

ISSN 2983-4406(온라인)
ISSN 2983-2330(인쇄본)



2024
Vol.1 No.1

NIGT FOCUS

우리나라와 독일의 기후변화 대응 R&D 정책 및 프로그램 비교분석

: 독일의 에너지 연구 프로그램을 중심으로

하수진, 전은진, 조민선, 유영재

C O N T E N T S

Chapter	1	서론	2
	1.1	배경 및 필요성	2
	1.2	분석 범위 및 방법론	3
Chapter	2	탄소중립 R&D 정책	5
	2.1	한국의 주요 탄소중립 R&D 정책	5
	2.2	독일의 주요 탄소중립 R&D 정책	9
	2.3	소결	13
Chapter	3	탄소중립 R&D 투자 및 사업	15
	3.1	한국의 R&D 투자 현황 및 주요 R&D 사업	15
	3.2	독일의 R&D 투자 현황 및 주요 R&D 사업	19
	3.3	소결	26
Chapter	4	최신 탄소중립 R&D 정책 동향	27
	4.1	기후변화대응 기술개발 기본계획의 연구개발	27
	4.2	독일의 제8차 에너지 연구 프로그램	32
	4.3	소결	37
Chapter	5	요약 및 결론	39
	5.1	요약 비교	39
	5.2	결론 및 시사점	41

Chapter 1

서론

1.1 배경 및 필요성

● 독일은 제조업 비중이 높은 산업구조에도 불구하고 기후변화 대응 정책을 적극 추진하고 있으며, 「연방기후보호법」 및 「기후변화적응법」을 제정하는 등 제도적 기반을 강화하는 움직임

- 앙겔라 메르켈 전 총리는 2011년 발생한 일본의 후쿠시마 원전 사고 이후에, 기존의 원전 지지 의견을 철회하고 탈화력·탈원전을 도모하는 '에너지 전환(Energiewende)' 정책으로 선회
- 올라프 숄츠 총리로 정권교체 이후, 연방경제에너지부(BMWi)를 연방경제기후보호부(BMWK)로¹⁾ 명칭을 변경하고 녹색당 당수인 로베르트 하베크를 장관(연방 부총리 겸임)으로 임명하는 등 온실가스 감축에 적극 대응
- 2050 탄소중립 목표를 명시한 「연방기후보호법(Bundes-Klimaschutzgesetz, KSG)」을 헌법재판소에서 미래 세대의 자유권 침해 이유로 위헌임을 판시하여 기후중립 목표를 더욱 강화하는 방향으로 개정²⁾
 - 현재 판결을 계기로 기존 기후중립 목표연도를 5년 앞당긴 '2045 기후중립' 목표를 제시
- 2023년 7월에는 「기후변화적응법(Klimaanpassungsgesetz, KAnG)」를 제정하여, 연방주정부 및 지방자치 단체에 기후변화 적응 전략과 대응 의무를 부과하는 법적 근거도 마련

● 제도적 기반 강화 이외에도, 「에너지 연구 프로그램」과 「지속가능한 발전을 위한 연구」 등 연구개발 전략을 통해서 적극적인 기술 확보 노력을 경주

- 에너지 전환 정책 추진 초기에서부터 재생에너지 비중을 높일 때 발생할 수 있는 문제점에 대해서 다각적으로 고찰하였으며, 관련한 문제에 대응할 수 있는 연구개발에 주력
 - 「에너지 연구 프로그램(Energieforschungsprogramm)」은 온실가스 감축 및 에너지 인프라의 회복력 확보, 「지속가능한 발전을 위한 연구(FONA-Strategie, FONA)」는 온실가스 감축 및 적응 전반을 포괄
 - 상기 연구개발 전략은 BMWK와 연방교육연구부(BMBF)에서³⁾ 각각 주관하고 있음

1) BMWK: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

2) 김영수(2021), 독일 연방 기후보호법의 분석 및 2021년 3월 24일자 연방헌법재판소의 동 법률 일부 위헌결정과 그 후속 논의, 法學論文集, 45(2), p161-205.

3) BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung

● 최근 독일은 임무지향적 혁신 정책을 새롭게 적용한 「제8차 에너지 연구 프로그램」을 발표

- 현행 「제8차 에너지 연구 프로그램」은 기후변화 대응이라는 난제에 효율적으로 대응하기 위한 목적에서 기존의 기술 분야 단위 정책이 아닌 임무지향적 혁신 정책(Mission-Oriented Innovation Policy, MOIP) 방식을 채택
- 이에 더해 러시아-우크라이나 전쟁, 미-중 패권 전쟁 등의 지정학적 위기를 고려하고, 적응과의 연계 이슈(에너지 인프라 회복력 확보)도 함께 다루고 있는 점이 지난 정책들과 크게 차이를 두는 사항

● 우리나라도 독일과 유사하게 제조업 비중이 높은 산업구조로 되어 있고 기후변화 대응 기술 확보에 주력하는 국가인 점을 고려하여, 본 포커스에서는 독일의 최신 연구개발 정책을 비교·분석하여 시사점을 제시

1.2 분석 범위 및 방법론

● (분석 범위) 독일 「제8차 에너지 연구 프로그램」과 이에 상응하는 우리나라의 R&D 정책, 관련 투자 현황과 주요 R&D 사업으로 분석 범위를 설정

- (R&D 정책) 기술혁신 분야에서 「제8차 에너지 연구 프로그램」이 차지하는 의미와 위상을 비교 분석한 이후, 이에 상응하는 우리나라의 R&D 전략을* 선정
 - * 제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획 등
- (R&D 투자) 독일 에너지 연구 연방보고서(Bundesbericht Energieforschung)에⁴⁾ 수록된 R&D 투자 금액 및 우리나라 기후기술 분야 국가연구개발사업 조사분석 상의 R&D 투자 금액 비교
- (R&D 사업) 독일의 「제8차 에너지 연구 프로그램」 관련 주요 R&D 사업⁵⁾ 및 이에 상응하는 우리나라의 신규 R&D 사업*을 선정
 - * 그린수소기술자립프로젝트, 미래수소원천기술개발사업, DACU 원천기술개발사업 등

● (분석 방법) 한국과 독일 양국의 온실가스 감축 R&D 분야 관련 정책, 투자, 주요 사업의 내용을 비교·분석

- (정책) 정책의 연혁 등 개요, 추진체계, 임무·과제 구성 및 주요 기술개발 내용 등 분석
- (R&D 투자) 최근 5년간의 R&D 투자 총액 및 주제별-분야별 연구개발 투자 변화 추이를 분석
- (주요 R&D 사업) 주요 R&D 사업 및 유관 사업의 주요 내용을 분석
 - * (독일) 수소 플래그십 프로젝트, IPCEI 수소, NAMOSYN, CO2WIN, Carbon2Chem 등
 - (우리나라) 한국형 탄소중립 100대 핵심기술, 국가 중점연구실, 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵 등

4) 「에너지 연구 프로그램」의 투명성 확보의 조치로 매년 발간되는 연차보고서

5) 연구 이니셔티브의 하위 시책으로 거론되는 프로젝트, FONA 내 조치 등 우리나라의 세부 사업에 준하는 규모로 운영될 때는 사업 간 비교분석 대상으로 선정

[그림 1-1] 한국과 독일의 기후변화 대응 R&D 정책 동향 분석 범위 및 방법론

독일 「제8차 에너지 연구 프로그램」 및 이에 상응하는 한국의 R&D 정책, 투자, 주요 사업을 비교 분석

[정책] 한국과 독일의 주요 탄소중립 R&D 정책 분석

- ✓ 기술 혁신 분야에서 에너지 연구 프로그램의 의미/위상 비교분석하고, 이에 상응하는 우리나라 R&D 전략 선정

정책의 연혁 등 개요, 추진체계, 임무과제 구성 및 주요 기술개발 내용 등 분석

(한) 제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획

(독) 제8차 에너지 연구 프로그램

[투자] 한국과 독일의 탄소중립 R&D 투자 현황 분석

- ✓ 한국의 기후기술 분야 R&D 투자 금액과 독일의 R&D 투자 금액 비교

최근 5년 간 R&D 투자 총액 및 주제 별-분야 별 연구개발 투자 변화 추이 분석

(한) 기후기술 분야 국가연구개발사업

(독) 에너지 연방 연구보고서

[사업] 한국과 독일의 주요 탄소중립 R&D 사업 분석

- ✓ 독일8차 에너지 연구 프로그램 관련 주요 R&D 사업과 이에 상응하는 우리나라 신규 R&D 사업 선정

주요 R&D 사업 및 유관 사업의 주요 내용을 분석

(한) 한국형 탄소중립 100대 핵심기술, 국가중점연구실, 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵 등

