ISSN 2734-1437(오프라인)
ISSN 2765-1851(온 라 인)

2022
Vol.3 No.4

GTC FOCUS

기후변화대응을 위한 연구개발 12년 성과평가와 과제

: AI 적용 기반 과제분류와 성과평가

한수현, 안세진, 최원준, 주경원

GTC 녹색기술센터
GREEN TECHNOLOGY CENTER

CONTENTS

기후변화대응을 위한 연구개발 12년 성과평가와 과제

: AI 적용 기반 과제분류와 성과평가

한수현, 안세진, 최원준, 주경원

기후기술, 녹색기술, 국가연구개발사업, AI 분류모델, 성과분석

1 서론 04

2 분석대상 및 방법론 06

3 기후기술 연구개발 정책현황 09

4 연구개발 투자 및 성과분석 13

5 결론 26

■ 참고문헌 29

요약

1. 서론

- 기후변화에 대한 시급한 행동이 필요하다고 문제를 제기한 지 40년이 넘었지만, 기후위기의 지표는 상당수가 임계점을 넘어가며 상황은 악화
- 정부는 기후변화 대응의 핵심수단을 기술혁신으로 간주하고, 탄소 배출량이 높은 석탄, 석유를 대신할 혁신기술 개발 및 향후 시장에서 파급효과가 큰 기술을 발굴하는데 국가적 역량을 집중하여 지속적인 투자를 확대
- 본고에서는 지난 3대 정부를 통해 진행된 그간의 기후변화 대응을 위한 연구개발 정책을 살펴보고 정책목표에 따른 국가연구개발사업의 시계열 투자분석에 기초하여 그간의 성과를 돌아보고, 그 평가를 근거로 기후위기 시대의 연구개발 투자전략 수립 필요성 제안

2. 연구모형

- 분석대상은 2008부터 2021년까지 수행된 국가연구개발사업 내 기후기술 연구개발을 위한 세부과제이며, 분석방법은 자연어 기반의 AI 딥러닝 모델을 활용하여, 최근 5년간('16-'20) 분류된 30만 건의 과제정보를 활용·학습하여 '08-15년까지의 '16년 이전자료를 기후기술로 재분류하여 31,482개의 과제 도출
- 논문성과의 경우, 2008-2020년까지 국가연구개발과제를 통해 발생된 전체 성과는 794,316건, 제출된 학술지는 11,888건으로, 이 중 10,601건의 학술지 정보를 수집하였으며, 수집된 해당정보를 바탕으로 논문성과의 전체 질적지표 (MrnIF)를 추출하여, 총 785,736(98.9%)개 성과의 MrnIF가 수집
- 특허성과의 경우 2008-2020년까지 NTIS 집계된 등록특허는 190,793건(기여율 100%당 1건 환산)으로, 그 중 기후기술 R&D 과제로 산출된 특허 27,896건을 대상으로 분석을 수행하였음

3. 연구개발 정책현황

- 기후변화 대응을 위한 정책 및 제도의 고도화는 세계적인 추세로, 한국 또한 다양한 법적·제도적 기반을 마련하기 위한 노력을 통해 정책의 고도화 진행
- 지난 10여년 간의 기후변화 대응 분야 R&D 정책은 독자적인 선택보다는 국제적인 정세 흐름에 영향을 받아 정부별 고유 특성과 연계되어 수행되었고, 이전 3대 정부를 기준으로 살펴보면, 기본법 수립부터, 전략까지 체계에 따라 녹색기술, 청정기술, 탄소중립 기술 등의 키워드를 중심으로 투자전략을 마련

- 기후변화 대응이라는 정책목표의 변동은 없었으나, 그 수단의 명칭은 녹색기술, 청정기술, 기후변화 대응기술, 탄소중립 기술 등으로 변모

- 연구개발을 위한 대상기술의 관리체계는 크게 녹색기술과 기후기술로 녹색기술 분류체계를 통해 2008-2015년까지 관리되었고, 이후 현재까지 기후기술 분류체계(과학기술정보통신부, '17년)에 따라 기후기술 연구개발 투자현황 및 성과관리 진행
  - 녹색기술과 기후기술은 각 분류체계간의 기술범위의 차이는 존재하나, 전체적인 투자현황은 상승세로 파악되며, 특히 녹색기술은 연구개발종합대책 상의 투자계획에 따라 추진

4. 연구개발 투자 및 성과분석

- 기후변화 대응을 위한 국가연구개발사업의 투자현황은 '08년 정책 수립 당시 7,800억 원으로 시작하여, '21년 현재는 3.4조 원 규모이며, '08년부터 시작된 기후R&D의 연평균 증가율은 12.0%로 국가R&D 7.0%에 비해 높게 나타났으나, 국가 R&D 내 기후 비중은 최근 5년간 13% 내외로 유지중

- 투자 점유율과 연평균 증가율을 기준으로 기후기술 분류체계 상 중분류별 분포를 살펴보면, 비재생에너지(16.9%), 재생에너지(16.3%), 에너지 수요(17.7%) 분야가 전체 투자 대비 절반을 차지하고, 다분야 중첩(36%), 건강(31%), 에너지 저장(21%)분야의 연평균 증가율이 높게 나타남

- 기후기술 R&D 과제를 통해 2008-2020년 간 발생된 성과를 살펴보면, 정부예산의 지속적인 지출규모에 확대에 따라 R&D 성과 역시 증가추세이며, 실제 국가 R&D 성과 증가폭 대비 다소 높게 나타남
  - 기후기술 과제를 통해 발생된 논문 성과는 '08년 대비 현재 20%의 연평균 증가율로 국가R&D 증가율 6%에 비해 3배 이상 높게 나타나며, 특허 역시, 평균 증가율은 33%로 국가 전체 12%에 비해 3배 정도 높으며, 점유율 역시 2.4%에서 19.3%로 꾸준히 증가하는 경향으로 나타남
  - 10억 원 당 논문·특허 건수도 각각 2.2건, 1.48건으로 국가R&D 대비 기후R&D는 투입대비 성과가 상대적으로 높게 나타남

5. 결론

- 기후변화대응 연구개발에 대한 첫 장기투자·성과 평가를 위해 역대 정부별 투자전략과 실제 이행정도를 평가하기 위해 AI를 활용하여 분석을 실시하여 장기 데이터 상 모델링 적용 수행

- 기후기술 R&D 과제의 투자와 성과는 꾸준한 증가추세로, 연평균 증가율이 12%로 국가 R&D 증가율에 비해 높으며, 그에 따른 성과도 우수한 것으로 평가

- 하지만 기후기술R&D의 성과평가를 논문, 특허 등의 양적자료에 국한된 분석으로 앞으로의 연구를 통해서는 실제 기술개발이 어떻게 사업화가 되었고, 이를 통한 온실가스 감축량은 얼마인지 등의 실질적인 R&D투자의 효과분석을 통해 새로운 정부의 키워드인 체감하는 과학기술의 증명이 필요할 것임

1 서론

1.1 연구배경

기후위기는 현재 직면한 인류의 문제로, 단일 국가만의 노력뿐만 아니라, 국제사회의 관심과 노력으로 공동의 해결책 마련이 필요한 과제

※ '기후변화' 대신 '기후위기'로 용어가 변화하고 있으며, 인류가 직면한 거대한 과제를 논의함에 긴박함과 중요성이 반영된 결과로 해석

환경보호로 시작된 기후변화 대응은 국제사회의 합의를 토대로 해결책을 마련해가는 과정으로, 기후변화협약 체결을 바탕으로 실질적인 방안 마련을 위한 노력

- 유엔총회에서 기후변화에 대한 최초의 결의안을 채택하고, 기후변화를 공동의 관심사 선언을 바탕으로 기후변화협약 발의, 교토의정서 발표, 파리협정의 채택 등을 거쳐 현재 신기후체제에 진입(2021년~)
- 특히 신기후체제에서는 ① 재정과 ② 기술개발 및 이전, ③ 역량배양을 기후변화의 감축과 적응이라는 목표를 달성하기 위한 이행 수단으로 선정하였고, 이는 기술과 자본을 통해 기후변화에 대한 대응력을 높임으로 문제를 해결하겠다는 확고한 의지로 해석 가능

기후변화에 대한 시급한 행동이 필요하다고 문제를 제기한 지 40년이 넘었지만, 기후위기의 지표는 상당수가 임계점을 넘어가며 전세계 153개국 1만 3,800명의 과학자들의 '기후 비상사태' 선언* 등 상황은 악화

* 옥스퍼드대 World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2021에서 29가지 지표를 근거로 기후위기 제시[1)]

- 코로나19 여파로 세계 경제가 멈추고 '20년 기준 항공 이용객이 59% 감소하는 등 인간의 경제활동이 제한됐음에도 불구하고 주요 지구상의 온실가스 농도, 해수 온도, 해양 산성화, 평균 해수면 등은 모두 역대 최고치를 기록(세계기상기구, 2022)하며 상황은 악화일로
- 여전히 환경보다 경제가 우선시 되는 정치 현실에, 미래세대*인 청소년들까지 나서 기성세대의 책임을 강력히 촉구하는 기후행동(ACT NOW)이 요청

  * 기후위기의 당사자인 청소년들로 대표적으로 스웨덴의 그레타 툰베리는 세계 각국 지도자들에게 환경문제에 대하는 태도를 강력하게 비판하며 기후변화 활동가로 활동

우리 정부는 1993년 기후변화협약에 가입 이후, 기후변화의 대응을 위한 일련의 노력을 추진하고 있으며, 특히 선제적으로 환경이슈를 '녹색성장'이라는 글로벌 브랜드화로 성공함으로 국제적 리더십을 선점[2)]

- 녹색성장 브랜드를 토대로 한국최초로 국제기구인 글로벌 녹색성장기구(GGGI)를 설립(2010) 하고, 녹색기후기금(GCF)를 한국으로 유치(2012년)

1) Ripple, W. J., et al. (2021). "World scientists' warning of a climate emergency 2021". BioScience, 71(9), 894–898.
2) OECD (2010). Korea's Green Growth Strategy. Mitigating Climate Change and Developing New Growth Engines. OECD Economics Department Working Papers.

