** 특정 특허가 등록된 이후 후속 특허에 인용된 횟수를 나타낸다. 이는 해당 특허가 후속 혁신에 미친 영향력과 중요성을 평가하는 데 사용된다.
- **(독창성$_{originality}$)** 특정 특허가 인용한 기존 특허의 기술분야가 얼마나 다양한지를 나타낸다. 여러 분야의 기술과 지식을 결합한 특허일수록 독창성이 높을 가능성을 반영한다.
- **(범용성$_{generality}$)** 특정 특허를 인용한 후속 특허의 기술분야가 얼마나 다양한지를 나타낸다. 이는 해당 특허가 후속 혁신에 미친 영향의 범위와 폭을 평가하는 지표로 활용된다.
- **(급진성$_{radicalness}$)** 특정 특허가 인용한 기존 특허들 중 다른 기술분야의 비중이 얼마나 높은지를 나타낸다. 이는 다른 분야의 지식을 많이 활용한 특허일수록 기존 기술과 차별화되고 혁신성이 높을 가능성을 반영한다.

18. 2011~21년 중 국가별 기후테크 특허의 질적 평가지표를 비교 분석한 결과, 우리나라는 전반적으로 미흡한 모습을 보였다(그림 2.10). 독창성, 범용성 및 급진성 지표에서 우리나라는 기후테크 특허출원건수를 기준으로 한 10대 선도국 가운데 최하위를 기록하였다. 또한 건당 피인용건수는 중위권에 속했지만, 선두국과의 격차는 여전히 컸다. 특히, 최근 기후테크 분야에서 빠르게 성장하고 있는 중국보다 질적 성과가 낮은 점은 심각한 우려를 자아내는 부분이다.

우리나라 기후테크 혁신실적은 질적 측면에서 전반적으로 크게 미흡

[그림 2.10] 2011~21년 10대 선도국[2]별 기후테크 특허의 질적 평가지표



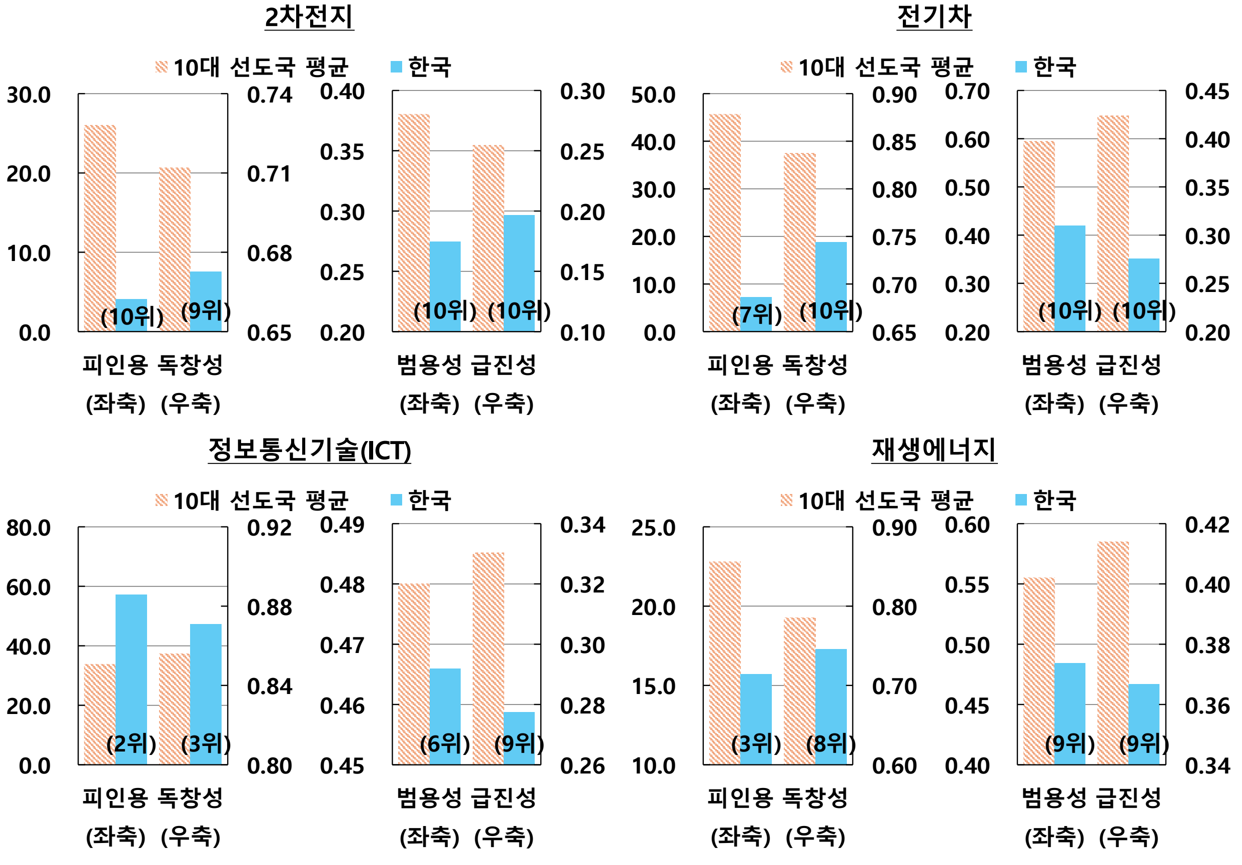
주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준 2) 기후테크 특허출원건수 기준 상위 10개국 3) 건당 피인용건수는 5년 내 기준
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

159) 질적 특허평가지표 산출방법에 대한 세부내용은 <별첨 2>를 참고하기 바란다.

19. 우리나라가 강점을 보이는 2차전지, 전기차, 정보통신기술, 재생에너지 등의 분야에서도 질적 특허평가지표는 전반적으로 저조한 수준을 보였다(그림 2.11). 정보통신기술 분야에서는 건당 피인용건수와 독창성이 비교적 높은 수준을 기록했으나, 범용성 및 급진성 지표는 10대 선도국 평균에 미치지 못했다. 또한 2차전지, 전기차, 재생에너지 등 분야에서는 대부분의 지표가 하위권에 머물러, 양적 성과에 비해 질적 경쟁력이 크게 부족한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 우리나라의 기후테크 혁신이 새로운 상품이나 시장을 창출하는 파괴적 혁신보다 경쟁기업을 견제하거나 시장점유율을 방어하려는 점진적 혁신에 치중하고 있음을 시사한다(Hall·Ziedonis, 2001).

우리나라는 강점을 보이는 기후테크 분야에서도 질적 특허평가지표가 대부분 저조

[그림 2.11] 2011~21년 우리나라 주력 기후테크 분야의 질적 특허평가지표



주: 1) 미국 특허청 등록특허 기준 2) ( ) 내는 각 기술분야의 특허출원건수 기준 상위 10개국 중 우리나라의 순위
3) 인용수는 건당 피인용건수(5년 내)를 의미
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

20. 분석결과를 종합하면, 우리나라의 기후테크 혁신실적은 일부 기업과 기술에 과도하게 편중되어 있을 뿐만 아니라, 주력 기술분야에서도 질적 성과가 미흡한 한계를 드러냈다. 이러한 문제는 기후테크 분야에서 우리나라가 최고 기술보유국과 기술격차를 보이는 주요 원인으로 작용하고 있다. 주요 기후테크 분야에서의 기술격차를 보면, 적극적인 혁신활동 촉진이 필요한 화학·정유 산업의 탄소저감기술과 탄소

포집·활용·저장 기술$_{CCUS}$에서는 기술격차가 3~5년에 달하였다. 또한 특허출원이 활발했던 2차전지, 전기차, 정보통신기술, 재생에너지 등 분야에서도 기술격차가 0.5~2.5년으로 여전히 해소되지 못하고 있다[160].

주요 기후테크 분야에서 최고 기술보유국과의 기술격차가 상존

[표 2.3] 주요 기후테크 분야 최고 기술보유국과의 기술격차(2022년 기준)

구분	에너지 공급	에너지 사용여건 조성			에너지 소비		
기술분야	<재생에너지> 고효율 태양전지	<2차전지> 2차전지 모듈시스템	<수소연료> 수소 저장운송	<CCUS> 이산화탄소 포집저장이용	<전기차> 전기수소차	<화학정유공정> 친환경 바이오소재	<ICT> 고성능저전력 AI반도체
기술격차	1.5년	0.5년	5년	5년	1년	3년	2.5년

주: 1) CCUS는 탄소 포집·활용·저장 기술을 의미
2) 는 우리나라 주력 기술분야를, 는 탄소 다배출 수출주력산업 및 핵심유망기술 분야를 의미
자료: 한국과학기술평가원(2023)

3. 우리나라 기후테크의 과제: 과도한 편중과 질적 성과 미흡의 원인

21. 기후테크 혁신실적이 특정 기업과 기술에 편중되고 질적 성과가 미흡한 데는 ① 중장기적 필요성보다는 단기적 성과가 우선시되고, ② 중장기적 시각의 혁신을 촉진할 제도적 유인이 부족하며, ③ 신생중소기업 등의 혁신자금 조달여건이 취약한 점과 주로 연관되어 있는 것으로 분석된다.