(독) 수소 플래그십 프로젝트, IPCEI 수소, NAMOSYN, CO2WIN, Carbon2Chem 등

한국과 독일의 기후변화 대응 최신 탄소중립 연구개발 정책 동향 비교분석

Chapter 2

탄소중립 R&D 정책

2.1 한국의 주요 탄소중립 R&D 정책

2.1.1. 개요

● (상위계획) 「기후변화 대응 기술개발 촉진법」 제정 후 「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획」이 기후변화 대응 R&D 최상위 계획으로서 수립(‘22)⁶⁾

- 상기 계획 이전에는, 2020년 10월 탄소중립을 선언 이후 제정된 「탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」 및 「제5차 과학기술기본계획」 등을 토대로 기후변화 대응 R&D 정책을 추진하였음
- 2023년 발표된 「탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」은 「탄소중립·녹색성장 기본법」⁸⁾ 제7조에 따라 수립된 2050 탄소중립 달성을 위한 국가 장기 전략임
 - 4대 전략 중 첫 번째 전략은 기후변화 대응 R&D 과제를 주로 포함하고 있으며, 두 번째 전략에서는 한국형 100대 핵심기술 도출을 통한 분야별 R&D 로드맵 수립을 추진 방향 중 하나로 설정
 - 중장기 감축 목표로 2030년까지 온실가스 총 436.6백만 톤(40%)을 제시하고, 10개의 감축 부문을 설정⁹⁾¹⁰⁾

[표 2-1] 「제5차 과학기술기본계획」 내 이행계획 연계 현황

담당 부처	이행계획 현황
과기부	• 기후변화대응 기술개발 기본계획(‘23~’32), 원자력진흥종합계획(‘22~’26), 핵융합에너지 개발 진흥 기본계획(‘22~’26)
산업부	• 에너지기술개발계획(‘19~’28), 신재생에너지 기본계획(‘20~’34), 친환경자동차 기본계획(‘21~’25)
국토부	• 건축정책기본계획(‘21~’25)
환경부	• 환경기술 환경산업 환경기술인력 육성계획(‘23~’27), 물관리기술 발전 및 물산업 진흥 기본계획(‘24~’28)
기상청	• 기상업무발전 기본계획(‘23~’27)
산림청	• 산림과학기술 기본계획(‘18~’27)

※ 출처: 과기정통부(2022)

6) 관계부처 합동(2023), 「탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」

7) 과학기술정보통신부(2022), 「제5차 과학기술기본계획 2023~2027」

8) 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」으로 '21년 제정

9) 10개 부문: 전환, 산업, 건물, 수송, 농축수산, 폐기물, 수소, 흡수원, CCUS, 국제감축

10) 탄소중립 정책포털(Website), <https://www.gihoo.or.kr/menu.es?mid=a30201000000>

- 「제5차 과학기술기본계획」에서는 과학기술 기반 국가적 현안 해결 및 미래 대응이라는 전략을 토대로 한 첫 번째 과제로써 탄소중립을 제시
 - 본 계획은 「과학기술기본법」 제7조에 따른 과학기술 분야 최상위 계획이며, 향후 5년간의 정책 방향을 제시
 - R&D 부문에서는 무탄소 기술 기반 친환경 에너지 전환 및 주력 산업의 저탄소화를 목표
 - 새롭게 임무 중심의 R&D 혁신 체계를 도입하고 이를 탄소중립 R&D에 우선 적용한 점이 특징
- 기후변화 대응 장기 계획으로 「2050년 장기 저탄소 발전전략(’20)」 및 「제3차 기후변화 적응 강화대책(’23)」, R&D 전략으로 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」 등을 수립¹¹⁾¹²⁾
- 이후 제정된 「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획(’23~’32)」은 「기후변화 대응 기술개발 촉진법」의 법정 계획이자 기후변화 대응 R&D 최상위 계획으로서 국가 기후기술 R&D 방향성을 제시하고 있음
 - 「녹색기술 연구개발 종합대책(’09)」 이후 최초로 감축과 적응 전반을 포괄하여 R&D 방향성을 제시하였다는 점에서 의의가 있음

● (R&D 추진체계) NDC 달성을 위하여 탄소중립 R&D를 신속하게 착수하도록 탄소중립녹색성장위원회와 국가과학기술자문회의의 간 유기적 연계를 통해 국가 연구개발 추진체계를 확보¹³⁾

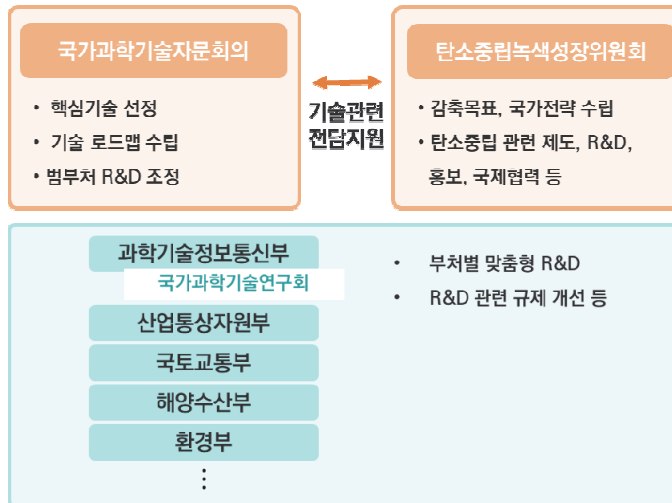
- 에너지 연구개발은 과기정통부, 산업부, 국토부 등 관계부처가 맞춤형 R&D 전략을 수립 및 투자하며, 「탄소중립 녹색성장 기술 혁신 전략」에 포함되어 해당 전략의 추진체계를 따름
 - 국가과학기술자문회의는 핵심기술을 선정하여 기술로드맵을 수립하며, 범부처 R&D 조정 등을 담당
 - 탄소중립녹색성장위원회는 감축 목표 및 국가전략을 수립하며 관련 이행 정책, R&D, 홍보, 국제협력 등 수행
 - ※ 국가과학기술자문회의와 탄소중립녹색성장위원회는 모두 대통령 직속 기관이며, 국가과학기술자문회의장은 대통령, 탄소중립 녹색성장위원회의 위원장은 국무총리임
- 기술혁신 로드맵에 따라 과기정통부, 산업부, 국토부 등에서 부처 맞춤형 에너지 연구 사업을 기획 및 수행하며, 연구개발 관련 규제개선 등 참여

11) KIER 기술정책(2021), 「기후변화대응 기술개발 촉진법」의 주요 내용 및 시사점

12) 우리나라는 '08~'09년부터 시작된 기후변화대응 정책의 태동기부터 「기후변화 대응 국가연구개발 중장기 마스터플랜(’08)」, 「기후변화대응 핵심기술 개발 전략(’14)」, 「기후변화대응기술 확보 로드맵(’16)」 및 「탄소중립 기술혁신 추진전략(’21)」 등의 전략을 수립

13) 관계부처 합동(2022), 「탄소중립 녹색성장 기술 혁신 전략」

[그림 2-1] 우리나라 에너지 연구 추진체계

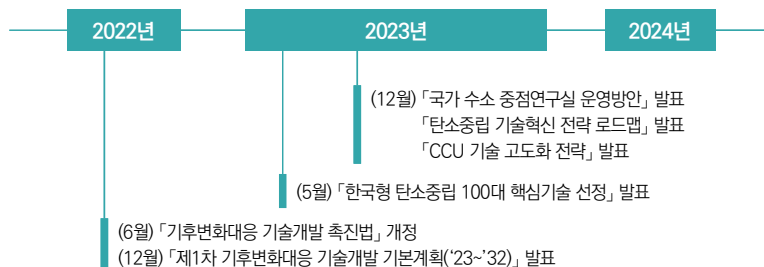


※ 출처: 관계부처 합동(2022)을 기반으로 저자 작성

④ (유관 정책) 탄소중립 분야 전방을 조망하여 기술 범위를 특정한 후 「중점기술 분야별 전략 로드맵」을 수립하고 있으며, 이외 수소, CCU 등 주요 기술에 특화된 R&D 전략 또한 별도로 수립·추진 중

- 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정 이후 17대 중점분야별로 「탄소중립 기술혁신 전략 로드맵」을 수립하고 있으며, 최근 탄소중립 선박, 제로에너지건물, 태양광 등 3개 분야에 대한 전략로드맵을 발표
- 「국가 수소 중점연구실 운영방안」, 「CCU 기술 고도화 전략」 등 주요 기술별로 특화 전략 제시

[그림 2-2] 한국 「기후변화대응 기술개발 촉진법」 수립 이후의 유관 정책 수립 현황



● (한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정) 국내 여건을 고려하여, 국가 차원에서 조망한 핵심기술을 선정¹⁴⁾