정부는 기후변화 대응의 핵심수단을 기술개발로 간주하고, 탄소 배출량이 높은 석탄, 석유를 대신할 혁신기술 개발 및 향후 시장에서 파급효과가 큰 기술을 발굴하는데 국가적 역량을 집중하여 지속적인 투자를 확대

- 이미 한국은 연구개발에 많은 자본을 투자하는 국가로, 과학기술 연구개발 예산은 '20년 기준 GDP 대비 4.81%로 이스라엘(4.93%)에 이어 세계 2위, 연구개발비는 78,856백만달러(세계 5위)로 양적 투자만큼은 세계적인 수준

최근 개정된 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」과 「기후변화대응 기술개발 촉진법」은 기후변화대응 기술개발을 안정적이고 체계적으로 지원할 수 있는 근거 마련은 물론, 탄소중립 실현에 기여할 것으로 예상하나,

- 여전히 한국은 온실가스 총배출량 세계 11위, 석탄 발전으로 인한 1인당 온실가스 배출량은 2위(3.81t), 세계 기후악당* 지목 등은 정부의 구체적인 전략 마련의 시급성 강조

  * 박근혜 정부시절 제출된 NDC 목표 37% 감축(536백만 tCO_2)와 1인당 온실가스 배출량의 가파른 증가를 기반으로 국제환경단체 기후행동추적(Climate Action Tracker, CAT)으로부터 기후악당 이라는 평가

1.2 목적과 방법

본고에서는 지난 3대 정부를 통해 진행된 그간의 기후변화 대응을 위한 연구개발 정책을 살펴보고 정책목표에 따른 국가연구개발사업의 시계열 투자분석에 기초하여 그간의 성과를 톺아보고, 결과를 근거로 기후위기 시대의 연구개발 투자전략을 마련하고자 함

2008년에서 2021년간의 국가연구개발사업 정보를 바탕으로 녹색기술센터에서 관리·수집중인 기후기술 분류체계에 따라 분류하여 그 투자현황을 산출하고 그에 대한 성과를 질적·양적 분석을 실시

- 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 활용하여 산출한 국가 R&D 과제정보를 바탕으로 그간의 기후변화 대응을 위한 기술R&D 투자규모를 분석하고, 해당 투자를 통해 발생한 성과에 대해 정량, 정성 분석을 실시
- 과거 녹색기술 분류체계로 분류·공표된 국가 R&D 과제정보('08~'15)를 최근 5년간의 정보를 기반으로 한 기후기술 AI 딥러닝 분류모델을 활용하여, 과거의 자료가 기후기술 트렌드에 부합하는지 검토하여 현재 시점에서 의미있는 투자전략 구체화를 위한 정보로 가공함

효과적인 R&D투자를 위해 R&D 성과 평가의 중요성은 높아지고 있으며, 투자 대비 성과 발생정도를 중심으로 살펴보고, 특히 질적분석 기반의 연구성과를 분석하여 시사점을 도출

2 분석대상 및 방법론

2.1 분석대상 및 범위

기후변화대응을 위한 연구개발에 대한 분석 및 평가를 위해 다음 표 2-1과 같이 1) 관련정책, 2) R&D투자, 3) R&D성과를 각 기후기술 분류체계에 따라 정리 및 분류하여 연계분석을 실시

※ 대상년도 기준으로 하면 2008-2021년도로 14년이나, 성과산출 기준(2008-2020)의 기간으로 한정하여 12년간의 기후변화대응 연구개발 성과분석으로 진행

[표 2-1] 분석항목 및 내용 주요 정책 현황

분석항목		내용 및 기준	대상기간	비 고
Ⅰ. 정부정책	• 각 정부별 발표된 법, 기본계획, R&D 전략, 투자현황		2008-2021	• 자체검토
Ⅱ. R&D 투자	• (자료1) 기후기술 AI 분류모델 적용 1순위 결과*		2008-2015	• AI 모델
	• (자료2) 녹색기술센터 공표 결과값(전문가 분류 및 자체검토)		2016-2021	• NTIS, 자체검토
	• (항목) 기술분야별(중분류), 연구수행주체, 연구개발단계, 부처명		2008-2021	• NTIS
Ⅲ. R&D성과	a) 논문	• (정량) 기여율 100%당 1건	2008-2020	• NTIS
		• (정성) 학술지 내 Impact factor 순위*	2008-2020	• JCR 기반 보완
	b) 특허	• (정량) 등록특허, 기여율 100%당 1건	2008-2020	• NTIS
	c) 기타	• (정량) 기술료, 사업화, 연수지원, 인력양성 건수	2016-2020	• NTIS

* GTC 주요 연구사업 기반으로 정보 검토체계 구축 및 작성

정부정책은 기후변화대응을 위한 정책목표 달성을 위한 기후기술관련 R&D가 포함된 정책으로 한정하여 2008년부터 2021년까지를 크게 3개 정부를 기준으로 분석

- 이명박 정부는 2008-2013년, 박근혜 정부는 2014-2017년, 문재인 정부는 2018-2021년으로 구분

R&D 투자와 성과분석 대상은 2008부터 2021년까지 수행된 국가연구개발사업 내 기후기술 연구개발을 위한 세부과제이며, 국가과학기술지식정보서비스(National Science & Technology Information Service, NTIS)에서 제공하는 과제정보를 기준으로 분석

2.2 AI 적용 등 데이터구축 방법론

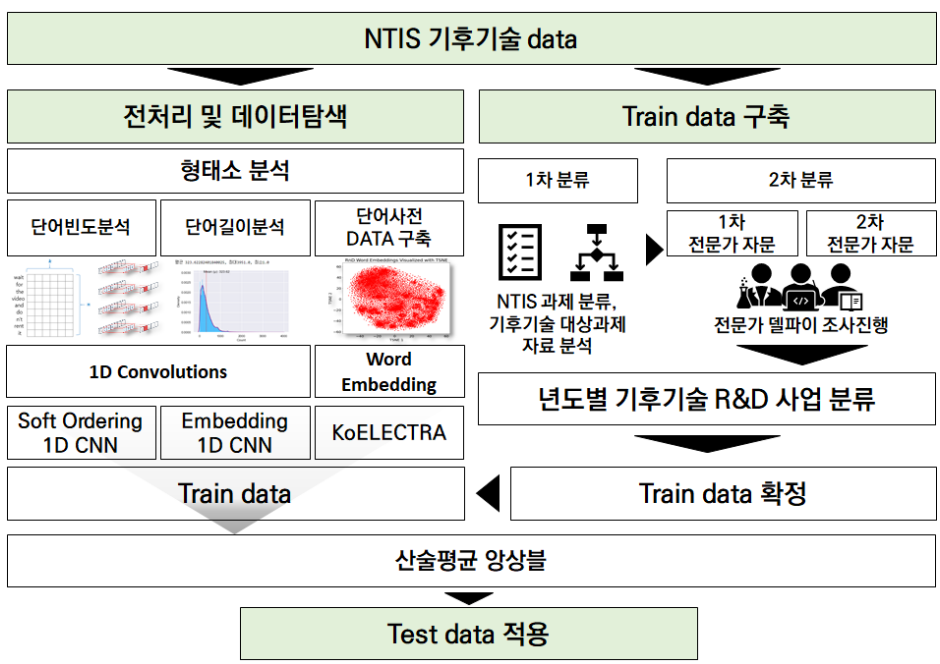
현재 분류된 대상기술의 분류체계가 '녹색'과 '기후'로 상이하여, 현재 분석 중인 기후기술 분류체계에 따라 기존 녹색기술로 분류된 2008년부터 2015년 자료의 재분류 필요

녹색기술센터는 매년 7만여 개에 달하는 국가R&D를 '기후기술 분류체계'에 따라 분류과정을 수행하고 있으며, 최근 5년간('16-'20) 분류된 30만건의 과제정보를 활용·학습하여 딥러닝 모델 개발에 성공함으로 2008년부터 2021년 투자 DATA를 구축

- 자연어 기반의 딥러닝 모델을 활용하여, '08-'15년까지의 NTIS 데이터를 활용하여 기후기술로 분류함으로 31,482개 과제를 도출하였고 정확도는 98% 수준
- 개발된 모델은 문서 분류를 위해 3개의 개별모델(1D-CNN(Convolution Neural Network) 2개 모델 및 KoELECTRA 사전학습 모델을 활용)을 소프트-보팅(soft-voting) 앙상블하여 사용하였으며, 앙상블 모델의 F1-score*는 0.83임

※ F1-score : 정밀도(precision)과 재현율(recall)의 조화평균으로 불균형 데이터셋에 대한 분류성능 측정지표로 주로 활용

[그림 2-1] AI 기반 국가 R&D 과제 분류모델



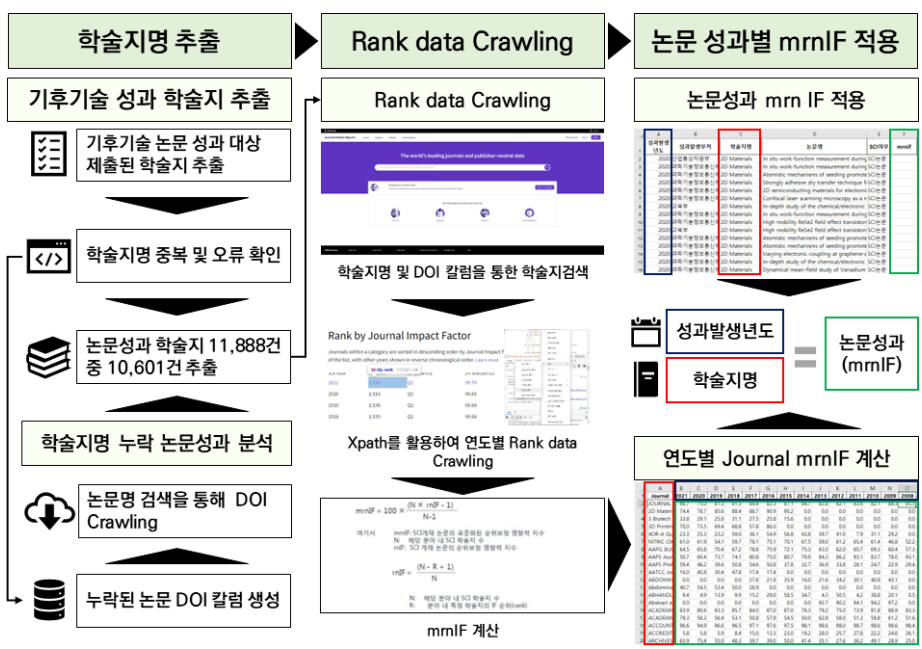
또한 성과자료의 경우, 2008-2020년[3]까지의 구축된 기후기술 과제를 통해 발생된 성과정보를 논문, 특허, 기술료 사업화, 인력양성, 연수지원 항목으로 구분하여 정보수집 및 분석실시

3) NTIS 기준 성과정보의 경우, 2020년까지의 정보가 최신으로 '21년 성과는 '23년 상반기에 제공예정

논문의 질적분석을 위해서 NTIS에서 수집된 논문의 저널의 랭킹[4]을 Impact Factor를 제공하고 있는 Journal Citation Reports[5] 기준으로 MrnIF[6] 정보를 산출

- 논문성과 학술지의 mrnIF 분석을 위해 2008-2020년까지 국가연구개발과제를 통해 발생된 전체 논문성과 794,316건을 중심으로 제출된 논문의 학술지를 조사하였으며, 누락 및 중복·잘못 기제 된 항목의 경우 DOI를 수집하여 학술지명을 별도로 수집
- 조사된 학술지 명 및 DOI 정보를 활용하여 논문성과가 게재된 학술지 11,888개 중 학술지 정보를 알 수 없는 1,287개 학술지를 제외한 10,601건의 학술지 정보를 수집
- mrnIF 산출을 위한 학술저널별 순위를 JCR에서 수집하였으며, Python selenium 기반의 크롤링 기법을 활용한 저널별 상위 카테고리 항목을 기준으로 취합하고, 수집된 Rank 정보를 바탕으로 논문성과의 전체 시계열 mrnIF를 산출하고, 총 785,736(98.9%)개 성과자료에 매칭하여 적용