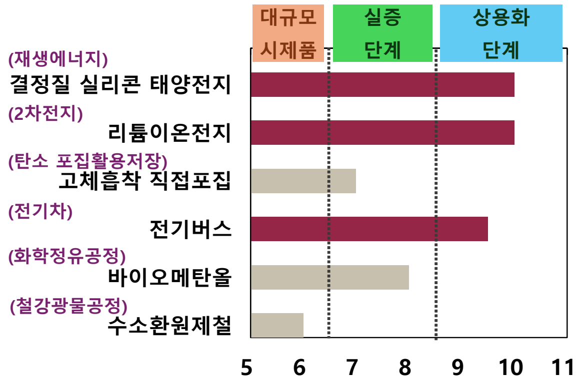
▸ [원인 1] 중장기적 필요성보다 단기적 성과가 우선시

22. 우리나라의 기후테크 혁신실적은 주로 단기적 성과가 기대되는 분야에 집중되고 있다. 우리나라가 글로벌 특허출원 점유율에서 높은 비중을 차지하고 있는 2차전지, 전기차, 재생에너지 등의 주요 기술은 2010년대에 이미 상용화 단계에 진입했고, 시장의 빠른 성장세로 투자수익을 신속히 회수할 수 있는 여건을 갖추고 있다(그림 3.1, 그림 3.2). 반면, 정유, 화학, 철강 등 탄소 다배출산업의 탄소저감기술이나 탄소 포집·활용·저장 기술$_{CCUS}$은 글로벌 기후대응 요구로 개발 필요성이 높아졌음에도 불구하고, 아직 상용화가 이루어지지 않았고 투자수익 회수의 불확실성도 큰 상황이다.

160) 다만, 2차전지의 경우 리튬이온전지 및 핵심소재, 차세대 이차전지 소재 등 분야에서는 우리나라가 세계 최고수준의 기술력을 보유한 것으로 평가된다(한국과학기술평가원 2023).

우리나라 주력 기후테크는 이미 상용화 단계에 도달

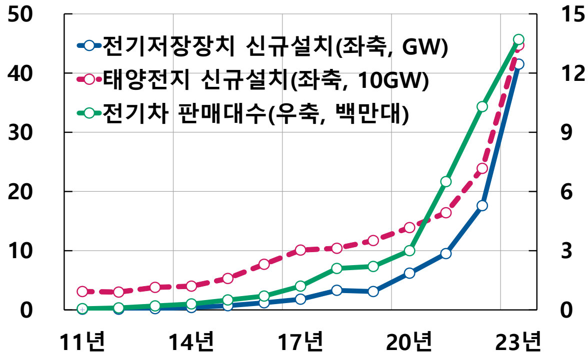
[그림 3.1] 주요 기후테크의 기술성숙도(2024년 기준)



주: 1) Technology Readiness Level
자료: IEA

우리나라 주력 기후테크의 시장규모는 빠르게 성장

[그림 3.2] 우리나라 주력 기후테크의 글로벌 활용규모



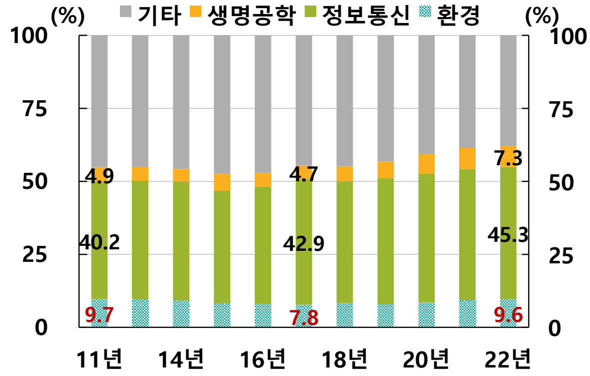
자료: SolarPower Europe, IEA

23. 또한 우리나라 기업의 기후테크 연구개발 투자도 주로 단기적인 성과가 기대되는 분야를 중심으로 진행되어 왔다. 「연구개발활동조사」에 따르면, 기업 연구개발비에서 환경분야 미래유망기술[161]이 차지하는 비중은 2011년 9.7%에서 2022년 9.6%로 거의 변함이 없었다(그림 3.3). 이는 기후테크가 정보통신(40.2% → 45.3%)이나 생명공학(4.9% → 7.3%) 등 다른 기술분야에 비해 투자 우선순위에서 뒤처지고 있음을 보여준다. 그리고 환경분야 미래유망기술 연구개발비 중에서는 1차·2차전지, 전자부품(재생에너지, ICT), 자동차(전기차) 등 단기적 성과를 기대할 수 있는 산업의 비중이 2022년 기준 65%에 달하였다(그림 3.4). 이와 대조적으로 「기후변화대응 기술개발 활동조사」에 따르면, 기업의 기후테크 연구개발비[162]에서 탄소 포집·활용·저장 기술$_{\text{CCUS}}$이 차지하는 비중은 2022년 기준 1.1%에 불과했다. 물론, 2차전지, 전기차, 재생에너지 등 주력 기술에 대한 투자는 중국 등의 추격에 맞서 글로벌 경쟁력을 유지하기 위해 필수적이다. 그러나 탄소 다배출산업의 탄소저감기술이나 탄소 포집·활용·저장 기술$_{\text{CCUS}}$은 글로벌 산업 주도권을 재편하고 새로운 성장동력을 창출할 잠재력이 크다. 물론, 모든 기후테크 분야에서 우리나라가 선도국이 될 필요는 없지만, 이들 핵심 기술분야에서는 「빠른 추격자」$_{\text{fast follower}}$가 아닌 「선두 개척자」$_{\text{first mover}}$ 전략을 적극적으로 추진해야 할 필요성이 높다.

161) 「연구개발활동조사」에서 환경분야 미래유망기술은 탄소저감기술 등 기후테크뿐만 아니라 환경보전기술, 환경오염방지기술 등도 포함하고 있다.
162) 「기후변화대응 기술개발 활동조사」는 CPC 기준 Y02 및 Y04S 코드의 특허를 보유하고 있는 기업을 조사대상으로 하고 있어, 본고의 기후테크 정의와 부합한다.

기업 연구개발비 중 기후테크의 비중은 정체

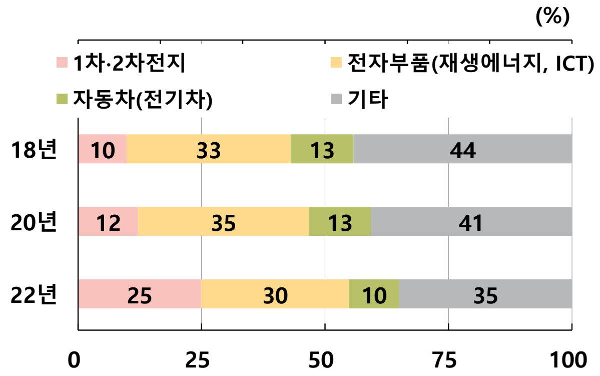
[그림 3.3] 민간기업의 전체 연구개발비 중 주요 미래유망기술의 비중



주: 1) 환경분야 미래유망기술의 경우 탄소저감기술 외에 환경보전기술, 환경오염방지기술 등도 포함
자료: 연구개발활동조사

기업 기후테크 연구개발비가 주력 기술산업에 편중

[그림 3.4] 민간기업 환경분야 미래유망기술 연구개발비의 산업별 구성비



24. 아울러, 우리나라 기업은 기후테크 분야의 기초연구[163]에 대한 장기적 투자가 부족하며, 이는 혁신의 질적 성과를 낮추는 주요 원인이 되고 있다. 기초연구는 새로운 기술을 선도하거나 외부 기술을 습득하기 위한 학술적 기반을 제공하며, 혁신의 질적 성과와 밀접한 연관성을 갖는다(Nelson 1959, Fabrizio 2009, 이동원 외 2024). 그러나 기초연구의 투자성과를 나타내는 지표인 특허 1건당 학술문헌 인용건수를 보면, 우리나라 기후테크 특허는 2011~21년 2.2건으로, 10대 선도국 평균인 10.3건에 비해 현저히 낮은 수준이었다(그림 3.5). 더욱이 이 지표는 2011~15년 2.5건에서 2016~21년 2.0건으로 하락세를 보이고 있다. 이는 기후테크 분야에서 우리나라의 기초연구 역량이 크게 부족함을 보여준다. 「2020 기후기술 수준조사」(녹색기술센터 2020)에서도 우리나라의 기후테크 기초연구 역량은 미국과 EU 대비 80% 수준에 그치는 것으로 평가되었다[164]. 한편, 탄소 다배출산업의 탄소저감기술이나 탄소 포집·활용·저장 기술 CCUS은 상대적으로 높은 학술문헌 인용건수를 보여, 기초연구가 이들 기술에서 핵심적인 역할을 한다는 점을 시사한다. 이로 인해 이들 기술은 기초연구를 기반으로 독보적인 기술 우위를 선점할 수 있는 「딥테크」deep tech로 분류된다(Fontana·Nanda 2023). 따라서 기초연구에 대한 투자가 부족할 경우, 이들 기술 분야에서의 경쟁력 약화는 불가피하며, 이는 장기적으로 글로벌 시장에서 주도권을 상실할 위험으로 이어질 수 있다.