- 「탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략」의 R&D 관련된 주요 조치로 추진됨
- 원자력 분야를 추가하여 총 40개 기술 분야를 선정하고, 중점 기술 분야를 구체화하여 100대 핵심기술을 선정

● (국가 수소 중점연구실 운영방안) 최종 목표는 2030년 기준 MW급 수전해 국산화¹⁵⁾

- 청정수소 생산기술 국산화를 통한 경제성 확보 목적으로 중점연구실 운영, R&D 역량 결집, 기업 협력을 추진
- 세부 운영 계획에는 2030년 가압형 10MW 대용 알카라인 수전해, 수 MW급 저가고내구성 PEM 수전해, 차세대 수전해(SOEC, AEM 수전해) 및 LOHC 등 유망 기술의 선제적 확보 내용 등을 포함

● (탄소중립 기술혁신 전략로드맵 - 탄소중립 선박, 제로에너지 건물, 태양광 분야) 국내외 정책변화에 대응이 시급한 3개 분야를 선정하고 전략 수립을 추진¹⁶⁾

- (탄소중립 선박) 2030년 기준으로 무탄소 선박을 사용하고 친환경 선박 기자재 국산화율 90% 이상을 목표¹⁷⁾
- (제로에너지건물) 2030년까지 건물 부문의 온실가스 배출량을 2018년 대비 30% 이상 감축하는 것이 목표이며, 특히 적정 비용의 관리 기술에 집중
- (태양광) 발전효율을 높여 경제성을 확보함으로써 차세대 시장 선점을 위한 선도적 기술개발이 목표

● (이산화탄소 포집활용(CCU) 기술 고도화 전략) 조기 상용화 및 국제 규제 대응할 수 있는 기술 고도화가 목표¹⁸⁾

- CCU 기술 조기 상용화를 통한 2030 NDC 달성 및 탄소중립 산업경쟁력 확보를 비전으로, '30년 사용 사례 창출과 국제 규제에 대응할 수 있는 CCU 실증 및 기술 고도화를 목표
- 추진 전략을 크게 4가지 1) 주력 기술에 대한 4대 권역별 CCU 플래그십 프로젝트(예타) 추진, 2) 산업 전략기술 육성을 위해 만관 공동 투자 지원, 취약 산업 전략기술 경쟁력 확보, 3) 미래혁신기술 확보를 위한 도전적 맞춤형 R&D 추진 및 국책 연구출연(연) 연계 강화, 4) 차세대 신산업 확산 촉진을 위해 법·제도 개선 및 인증 기반 마련으로 구분

14) 관계부처 합동(2022), *ibid.*

15) 과학기술정보통신부(2023), 「국가 수소 중점연구실 운영방안」

16) 과학기술정보통신부(Website), <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=238&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3183850>

17) 정책브리핑(Website), <https://korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148923926>

18) 과학기술정보통신부(Website), *op. cit.*

2.2 독일의 주요 탄소중립 R&D 정책

2.2.1. 개요

● 「에너지 연구 프로그램」은 독일의 기술혁신 분야 최상위 계획을 실현하는 하위 시책 중, 온실가스 감축 분야를 총괄하는 R&D 정책에 해당

- 앙겔라 메르켈 재임기의 기술혁신 분야 최상위 정책인 「하이테크 전략(Hightech Strategie)」에서 기후보호 및 에너지 관련 부문의 주요한 정책으로 거론
- 현재 솔츠 총리 내각의 기술혁신 분야 최상위 정책은 「연구혁신 미래전략(Zukunftsstrategie Forschung und Innovation)」이며, 하위 시책 중 「에너지 연구 프로그램」은 순환 경제 및 기후보호 분야에 해당¹⁹⁾
 - 「하이테크 전략」이 「연구혁신 미래전략」으로 재편되었으며, 기존과 같이 연구·혁신·지속가능성에 중요성을 두고 있지만 기후변화 대응에 더욱 야심찬 목표를 세우고 추진
- 「하이테크 전략」, 「연구혁신 미래전략」 등 상위 R&D 전략에서 기후변화 대응과 에너지 전환이 강조되고 있으며, 이와 함께 「에너지 연구 프로그램」은 독일 R&D 전략의 핵심 이니셔티브

● 「에너지 연구 프로그램」의 대상 기술 분야는 시대에서 요구하는 흐름에 따라 지속해서 변경

- 1977년부터 40여 년이 지난 시간 동안 해당 프로그램을 통해 에너지 정책을 지원하였으며, 2023년 11월 「제8차 에너지 연구 프로그램」이 발표·추진 중
- 초기에는 석탄, 원자력 에너지 기술 등 현행 프로그램에서는 다루지 않는 기술 분야 포괄²⁰⁾
 - 오일쇼크 직후 수립되었던 「제1차 에너지 연구 프로그램」에서는 '합리적인 에너지 이용, 석탄 기술, 신 에너지원, 원자력 에너지' 등 4대 중점분야를 선정²¹⁾
- 「제6차 에너지 연구 프로그램」에서부터는 원자력 에너지에 관한 내용은 제외되고,²²⁾²³⁾ 원자력 안전만 포함
 - 2024년 BMBF 예산요구안의 에너지 연구 관련 항목인 '재생에너지 및 에너지 효율 분야의 응용 단계 에너지 R&D 지원'에서도 대상이 '비원자력 에너지 기술 전체 영역'임을 언급²⁴⁾
- 「제8차 에너지 연구 프로그램」의 2024년 신규 과제에서는 원자력 에너지 기술이 제외되고,²⁵⁾ 「Fusion 2040」 발표를 통해 핵융합 기술은 새롭게 추가²⁶⁾

19) BMBF(2023), Strategien und strategieähnliche Maßnahmen im Rahmen der Zukunftsstrategie Forschung und Innovation.

20) BMWi(2017), Energieforschungsprogramm der Bundesregierung 1977 – 2017

21) 「제1차 에너지 연구 프로그램」은 1970년대 발생한 석유 위기 대응책으로 시행되었으며, 1990년대는 기후변화, 2000년대 후반에는 재생에너지 확산과 에너지 전환, 2011년 후쿠시마 원전 사고, 2015년 파리협정 등 당시의 시급한 에너지 문제를 반영

22) BMWi(2011), 6th Energy Research Programme of the Federal Government

23) BMWi(2018), 7th Energy Research Programme of the Federal Government

24) BMWK(Website), <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Ministerium/haushalt-2024.html>

25) BMWK(2024a), Förderbekanntmachung zur angewandten Energieforschung im Rahmen des 8. Energieforschungsprogramms

26) BMWK(2024b), Förderprogramm Fusion 2040

● **현재 「제8차 에너지 연구 프로그램」은 「기후보호계획 2050」²⁷⁾ 및 「기후보호프로그램 2030」과²⁸⁾ 같은 독일의 대표적 탄소중립 정책을 기반으로 에너지 및 기후 관련된 주요 조치로 수행**

- 2018년 제7차부터 현재의 「제8차 에너지 연구 프로그램」은 에너지 전환을 앞당기기 위한 시장으로 기술이전 가속화 및 응용 중심의 연구를 강화하는 방향으로 개편²⁹⁾
 - 응용 중심 연구를 강화하는 조치로써 특히 '에너지 전환의 실제 실험실(Reallabore der Energiewende)'³⁰⁾ 연구를 긴밀히 연계
 - 상기와 함께, 에너지 전환(에너지 효율과 재생에너지 사용)과 생산(특히 태양광과 풍력), 시스템 통합(전력망, 저장소, 섹터 커플링) 및 전환 관련 시스템(디지털화와 자원 효율) 등을 포괄

● **(R&D 추진체계) 「에너지 연구 프로그램」은 BMWK가 주무부처로 추진하지만, 정책 환경에 따라 협력 부처는 변동되는 경향이 있음³¹⁾**