[그림 2-2] 국가 R&D 논문성과 mrnIF 분석 절차



2008-2020년까지 NTIS 집계 등록특허 성과는 190,793건(기여율 100%당 1건 환산)으로, 그 중 기후기술 R&D 과제로 산출된 특허 27,896건을 대상으로 분석을 수행하였으며, 기술료, 사업화, 연수지원, 인력양성의 기타분석 항목은 NTIS 제공기준으로 2016년 이후의 자료를 분석에 활용

4) 학술저널별 순위는 Python selenium 기반의 크롤링 기법을 활용한 저널별 상위 카테고리 항목을 기준으로 수집하고 성과데이터의 년도별 기준에 따라 매칭하여 분석함
5) Products Journal Citation Reports : https://jcr.clarivate.com/jcr/home
6) MrnIF : 표준화된 순위보정영향력지수(mrnIF): 해당 학술지의 학문 분야 내 Impact Factor 순위를 0~100점으로 표준화한 값으로 지수 값이 높을수록 해당 분야 내 위상이 높음을 의미

3 기후기술 연구개발 정책현황

3.1 정부별 연구개발 정책현황

기후변화 대응을 위한 정책 및 제도의 고도화는 세계적인 추세로, 한국 또한 다양한 법적·제도적 기반을 마련하기 위한 노력이 필요

- 범정부적 기후변화 대응을 위해 정부는 '99년부터 중앙부처 외 관계부처 장관 등으로 구성된 기후변화대책위원회 운영을 시작으로, 녹색성장 위원회, 탄소중립 위원회 등을 거쳐 정책의 고도화 진행

특히, 기후변화 대응을 위한 해결책을 기술혁신으로 간주하고, 민간의 투자로 해결할 수 없는 기후분야 관련 연구개발을 정부가 주도적으로 계획하는 등 국가연구개발사업의 전략적 기틀을 마련

- 기후변화 대응을 위한 R&D 정책은 보통 기술혁신이 필요한 분야를 특정하고 예산을 배분하고, 기술별 투자유형(단기·중장기), 부처별 역할 분담, 투자수준 등의 세부 전략안 마련
- 정부별로 선택과 집중의 차이는 존재하나, 대체에너지 개발, 에너지 효율향상, 온실가스 처리 등 분야별 목적별에 대한 기술범위를 선정함으로 R&D 예산의 체계적인 배분을 위해 노력

지난 10여년 간의 기후변화 대응 분야 R&D 정책은 정부별 고유 특성과 국제적인 정세 흐름에 영향을 받아 수행

- 매년 논의되는 유엔기후변화협약 당사국 총회의 결정 사항, 국가별 온실가스 의무 감축량 제시, 선진국의 탄소중립 선언, 글로벌 기업의 RE100, 탄소국경조정 제도 도입 등의 국제 환경 등의 급변은 국내 정책에도 많은 영향
- 표 3-1과 같이 연구개발 정책은 이전 3개 정부를 기준으로 살펴보면, 기본법 수립부터, 전략까지 체계에 따라 녹색기술, 청정기술, 탄소중립 기술 등의 키워드를 중심으로 투자전략 마련

[표 3-1] 기후변화 대응 관련 주요 정책 현황

구분	이명박 정부	박근혜 정부	문재인 정부
세계 및 국가선언	녹색성장 국가전략 선포(2009)	파리협정 및 미션이노베이션(2015)	신기후체제 2050 장기저탄소발전전략(2020)
법령	「저탄소 녹색성장 기본법(2009)」		「기후위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법(2022)」
			「기후변화대응 기술개발 촉진법(2021)」
기본계획	1차 녹색성장 5개년계획	2차 녹색성장 5개년 계획	3차 녹색성장 5개년 계획
	기후변화대응 종합 기본계획	1차 기후변화대응 기본계획	2차 기후변화대응 기본계획
R&D 전략	기후변화 대응 R&D 마스터플랜(2008)	기후변화 대응 핵심기술 개발전략(2014)	탄소중립 기술혁신 추진전략(2021) 탄소중립 연구개발 투자전략 (2021)
	녹색기술 연구개발 종합대책(2009)	기후변화대응과 신산업 창출을 위한 청정에너지 기술개발(2016)	탄소중립 중점기술(2021)
	중점녹색기술과 상용화 전략(2009)	기후변화대응 기술 확보 로드맵(2015)	
키워드	녹색기술	청정기술, 기후변화대응 기술	탄소중립 기술, 기후변화대응 기술

※ 해당 정부 이전에는 범정부적 기후변화 대응을 위해서는 '99년부터 관계부처 장관 등으로 구성된 기후변화대책위원회(위원장 국무총리) 운영하였고, 3차례에 걸쳐 기후변화 정부 종합대책(3년)을 수립하여 추진함('99~'07)

[이명박 정부] 「저탄소 녹색성장」을 국가비전으로 선포하고, 녹색성장 기본법 수립, 녹색성장 위원회 설치, 배출권 거래제도 실시 등 녹색성장 정책의 실효적 성과와 집행의 타당성을 확보하는데 주력

- 녹색성장 브랜드의 국제 자산화에 성공함으로 녹색 가교* 국가로서의 글로벌 리더십을 확보
  ※ 개도국의 경험과 원조 선진국의 위치까지 오른 경험으로 개도국과 선진국을 이어주는 역할수행
- 녹색기술을 녹색성장의 전략적 구심점으로, 지속가능한 경제발전의 주요 동력원으로 정의함으로, 녹색기술 투자 확대를 추진하여, 「녹색기술 연구개발 종합대책」, 「중점녹색기술 개발과 실용화 전략」을 통해 녹색기술의 범위와 중점 녹색기술을 선정함으로 투자우선 순위를 선정
- 녹색기술의 영역을 예측기술, 에너지원 기술, 고효율화 기술, 사후처리 기술, 무공해 산업경제 활동으로 규정하고, 선택과 집중에 의거 중점 육성해 나갈 27대 기술을 선정
- 또한 기술에 대한 R&D 투자를 '12년까지 '08년 대비 2배 이상 확대를 목표로 하고 특히 기초·원천에 대한 확대를 위해 비중을 '07년 기준 17%에서 '12년 35%로 확대를 골자로 한 계획을 발표하고, 단/장기, 지속/집중 등의 투자전략을 제시
  ※ ('08)1조 원 → ('12) 2조 원으로 누적투자 규모는 7.3조 원('08-'12)

[박근혜 정부] 창조경제라는 국정과제의 강조는 기후변화대응 정책의 속도에 영향을 미쳤으나, '15년 21차 당사국총회에서 채택된 "파리협정"과 "미션이노베이션* 선언의 영향으로 온실가스 감축분야 연구개발 투자의 근거를 마련함으로 그 명맥은 유지

* UN 파리협정 시 우리나라를 비롯한 주요 선진국들은 Mission Innovation 선언('15.11.30)을 통해 청정에너지 공공부문 R&D 투자를 5년간 2배 이상 확대 노력키로 약속함. 취지는 청정에너지 기술혁신을 가속화함으로써 기후변화 대응, 에너지의 안정적 공급 및 경제성장을 도모

- 이에 청정에너지 분야 공공R&D 투자를 21년까지 1조 1,200억원 수준으로 확대할 계획을 발표하고, 관련분야 10대 기후기술을 선정하여 로드맵 수립

[문재인 정부] 신기후체제의 시작으로 탄소중립 선언의 세계적인 흐름 가운데, 탄소중립법 시행, 기후외교 등을 통해 기후대응 선도국으로의 위상 제고에 노력

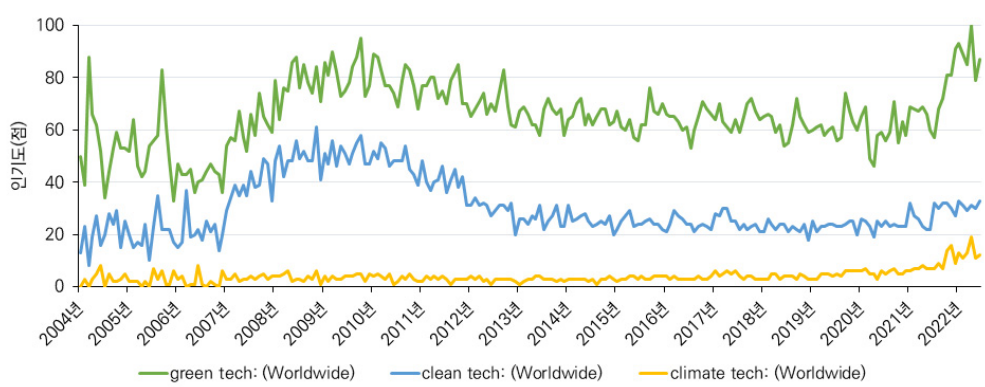
- 탄소중립법은 2050 탄소중립이라는 국가목표 달성을 위한 법정 절차와 정책수단을 담은 법으로 한국은 탄소중립 비전을 법제화한 14번째 국가
- 특히, 최근 시행된 기후변화대응 기술개발 촉진법('21)은 온실가스 감축과 기후변화 적응에 관한 기술의 연구기반을 마련했고, 기후기술분야의 국가연구개발의 집행의 실효성과 타당성을 완성
- 과거 녹색기술, 청정기술 등의 연구개발 투자확대가 중장기적으로 가기 어려웠던 이유는 정부정책은 법령의 뒷받침 없이 실효적 성과와 집행의 타당성을 확보하기 어려웠으나, 기후기술 촉진법의 시행으로 중장기적으로 안정적인 연구개발의 근거를 마련

기후변화 대응이라는 정책목표의 변동은 없었으나, 그 수단의 명칭은 녹색기술, 청정기술, 기후변화 대응기술, 탄소중립 기술 등으로 변모

- 하지만 구글 트렌드*를 통한 분석 결과, 2004년부터 현재까지 세계적인 흐름은 여전히 '녹색기술'이 우위를 차지

* 구글에서 서비스 중인 검색어와 시청 동영상 기반한 빅데이터 분석 서비스로 값이 100이면 해당 용어의 최고 인기도를 나타내며, 50이면 해당 용어가 인기도의 절반임을 의미

[그림 3-1] 기술관련 검색어 추이



출처: https://trends.google.co.kr(검색일자:22.08.11)

3.2 연구개발정책 분류체계

각 정부마다 기후변화대응을 위한 연구개발 전략을 별도의 계획으로 수립함에 따라 기술범위와 전략기술 선정에 관련된 기술분류체계(Taxonomy)는 상이

- 이명박 정부에서 수립된, 기후변화대응 마스터플랜('08)상의 115개 기술분류, 녹색기술 연구개발 종합대책 상의 27대 중점 녹색기술, 박근혜 정부 당시 수립된 기후변화대응 기술확보 로드맵상의 10대 기술, 문재인 정부의 탄소중립 중점기술 도출을 위한 탄소중립 분류체계(447개 기술) 등 다양한 분류체계가 존재