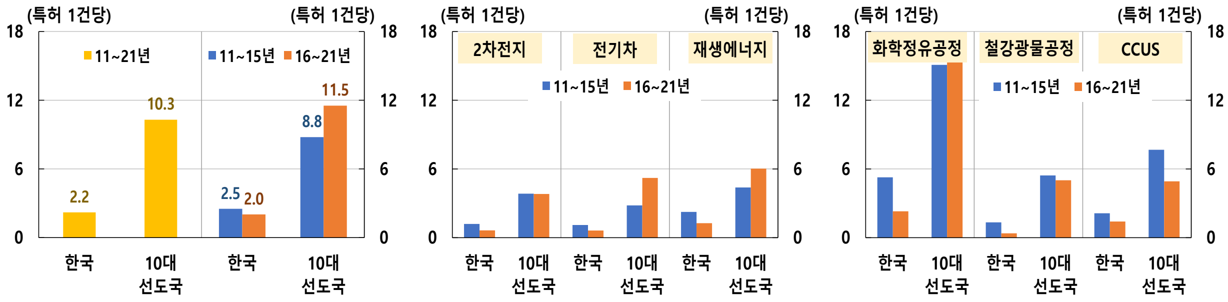
163) 기초연구(basic research)는 특정한 응용을 염두에 두지 않고 과학 원리에 대한 새로운 지식을 얻기 위해 수행되는 이론적 또는 실험적 연구를 의미한다. 이는 수학이나 물리학 같은 기초과학(basic science)과 다소 다른 개념으로, 의학 등 응용과학 분야에서도 기초연구가 수행된다. 한편, 응용연구는 기초연구 결과를 바탕으로 실용적인 목적을 위해 수행되는 연구를, 개발연구는 기초연구 및 응용연구 결과를 기반으로 새로운 제품을 개발하거나 기존 제품 및 공정을 개선하기 위해 수행되는 연구를 의미한다. 과학기술정보통신부의 「연구개발활동조사」에서도 기업의 연구활동을 연구개발단계별로 기초연구, 응용연구 및 개발연구로 구분한다.
164) 주요국의 단계별 기후기술 연구개발역량 점수는 다음과 같다.

구 분	한국	미국	EU	일본	중국
▸기초연구	69.7점	93.1점	90.3점	82.9점	65.5점
▸응용개발연구	73.5점	90.9점	87.2점	79.3점	67.4점

자료: 녹색기술센터(2020)

우리나라의 경우 기초연구 투자성과를 나타내는 기후테크 특허의 건당 학술문헌 인용건수가 크게 낮음

[그림 3.5] 우리나라 기후테크 특허의 건당 학술문헌 인용건수[1)]



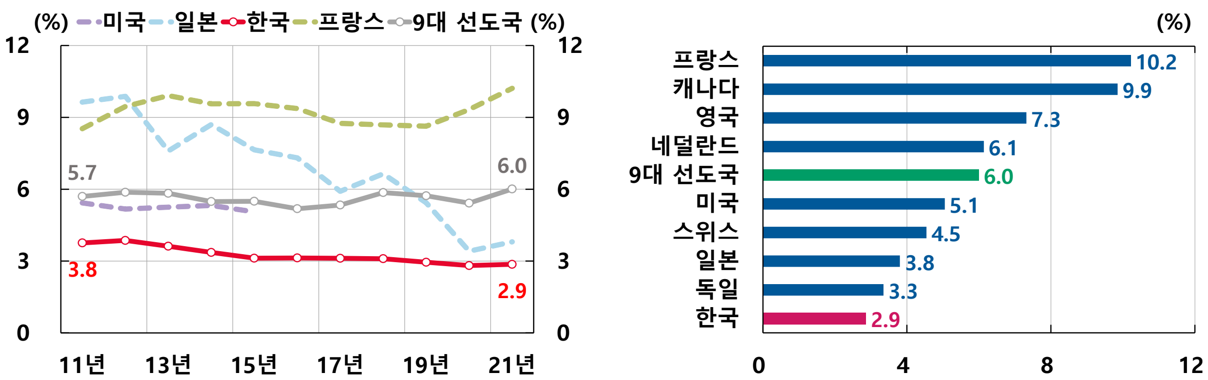
주: 1) 학술논문, 컨퍼런스 발표자료 등 비특허문헌(non-patent literature)을 인용한 건수를 의미
2) 10대 선도국은 기후테크 특허출원건수 기준 상위 10개국을 의미
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

▸ [원인 2] 중장기적 시각의 기후테크 혁신을 촉진할 제도적 유인이 부족

25. 기후테크에 대한 정부의 R&D 지원은 기업이 중장기적 시각에서 양질의 혁신을 추진하기에 충분하지 않은 상황이다. 정부의 R&D 투자 중 저탄소에너지기술 Low-Carbon Energy Technology[165)]에 대한 비중은 2011년 3.8%에서 2021년 2.9%로 감소했으며, 이는 중국 제외 10대 선도국[166)] 중 가장 낮은 수준이다(그림 3.6). 특히, 2023년 기준 정부의 기후변화대응 R&D 투자는 연구과제당 평균 4.2억원[167)]에 불과할 정도로 파편화 성향이 높다(오형나 2024). 이에 따라 중장기적 시각에서 한계돌파형 기술 breakthrough technology 등 고품질 혁신을 이끌어내기에는 부족하다는 평가를 받고 있다.

우리나라의 경우 저탄소에너지기술에 대한 정부 R&D지출 비중이 감소세

[그림 3.6] 정부의 전체 R&D지출 중 저탄소에너지기술[1)]에 대한 비중



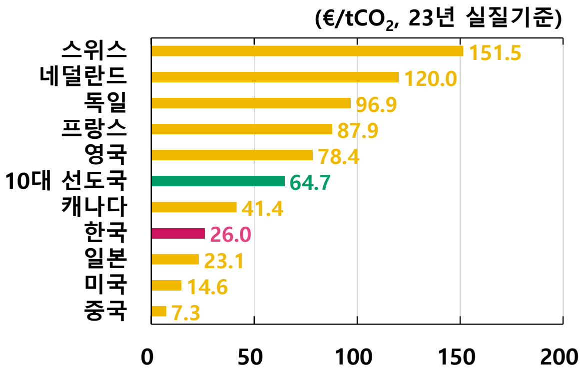
주: 1) Low-Carbon Energy Technology 2) 11~21년 기후테크 특허출원건수 기준 상위 10개국 중 통계자료가 없는 중국을 제외한 9개국 대상. 미국의 경우 15년 기준 수치
자료: IEA, OECD

165) 재생에너지, 수소 및 연료전지, 탄소 포집·저장, 에너지 효율성 등의 기술을 의미한다.
166) 10대 선도국 중 통계자료가 없는 중국은 제외하였다.
167) 2023년 정부는 10,104개 기후변화대응 연구과제에 대해 4조 2,191억원을 투자하였다(이병철 2024).

26. 또한 탄소가격도 기업에게 탄소 감축과 기후테크 개발에 대한 중장기적 동기를 충분히 부여하지 못하고 있다. 탄소세, 탄소배출권 가격, 에너지 소비세(유류세) 등을 포함한 유효탄소가격[168] effective marginal carbon price은 2023년 기준 26.0유로/tCO_2로, 10대 선도국 평균(64.7유로/tCO_2)의 약 40% 수준에 머물러 있다(그림 3.7). 우리나라는 탄소세를 도입하지 않고 2015년부터 배출권거래제를 시행하고 있으나, 2023년 기준 유효탄소가격에서 탄소배출권 가격이 차지하는 비중은 24.9%에 불과하다. 더욱이 대부분의 탄소배출권이 무상으로 할당[169]되어, 기업들이 실질적으로 탄소배출 비용을 부담하지 않는 구조이다(그림 3.8). 원칙적으로는 탄소배출권을 사전 공표된 「온실가스 감축목표」에 맞춰 적정량만 할당하고 거래시장에서 탄소가격이 형성되도록 해야, 기업들이 중장기적 시각에서 탄소배출비용을 예측하고 기후테크 개발을 추진할 유인을 가질 수 있다. 그러나 우리나라 탄소가격은 이러한 유인을 제공할만큼 충분히 제약적이라고 보기 어렵다.