- BMWK는 에너지 연구 추진 관련 정부 부처 및 국제기관을 비롯한 관계기관과의 협력과 투명성 관리 등을 총괄
- 프로젝트와 지원 기관은 TRL 및 전문 분야 등 담당 부처의 특성을 고려하여 분담 운영하나, 2024년부터는 정책적 상황의 변화에 따라 「제8차 에너지 연구 프로그램」에서 관계부처의 역할이 일부 변동·축소³²⁾
 - 기존과 같이 BMBF는 기초연구(TRL 1~3), BMWK는 상용화 연구(TRL 3~9)를 분담하되, BMBF는 핵융합을 위한 새로운 자금 지원 프로그램 「Fusion 2040」을 발표
 - 「제7차 에너지 연구 프로그램」 협력 부처인 연방식품농업부(BMEL)와³³⁾ 연방환경·자연보전·원자력 안전·소비자보호부(BMUV)는³⁴⁾ 러-우 전쟁, 원자력 에너지 사용의 종료 등 정책 환경 변화로 더 이상 「에너지 연구 프로그램」에 협력하지 않음
- 상기 추진체계는 정부의 정책 목표와 개별적 연구개발 사업 혹은 정책 수단 간 일관성 있는 운영을 위함
 - 추진체계 수립의 핵심 목적은 3가지는 1) 연구 프로그램 목표에 대한 명료한 정의 및 전략적 학습을 위한 목표 조정, 2) 적합한 지원 및 총괄 기구 선정 및 연구 활동 우선순위 선정을 통한 성과 최적화, 3) 연구 성과에 대한 이행, 정기 모니터링 및 평가
 - 기후 중립적이고 탄력성있는 에너지시스템 구축을 위해서 정책과 연구의 사회과학적 통합과 조율을 거듭 강조
 - 또한, 에너지-기후-산업 정책의 전략적 체계를 고려한 '학습형' 연구 프로그램 관점의 연구 활동 목표 설정과 이를 위한 추진체계 수립에 노력

27) 2050년 기후중립 목표 실현을 구체화하고 추가 대책 마련을 위한 장기 전략

28) 「기후보호계획 2050」에 명시된 배출 감축 목표를 달성하기 위한 중간 목표 및 구체적인 실행계획

29) BMWK(2023a), 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten energieforschung

30) 실제 실험실(Reallabore, Living Lab)은 실제 조건에서 산업적 규모의 기술적 및 비기술적 혁신을 테스트하는 방식

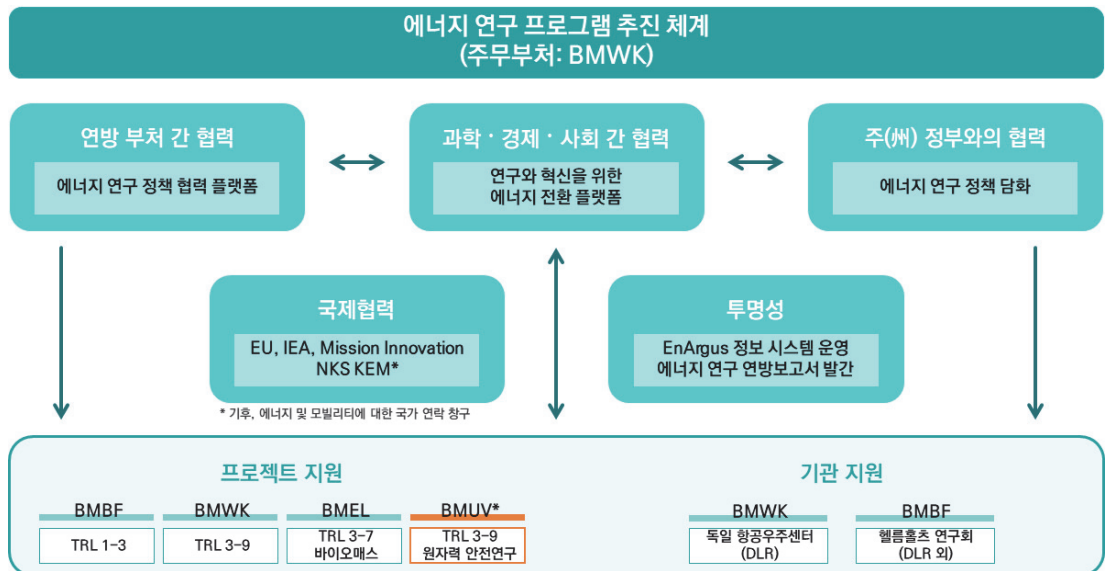
31) BMWK(2023a), *op. cit.*

32) BMWK(2024c), Bundesbericht Energieforschung 2024

33) BMEL: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

34) BMUV: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

[그림 2-3] 「에너지 연구 프로그램」 R&D 추진체계 (2023년까지)



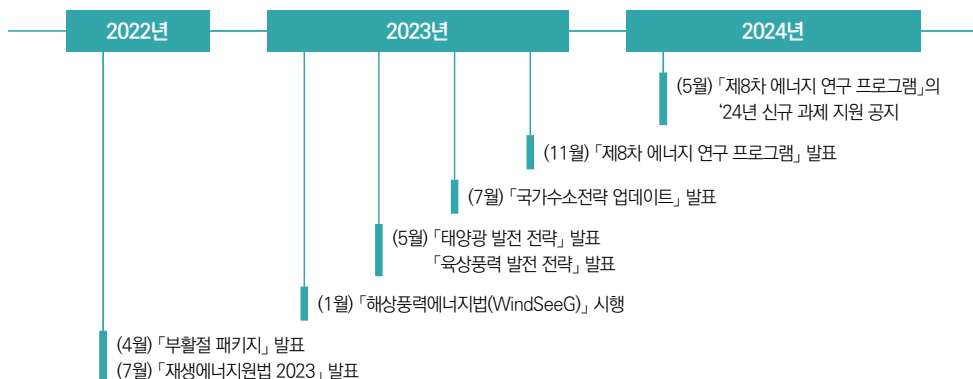
* 제7차 에너지연구 프로그램(2018) 이후, 2023년 발표된 연방에너지 연구보고서에서 추가

※ 출처: BMWK(2023a), BMWK(2024c)

2.2.2 유관 정책

- (유관 정책) 독일에서도 「에너지 연구 프로그램」과 병행하여, 수소·태양광·육상풍력 등에 대한 별도의 세부 전략을 수립·시행 중

[그림 2-4] 독일의 유관 정책 현황



- (태양광 발전 전략) 새로운 「재생에너지원법(EEG) 2023」에 따른 태양광 발전 목표를 달성하려는 조치의 일환
 - 2030년까지 215GW의 태양광 발전 용량 설치 목표를 설정하였으며, 이는 2022년 기준 7GW 수준이었던 연간 태양광 발전 용량을 몇 년 안에 22GW로 3배 이상 확대를 의미
 - R&D 관련 조치는 '기술개발의 발전' 부분이며, 차세대 태양전지로 다중접합 태양전지와 건축 환경에 적용하기 위한 태양전지(지붕, 파사드, 소음 차단벽, 철도역 지붕 등)에 주로 초점³⁵⁾
- (육상풍력 에너지 전략) 2030년까지 약 115GW 설비 설치, 매년 10GW 확장을 계획³⁶⁾
 - 본 전략은 특히 1) 풍력에너지에 대한 최고 수준의 최첨단 기술 보유, 2) 기업의 투자 안전과 경제적 성공을 위한 프레임워크 제공, 3) 에너지 전환에 대한 이해관계자의 의지에 집중
 - R&D 관련 조치에서는 기존 대규모 실증을 계속 지원할 뿐만 아니라 향후 부문 간 결합, 수용성, 발전소의 친환경적 설치해체, 순환 및 재활용성 등 변화하는 시스템 환경에 대한 기술적 해법에 초점을 두고 지원할 계획

35) BMWK(2023b), Photovoltaik-Strategie

36) BMWK(2023c), Windenergie-an-Land-Strategie

● (국가수소전략 업데이트) 연정 합의(21.10)³⁷⁾와 러-우 전쟁에 따른 에너지 시장 변화에 대응하고 에너지 안보를 확보하기 위해, 기존의 전략을 업데이트³⁸⁾

- 독일에 장기 지속 가능하며 기후 중립적인 수소 공급하고 경제적, 생태적, 사회적 수소 생산·운송·활용, 수소 파생 상품과 응용 기술에 대한 자침임
- 2030년까지 국가 전력 확대 목표를 5GW에서 최소 10GW로 2배 확대, 인프라 개발 가속화 등을 통하여 독일을 수소 기술 선도 시장으로 만드는 목표를 설정

2.3 소결

● (대상 범위) 독일의 「에너지 연구 프로그램」은 온실가스 감축 분야에 주안점을 둔 반면, 우리나라의 「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획」은 감축과 적응 모두를 포괄

- 이러한 대상 범위의 차이는 독일의 에너지 연구 프로그램은 오일쇼크 이후의 에너지 안보 위기에 대응하기 위한 목적에서 수립되었기 때문에 본질적으로는 에너지 R&D 정책이었던 배경에서 기인
- 국제적으로 기후변화 대응의 중요성이 강조되면서 에너지 연구 프로그램이 온실가스 감축 대응에 초점을 두게 되었으며, 최근 「제8차 에너지 연구 프로그램」에서는 에너지 부문의 회복력 확보를 위해 일부 적응의 개념을 도입
- 우리나라는 관련 법률인 「기후변화대응 기술개발 촉진법」 상에서 감축과 적응 모두를 포괄하고 있으며, 법정 계획인 제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획에서도 감축과 적응을 동등한 비중으로 다루고 있음
 - ※ 독일과 마찬가지로 적응 부문에서 에너지 및 사회기반시설에 대한 대응 기술을 포괄