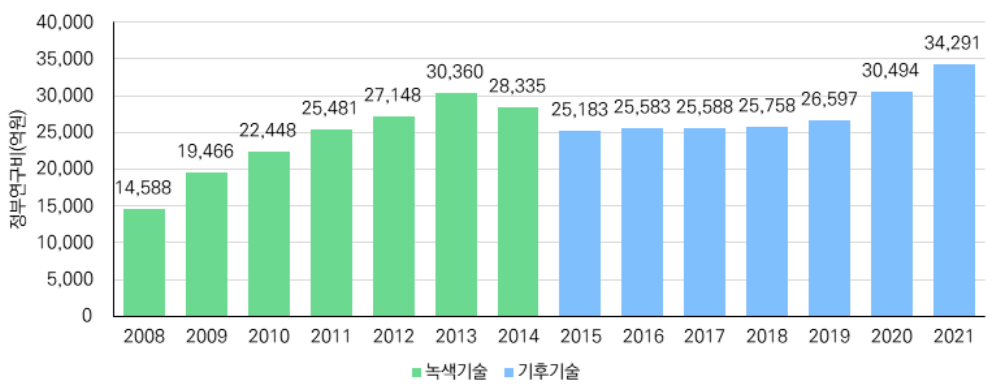
연구개발을 위한 대상기술의 관리체계는 크게 녹색기술*과 기후기술로 녹색기술 분류체계를 통해 2008-2015년까지 관리되었고, 이후 현재까지 기후기술 분류체계(과학기술정보통신부, '17년)에 따라 기술에 연구개발 투자현황 및 성과관리 진행**

* 2008년 발표된 녹색기술 연구개발 종합대책상에 제시된 37대 녹색기술 및 27대 중점녹색기술로 분류체계는 5대 대분류 15개 중분류, 37대 세부기술로 구성

** 글로벌 기후기술협력 촉진을 위한 분류체계로 3대 대분야, 14대 중분류, 45대 세부기술로 구성

- 국가연구개발사업 내 세부과제를 각 분류체계에 따라 분류하고, 각 기술의 R&D 투자 및 그에 따른 성과 현황을 파악
- 녹색기술과 기후기술은 각 분류체계간의 기술범위의 차이는 존재하나, 전체적인 투자현황은 상승세로 파악되며, 특히 녹색기술은 연구개발종합대책 상의 투자계획에 따라 추진

[그림 3-2] 기후변화대응을 위한 기술투자 현황('08-'21)



출처: 녹색기술센터 통계자료 공표결과 기준('13~'22)

4 연구개발 투자 및 성과분석

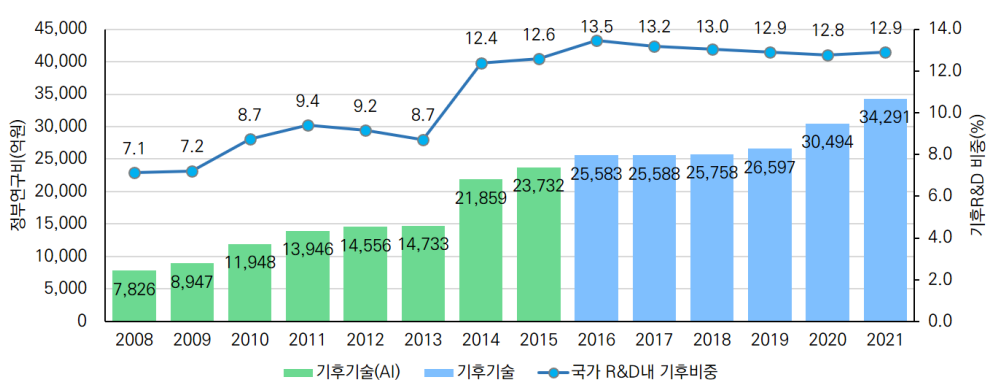
4.1 투자분석 결과

기후변화 대응을 위한 국가연구개발사업의 투자현황은 '08년 정책 수립 당시 7,800억 원으로 시작하여, '21년 현재는 3.4조 원 규모이며, 누적 투자액은 285조 원으로 이는 정부예산의 지속적인 지출규모 확대에 따른 추세로 파악

- AI 모델 적용에 따른 기후 R&D의 연평균 증가율은 12.0%로 국가 R&D 7.0%에 비해 높게 나타났으나, 국가 R&D 내 기후 비중은 최근 5년 간 13% 내외로 유지 중

  ※ 기후변화대응 마스터플랜(2008)년상에 제시된 기후 R&D 투자계획(6,800억 원('08) →1.4조 원('12)상의 투자와 AI예측을 통한 분류결과 값이 비슷한 경향성을 나타냄

[그림 4-1] 기후기술 R&D 투자추이('08-'21)



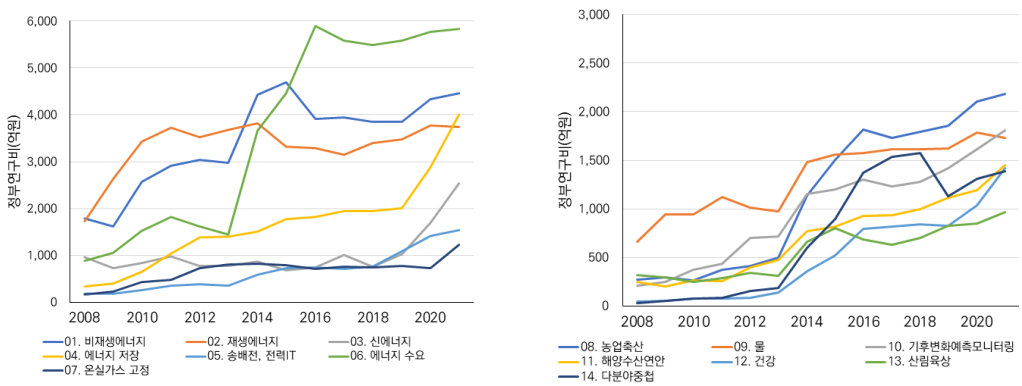
정권 재임 기간 내 투자증가액 기준으로 보면, 이명박 정부(08-14)는 6,907억원, 박근혜 정부(15-17)는 3,729억 원, 문재인 정부(18-21)는 8,500억 원으로 집계

- 이명박 정부의 경우, 녹색기술 R&D 관련 기준년대비 2배 확대라는 구체적인 목표와 당시 녹색성장위원회를 통한 녹색기술에 대한 예산배분(안) 검토절차 등의 작용으로 투자증가율이 높게 나타나는 것으로 해석
- 문재인 정부의 경우, 2020년 이후 법제도 정비를 통해 2050 장기저탄소발전전략, 기후변화대응 기술개발 촉진법 등 예산 투입 근거를 마련하였으나 법제도 정비에 따른 예산 반영 변화는 미정

[기술분야별] 투자규모의 상승세에 따라 각 세부기술들의 추이도 전반적인 증가세이며, 특히 재생에너지, 비재생에너지, 에너지수요, 에너지 저장분야가 상위를 차지

- 투자 초기 당시 재생에너지와 비재생에너지 분야의 투자가 상대적으로 높았고, 중기에 에너지수요 투자의 가파른 증가, 그리고 후기에는 에너지 저장분야의 증가세가 높게 나타남

[그림 4-2] 기후기술 중분류별 투자 추이('08-'21)



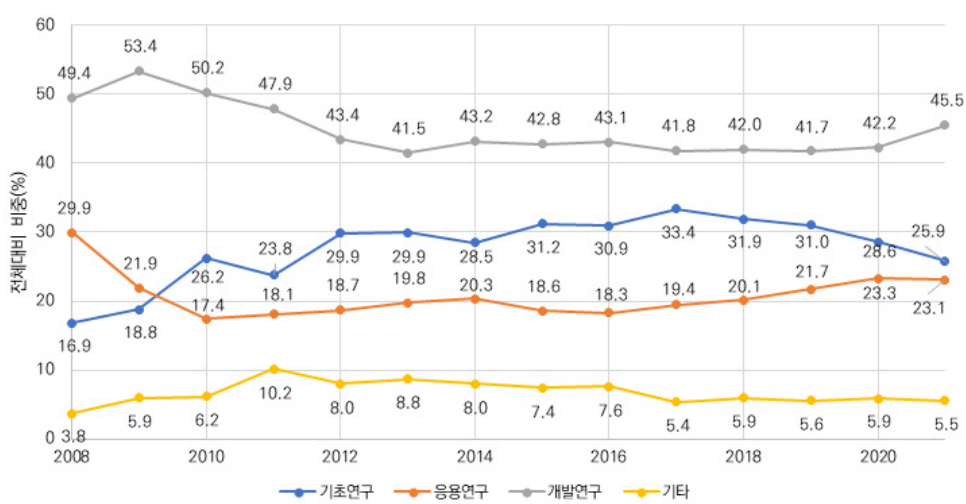
a) 온실가스 감축 분야 b) 기후변화 적응 및 융복합 분야

[연구개발단계별] '08년 초기 16.9%정도로 가장 비중이 낮았으나, 기초연구 비중 확대 전략*에 따라 '17년에는 33.4%까지 올랐었고, 그 후 기술의 성숙도에 따라 낮아지는 추세로 판단

* 기초연구 '12년까지 35% 확대(녹색기술 연구개발종합대책, '08)

- 전반적으로 개발연구가 계속 상위를 차지하고 있으며, '17년 개발연구 비중과 기초연구의 비중 차이가 가장 좁아졌으나, 그 후, 개발연구의 비중이 다시 증가하고 기초연구가 비중이 낮아지는 추세

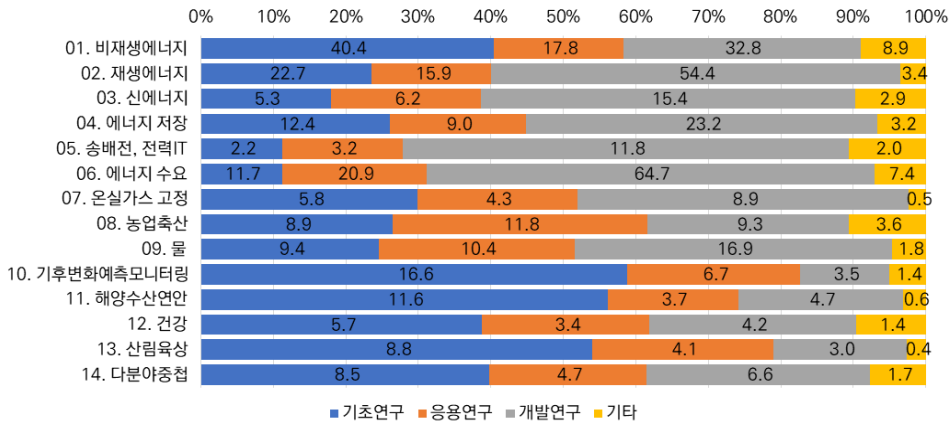
[그림 4-3] 연구개발단계 비중 추이('08-'21)



[기술-연구개발단계별] 기초연구는 비재생에너지, 기후변화예측 및 모니터링 기술, 해양수산연안, 산림육상 등의 기술에서의 비중이 높게 나타났고, 개발연구는 재생에너지, 신에너지. 송배전·전력 IT기술에서 비중이 높게 나타남