우리나라의 탄소가격은 주요국에 비해 크게 낮음

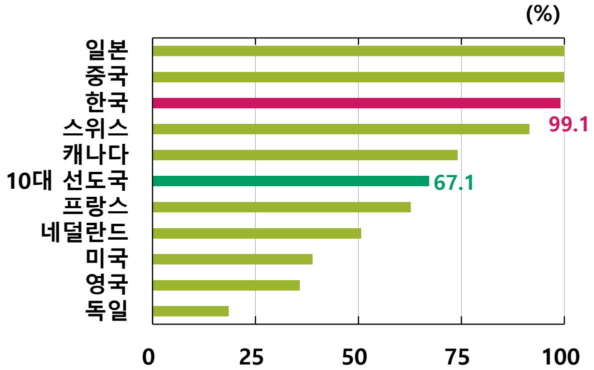
[그림 3.7] 국가별 유효탄소가격(2023년 기준)



주: 1) 탄소세, 배출권 가격, 에너지 소비세(유류세) 등을 포함
2) 11~21년 기후테크 특허출원건수 기준 상위 10개국 대상
자료: OECD

우리나라의 경우 탄소배출권이 대부분 무상 할당

[그림 3.8] 탄소배출권 무상할당 비중(2021년 기준)



주: 1) 11~21년 기후테크 특허출원건수 기준 상위 10개국 대상
주: OECD(2023)

▸ [원인 3] 신생중소기업 등의 기후테크 혁신자금 조달여건이 취약

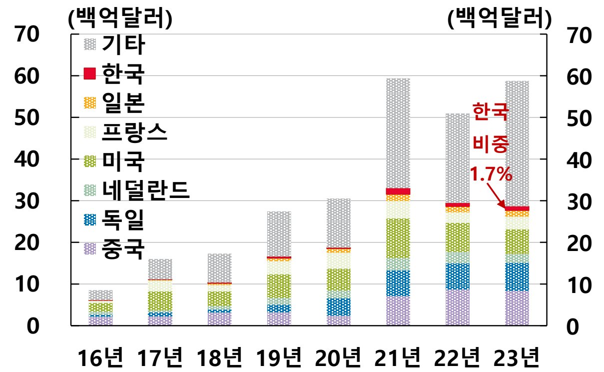
27. 우리나라는 기후테크 혁신자금을 조달하기 위한 여건이 다른 선도국에 비해 상대적으로 취약하다. 국가별 녹색채권[170] Green Bond 발행규모를 살펴보면, 주요 선도국은 2010년대 중반부터 녹색채권 발행을 크게 확대했으나, 우리나라는 2021년에 들어서야 본격적인 증가세를 보였다(그림 3.9). 이에 따라 2016~23년 동안 우리나라의 녹색채권 발행규모는 GDP 대비 0.30%에 그쳐, 10대 선도국 평균인 0.57%에 크게 못 미쳤다[171]. 또한 기업혁신과 보다 직접적인 관계를 갖는 기후테크 벤처캐피탈 투

168) 유효탄소가격(Effective Carbon Rate, ECR)은 탄소배출 억제를 위한 시장기반정책으로 기업이나 개인이 지불하게 되는 총 가격비용이다. 여기에는 탄소세, 탄소배출권 가격, 에너지 소비세 등이 포함된다.
169) 특히 2021년 기준으로 산업부문의 배출권은 전액 무상으로 할당되고 있다(OECD 2023).
170) 기후변화 완화, 적응 및 친환경 프로젝트에 소요되는 자금을 조달하기 위해 발행되는 채권을 지칭한다.

자규모에서도 비슷한 양상이 나타났다. 미국, 독일, 중국 등 주요 선도국은 벤처캐피탈을 통한 기후테크 투자가 크게 증가했지만, 우리나라는 성장세가 미미하였다[172](그림 3.10). 그 결과, 2016~23년 동안 우리나라의 기후테크 벤처캐피탈 투자규모는 GDP 대비 0.003%로, 10대 선도국 평균인 0.019%에 크게 뒤처졌다. 이는 10대 선도국 중 일본에 이어 두 번째로 가장 낮은 수준을 나타냈다.

우리나라 녹색채권의 본격 발행은 상대적으로 지연

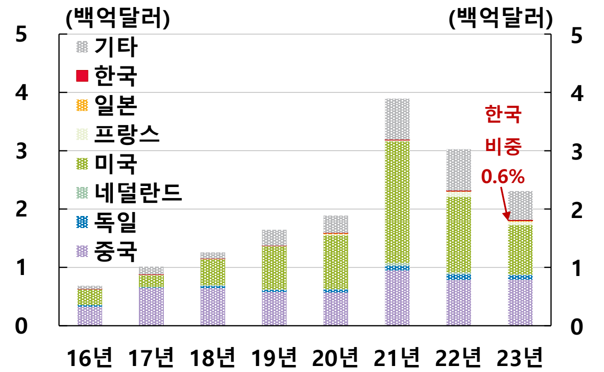
[그림 3.9] 글로벌 녹색채권 발행규모



자료: World Bank Climate Bond Initiative

우리나라의 기후테크 벤처캐피탈 투자실적은 미미

[그림 3.10] 글로벌 기후테크 벤처캐피탈 투자규모



주: 1)「Energy and green」부문 기준
자료: IEA

28. 이와 같이 우리나라의 혁신자금 조달여건이 취약한 점은 기후테크 혁신실적이 대기업에 편중되고 신생중소기업의 역할이 미미한 주요 원인으로 작용하고 있다. 대기업은 내부자금 조달여력이 뛰어나 외부자금에 크게 의존하지 않고도 혁신활동을 수행할 수 있다. 2011~21년 제조업 외감법인의 외부자금 조달지표를 살펴보면, 기후테크 특허출원 상위 4개 기업의 매출액 대비 은행대출은 5%, 외부자금 의존도[173]는 -9%로 나타나, 중소기업(73%, 58%)에 비해 내부자금 조달여력이 크게 앞섰다[174]. 반면, 신생중소기업은 벤처캐피탈 투자 부족 등으로 자금조달이 어려워 기후테크 혁신

171) 기후테크 특허출원건수 기준 10대 선도국의 2016~23년 중 녹색채권 발행규모는 다음과 같다.

(GDP 대비 %)

구 분	네덜란드	프랑스	독일	영국	캐나다	중국	한국	스위스	미국	일본	평균
▸녹색채권 발행규모	1.72	0.96	0.86	0.48	0.39	0.31	**0.30**	0.26	0.24	0.18	0.57

자료: World Bank Climate Bond Initiative, OECD

172) 기후테크 특허출원건수 기준 10대 선도국의 2016~23년 중 기후테크 벤처캐피탈 투자규모는 다음과 같다.

(GDP 대비 %)

구 분	중국	미국	영국	캐나다	네덜란드	독일	프랑스	스위스	한국	일본	평균
▸기후테크 VC 투자규모	0.046	0.041	0.023	0.022	0.018	0.015	0.012	0.010	**0.003**	0.002	0.019

주: 1)「Energy and green」부문 기준 자료: IEA, OECD

173) 외부자금 의존도는 기업이 유형자산 매입이나 연구개발비 조달을 위해 외부자금에 얼마나 의존하는지를 나타내는 지표로, 다음 산식을 통해 계산된다(Rajan·Zingales 1998, Hsu et al. 2014).

외부자금 의존도 = (자본지출 - 영업활동현금흐름) ÷ 자본지출

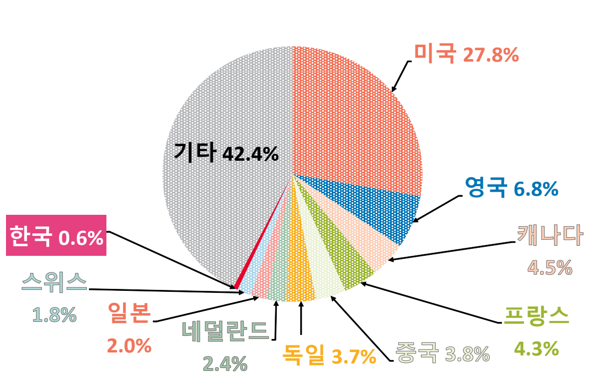
자본지출 = 당기 유형자산 - 전기 유형자산 + 감가상각비 + 연구개발비

174)「DataGuide」가 제공하는 외감기업의 재무제표 자료를 이용하여 산출하였다.