● (정책구조) 독일은 오일쇼크 이후 현재에 이르기까지 「에너지 연구 프로그램」의 틀을 유지하면서 세부 기술 단위의 별도의 연구개발 전략을 수립하는 구조지만, 우리나라는 최근 정책 구조상의 변동 폭이 큰 편

- 2008년부터 수립된 「기후변화 대응 국가 R&D 중장기 마스터플랜(‘08)」과 「녹색기술 연구개발 종합대책(‘09)」 이후 「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획(‘22)」 이전까지는 기후기술 혹은 감축·적응 부문을 대상으로 전반적인 방향성을 제시하는 연구개발계획은 부재
 - 「기후변화 대응 기술 확보 로드맵(‘16)」 이전까지는 하위 계획 단위에서 일부 기술 분야에만 초점을 둔 연구개발 전략들이 수립
 - ※ 기후변화 대응 핵심기술 개발 전략(2014) 등

37) 앙겔라 메르켈 총리 당시, 사회민주당, 녹색당, 자유민주당의 차기 정부 연정은 국가수소전략에 '아심 찬 업데이트'를 합의하였고, 이에 재생에너지 비율을 65%에서 85%로 대폭 상향하기로 함

38) BMWK(2023d), Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie

● **(추진체계)** 한국과 독일 모두 주무부처를 중심으로 관계부처가 협동하는 체계를 이루고 있으나, 우리나라는 관련 탄소중립 R&D 정책을 수립할 시 국가과학기술자문회의와 탄소중립녹색성장위원회 등 대통령 직속 위원회의의 심의의결을 포함

- 독일은 연방경제기후보호부(BMWK)가 응용단계 연구개발을 전담하는 동시에 주무부처로서 대내외 소통 플랫폼 및 투명성 확보 체계를 운영
 - ※ 에너지 연구 프로그램의 이행 모니터링과 함께, 전략적 학습에 초점을 맞춘 목표 조정 등 수행
 - 독일은 연구개발단계(BMBF) 및 일부 연관 분야(BMEL, BMUV) 기준으로 필요에 따라 협조부처를 포함하며, 에너지 연구 정책 협력 플랫폼을 통해 부처 간 협의 및 소통 통로를 유지
- 우리나라는 「기후변화대응 기술개발 촉진법」의 소관 부처로서 과학기술정보통신부가 기본계획 내 전체적인 방향성 제시 및 협의체 운영 등의 역할을 수행하고 있으나, 과제별로 소관부처가 명확하게 구분되어 추진되는 경향
 - 정책 수립/추진 과정에서 과학기술 분야 최상위 심의 기구인 국가과학기술자문회의와 탄소중립/녹색성장 분야 최상위 심의 기구인 탄소중립녹색성장위원회 간 공조가 수행

● **(유관 계획)** 최근 독일은 수소, 태양광, 육상풍력 기술에 특화된 세부 기술별 전략을 발표하였으며, 우리나라는 17대 중점분야 전체를 대상으로 한 전략 로드맵 이외에도 수소, CCU 기술을 대상으로 전략들이 별도로 발표

- 별도의 기술 전략 발표는 정부가 해당 시의성 있는 대응책 마련이 필요하다고 판단한 결과물이므로 국가적으로 중요한 기술 분야라고 추정할 수 있음
 - 위의 사항을 고려하면, 독일은 최근 수소, 태양광, 육상풍력 분야를 강조하고 있으며, 우리나라의 경우 수소, CCU 분야 기술 확보를 위해 노력하고 있는 것으로 해석 가능
- 우리나라와 독일 간 차이가 있는 분야는 육상풍력과 CCU 기술로 볼 수 있는데, 우리나라는 독일만큼 풍부한 풍력 자원을 가지고 있지 않으며 주민 수용성 이슈가 제기되고 있기에 본격적인 보급 확산에는 다소 한계가 있는 상황
- 독일은 과거 이산화탄소 지중 저장에 대한 반발과 탈원전·탈화력 정책으로 인해 CCUS 기술개발 및 확산에는 추동력에 한계가 있는 상황이었음
 - 최근 산업 등 온실가스 감축이 어려운 부문을 지원하기 위한 대안으로서 CCUS 기술의 중요성이 재평가되고 있으나, 아직 관련 연구개발 전략은 공표하지 않은 상태

Chapter 3

탄소중립 R&D 투자 및 사업

3.1 한국의 R&D 투자 현황 및 주요 R&D 사업

3.1.1 한국의 R&D 투자 현황³⁹⁾

● 2018년에서 2023년까지 최근 6년간 기후기술 분야 국가연구개발 사업 투자는 지속해서 증가

- 국가연구개발 사업은 크게 감축과 적응 분야로 나뉘며, 감축 분야는 5개 주제로 구분됨
※ 5개 연구 주제: 1) 에너지 생산, 2) 연원료 대체, 3) 에너지 효율, 4) 온실가스 처리, 5) 에너지 융복합
- 2018년부터 2023년까지 최근 6년 동안 감축 분야에 대한 투자는 지속해서 증가하였으며,* 적응 분야 투자 비중 또한 지속적 증가**

* 1조 7,148억 원('18) → 1조 7,974억 원('19) → 2조 947억 원('20) → 2조 3,854억 원('21) → 2조 9,072억 원('22) → 3조 352억 원('23)

** 68.5%('18) → 68.9%('19) → 69.5%('20) → 70.3%('21) → 74.4%('22) → 76.9%('23)

● 감축 분야 투자 중, '에너지 생산', '에너지 효율' 및 '연·원료 대체' 부문에 대한 투자 증가

- 특히 2020년부터 '에너지 생산', '에너지 효율', '연·원료 대체' 부문에 대한 증가 폭이 확대되었으며, '온실가스 처리' 부문은 2021년부터 대폭 증가*

* 에너지 생산: 9,214억 원('20) → 9,715억 원('21) → 1조 0,611억 원('22) → 9,227억 원('23)

에너지 효율: 7,630억 원('20) → 8,259억 원('21) → 9,762억 원('22) → 1조 2,763억 원('23)

연·원료 대체: 1,717억 원('20) → 2,812억 원('21) → 4,666억 원('22) → 4,612억 원('23)

온실가스 처리: 1,358억 원('21) → 2,004억 원('22) → 1,881억 원('23)

- 그러나 2023년의 경우, '에너지 생산' 및 '온실가스 처리' 부문이 감소한 만큼 '에너지 효율' 증가
- 전년 대비 투자 증가 폭의 경우, '에너지 생산'은 2020년, '에너지 효율'과 '연·원료 대체' 부문은 2022년, '온실가스 처리 부문'은 2021년에 가장 크며, 특히 '연·원료 대체'는 2020년부터 지속해서 대폭 증가*

* 에너지 생산: 1,523억 원, 19.80%('20)

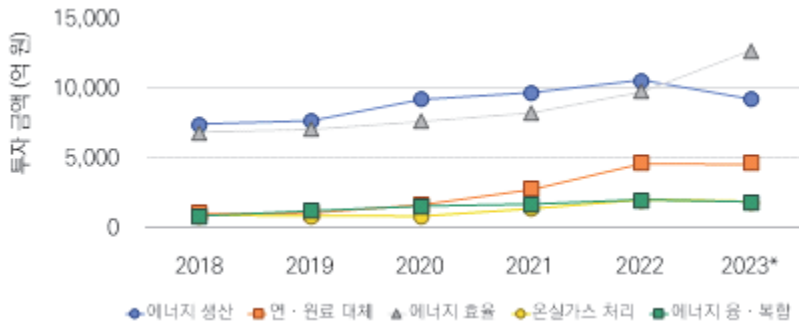
에너지 효율: 1,503억 원, 18.19%('22)

온실가스 처리: 543억 원, 66.71%('21)

연·원료 대체: 579억 원, 50.92%('20) → 1,095억 원, 63.74%('21) → 1,855억 원, 65.96%('22)

39) 안세진 외(2023), 기후기술 국가연구개발사업 투자현황분석(2018~2022), NIGT BRIEF, 국가녹색기술연구소.