- 투자규모로 보면, 기초연구에서는 비재생에너지, 농업축산 순으로 나타났고, 개발연구는 에너지수요, 재생에너지, 농업축산 순으로 나타남

[그림 4-4] 기술-연구개발단계별 투자현황('08-'21)



[부처별] 지난 14년간 기후기술에 투자한 주요 부처로는 산업부와 과기정통부가 전체 투자액의 63.3%를 차지하고 국토교통부, 중소벤처부, 환경부 순으로 나타나며, 부처 특성에 따라 연구개발단계 집중도 상이

- 기초연구분야에는 과기정통부(51.7%), 다부처(56.8%), 해양수산부(48.4%)가 높게 투자했으며, 개발연구에는 산업부(64.3%)와 중기부(96.3%)의 투자 비중이 높음

[표 4-1] 부처별 연구개발단계별 투자현황('08-'21)

구분	기초연구		응용연구		개발연구		기타		합계	비중
	금액	비중	금액	비중	금액	비중	금액	비중		
산업통상자원부	10,431	10.0	19,431	18.6	67,047	64.3	7,332	7.0	104,240	36.5
과기정통부	39,636	51.7	15,288	19.9	15,858	20.7	5,920	7.7	76,701	26.8
국토교통부	1,663	10.4	5,487	34.2	8,583	53.5	297	1.9	16,030	5.6
중소벤처기업부	1	0.0	297	2.0	13,999	96.3	247	1.7	14,543	5.1
환경부	4,203	30.8	2,995	21.9	5,511	40.3	950	7.0	13,658	4.8
해양수산부	6,292	48.4	2,981	22.9	3,459	26.6	276	2.1	13,007	4.6
농촌진흥청	3,524	28.7	4,920	40.1	2,468	20.1	1,355	11.0	12,266	4.3
기상청	2,931	43.9	2,456	36.8	766	11.5	525	7.9	6,678	2.3
산림청	3,320	51.5	1,994	30.9	1,077	16.7	54	0.8	6,447	2.3
다부처	3,247	56.8	455	8.0	1,931	33.8	86	1.5	5,718	2.0
농림축산식품부	815	21.0	1,056	27.2	1,823	46.9	188	4.9	3,883	1.4
보건복지부	844	33.7	400	16.0	967	38.6	293	11.7	2,504	0.9
원자력안전위	491	30.5	466	29.0	557	34.6	94	5.8	1,608	0.6
기타	4,969	58.0	812	9.5	1,419	16.5	1,374	16.0	8,574	3.0
총합계	82,365	28.8	59,040	20.7	125,462	43.9	18,991	6.6	285,858	100.0

* 기타로는 교육부, 행안부, 외교부, 문체부, 경찰청, 방위청, 소방청, 식의약처(청), 질병관리청, 특허청, 해경청, 국무조정실

[부처별-연구수행주체별] 정부 및 연구소(38%)와 기업(36.6%)의 투자비중은 비슷하고 대학(19.2%)은 그 절반 규모로 투자되고 있음

- 정부 및 연구소 중심의 투자는 과기정통부, 해양수산부, 농촌진흥청 등의 비중이 높으며, 기업은 산업부, 중소벤처기업부, 환경부 중심으로, 대학은 기타(교육부), 보건복지부, 농림부 중심으로 집중되고 있음

[표 4-2] 부처별 연구수행주체별 투자현황('08-'21)

구분	정부 및 연구소*		기업**		대학		기타	
	투자	비중	투자	비중	투자	비중	투자	비중
산업통상자원부	15,766	15.1	69,921	67.1	7,679	7.4	10,874	10.4
과기정통부	49,744	64.9	3,273	4.3	22,171	28.9	1,513	2.0
국토교통부	5,882	36.7	3,815	23.8	4,479	27.9	1,854	11.6
중소벤처기업부	313	2.2	13,105	90.1	692	4.8	433	3.0
환경부	2,830	20.7	6,693	49.0	3,596	26.3	539	3.9
해양수산부	8,492	65.3	1,895	14.6	2,196	16.9	425	3.3
농촌진흥청	8,680	70.8	910	7.4	2,452	20.0	224	1.8
기상청	3,852	57.7	248	3.7	1,571	23.5	1,007	15.1
산림청	5,375	83.4	157	2.4	808	12.5	106	1.6
다부처	3,547	62.0	1,432	25.0	653	11.4	87	1.5
농림축산식품부	963	24.8	1,151	29.7	1,514	39.0	254	6.5
보건복지부	797	31.8	554	22.1	998	39.9	154	6.1
원자력안전위	1,066	66.3	79	4.9	455	28.3	8	0.5
기타*	1,226	14.3	1,302	15.2	5,722	66.7	324	3.8
총합계	108,533	38.0	104,536	36.6	54,988	19.2	17,802	6.2

* NTIS 기준상, 정부부처, 국공립연구소, 출연연구소
** 대기업, 중견기업, 중소기업

[기술별 –연구수행주체] 정부 및 연구소 중심의 투자는 비재생에너지, 농업축산, 기후변화예측 및 모니터링, 해양수산연안, 산림육상 분야의 기술로 나타나고, 기업중심의 투자는 재생에너지, 신에너지, 에너지저장 등에서 규모가 높게 나타나며, 대학중심의 투자는 건강과 다분야 중첩이 비중이 높게 나타남

[그림 4-5] 연구수행주체별 기후기술 투자규모 분포('08-'21)

[투자 증가율 및 비중] 투자 점유율과 연평균 증가율을 기준으로 기후기술 중분류 분포를 살펴보면, 비재생에너지(16.9%), 재생에너지(16.3%), 에너지 수요(17.7%) 분야가 전체 투자 대비 절반을 차지하고, 다분야 중첩(36%), 건강(31%), 에너지 저장(21%)분야의 연평균 증가율이 높게 나타남

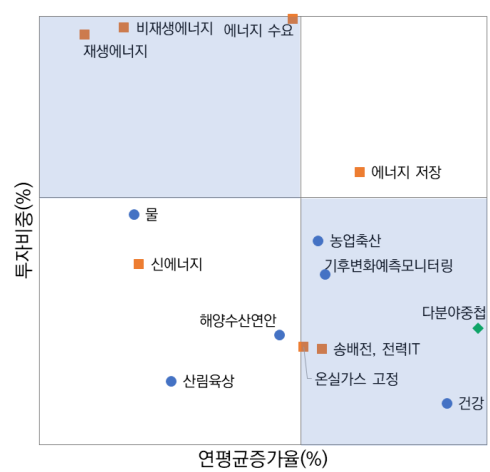
- 감축분야의 투자점유율이 상대적으로 높게 나타나고 있으나, 적응분야와 다분야 중첩 역시 그 증가율은 증가하는 추세
- 연평균 증가율을 각 정부별 시기로 나눠서 살펴보면, 다분야 중첩*의 연평균 증가율은 상대적으로 전기간에 걸쳐 높은 것으로 나타났고, 그 외 이명박 정부에서는 온실가스 고정, 에너지 저장, 박근혜 정부에서는 건강과 에너지 수요, 문재인 정부에서는 신에너지와 송배전 및 전력 IT 분야의 증가율 높은 것으로 분석

  * 인공광합성, 에너지 하베스팅, 미세먼지 등 신규성이 높거나, 타분야 대비 기업참여 정도가 낮은 기초연구 분야임
- 에너지 수요와 에너지 저장 분야는 현재 기후기술 내, 투자 점유율도 높고, 투자의 증가율도 높은 기술분야로 세계적인 에너지 이슈의 중요성과 부합하는 것으로 보임
- 비재생에너지, 재생에너지 등은 투자비중은 높으나 증가율이 낮은 분야로서, '08-'12년도 이후 타 분야 대비 증가율이 낮고, 이후 탄소중립 이슈 부각에 따라 후속 연구기획 등이 추진되고 있는 분야임

[그림 4-6] 시기별, 분야별 투자비중 및 연평균증가율 분포

구분	이명박 정부 (2009~13)	박근혜 정부 (2014~17)	문재인 정부 (2018~21)
비재생에너지	16.6	-3.8	7.6
재생에너지	8.6	-6.1	4.9
신에너지	1.5	5.1	82.0
에너지 저장	36.7	8.8	43.5
송배전, 전력IT	18.5	6.8	42.1
에너지 수요	8.2	15.0	3.1
온실가스 고정	37.0	-2.3	27.9
농업축산	13.6	15.1	10.3
물	0.8	2.8	3.6
예측모니터링	30.0	2.2	19.0
해양수산연안	23.6	6.7	20.5
건강	27.3	31.9	30.1
산림육상	1.4	-1.9	17.2
다분야중첩	36.0	36.5	-5.9
총합계	13.3	5.4	15.4

a) 시기별 연평균 증가율

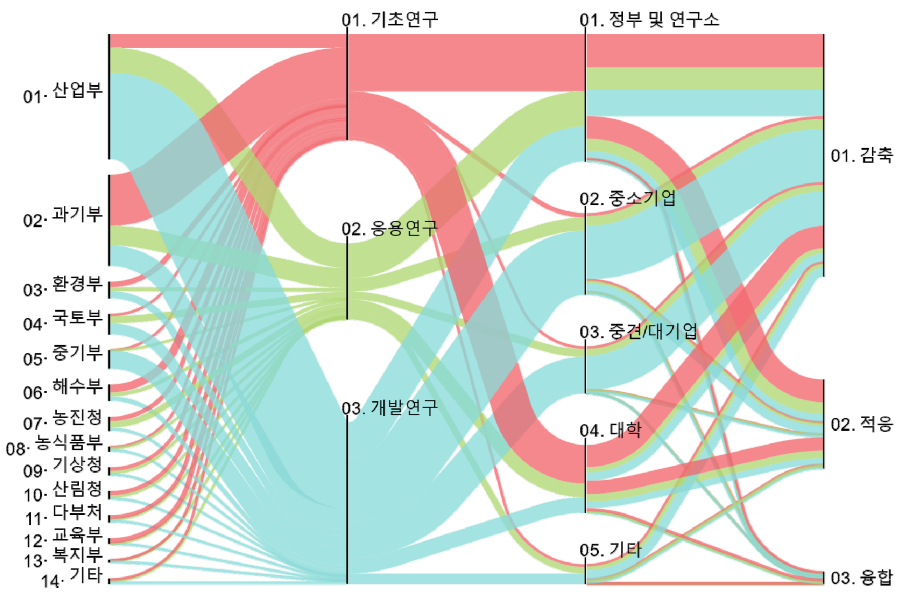


b) 분야별 투자비중 및 연평균증가율 분포

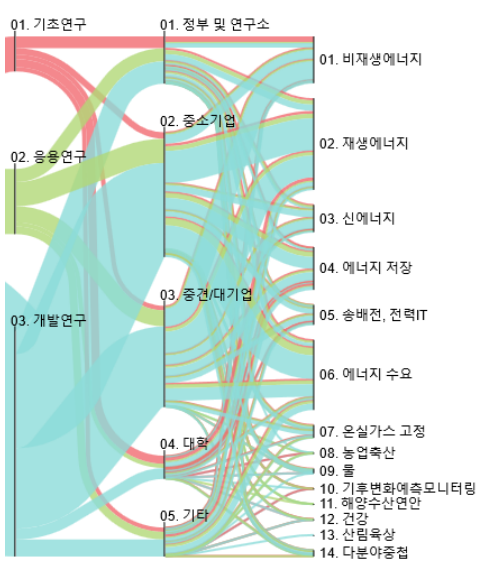
[기후기술 R&D 예산 흐름도] 부처별, 연구개발단계별, 연구수행주체별 예산 흐름도는 다음과 같음