에서 두각을 나타내기 힘든 상황이다. 실제로 2016~23년 글로벌 기후테크 신생벤처기업 중 우리나라 기업의 비중은 0.6%에 불과해, 미국, 중국 등 주요 선도국과 큰 격차를 보였다(그림 3.11). 또한, 국내 신생벤처기업들 역시 주로 2차전지, 전기차 등 단기적 성과가 기대되는 분야에 편중되는 경향을 보였다(그림 3.12). 선행연구에 따르면 대기업은 기존 시장의 주도권 유지를 위해 점진적 혁신을 선호하는 반면, 신생중소기업은 새로운 아이디어를 바탕으로 신제품을 출시하거나 기존제품을 대체하는 파괴적 혁신을 추구하는 경향이 강하다(Calvino et al. 2016, Akcigit·Kerr 2018). 따라서 벤처캐피탈 등 혁신자금 조달여건의 취약성은 신생중소기업의 파괴적 혁신을 제약하고, 결과적으로 기후테크 혁신의 질적 성과를 저하시키는 요인으로 작용하고 있다.

우리나라 신생벤처기업수는 주요국에 비해 크게 부족

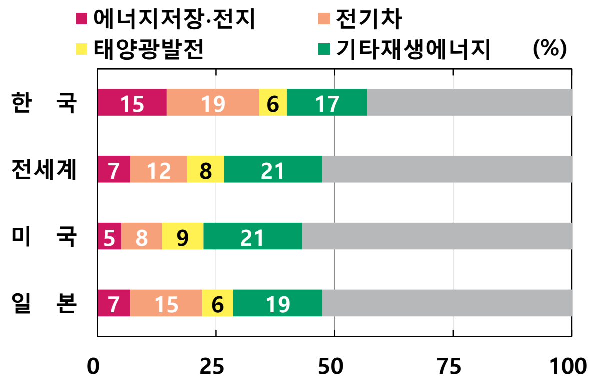
[그림 3.11] 2016~23년 글로벌 기후테크[1) 신생벤처기업수의 국가별 구성



주: 1) 「Energy and green」 부문 기준
자료: IEA

우리나라의 신생벤처기업은 2차전지, 전기차 등에 편중

[그림 3.12] 2016~23년 에너지 신생벤처기업의 기술분야별 구성



자료: IEA

4. 기후테크의 「선두 개척자」first mover로 도약하기 위한 혁신정책 방향

29. 우리나라 기후테크 혁신이 단기 성과가 기대되는 기술분야에 편중되고, 질적 혁신성과가 미흡하며, 혁신자금 조달여건이 취약한 데는 시장실패를 유발하는 여러 외부효과가 기저에서 작용하고 있기 때문이다. 외부효과란 특정 경제활동이 다른 주체에 혜택이나 손해를 주면서도, 이에 대한 대가나 비용이 제대로 반영되지 않는 현상을 말한다. 기후테크 혁신에는 다음 세 가지의 외부효과가 장애요인로 작용하고 있다(Cervantes et al. 2023).

- (지식 외부효과knowledge externality) 탄소 포집·활용·저장 기술CCUS 등 핵심유망기술 개발이나 기초연구 성과는 공공재가 되어 모든 경제주체에게 혜택을 주지만, 이를 개발한 기업은 충분한 보상을 받지 못할 위험이 있다. 이로 인해 기업은 단기적 성과가 기대되고 투자 회수가 용이한 분야에만 혁신을 집중하는 경향이 있다.

- **(환경 외부효과**environmental externality**)** 탄소배출로 인한 기후위기 피해는 배출 기업뿐만 아니라 다른 경제주체와 미래 세대에까지 영향을 미친다. 그러나 기업이 이러한 비용을 제대로 부담하도록 강제하는 기제가 작동하지 않는다면 기후테크 혁신에 대한 유인이 약화된다. 그 결과, 글로벌 기후위기 대응 강화로 관련시장이 빠르게 성장하고 있는 수출중심기업만 우수한 혁신실적을 내고, 나머지 기업은 성과가 부진하다.

- **(정보 외부효과**information externality**)** 기업은 기후테크 혁신의 잠재력을 인지하고 있지만, 외부투자자는 이에 대한 정보를 충분히 알지 못해 보수적인 투자 태도를 보인다. 이로 인해 기업은 혁신에 필요한 자금을 충분히 확보하지 못하며, 특히 파괴적 혁신을 시도할 신생중소기업의 등장이 어려운 상황이다.

30. 선행연구에 따르면 이와 같은 외부효과로 인한 시장실패에 대응해 기후테크 혁신을 촉진하기 위한 방안으로 ① 정부의 R&D 지원 강화, ② 탄소가격의 실효성 제고, ③ 벤처캐피탈 투자 활성화 등 혁신자금 공급여건 확충이 제시되고 있다 (Acemoglu et al. 2016, Aghion et al. 2022).

31. 첫째, 정부의 기후테크 R&D 지원을 강화해 기업이 기술개발 성과를 충분히 보상받을 수 있도록 함으로써, 기후테크 R&D 활동이 탄소저감기술 중심으로 전환하는 「유도된 혁신」induced innovation을 촉진해야 한다(Popp 2002). 보조금, 세제 혜택 등 R&D 지원은 탄소저감기술의 비용을 탄소배출기술 수준으로 낮춰 탄소중립 실현을 가속화할 수 있다. 특히 투자 리스크는 크지만 경제적 잠재력이 크고 개발의 필요성이 높은 탄소 다배출산업의 탄소저감기술과 탄소 포집·활용·저장 기술CCUS 등 핵심 기술분야에 대한 지원을 확대해야 한다. 또한, 비핵심 기술분야에도 지원을 통해 기업이 외부의 기술과 지식을 습득할 수 있는 흡수역량absorptive capacity을 육성할 수 있도록 해야 한다.

32. 둘째, 탄소가격제의 실효성을 높여 탄소배출 기업이 기후위기로 인한 피해비용을 부담하도록 함으로써 기존에 탄소배출기술의 갱신에 치우친 「왜곡된 혁신」distorted innovation을 탄소저감기술 개발로 전환해야 한다(Acemoglu, 2023). 탄소배출비용이 탄소가격에 제대로 반영되면 탄소저감기술의 경제적 이점이 커져 기후테크 투자가 촉진될 수 있다. 이를 위해 「온실가스 감축목표」에 부합하는 탄소배출권 할당 규모와 경로를 설정하고, 이를 사전에 공표해야 한다. 이렇게 하면 거래시장에서 형성된 탄소가격이 중기적 신호 역할을 하여 기업이 기후테크 혁신을 적극 추진하도록 유도할 수 있다. 또한 탄소가격제로 확보된 세수는 저탄소기술 혁신을 위한 R&D 자금으로 환류되도록 제도를 설계함으로써 기업이 탄소비용 지불로 인해 기후테크 혁신에 필요한 자금조달이 제약받지 않도록 해야 한다. 아울러, 탄소가격제 실효성 제고는 EU 탄소국경조정제도CBAM 등 외국의 무역규제에 따른 세수 유출 가능성을 완화하는 데 도움이 될 것이다.

33. 셋째, 벤처캐피탈 투자 활성화 등 혁신자금 공급여건을 확충해 기업이 기술 상용화 이전에 수익을 내지 못하는 이른바 「죽음의 계곡」valley of death을 효과적으로 건너갈 수 있도록 해야 한다(Kim et al., 2018). 벤처캐피탈은 초기 개발단계의 혁신기술에 자금을 공급해 상용화를 촉진하는 핵심 역할을 한다. 또한, 벤처캐피탈 투자자는 혁신기술의 잠재력과 리스크를 평가하고, 경영 및 생산 기법을 전수하며, 경영자를 모니터링하는 역할도 수행한다. 특히 탄소중립경제 전환에 필요한 한계돌파형 기술 개발을 이끌어 낼 신생중소기업의 등장을 촉진하는 데 기여할 수 있다. 따라서 투자회수시장secondary market(M&A, IPO 등) 확대, 정부벤처캐피탈government venture capital의 역할 강화, 단기 투자회수를 지양하는 공공 인내자본patient capital 제공 등과 같은 벤처캐피탈 투자 활성화 방안을 적극 추진해야 한다.