[그림 3-1] 감축 분야 부문별 투자 추이



*2023년 투자 금액 : 추정치(2023년도 9월 말 기준 NTIS 실시간 다운로드, AI 적용을 통해 추산하여 참고로만 활용)

※ 출처: 안세진 외(2023)

2022년 기준 감축 부문 투자 분석 결과, 수소 기술 및 CO₂ 관련 기술 분야 투자 증가

- 투자 확대의 원인은 2019년부터 지속해서 발표된 수소 관련 정책에 기인한 수소 관련 기술에 대한 투자 증가
 - 2022년 연·원료 대체 부문의 수소 기술에 대한 투자 금액은 약 3,274억 원으로, 전체 투자금 대비 비중이 가장 크고 연평균 성장률 역시 53.9%로 가장 큼
 - 에너지 생산 부문에서도 수소/암모니아 발전에 대한 2020년 투자 금액(약 1,271억 원)이 전년 대비 90.97% 증가하였고, 2022년에는 약 2,273억 원의 투자 금액으로 전년 대비 29.1% 증가
 - 에너지 생산, 연·원료 대체 부문의 부문별 전년 대비 2022년 증가액이 가장 큰 세부 기술은 수소/암모니아 발전(약 512억 원), 수소 기술(약 1,154억 원) 분야임
 - 2019년 「수소경제 활성화 로드맵」을 시작으로 「수소 기술개발 로드맵」, 「수소법」⁴⁰⁾ 등 국가 정책과 전략 수립의 이행으로 인한 수소 분야 투자 증가로 해석
- 온실가스 처리 부문의 투자 현황 분석 결과, CCUS 기술 분야의 전년 대비 투자 금액(약 438억 원)이 가장 큰 폭으로 증가하였고, 전년 대비 증가율(약 112.3%)은 탄소흡수원 분야가 가장 큼
 - 온실가스 처리 부문의 경우 2020년까지 감소 추세를 보이다가 2021년부터 다시 증가 추세
 - 이는 2020년 10월 탄소중립 선언과 함께, 같은 해 12월 발표된 「2050 탄소중립 추진 전략」 이행으로 인한 영향으로 해석

2023년 기준 에너지 효율 전체 분야 및 에너지 생산 부문 중 일부의 투자는 증가하였으나, 일부 분야는 투자 감소

- 2023년 기준 전년 대비 수소 기술 및 CCUS 기술 분야의 투자는 감소하였으나, 2021년 대비 여전히 높은 수준
- 에너지 효율 부문의 세부 기술 분야인 발전효율, 산업 효율, 수송 효율, 건물 효율 분야 투자 증가
- 에너지 생산 부문의 전체 투자 규모는 감소하였으나,* 해양에너지, 수력, 지열, 바이오에너지 등 일부는 투자 증가
 - *수소/암모니아 발전 기술, 원자력 기술 분야 감소
- 연·원료 대체 부문의 수소 기술 분야는 감소하였으나, 폐자원 기술 분야는 증가

40) 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」

3.1.2 주요 R&D 사업⁴¹⁾

❶ 과기정통부는 원천기술개발사업을 통해 기후-에너지 분야 중에서도 수소와 CCUS 등에 집중

- (수소) 수소 기술 분야에서도 청정수소 생산 수전해 기술 자립화 및 초격차 실현을 위한 차세대 유망 기술 선제적 확보를 추진하기 위해 수소 생산 및 저장을 중심으로 세부 사업을 시행
- (CCUS) 탄소 활용 기술 실증 확대를 위한 차세대 공기 중 이산화탄소 직접 포집(Direct Air Capture, DAC) 기술의 개발을 추진하고 있으며, DACU(Direct Air Capture & Utilization) 및 CCU 원천기술 개발에 집중

❷ (그린수소기술자립프로젝트) 그린수소 생산기술 국산화를 통해 자립형 수소경제를 구현하고 글로벌 수출산업화를 지향하는 임무 중심 R&D (*24년 신규, 34억 원)

- (알카라인 수전해) 핵심 소재부품-기자재 국산화 및 2세대(가압형) 알카라인 수전해 시장 선점을 위한 선제적 원천기술 개발
 - (PEM 수전해) 핵심 소재부품(전극, 분리막, 막전극접합체) 국산화 및 차세대(CAPEX* 저감형) 핵심기술 개발
- * CAPEX: Capital Expenditures, 자본지출

❸ (H2NEXTROUND) 2040년 글로벌 수소 시장 내 초격차 실현을 목표로 차세대 수전해 및 LOHC 기술개발을 지원 (*24년 신규, 43억 원)

- 2030년 상용화 유망 기술에 대한 선제적 투자로 초격차 기술 확보, 글로벌 사업화를 통해 세계 시장 선점 지향
- (SOEC 수전해) 중저온(기존 800℃ 이상 → 750℃ 이하)에서 운전할 수 있는 고성능대용량 SOEC 셀스택 개발을 통해 차후 원자력 수소 생산 지원
- (AEM 수전해) 세계 최고 수준의 AEM 수전해 핵심 소재부품, 대용량 단일 스택 기반 시스템 핵심기술 개발
- (LOHC) 고효율 LOHC 신규 물질 및 저가 합성 기술, 고효율 촉매 기술, 대용량 공장-플랜트 핵심기술 개발

❹ (미래수소원천기술개발사업) 고효율-경제적-친환경적인 수소 생산기술 개발을 위해 도전적이고 파급효과가 큰 미래 선도형 기술 발굴 및 육성을 목적으로 미래선도 수소 생산 및 저장을 중점 추진 (*24년, 69억 원)

- (수소 생산) 그린수소 생산 4개 분야 1) 태양광 수소 생산, 2) PCEC* 수소 생산, 3) 재생에너지 연계 열화학 수소 생산, 4) 생물화학적 수소 생산 원천 연구 추진
 - (수소 저장) 고효율 수소 저장 2개 분야 1) 고체 흡착 수소 저장, 2) 암모니아 수소 추출 원천 연구 추진
- * PCEC: 프로톤 전도성 세라믹 수전해

❺ (DACU 원천기술개발사업) DAC 기술 및 연계 유용화합물 전환 기술 확보를 목적으로 원천기술 및 단위 모듈 개발을 중점으로 추진 (*24년, 48억 원)

41) 과학기술정보통신부(2024), 「2024년도 과기정통부 연구개발사업 종합시행계획 및 세부사업 추진계획」

● (Carbon-to-X 기술개발) CO₂를 자원으로 유용 물질 생산을 위한 생물·화학적 전환 기술개발 ('24년, 60억 원)

- CO 파일럿 시스템 실증, 포름산 제조 공정 설계 패키지 작성, 미세조류 관련 최종 검증, 합성 개선, 온실가스 감축 방법론 확립 등

● (C1가스 리파이너리 밸류업 기술개발사업) 온실가스 다배출 산업 C1가스(CO, CO₂, CH₄)를 활용하여 고부가가치 화합물을 생산하는 기술을 개발 ('24년 신규, 20억 원)

- 온실가스 감축과 탄소중립 신산업 창출을 위해 CCU 분야 글로벌 공동 R&D 및 상호 실증을 통한 기술 고도화

● (CCU3050) 실험실 단위 이상에서 완성된 CCU 기술의 효율성, 경제성 제고 및 기술 고도화 ('24년, 98억 원)

- 산업에서의 활용 촉진을 목적으로 블루수소 생산을 위한 CO₂ 포집 기술, 무포집형 CO₂ 활용 기술 고도화

● 2024년 국가연구개발 사업 중 산업통상자원부의 수소에 대한 세부 사업은 연료전지 중심의 사업에 집중하나, CCUS 사업의 경우, 광물 탄산화 관련 사업을 제외하고 추진 중인 CCUS 통합 상용화 사업은 2023년 모두 종료⁴²⁾⁴³⁾

- (수소) 2023년, 수소 생산 및 수소 충전 인프라 관련 사업*이 일부 추진되었으나, 2024년 국가연구개발사업에는 수소 기술 분야에서도 모빌리티에 사용되는 연료전지 중심의 세부 사업**이 추진

* (생산) 그린수소 생산 및 저장시스템 기술개발(R&D) ('23년, 43억 원), (충전) 수소 충전 인프라 안전관리 핵심기술개발(R&D) ('23년, 71억 원)

** (연료전지) 수소 모빌리티 확대를 위한 개방형 연료전지 시스템 설계 검증 플랫폼 기술개발 ('24년, 21억 원), 수소 연료전지 기반 탑재 중량 200kg급 카고드론 기술개발 ('24년, 26억 원), 수소차용 차세대 연료전지 시스템 기술개발 ('24년, 12억 원)

- (CCUS) 2023년까지 추진했던 CCUS 통합 상용화 사업* 등은 모두 종료되고, 2024년, 광물 탄산화 관련 사업**만 추진 중이며 투자 규모 또한 감소

* (통합 상용화) CCUS 상용 기술 고도화 및 해외 저장소 확보를 위한 국제공동연구 프로젝트 ('23년, 36억 원), CO₂ 해양 지중저장 상용화 핵심기술개발 ('23년, 80억 원), 가스 발전/스팀생산 설비 연소 중 CO₂ 포집·활용 기술개발 ('23년, 57억 원), 다부처 대규모 CCS 통합 실증 및 CCU 상용화 기반 구축 ('23년, 69억 원)