- 산업부는 개발연구를 통해 기업의 재생에너지, 에너지 수요, 저장 부문의 R&D를 수행하고, 과기정통부는 기초연구를 통해 정부 및 연구소와 대학에 투자하여 비재생에너지, 재생에너지 부문 연구를 수행하고 있으며, 그 외 부처들의 경우 적응 부문 연구 전 전분야에 걸친 기초연구를 수행하는데 활용되고 있음

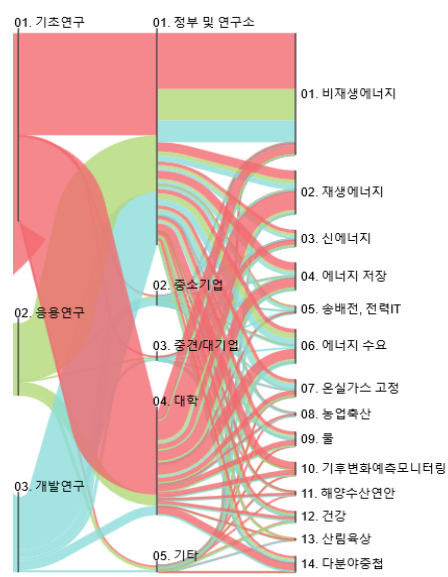
[그림 4-7] 기후기술 R&D 예산 흐름도('08-'21)



a) 2008-2021 연구개발 R&D 예산 흐름도(전체)



b) 산업부 기후기술 R&D 예산 흐름도



c) 과기정통부 기후기술 R&D 예산 흐름도

4.2 성과분석 결과

기후기술 R&D를 통해 2008-2020년 간 발생된 성과를 살펴보면, 정부예산의 지속적인 지출규모에 확대에 따라 R&D 성과 역시 증가추세이며, 실제 국가 R&D 성과 증가폭 대비 다소 높게 나타남

- 기후기술 과제를 통해 발생된 논문 성과는 2008년 대비 현재 20%의 연평균 증가율로 국가R&D 증가율 6%에 비해 3배 이상 높게 나타나며, 특허 역시, 평균 증가율은 33%로 국가 전체 10.9%에 비해 3배 정도 높으며, 점유율 역시 2.3%에서 19.3%로 꾸준히 증가하는 경향으로 나타남

[표 4-3] 논문·특허 성과현황(08-20)

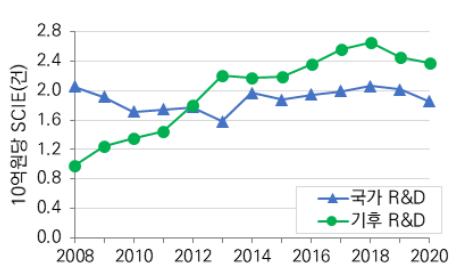
연도	논문			특허		
	국가R&D	기후R&D	기후점유율*	국가R&D	기후R&D	기후점유율*
2008	22,528	773	3.4	6,774	157	2.3
2009	23,771	1,114	4.7	5,202	196	3.8
2010	23,422	1,624	6.9	4,962	393	7.9
2011	25,947	2,027	7.8	8,393	703	8.4
2012	28,279	2,622	9.3	11,735	1,139	9.7
2013	26,739	3,254	12.2	14,876	1,675	11.3
2014	34,688	4,740	13.7	16,426	2,260	13.8
2015	35,329	5,204	14.7	16,533	2,387	14.4
2016	36,949	6,010	16.3	18,313	2,936	16.0
2017	38,551	6,549	17.0	21,350	3,582	16.8
2018	40,787	6,828	16.7	20,828	3,733	17.9
2019	41,509	6,513	15.7	22,029	4,223	19.2
2020	44,222	7,219	16.3	23,375	4,511	19.3
합계	422,722	54,490	12.9	190,793	27,896	14.6
연평균증가율	5.8%	20.5%	-	10.9%	32.3%	-

* 기후점유율 = (기후R&D/국가R&D) × 100

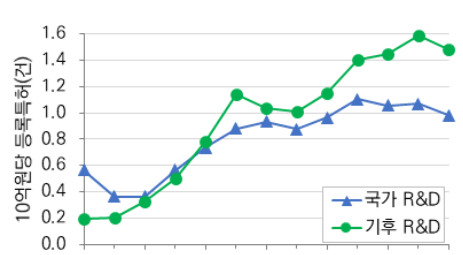
R&D 투자 대비 발생된 성과를 10억 원 당 살펴보면, 국가 R&D 전체로 발생된 성과보다는 기후기술 R&D를 통해 발생된 성과가 투자 초기에는 현저히 낮으나 지속성에서는 논문과 특허 성과가 상대적으로 높음

- 10억 원 당 논문건수는 투자초기 1건에서 20년 기준 2.2건으로 두 배 가까이 상승했으며, 국가 R&D 1.89건에 비해 기후 R&D는 투입대비 성과가 상대적으로 높게 나타남
- 10억 원 당 특허성과 역시 국가 R&D 0.98건에 비해 기후기술의 경우 1.48건으로 성과가 높게 나타남

[그림 4-8] 투자대비 성과건수('08-'20)



a) 국가연구개발 논문 성과 추이

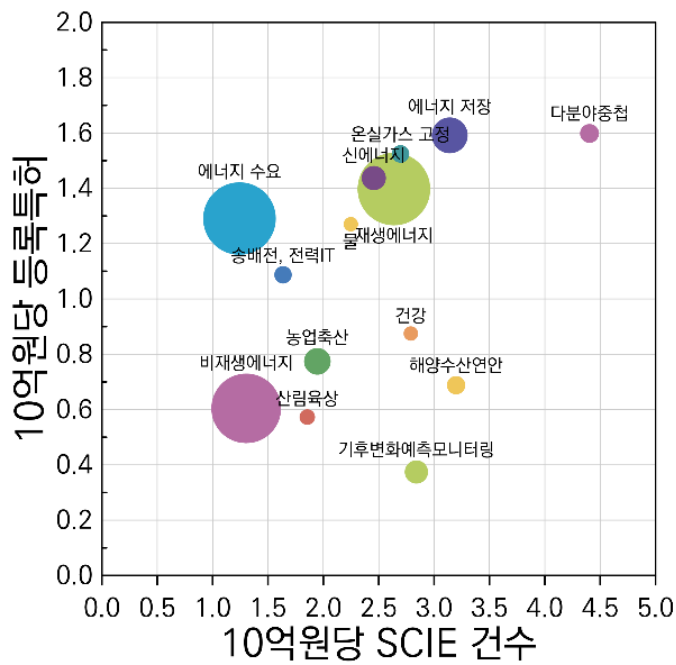


b) 국가연구개발 특허 성과 추이

[논문·특허의 정량적 성과] 다분야 중첩분야인 융복합 분야에서 논문과 특허 모두 성과가 우수하게 나타났으며, 재생에너지 분야가 논문 및 특허 모두 비중과 10억 원 당 성과부분도 높게 나타남

- 10억 원 당 논문성과는 다분야중첩에 4.4건으로 가장 높았으며, 해양수산연안 3.2건, 에너지 저장분야 3.14건 순으로 나타났으며, 반대로 에너지 수요는 1.24건으로 논문이 많이 발생되었으나, 투자대비 성과가 가장 낮게 나타났고, 비재생에너지(1.3건), 산림육상(1.85건) 분야가 그 뒤를 이음
- 10억 원 당 특허성과는 다분야중첩과 에너지 저장이 1.6건으로 가장 높았으며, 온실가스 고정(1.5), 신·재생에너지(1.4건) 순으로 나타났으며, 반대로 예측 및 모니터링(0.4건), 비재생에너지(0.6건) 분야의 성과가 낮게 나타남

[그림 4-9] 분야별 논문·특허 성과 분포



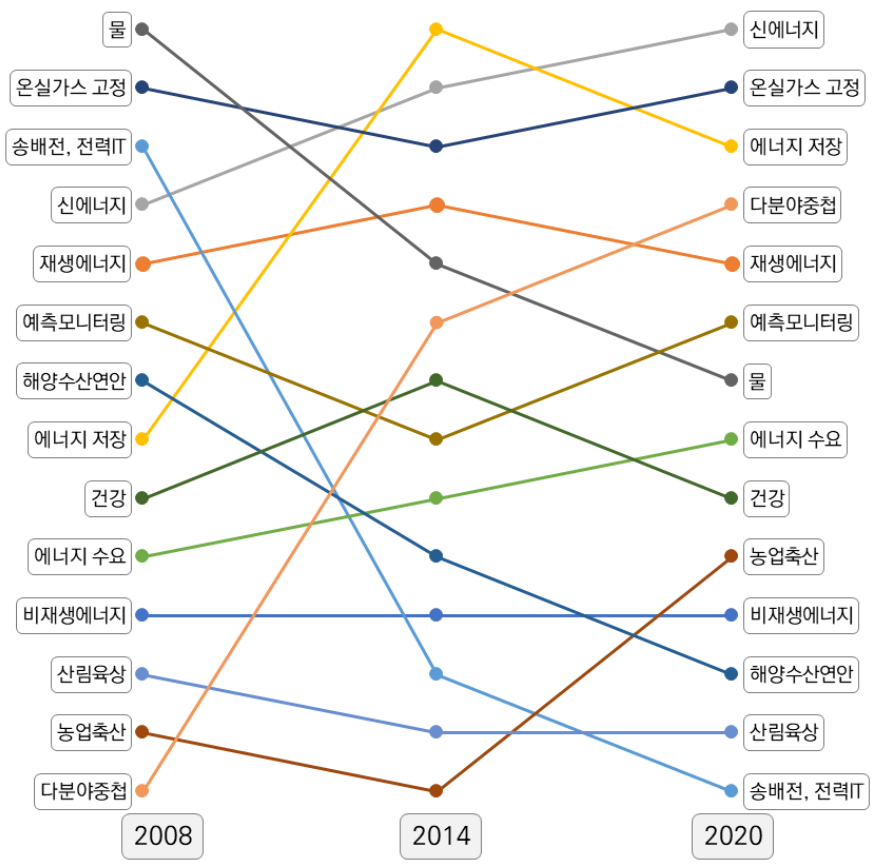
[논문의 정성적 성과] 질적지표인 MrnIF[7] 역시 기후 R&D과제로 발생된 논문은 08-20년까지의 평균은 67.3으로 국가R&D과제로 발생된 전체 평균 64.6보다 높음

- 기후R&D로 발생된 논문의 평균은 '08년 당시 50.6이었으나 '20년 69.8로 국가R&D를 통해 발생된 논문 평균의 상승폭인 12.7보다 19.2로 높게 나타남
- 전체 평균으로는 신에너지 분야의 논문이 74.0으로 가장 높으며, 에너지 저장(73.0), 온실가스 고정(72.5), 재생에너지(71.1) 순으로 나타남