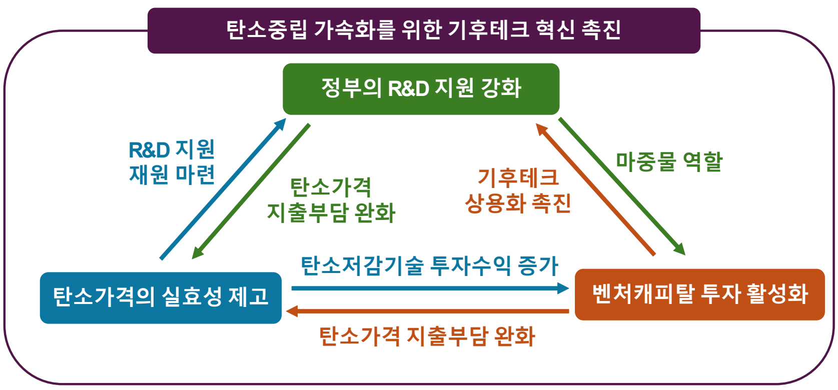
34. 이러한 정책방안들은 상호보완적이므로 조화롭게 추진함으로써 기후테크 혁신을 효과적으로 촉진할 수 있다(그림 4.1).

- **(정부 R&D 지원과 탄소가격제)** 정부의 R&D 지원은 탄소저감기술 개발을 촉진해 기업의 탄소가격 지출부담을 줄일 수 있다. 동시에, 탄소가격제로 발생하는 세수를 R&D 지원에 활용하면 기업의 반감을 완화하여 탄소가격제의 원활한 운영을 도울 수 있다. 반대로, 탄소가격제는 정부의 R&D 지원 재원을 마련하는 데 기여할 수 있다. 또한 정부의 R&D 지원으로 인한 효율성 향상이 에너지 소비 증가로 이어지는 반등효과를 억제하는 역할을 한다. Acemoglu et al.(2016)에 따르면, 초기에는 R&D 지원을 크게 확대하고, 탄소저감기술의 비용이 충분히 낮아진 이후 탄소가격을 점진적으로 인상하는 것이 최적의 정책 경로라고 제시되었다.

- **(탄소가격제와 벤처캐피탈 투자 활성화)** 탄소가격제는 탄소배출기술보다 탄소저감기술의 투자수익률을 높여 벤처캐피탈의 기후테크 투자 확대를 촉진할 수 있다. 반대로, 벤처캐피탈 투자 활성화는 탄소저감기술의 상용화를 가속화하여 기업의 탄소가격 지출부담을 줄이는 데 기여할 수 있다.

기후테크 혁신 정책은 상호보완적이어서 시너지 효과를 낼 수 있음

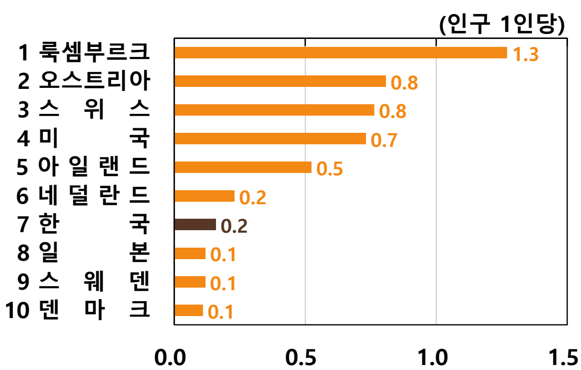
[그림 4.1] 기후테크 혁신정책 간의 상호보완성

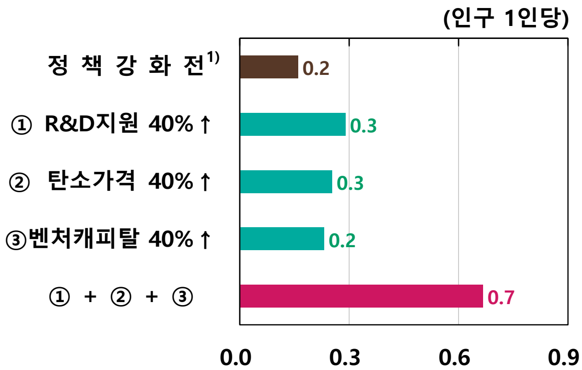


■ **(벤처캐피탈 투자 활성화와 정부 R&D 지원)** 벤처캐피탈은 혁신기술의 잠재력과 리스크를 평가하는 데 있어 정부보다 더 높은 전문성을 보유하고 있다. 벤처캐피탈은 이를 기반으로 기술 상용화를 촉진해 정부의 R&D 지원을 보완할 수 있다. 반대로, 정부의 R&D 지원은 초기 개발자금 제공, 공공 인증효과 유발 등을 통해 벤처캐피탈 투자를 유도하는 마중물 역할을 할 수 있다.

35. 기후테크 혁신정책과 성과 간의 관계를 분석하기 위해, 특허의 양과 질을 모두 반영한 「피인용건수 가중 특허출원건수」$_{\text{citation-weighted patent count}}$를 산출한 결과, 우리나라는 최상위권과 큰 격차를 보여 혁신의 질적 성과가 낮음을 시사하였다(그림 4.2). 이 지표는 특허출원건수에 피인용건수를 가중치로 반영해 특허의 질까지 평가하며[175](Trajtenberg 1990), 국가규모 차이를 고려해 인구수로 나눈 값을 사용하였다. 2016~21년 기간을 분석한 결과, 우리나라는 특허출원건수 기준으로 세계 3위였지만, 피인용건수 가중 특허출원건수 기준으로는 7위로 하락하였다.

피인용건수 가중 특허출원건수는 선두권과 큰 격차	혁신정책으로 기후테크의 「선두 개척자」로 도약 가능
[그림 4.2] 국가별 피인용건수 가중 특허출원건수	[그림 4.3] 피인용건수 가중 특허출원건수에 대한 기후테크 혁신정책의 효과





주: 1) 2016~21년 평균 기준
자료: 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

36. 본고에서 OECD 회원국 대상으로 분석한 결과, 정부의 R&D 지원 강화, 탄소가격의 실효성 제고, 벤처캐피탈 투자 활성화를 효과적으로 활용할 경우 우리나라는 기후테크 분야에서 「선두 개척자」$_{\text{first mover}}$로 도약할 잠재력이 있는 것으로 나타났다(그림 4.3). 피인용건수 가중 특허출원건수는 다음과 같이 기후테크 혁신정책과 밀접한 연관성을 갖는 것으로 나타났다[176](그림 4.4).

175) Trajtenberg(1990)에 따라 피인용건수 가중 특허출원건수는 다음의 수식으로 산출하였다. 여기서, C_i는 특허 i의 피인용건수를, n_t는 연도 t에 출원된 총 특허개수를 의미한다.

$$WPC_t = \sum_{i=1}^{n_t}(1+C_i)$$

한편, Hall et al.(2005)에 따르면 이 지표가 높을 기업일수록 시장가치가 높아 기업의 무형지식스톡(즉 혁신의 가치)를 잘 보여주는 것으로 분석된다

■ **(정부 R&D 지원 강화)** 저탄소에너지기술에 대한 정부 R&D 지출 비중이 10% 늘어나면 피인용건수 가중 특허출원건수는 약 18% 증가한다.

■ **(탄소가격의 실효성 제고)** 「무상할당배출권 조정 후 유효탄소가격」[177]effective average carbon price이 10% 인상되면 피인용건수 가중 특허출원건수는 약 14% 증가한다.

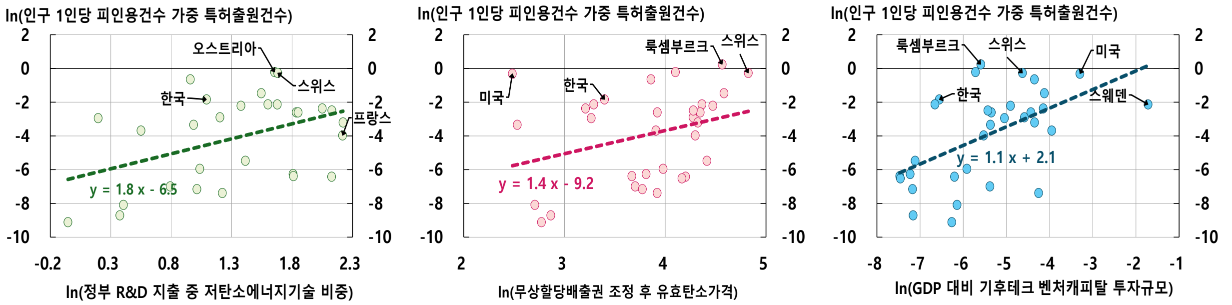
■ **(벤처캐피탈 투자 활성화)** GDP 대비 기후테크 벤처캐피탈 투자규모가 10% 늘어나면 피인용건수 가중 특허출원건수는 약 11% 증가한다.

이러한 결과에 비추어 볼 때, 정부 R&D 지원, 탄소가격 인상, 기후테크 벤처캐피탈 투자 모두를 40%씩 확대[178]할 수 있다면 기후테크 혁신성과가 미국이나 스위스 등 최상위국 수준에 이르는 것으로 산출된다(그림 4.3).