** (광물 탄산화) 이산화탄소 반응 경화 시멘트 제조 기술 기술개발 ('23년, 55억 원→'24년, 28억 원)

● 2024년 국가연구개발 사업 중 해양수산부에서 CCS 및 CCU에 대한 세부 사업 및 재생에너지 활용 수소 생산기술에 대한 세부 사업 전년에 이어 추진 중⁴⁴⁾

- (수소) 2023년에 이어 2024년에도 추진 중인 재생에너지 연계 그린수소 생산기술 개발* 추진 중이며 투자 규모 또한 소폭 상승

* (생산) 해양재생에너지 연계 해양그린수소 생산기술개발 ('23년, 65.16억 원→'24년, 79.64억 원)

- (CCUS) 2023년*에 이어 2024년**에도 대규모 CCS 관련 사업이 지속해서 추진 중이며, 신규 투자 확대

* ('23) 대규모 CCS 통합 실증 기반 구축 (20.90억 원), 해양 CCS 중규모 실증을 위한 해양 환경평가감시체계 및 기반 기술개발 (신규, 30억 원)

** ('24) 해양 CCS 중규모 실증을 위한 해양 환경평가감시체계 및 기반 기술개발 (20.2억 원), 해양 탄소재순환 가치사슬 실현을 위한 해상 메탄올 생산 및 운송 기술개발 (신규, 17억 원)

42) 산업통상자원부(2023), 「2024년도 산업기술혁신사업 안내」

43) KISTEP(2023), 「2023 국가연구개발사업 종합안내서」, KISTEP(2024), 「2024 국가연구개발사업 종합안내서」

44) KISTEP(2023), *ibid.*

3.2 독일의 R&D 투자 현황 및 주요 R&D 사업

3.2.1 독일의 R&D 투자 현황⁴⁵⁾⁴⁶⁾

● 「에너지 연구 프로그램」의 2023년 투자 총액은 14억 6,172만 유로로 전년 대비 1.7% 감소했으나, 「제7차 에너지 연구 프로그램」 기간 대비 훨씬 높은 수준을 유지

- 2021년 대비 2022년에 투자 총액은 약 17.6% 상승하여 상당한 투자 확대가 이루어졌으며, 최근 6년 동안 투자 총액 중 고점을 기록
- 「에너지 연구 프로그램」의 전년 대비 투자 축소 이유는 '프로젝트 자금'에 대한 투자 감소로 해석됨
 - '프로젝트 자금' 중 '전략적 자금 형태'를 제외하고 감소, 기관 자금 및 수반되는 조치에 대한 지원은 소폭 상승

[표 3-1] 「에너지 연구 프로그램」 최근 6년간 투자 현황 (2018~2023년)

분 류	투자 금액(백만 유로)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
프로젝트 자금	635.25	703.66	750.59	945.17	1111.98	1077.83
전략적 자금 형태	-	-	5.53	66.93	210.65	220.20
소비 부문 에너지 전환	156.04	193.92	208.03	212.92	198.11	178.46
에너지 생산	212.36	255.36	252.6	288.39	257.01	242.16
통합시스템: 그리드, 저장, 섹터 결합	127.15	127.11	146.61	201.69	211.39	219.80
에너지 전환 시스템	92.22	78.31	91.61	123.42	184.43	164.26
원자력 안전 연구	47.48	48.98	46.21	51.82	50.39	50.96
기관 자금	393.75	410.29	415.78	314.42	319.85	325.3
수반되는 조치	25.76	34.47	50.16	51.38	54.53	58.50
합 계	1054.75	1148.42	1216.53	1310.97	1486.36	1461.72

※ 출처: BMWK(2023), BMWK(2024d)를 기반으로 저자 작성

● 「에너지 연구 프로그램」의 최근 6년간 프로젝트 자금 지원 중 수소 및 CO₂ 기술에 대한 투자 대폭 증가

- '전략적 자금 형태'* 중에 「수소 플래그쉽 프로젝트(Wasserstoff Leitprojekte)」에 대한 투자가 2021년 대비 2022년에 약 3.5배 증가한 영향**

* 2020년부터 새롭게 등장한 프로젝트 자금지원 형태임

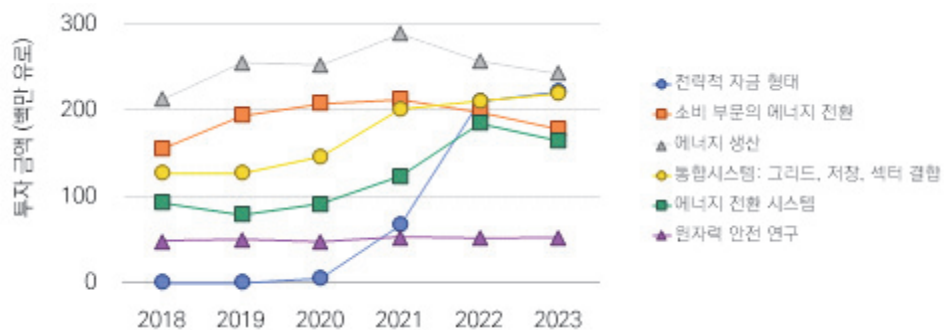
** 4,864만 유로('21) → 1억 7,014만 유로('22)

45) BMWK(2023), Bundesbericht Energieforschung 2023 Forschungsförderung für die Energiewende

46) BMWK(2024d), Bundesbericht Energieforschung 2024 Forschungsförderung für die Energiewende

- ‘통합시스템: 그리드, 저장, 섹터 결합’ 및 ‘에너지 전환 시스템’ 영역이 2020년부터 급격히 증가하였으며, 수소와 CO₂ 기술에 기인
 - ‘통합시스템: 그리드, 저장, 섹터 결합’의 ‘섹터 결합 및 수소 기술’ 분야의 투자 상승세 가파름*
 - * 5,902만 유로(‘20) → 1억 647만 유로(‘21) → 1억 3,083만 유로(‘22)
 - 2022년 ‘에너지 전환 시스템’의 ‘CO₂ 기술’에 대한 투자 성장하고 있으며, 그 외 ‘심토(Deep Soil) 활용 관련 에너지 기초연구’와 ‘기술 개방 자금지원’ 분야의 투자 규모도 상승
- 2023년 전반적으로 투자금이 감소했지만, 수소 분야인 ‘수소 플래그쉽 프로젝트’, ‘섹터 결합 및 수소 기술’에 대한 투자는 지속적인 상승세이며, 특히 ‘IPCEI 배터리 셀 연구 자금지원’ 부문의 경우 약 6배* 증가
 - * 324만 유로(‘22) → 1,887만 유로(‘23)
- 수소 분야 투자 증가는 2020년 채택된 「국가수소전략」의 영향으로 추측되며, CO₂ 분야는 기후중립 목표 달성을 위한 산업 부문의 CO₂ 기술 필요성에 의한 것으로 추측
 - 탈탄소 전략의 핵심 수단으로 2020년 「국가수소전략」을 발표하고, 이어 2023년에 개정안을 발표함
 - 「기후보호프로그램 2030」 및 「기후보호 과학플랫폼(Wissenschaftsplattform Klimaschutz, WPKS)」에서 CO₂ 기술의 중요성 강조

[그림 3-2] 「에너지 연구 프로그램」 주제별 최근 6년간 투자 추이 (2018년~2023년)



※ 출처: BMWK(2023), BMWK(2024d)를 기반으로 저자 작성

[표 3-2] 「에너지 연구 프로그램」 프로젝트 자금의 주제별 최근 6년간 투자 현황 (2018~2023년)