7) 표준화된 순위보정영향력지수(mrnIF):해당 학술지의 학문 분야내 Impact 순위를 0~100점으로 표준화한 값으로 지수 값이 높을수록 해당 분야 내 위상이 높음을 의미

- 투자 초기에는 물분야가 62.7점으로 가장 높았으나, '20년 기준으로는 순위가 하락하였으며, 가장 큰 순위 상승폭은 다분야 중첩으로 '08년 42.0에서 '20년 73.0으로 나타남
  * 질적지표의 순위 변동은 기술간 기초연구 투자 수준에 따라 결정되는 것으로 보이며, 이에 대한 실제 기술개발 여부, 사업화, 기술료 등의 연계정도에 대한 추가 분석이 필요
- 20년 기준 신에너지가 75.9으로 질적지표가 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 온실가스 고정(72.5), 에너지 저장(73.0) 순으로 나타남

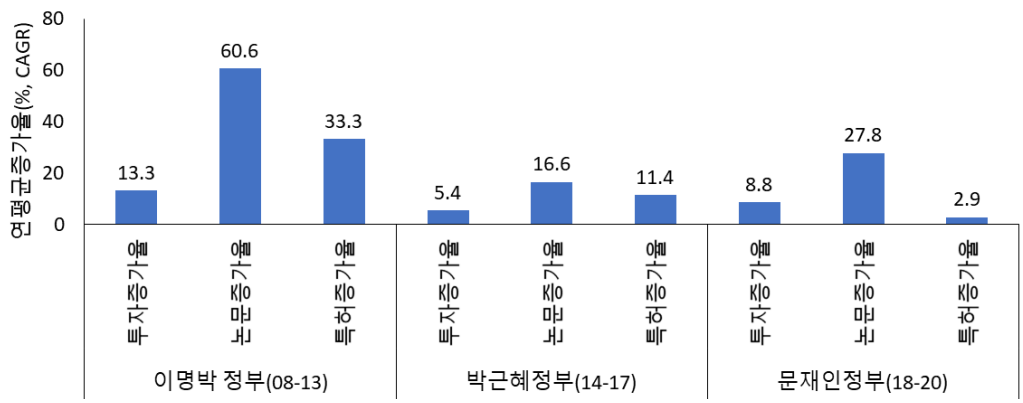
[그림 4-10] 논문성과의 질적지표 순위 변동('08-'21)



[논문·특허 성과 – 정부별 분석] 3대 정부별로 살펴보면, 이명박 정부의 투자, 논문, 특허 성과의 증가율이 가장 높게 나타났으며, 문재인 정부는 투자증가율은 높으나 논문과 특허의 증가율은 다소 낮게 집계

- 이명박 정부시기에는 다분야 중첩의 투자증가율과 농업축산의 논문증가율, 물 분야의 특허 증가율이 높게 나타남
- 박근혜 정부 역시 다분야중첩의 투자증가율과 논문증가율이 가장 높게 나타나고, 건강분야의 특허 증가율이 높게 나타남
- 문재인 정부는 신에너지 분야의 투자증가율이 높게 나타났고, 송배전 및 전력 IT 분야의 논문증가율, 다분야 중첩의 특허 증가율이 높게 나타남

[그림 4-11] 3개 정부별 투자, 성과 연평균 증가율[8)]



연도	투자증가율*			논문증가율*			특허증가율*		
	'09–'13	'14–'17	'18–'20	'09–'13	'14–'17	'18–'20	'09–'13	'14–'17	'18–'20
비재생에너지	16.6	-3.8	7.6	88.4	141.6	6.4	25.4	14.7	14.8
재생에너지	8.6	-6.1	4.9	28.9	55.0	-4.1	95.7	-0.8	10.7
신에너지	1.5	5.1	82.0	20.4	80.9	19.0	66.7	8.2	-4.9
에너지저장	36.7	8.8	43.5	45.8	53.4	0.4	105.4	21.7	11.7
송배전,전력IT	18.5	6.8	42.1	91.2	39.0	28.5	195.7	37.3	11.4
에너지수요	8.2	15.0	3.1	31.4	32.1	-4.7	67.7	28.6	10.6
온실가스고정	37.0	-2.3	27.9	55.0	31.4	2.4	85.6	3.4	9.1
농업축산	13.6	15.1	10.3	57.3	-44.8	9.7	32.3	43.4	7.5
물	0.8	2.8	3.6	10.0	36.8	8.6	75.6	12.9	-4.8
예측모니터링	30.0	2.2	19.0	11.7	60.3	20.5	56.8	11.7	18.1
해양수산연안	23.6	6.7	20.5	27.2	85.5	14.8	71.5	32.7	18.5
건강	27.3	31.9	30.1	10.6	56.8	9.4	58.6	50.4	12.0
산림육상	1.4	-1.9	17.2	-20.5	89.0	22.4	77.1	37.4	18.7
다분야중첩	36.0	36.5	-5.9	7.0	107.7	-20.4	41.2	42.8	21.2
전체	13.3	5.4	15.4	30.8	11.4	2.9	70.9	16.6	9.9

* 연평균증가율[CAGR] = [(마지막년도/시작년도)^(1/기간)-1] × 100

8) 투자대비 증가율 분석을 위해 정부별 예산반영시점을 기준으로 하며 성과년도는 2009년부터 2020년까지 집계되었음

[기술료 및 사업화 성과] 2016-2020년에 발생된 기술료와 사업화 성과를 살펴보면, 국가 R&D 과제를 발생된 전체 기술료와 사업화 성과의 각 18%와 21.6%가 기후 R&D 과제를 통해서 발생되었고, 이는 논문(12.9)과 특허(14.7%)의 발생비중 비중보다는 높은 수준

- 기술료는 2,305억 원으로 에너지수요(578억 원), 재생에너지(443억 원), 비재생에너지(441억 원) 순으로 성과가 발생되었고, 영리법인을 통해 발생된 성과가 3,263건으로 57%를 차지하고 비영리법인은 1,815건으로 32%, 정부는 597건으로 10%를 차지

[그림 4-12] 기술료 성과의 점유율 및 소유기관 분포('16-'20)

a) 기술료(금액) 점유율(16-20)　　b) 개발성과 소유기관(건수, 비중)

- 사업화는 총 31,899건에서 에너지수요 11,202건, 농업축산 6,820건, 물 6,093건 순으로 발생했고, 기술보유자의 직접사업화에 해당하는 상품화를 통한 성과가 21.7.5건으로 68%를 차지하고 공정개선은 6,121건으로 19%차지

[그림 4-13] 사업화 성과의 점유율 및 형태 분포('16-'20)

a) 사업화 건수 점유율(16-20)　　b) 사업화 형태(16-20)

[연수지원 성과] 2016-2020년 사이에 기후기술 연구과제를 통한 연수지원 현황은 학술연수가 2,671명으로 전체 연수지원의 6.4%, 기술연수가 878명으로 4.5%로 나타남

- 학술연수 지원은 단기 국내연수 1,521명(56.9%), 단기 국외연수 865명(32.4%), 장기 국내연수 223명(8.3), 장기 국외연수 62명(2.3%)로 나타나며, 기술연수 지원은 단기 국내연수 532명(60.6%), 단기국외연수 307명(35.0%), 장기국내연수 33명(3.8%), 장기 국외연수 6명(0.7%)으로 나타남

[표 4-4] 연수지원 성과현황('16-'20)

구분			단기		장기		합계
국내·해외구분			국내	국외	국내	국외	
국가R&D	학술 연수	인원수	26,288	11,639	1,734	1,946	41,607
		비중	63.2%	28.0%	4.2%	4.7%	100%
	기술 연수	인원수	16,642	1,548	1,137	148	19,475
		비중	85.5%	7.9%	5.8%	0.8%	100%
기후기술 R&D	학술 연수	인원수	1,521	865	223	62	2,671
		비중	56.9%	32.4%	8.3%	2.3%	100%
	기술 연수	인원수	532	307	33	6	878
		비중	60.6%	35.0%	3.8%	0.7%	100%

[인력양성 성과] 2016-2020년 사이에 기후기술 연구과제를 통한 인력양성 지원현황은 15,520명으로 전체 인력양성의 4.3%로 다른 성과에 비해 차지 비중이 낮음

- 교육부의 경우 박사 851명, 석사 4,838명, 학사 4,115명으로 전체 9,804명의 인력을 양성하였으며, 산업부 4,010명, 과기정통부 1,387명, 해양수산부 195명, 산림청 76명, 중소벤처기업부 48명, 학위별로는 석사가 7,258명, 학사 5,917명, 박사 1,983명, 기타 362명 순으로 분석

[표 4-5] 인력양성 성과현황('16-'20)

구분	사업명	박사	석사	학사	기타	전체
교육부	지역혁신창의인력양성사업	43	528	325	0	896
	BK21플러스사업	808	4,310	3,790	0	8,908
	합계	851	4,838	4,115	0	9,804
산업통상자원부	산업전문인력역량강화	0	7	145	0	152
	에너지인력양성	737	1,542	1,234	345	3,858
	합계	737	1,549	1,379	345	4,010
과학기술정보통신부	SW전문인력역량강화	5	6	0	0	11
	과학기술인력육성지원기반구축	3	6	1	0	10
	이공계전문기술인력양성	58	187	0	0	245
	정보통신기술인력양성	132	305	134	17	588
	지역신산업선도인력양성	15	25	9	0	49
	글로벌핵심인재양성지원	6	3	0	0	9
	정보통신방송혁신인재양성	4	4	1	0	9
	정보통신기술인력양성	110	217	134	0	461
	이공계전문기술·연구인력양성	0	1	4	0	5
	합계	333	754	283	17	1,387
해양수산부	수산전문인력양성	19	39	17	0	75
	해양수산기술지역특성화	29	25	50	0	104
	해양청정에너지기술개발	1	8	7	0	16
	합계	49	72	74	0	195
산림청	산림융복합전문인력양성	13	15	48	0	76
중소벤처기업부	산업전문인력역량강화	0	17	8	0	25
	중소기업연구인력지원	0	13	10	0	23
	합계	0	30	18	0	48
총합		1,983	7,258	5,917	362	15,520

5 결론

5.1 분석요약

기후변화대응에 대한 R&D분석을 위해 AI를 활용하여 그간의 투자에 대한 장기시계열 DB를 구축함으로 그간의 연구개발에 대한 투자·성과분석을 시도

- 기존 녹색기술 관리체계에 따른 분석 시, 전체 녹색·기후기술 전체에 대한 분석은 용이하나, 각 기술별 트렌드를 파악하고 그에 따른 성과분석에 어려움이 있어, AI를 활용하여 기후기술을 새로이 분류함
- 또한 성과측정을 위해 NTIS에서 제공하는 양적인 지표뿐만 아니라, 논문의 질적분석을 위해 새로이 구축한 MrnIF DB를 통해서 기술별 비교분석을 실시하며, 기후변화대응 연구개발에 대한 첫 장기투자·성과분석을 수행