피인용건수 가중 특허출원건수는 기후테크 혁신정책의 변화와 밀접하게 연관

[그림 4.4] 기후테크 혁신정책과 피인용건수 가중 특허출원건수(인구 1인당)[1] 간 관계

정부 R&D 지출 중 저탄소에너지기술에 대한 비중[1)3)]	무상할당배출권 조정 후 유효탄소가격[2)4)]	기후테크 벤처캐피탈 투자규모(GDP 대비)[1)4)]



주: 1) 2016~21년 평균 기준 2) 2021년 기준
3) OECD 회원국 중 통계자료가 가용한 29개국 대상 4) OECD 회원국 중 통계자료가 가용한 32개국 대상
자료: IEA, OECD, 미국 특허청, OECD STI Micro-data Lab, 자체 시산

176) 정부 R&D 지출 중 저탄소에너지기술에 대한 비중, 무상할당배출권 조정 후 유효탄소가격, GDP 대비 기후테크 벤처캐피탈 투자규모 등과 피인용건수 가중 특허출원건수(인구 1인당) 간의 회귀선 계수는 모두 통계적으로 유의하였다.

177) OECD는 「무상할당배출권 조정 후 유효탄소가격」을 2021년에 대해서만 발표하고 있다. 한편, 탄소가격제는 기업이 사전에 공표된 탄소배출권 할당량을 바탕으로 탄소가격을 예측하여 미리 기후테크 혁신을 추진하는 구조를 갖고 있다. 따라서 2021년 무상할당배출권 조정 후 유효탄소가격과 2016~21년 중 피인용건수 가중 특허출원건수 평균치와의 관계를 분석하더라도, 시차 문제는 크지 않을 것으로 판단된다.

178) 각 정책을 40%씩 강화하면 각 정책변수는 다음과 같이 변화한다.

	정책 강화 전	정책 강화 후[1)]	10대 선도국 평균
▸저탄소에너지기술에 대한 정부 R&D 지출비중(16~21년 평균, %)	3.0	4.2 (84.3%)	4.9
▸무상할당배출권 조정 후 유효탄소가격(21년, EUR/tCO_2e)	29.9	41.8 (69.9%)	59.8
▸GDP 대비 기후테크 벤처캐피탈 투자규모(16~21년 평균, %)	0.0014	0.0020 (16.7%)	0.0120

주: 1) ( ) 내는 10대 선도국 평균 대비 비율을 의미

5. 결론 및 종합평가

37. 탄소중립에 대한 국제사회의 요구에 효과적으로 대응하고 기후테크 선도국으로 도약해 새로운 성장동력을 창출하기 위해서는 기후테크 혁신을 적극 촉진해야 한다. 미국 특허청 특허자료를 이용한 분석 결과, 우리나라의 기후테크 특허출원건수는 세계 3위로 상위권에 속하였다. 그러나 전체 기후테크 특허의 약 70%가 4개 기업에 집중되어 특정 기업과 기술로의 편중이 두드러졌다. 또한 특허의 후속파급력, 창의성, 범용성 등 질적 측면에서도 크게 미흡한 모습을 나타냈다. 이러한 문제는 기후테크 혁신이 중장기적 필요성보다는 투자수익 회수 등 단기적 성과에 초점을 맞춘 결과로 보인다. 또한 정부의 R&D 지원과 탄소가격 정책도 중장기적 시각에서 기업의 기후테크 혁신 동기를 충분히 자극하지 못하고 있다. 이와 함께 신생중소기업 등이 기후테크 혁신에 필요한 자금을 조달하기 어려운 환경도 중요한 원인으로 지적된다. 이러한 점에 비추어 볼 때 우리나라가 기후테크의 「선두개척자」로 도약하기 위해서는, 우선 기업이 탄소저감기술 개발로 충분한 보상을 받을 수 있도록 정부의 기후테크 R&D 지원을 강화해야 한다. 다음으로 탄소배출 기업에 기후위기로 인한 비용을 부담하도록 탄소가격제의 실효성을 제고해야 한다. 마지막으로, 혁신기술의 상용화에 핵심역할을 하는 벤처캐피탈 투자 활성화 등 혁신자금 공급여건을 확충해야 한다.

38. 최근 미국의 신정부 출범 예정, 러-우 전쟁에 따른 유럽의 에너지 위기 등으로 글로벌 기후위기 대응이 지연될 수 있다는 우려가 커지고 있지만, 이를 우리나라가 기후테크 분야에서 「선두개척자」로 도약할 기회로 삼아야 한다. 매년 지구 평균 온도가 최고치를 경신하며 자연재해 증가, 농축수산물 생산 감소 등 기후변화의 영향이 뚜렷해지고 있어, 국제사회는 언제든지 기후위기 대응을 강화할 여지를 남겨두고 있다. 이와 함께 주요국은 기후위기 대응을 자국의 제조업 경쟁력 제고를 위한 통상정책 및 무역규제의 도구로 활용하고 있다. 그리고 전기차와 자율주행기술의 융합 사례처럼 기후테크는 단순히 탄소저감을 위한 기술에 그치지 않고 다양한 분야에서 혁신과 생산성을 높이는 데 기여할 수 있다. 따라서 기후테크 혁신은 탄소중립 실현뿐만 아니라 우리나라 수출경쟁력을 강화하고 성장잠재력을 높이는 핵심전략으로, 적극적인 투자와 정책지원이 필요하다.

39. 아울러, 기후테크 혁신 분야에서 주요국과의 협력을 주도함으로써 글로벌 리더로서 자리 잡아야 한다. 다른 국가와 상호보완적인 기술과 자원을 공유하면 혁신 속도를 높이고, 규모의 경제를 실현하며, 투자위험을 줄여 기후테크 투자의 매력을 극대화할 수 있다. 또한 공정한 경쟁 환경을 조성해 지속 가능한 글로벌 기후테크 생태계를 구축할 수 있다. 특히 국제적 기후테크 통상환경을 주도함으로써 수출경쟁력을 강화하고, 글로벌 가치사슬에서 중요한 위치를 확보할 수 있다. 이러한 글로벌 협력은 탄소중립 실현뿐만 아니라 경제성장과 기술경쟁력 강화를 동시에 달성하는 데 기여할 것이다.

별첨 1 기후테크 특허분류

특허자료는 기후테크 분석에 유용한 별도의 분류체계를 갖추고 있다. CPC(Cooperative Patent Classification) 분류체계는 기후테크를 「(Y02) 기후변화 완화 및 적응 기술」과 「(Y04S) ICT 기반 지능형 전력망(Smart Grid)」으로 별도 구분하고 있다. 유럽 특허청(EPO)은 특허 비전문가도 기후위기 대응 기술을 쉽게 분석할 수 있도록 이러한 Y02 및 Y04S 분류체계를 개발하였다. 또한 수백만 건의 특허문서를 검색해 기후테크를 식별하고, 해당 기술에 Y02 및 Y04S 코드를 부여하는 작업도 진행하였다. Y02 및 Y04S 분류체계는 다음과 같이 총 8개의 범주로 구성되어 있다.

[표 1] CPC의 기후테크 특허 분류체계(Y02 및 Y04S)

CPC 코드	기술 내용
Y02A	▸기후변화 적응을 위한 기술
Y02B	▸건물과 관련된 기후변화 완화기술(주택, 가정용 기기 등)
Y02C	▸온실가스의 포집, 저장, 격리 또는 폐기
Y02D	▸정보통신기술(ICT) 내의 기후변화 완화기술 (자체 에너지 사용 감축을 목표로 하는 정보통신기술)
Y02E	▸에너지 생산, 전송 또는 분배와 관련된 온실가스 배출 감축기술
Y02P	▸상품 생산 또는 공정 과정에서의 기후변화 완화기술
Y02T	▸운송과 관련된 기후변화 완화기술
Y02W	▸폐수 처리 또는 폐기물 관리와 관련된 기후변화 완화기술
Y04S	▸전력 생산・전송・분배・관리・사용을 개선하기 위한 전력망 운영・통신・정보 기술과 관련된 통합 시스템(지능형 전력망, Smart Grids)

한편, 본고에서 중점적으로 분석하였던 8개 기후테크 분야의 특허통계는 다음과 같이 Y02 및 Y04S 코드를 연계하여 산출하였다.