분석 결과, 국가 R&D 투자 흐름과 마찬가지로 기후기술 R&D의 투자와 성과는 꾸준한 증가추세로, 연평균 증가율이 12%로 국가 R&D 증가율에 비해 높으며, 그에 따른 성과도 우수한 것으로 평가

- 투자는 지속적으로 증가세이나, 국가R&D 전체 투자에서의 비중은 13% 내외로 유지하는 중으로 기후변화대응을 위한 투자의 의지가 특별히 증가하는 것으로 판단되기는 어려움
- 반면에 기후R&D 과제를 통한 성과의 증가율은 논문, 특허, 기술료, 사업화 등의 부문에서 모두 높게 나타나며, 특히 투자대비 성과 발생건수의 차이 역시 하반기로 갈수록 차이가 늘어나는 경향성

기술별 분석 결과는 투자가 높은 분야, 즉 에너지 수요, 에너지 저장, 재생에너지 등이 성과 또한 높게 나타나고 있으며, 투자대비 성과로는 다분야 중첩이 특징적으로 뛰어나게 높은 것으로 평가

- 다분야 중첩의 경우, 융복합을 통한 연구과제로 현재까지는 투자규모는 미미하지만, 이를 통한 성과는 논문과 특허, 그 질적 지표 등에 까지 우수

3대 정부별 기후기술 투자-성과현황을 살펴본 결과 전반적으로 이명박 정부('08-'12년)의 투자증가율 및 성과증가율이 다소 높은 것으로 분석되었으며 구체적인 정책목표와 적극적인 R&D 예산배분으로 평가

본 연구의 한계로는 기후R&D의 성과평가를 과제의 생산성에 중점을 둔 분석에만 그친것이며, 앞으로 연구가 더 진행된다면, 기술별 투자규모 등의 적절성을 평가 할 수 있는 효용성 분석(DEA, SFA 등)이 필요

- 또한 연구개발의 성과를 논문과 특허 등의 양적인 성과로만 집계하는 것은 '왜 기후기술 R&D가 필요한 것인가'의 관점에서 본다면 약한 인과관계로 실제로는 기술개발을 통한 온실가스 감축효과의 측정이 더 적절하나, 기초연구의 실제 기술개발-사업화-온실가스 감축 경로 간 복잡성으로 인해 분석의 한계가 존재

5.2 제언 및 시사점

기후변화 대응의 핵심 방안으로 정부는 관련 기술개발을 위한 R&D투자를 지속적으로 확장해왔으며, 3번의 정부변화에 따른 10여년이 지난 지금, 투자 효율성 제고를 위한 성과분석을 통한 평가가 필요한 시점

- 하지만 기후기술의 정부투자의 당위성이 실제로 민간에서 자발적인 투자가 어려운 현실이 반영된 만큼, 단순한 투자확대로 인한 결과만을 바라보기에는 어려움 존재

중장기적 성과평가를 통해 그간의 한계점을 돌아보고, 역대 정부별 투자전략에 따른 실제 이행정도의 분석 및 관련분야 R&D의 체계적인 전략 마련 필요

- 그간 투자의 기준이 산업형 산출물 기준으로 형성되어 성과물 위주의 투자규모가 산정되고 있으며, 기초기술 부문의 연구개발은 독창성과 창의성을 위주로 투자해야 기술수준을 선도

기후변화 대응을 위한 정책 및 제도의 고도화는 세계적인 추세로, 한국 또한 다양한 법적·제도적 기반을 마련함에 국제사회와 발맞추기 위한 비교검증 노력 필요

- 기후기술에 대한 신기술 분야 발생 정도, 전문기관 별 분류체계 간 호환성 등을 고려한 지속적인 정책 추진기반 개선이 필요하며 국내외 다양한 기준을 토대로 국내 기후 R&D가 어느 정도 투자/달성되고 있는지를 비교함으로써 정책적으로 우선적인 투자가 이뤄져야 하는지 등 검토

국가연구개발사업에 대한 역량 진단을 통해 현재의 기술개발이 실제 누구를 위한 기술인지, 어떤 연구를 통해 최종 수요자에게 기술개발의 혜택이 주어질 것인지 등에 대한 명확한 분석 필요

- 해당 기술을 개발하거나 실용화할 수 있도록 하는 연계하는 인적 자원과 같은 인프라에 대한 투자도 연구개발에 대한 투자만큼 중요하며 특히 개발과정 효율화 및 성과 검증을 위한 기반 기초기술, 측정평가기술, 데이터 구축, 빅데이터 기반의 기술타당성 검증자료 구축을 위한 노력 필요
- 국내 기후기술 관련 통계의 활용이 가시화되도록 통계를 기반으로 한 정책결정 조항 신설이나, 통계결과를 기반으로 한 기후 연구과제의 구성 및 수행 필요

그간 추진된 기후기술에 대한 R&D 내실화 및 작성된 통계정보 기반의 정책제언 등을 통해 정량화된 수치에 대한 정성적 의견 청취 분석 필요[9)]

- (원천기술의 확산) 기초기술 부문의 연구개발은 독창성과 창의성을 위주로 투자해야 기술수준을 선도할 수 있지만, 산발적인 아이디어 경쟁보다는 정교하게 계획된 연구개발 투자가 필요하며, 시장 전개 가능성보다는 미래 기술 확보 차원에서 선제적이고 지속적인 연구개발 투자 체계 고도화
- (융복합 기술 활성화) 현재는 단일 기술의 중요도 및 이슈에 따른 기술 투자규모 산출이 추진되고 있으며, 주요기술 간 협력-연계기술인 복합기술 개발에 대한 검토 수행
- (국제협력 활성화) 국가 간 정보공유를 위한 국제협력 아젠다 발굴 노력, 패러다임 전환을 위한 신기술의 선진국 협력 사업 기획, 분야별 융합 협력사업 등의 신규 개발

9) 국내 기후기술 R&D 내실화 및 국제확산을 위한 정책 제언 도출을 위한 기후기술 분야 전문가 31인 대상 설문조사 결과(GTC, 2021) 요약

- (조직적 연구개발) 국내 산업환경은 온실가스 다배출 사업자인 대기업의 후방기술 기술력은 우수하지만 온실가스의 개발, 활용, 저감량 검증, 전방기술 기술력과 배출량 저감량 인증 등 공공영역에서의 검증능력이 매우 부족한 상태로 공공주도 또는 대형 연구개발 사업 추진
- (소통체계 개선) 자원 할당 우선순위 결정 단계에서 현재와 같이 일부의 기술전문가보다는 시민/비영리 단체 등의 폭넓은 의견을 수렴하는 기회와 창구가 필요

투자 초기만 하더라도, 녹색에 성장이라는 용어를 포함하는 유인책이 반영되어도, 고비용의 기후기술의 투자에는 민간 스스로는 어려웠고, 그래서 더욱더 마중물 역할을 위해 정부의 역할이 강조되어야만 했음

하지만 현재는 기후가 1도 오르는지, 1.5도 오르느냐의 과학적 분쟁이 아닌, 현재 일어나고 있는 기후위기에 민간과 정부, 시민사회 모두의 참여를 통해 총력전을 기울여야 시점

- 기후위기가 뉴노멀이 되는 시점에서 세계전력소비 1위 기업 삼성전자도 RE100 이티셔티브 가입을 포함해 혁신기술을 통해 직·간접적인 탄소배출 제로(0)화 선언 등 실질적인 기후행동 시작

새로 출범된 정부의 키워드인 '체감하는 과학기술'이 그 전략으로 빛을 발할 때로, 기후위기를 해결해서 국민들이 과학기술을 통한 혜택이 체감되는 R&D설계의 고도화가 필요

- 특히 「기후변화대응 기술개발 촉진법」('21.4.20. 제정 및 '21.10.21. 시행) 에 따른 기후변화대응 기술개발 기본계획이 현재 수립 중으로 그간의 투자를 고려한 체계적인 R&D 설계가 기대됨
- 기후변화대응 기술개발을 통해 온실가스의 감축과 기후변화 적응이라는 정책목표를 성공적으로 실현하고, 이에 완전한 탄소중립국으로 도약하기를 기대

참고문헌

1) NTIS. “국가과학기술지식정보시스템 R&D 과제/성과 정보”. https://www.ntis.go.kr/rndgate/eg/onedata/dataList.do (2022년 8월 17일 기준)

2) Ripple, W. J., et al. “World scientists’ warning of a climate emergency 2021”. BioScience, 71(9), 894–898, 2021.

3) OECD. Korea's Green Growth Strategy. Mitigating Climate Change and Developing New Growth Engines. OECD Economics Department Working Papers, 2010.

4) 과학기술정보통신부. “탄소중립 기술혁신 추진전략 수립”. 과학기술정보통신부, 2021.

5) 관계부처 합동. “2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략(안)”. 과학기술관계장관회의, 2021.

6) 관계부처 합동. “2050 탄소중립 추진전략”. 제22차 비상경제 중앙대책본부회의, 2021.

7) 관계부처 합동. “2050장기저탄소발전전략: 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략”. 대한민국 정부, 2020.

8) 관계부처 합동. “기후변화 대응 국가연구개발 중장기 마스터플랜”. 기후변화대책위원회, 2008.

9) 관계부처 합동. “기후변화대응 핵심기술 개발전략”. 국가과학기술자문회의, 2014.

10) 관계부처 합동. “기후변화대응과 신산업 창출을 위한 청정에너지기술 발전전략(안)”. 국가과학기술심의회 운영위원회, 2016.

11) 관계부처 합동. “기후변화대응기술 확보 로드맵(CTR)(안)”. 국가과학기술심의회 운영위원회, 2016.

12) 관계부처 합동. “녹색기술 연구개발종합대책”. 국가과학기술위원회, 2009.

13) 관계부처 합동. “중점녹색기술개발과 상용화 전략(안)”. 녹색성장위원회, 2009.

14) 구글 트렌드. https://trends.google.co.kr/trends/?geo=KR (2022년 8월 14일 검색)

15) 녹색기술센터. “2021 기후기술 국가연구개발사업 조사·분석 보고서”. 녹색기술센터, 2022.

16) 녹색성장위원회. “녹색성장 국가전략”. 녹색성장위원회, 2009.

17) 이경수 & 유지영. “탄소중립 중점기술(안): 탄소중립 실현을 위한 연구개발투자 중점기술”. 국가과학기술자문회의 탄소중립기술특별위원회, 2021.

18) 주경원, 이관수, 이성만, 최안준, 노건태 & 천지영. “연구개발정보 문헌 자동분류를 위한 자연어 처리 딥러닝 모델 개발: 기후기술 분류체계를 중심으로”. 「전자공학회논문지」 제59권 제7호, 2022.

19) 탄소중립기본법. “기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(법률 제 18469호, 2021. 9. 24 제정)”. 국가법령정보센터, 2021.

GTC 녹색기술센터
GREEN TECHNOLOGY CENTER

04554 서울특별시 중구 퇴계로173
남산스퀘어 빌딩 17층
Tel. 02.3393.3900
Fax. 02.3393.3919~20
www.gtck.re.kr

* 본 GTC FOCUS의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 센터의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.