[표 2] 분석대상 기후테크의 CPC 코드

구 분	대표 기술분야	CPC 코드
에너지 공급	▸재생에너지	- Y02E010
에너지 사용여건 조성	▸2차전지	- Y02E060/10
	▸수소연료	- Y02E060/30, Y02E060/32, Y02E060/34, Y02E060/36, Y02E060/50, Y02T090/40, Y02P090/40, Y02P090/45
	▸탄소 포집・활용・저장(CCUS)	- Y02C
에너지 소비	▸전기차	- Y02T010/64, Y02T010/70, Y02T010/7072, Y02T010/72, Y02T090/10, Y02T090/12, Y02T090/14, Y02T090/16, Y02T090/167
	▸화학・정유 생산공정	- Y02P020, Y02P030
	▸철강・광물(시멘트) 생산공정	- Y02P010, Y02P040
	▸정보통신기술(ICT)	- Y02D

별첨 2 주요 질적 특허평가지표 산출방법

선행연구에서는 특허의 질을 측정하기 위해 다양한 지표를 제시하고 있다 (Squicciarini et al. 2013). 본고에서는 건당 피인용건수, 독창성, 범용성, 급진성 등 지표를 활용하였는데, 각 지표의 산출방법은 다음과 같다.

건당 피인용건수는 특정 특허가 등록된 이후 후속 특허에 인용된 횟수를 나타낸다. 이는 해당 특허가 후속 혁신에 미친 영향력과 중요성을 평가하는 데 사용된다. 한편, 출원된지 오래된 특허일수록 피인용건수가 증가하는 경향이 있으므로, 일반적으로 피인용기간을 5년, 7년 등으로 제한한다. P_i년에 등록된 특허 i의 5년 내 건당 피인용건수는 다음과 같이 시산된다.

$$CIT_{i,5} = \sum_{t=P_i}^{P_i+5} \sum_{j \in J(t)} C_{j,i}$$

여기서, $J(t)$는 t년에 등록된 모든 특허의 집합을, $C_{j,i}$는 t년에 특허 j가 특허 i를 인용했는지를 보여주는 더미변수를 의미한다.

독창성 지표는 특정 특허가 인용한 기존 특허의 기술분야가 얼마나 다양한지를 나타낸다. 이는 여러 분야의 기술과 지식을 결합한 특허일수록 독창성이 높을 가능성을 반영한다. 특허 p의 독창성 지표는 다음과 같이 시산된다.

$$Originality_p = 1 - \sum_{j=1}^{n_p} s_{p,j}^2$$

여기서, $j=1, \cdots, n_p$는 특허 p가 인용한 기존 특허의 분류(IPC 기준)를, $s_{p,j}$는 특허 p가 분류 j 내 특허들을 인용한 건수의 비중을 의미한다.

범용성 지표는 특정 특허를 인용한 후속 특허의 기술분야가 얼마나 다양한지를 나타낸다. 이는 해당 특허가 후속 혁신에 미치는 영향의 범위와 폭을 평가하는 지표로 활용된다. 특허 p의 범용성 지표는 다음과 같이 시산된다.

$$Generality_p = 1 - \sum_{j=1}^{M_i} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{T_{j,i}^n}{T_i^n} \right)^2$$

여기서, $j=1, \cdots, M_i$는 특허 p를 인용한 후속 특허 i의 4자리 분류(IPC 기준)를, T_i^n은 특허 p를 인용한 후속 특허들의 n자리 분류 총개수를, $T_{j,i}^n$는 특허 p를 인용한 j 분류 내 후속 특허들의 n자리 분류 개수를 의미한다.

마지막으로 급진성 지표는 특정 특허가 인용한 기존 특허 중 다른 기술분야의 비중이 얼마나 높은지를 나타낸다. 이는 다른 분야의 지식을 많이 활용한 특허일수록 기존 기술과의 차별화되고 혁신성이 높을 가능성을 반영한다. 특허 p의 급진성 지표는 다음과 같이 시산된다.

$$Radicalness_p = \sum_{j}^{n_p} \frac{CT_j}{n_p}, \quad IPC_{p,j} \neq IPC_p$$

여기서, n_p는 특허 p가 인용한 모든 기존 특허 j의 분류(IPC 기준) 개수를, CT_j는 특허 p가 인용하였지만 p와 다른 분류를 가진 기존 특허의 분류 개수를 의미한다.

참고문헌

2050 탄소중립녹색성장위원회. (2023). 누구나 알기 쉬운 탄소중립 녹색성장.

녹색기술센터. (2020). 2020 기후기술 수준조사.

오형나. (2024). 국내외 탄소가격제도 운영 현황 및 대응 과제.

이동원, 성원, 정종우, 최이슬, 김동재, 조태형. (2024). 혁신과 경제성장 - 우리나라 기업의 혁신 활동 분석 및 평가. 경제전망보고서 중장기 심층연구. 한국은행.

이병철. (2024). 기후변화대응 R&D 사업 평가. 사업평가. 국회예산정책처.

한국과학기술평가원. (2023). 2022 기술수준평가. 기관 2023-054.

Acemoglu, D. (2023). Distorted innovation: Does the market get the direction of technology right? AEA Papers and Proceedings, 113, 1-28.

Acemoglu, D., Aghion, P., Barrage, L., & Hémous, D. (2023). Climate change, directed innovation, and energy transition: The long-run consequences of the shale gas revolution. NBER Working Papers.

Acemoglu, D., Akcigit, U., Hanley, D., & Kerr, W. (2016). Transition to clean technology. Journal of Political Economy, 124(1), 52-104.

Aghion, P., Boneva, L., Breckenfelder, J., Laeven, L., Olovsson, C., Popov, A., & Rancoita, E. (2022). Financial markets and green innovation. ECB Working Paper Series(No. 2686). European Central Bank.

Akcigit, U., & Kerr, W. R. (2018). Growth through heterogeneous innovations. Journal of Political Economy, 126(4), 1374-1443.

Amoroso, S., Aristodemou, L., Criscuolo, C., Dechezleprêtre, A., Dernis, H., Grassano, N., Moussiegt, L., Napolitano, L., Nawa, D., Squicciarini, M., & Tübke, A. (2021). World corporate top R&D investors: Paving the way for climate neutrality. A joint JRC and OECD report.

Calvino, F., Criscuolo, C., & Menon, C. (2016). No country for young firms? Start-up dynamics and national policies. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers(No. 29). OECD Publishing.

Cervantes, M., Criscuolo, C., Dechezleprêtre, A., & Pilat, D. (2023). Driving low-carbon innovations for climate neutrality. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers(No. 143). OECD Publishing.

Fabrizio, K. R. (2009). Absorptive capacity and the search for innovation. Research Policy, 38(2), 255-267.

Fontana, S. D., & Nanda, R. (2023). Innovating to net zero: Can venture capital and start-ups play a meaningful role? Entrepreneurship and Innovation Policy and the Economy, 2, 79-105.

Global Carbon Project. (2021). Global carbon budget 2021.

Griliches, Z. (1984). R&D, patents, and productivity. University of Chicago Press.

Hall, B. H., Jaffe, A. B., & Trajtenberg, M. (2001). The NBER patent citation data file: Lessons, insights, and methodological tools. NBER Working Paper(No. 8498).

Hall, B. H., Jaffe, A. B., & Trajtenberg, M. (2005). Market value and patent citations. The RAND Journal of Economics, 36(1), 16-38.

Hall, B. H., & Ziedonis, R. H. (2001). The patent paradox revisited: An empirical study of patenting in the U.S. semiconductor industry, 1979-1995. The RAND Journal of Economics, 32(1), 101-128.

Hsu, P., Tian, X., & Xu, Y. (2014). Financial development and innovation: Cross-country evidence. Journal of Financial Economics, 112(1), 116-135.

International Energy Agency (IEA). (2020). Energy technology perspectives 2020.

International Energy Agency (IEA). (2021a). Net zero by 2050 - A roadmap for the global energy eector.

International Energy Agency (IEA). (2021b). Patents and the energy transition.

International Energy Agency (IEA). (2023). Net zero roadmap: A global pathway to keep the 1.5°C goal in reach.

Kim, Y., Chatterjee, C., & Higgins, M. (2018). Moving beyond the valley of death: Regulation and venture capital investments in early-stage biopharmaceutical firms. NBER Working Paper(No. 25202).

Liu, Z., Ciais, P., Deng, Z., et al. (2020). Near-real-time monitoring of global CO2 emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic. Nature Communications, 11, 5172.

Nelson, R. R. (1959). The simple economics of basic scientific research. Journal of Political Economy, 67(3), 297-306.

OECD. (2023). Effective carbon rates 2023: Pricing greenhouse gas emissions through taxes and emissions trading. OECD Publishing.

Popp, D. (2002). Induced innovation and energy prices. American Economic Review, 92(1), 160-180.

Rajan, R. G., & Zingales, L. (1998). Financial dependence and growth. American Economic Review, 88(3), 559-586.

Squicciarini, M., Dernis, H., & Criscuolo, C. (2013). Measuring patent quality: Indicators of technological and economic value. OECD Science, Technology and Industry Working Papers(No. 2013/03). OECD Publishing.

Trajtenberg, M. (1990). A penny for your quotes: Patent citations and the value of innovations. The RAND Journal of Economics, 21(1), 172-187.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2016). Technology and the UNFCCC.