분 류		투자 금액(백만 유로)					
대분류	중분류	2018	2019	2020	2021	2022	2023
전략적 자금 형태	에너지전환 리빙랩	-	-	5.53	18.29	40.50	45.48
	수소 플러그쉽 프로젝트	-	-	-	48.64	170.14	176.72
	소계	-	-	5.53	66.93	210.65	220.20
소비 부문 에너지 전환	건물 및 지역	78.63	93.51	101.27	98.57	100.16	87.09
	산업, 상업, 무역 및 서비스	60.92	66.20	64.88	73.49	69.8	71.45
	운송	16.49	34.21	41.87	40.85	28.16	19.92
	소계	156.04	093.92	208.03	212.92	198.11	178.46
에너지 생산	태양에너지	78.24	98.69	86.19	88.39	70.14	73.38
	풍력에너지	59.73	72.95	76.06	82.87	89.19	74.97
	바이오에너지	28.54	40.52	48.37	63.72	48.00	44.87
	열 발전	29.05	28.30	25.72	29.77	30.72	35.26
	지열	15.38	13.19	14.01	22.71	18.64	13.44
	수력 및 해양	1.40	1.71	2.26	0.93	0.31	0.25
	소계	212.36	255.36	252.6	288.39	257.01	242.16
통합시스템: 그리드, 저장, 섹터 결합	전력망	66.24	64.85	65.05	69.75	61.28	59.78
	에너지 저장	18.37	21.43	22.53	25.47	19.28	17.40
	섹터 결합 및 수소 기술	42.53	40.82	59.02	106.47	130.83	142.62
	소계	127.15	127.11	146.61	201.69	211.39	219.80
에너지 전환 시스템	에너지 시스템 분석	15.94	17.16	18.97	19.74	19.09	18.72
	에너지 전환의 디지털화	-	-	2.68	5.06	5.63	6.52
	에너지 전환의 자원 효율화	-	-	-	0.07	2.29	4.88
	CO ₂ 기술	24.58	19.57	35.05	32.87	45.09	33.69
	산업 공동 연구 프로그램	4.22	5.47	4.90	5.71	4.64	3.89
	에너지 전환 및 사회	9.93	10.15	6.37	12.28	15.95	18.27
	재료 연구	18.21	10.30	2.90	3.96	2.05	0.44
	심도 활용 관련 에너지 기초연구	2.02	1.36	2.35	3.55	14.88	8.43
	세계적으로 주목받는 기술 개방 자금 지원	2.11	3.88	11.73	24.46	60.00	27.41
	기타 기초연구	15.22	10.42	6.64	15.7	11.57	23.15
	IPCEI 배터리 셀 연구 자금 지원	-	-	-	-	3.24	18.87
	소계	92.22	78.31	91.61	123.42	184.43	164.26
원자력 안전 연구	'18 ~ '20 저장소 및 처리 연구	17.61	19.57	17.79	-	-	-
	원자로 안전(보호/방호) 연구	21.98	22.05	22.06	-	-	-
	방사선 연구(BMBF)	7.89	7.36	6.36	-	-	-
	원자로 안전연구	-	-	-	22.39	23.80	23.53
	'21 ~ '23 고준위 방사성폐기물 장기 임시저장 및 처리에 관한 연구	-	-	-	5.18	5.53	5.43
	저장소 연구	-	-	-	12.44	10.46	8.84
	횡단적 이슈	-	-	-	3.12	3.63	4.67
	방사선 연구(BMBF)	-	-	-	8.69	6.98	8.49
소계		47.48	48.98	46.21	51.82	50.39	50.96

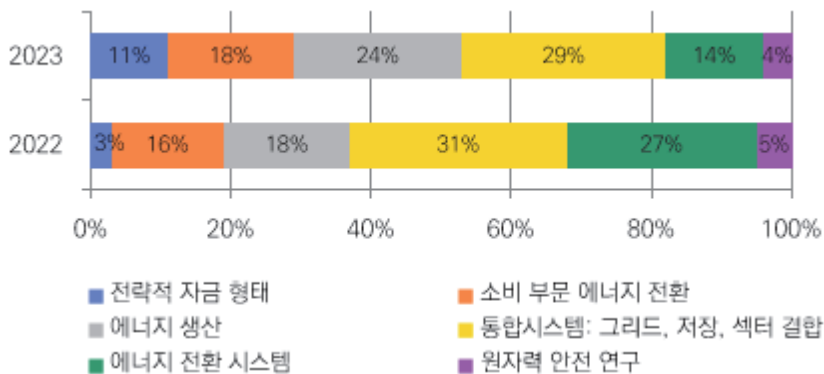
● 2022년 신규⁴⁷⁾ 프로젝트 중심으로 투자 비중을 살펴보면 ‘통합시스템: 그리드, 저장, 섹터 결합’, ‘에너지 전환 시스템’ 부문 순으로 높은 것을 확인

- 순서대로 통합시스템: 그리드, 저장, 섹터 결합(31%), 에너지 전환 시스템(27%), 에너지 생산(18%), 소비 부문 에너지 전환(16%), 원자력 안전 연구(5%), 전략적 자금 형태(3%)

● 2023년 신규 프로젝트 중심으로 투자 비중을 살펴보면 ‘통합시스템: 그리드, 저장, 섹터 결합’, ‘에너지 생산’ 부문 순으로 높은 것을 확인

- 순서대로 통합시스템: 그리드, 저장, 섹터 결합(29%), 에너지 생산(24%), 소비 부문 에너지 전환(18%), 에너지 전환 시스템(14%), 전략적 자금 형태(11%), 원자력 안전 연구(4%)로 2022년과 다소 차이

[그림 3-3] 「에너지 연구 프로그램」 주제별 투자 비중 (2022년~2023년)



3.2.2 주요 R&D 사업

● (수소 플래그십 프로젝트) 「국가수소전략」 및 「제7차 에너지 연구 프로그램」을 토대로 2021년 신규 출범⁴⁸⁾

- BMBF가 「국가수소전략」 수립에 기여하는 중요한 프로젝트이며, 에너지 전환 분야에서 해당 부처의 가장 큰 자금을 지원하는 이니셔티브 「수소 공화국 독일(Wasserstoff republik deutschland)」의 일환으로 추진⁴⁹⁾
 - 과학계, 산업계, 시민 사회를 대상으로 대규모 수소 프로젝트에 대한 아이디어 공모전의 결과물
 - 4년의 기간 동안 3가지* 핵심 분야에서 수소 기술을 종합적으로 개발하는 사업

* (수소 생산) H₂Giga, H₂Mare, (수소 저장 및 운송) TransHyDE

47) 표 [2-4], [2-5]의 투자 금액은 당해 연도 계속 및 신규 과제의 투자 총액을 의미. 본 페이지의 신규 투자 금액은 당해 연도에 새롭게 시작되는 과제에 한함

48) 이하의 본문에서, 독일의 프로젝트의 경우 규모가 우리나라의 세부 사업보다 규모가 크므로 프로그램이라고 명명

49) Hydrogen Flagship Projects(Website), <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/projects>

- (H₂Giga: 양산) 독일의 그린수소 수요에* 맞추기 위해 수전해를** 활용한 수소 양산 기술 및 규모 확대 중심

* 「국가수소전략」에 따라 2030년까지 수전해 용량 5GWh 목표

** PEM: 고분자 전해질 수전해, AEL: 알카라인 수전해, HEL: 고온 수전해, AEM: 음이온 교환막 수전해

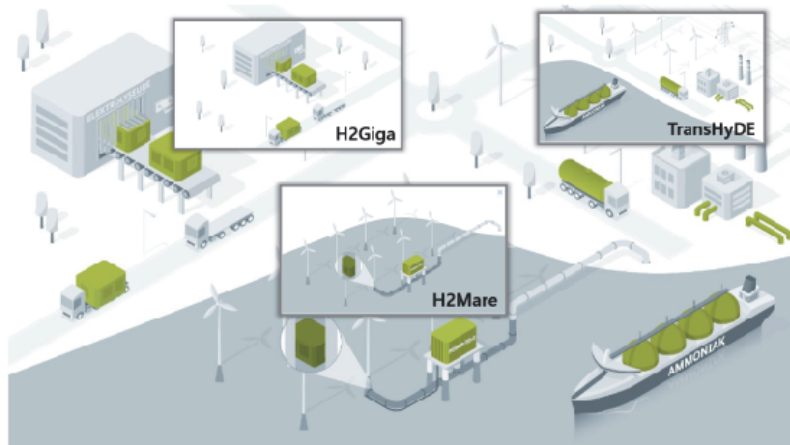
- (H₂Mare: 해상) 해상풍력 연계 그린수소 생산 및 Power-to-X(PtX) 제품 생산 모색 중심의 프로젝트

* 그린 메탄올, 그린 암모니아 등 2차 제품 생산

- 육상풍력 터빈보다 훨씬 더 많은 양의 전기를 규칙적으로 생산할 수 있는 해상풍력 터빈을 활용하고, 전력망 연결 없이 직접 풍력 터빈과 연결함으로써 인프라 비용 절감 및 수소 생산비용 최소화
- (TransHyDE:운송) 파이프라인과 고압 용기를 통한 기체 수소 운송, 액체 수소 운송, 암모니아 또는 액체 유기 수소 운반체(Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC)에 화학적으로 결합한 수소 운송에 초점
- 위의 4개의 운송 기술을* 개별적으로 테스트하고 재료, 센서 및 안전에 대한 기술개발 및 이의 내구성, 효율성, 안정성 보장 해결책 마련이 목표

* 기술별 프로젝트명: 기존 및 신규 가스 파이프라인 활용 수소 운송(Get H₂), 고압 용기 활용 수소 운송(Mukran), 액체 수소 수송(AppLHyL), 암모니아 결합 수소 운송(AmmoRef, Campfire), LOHC를 통한 수소 운송(Helgoland)

[그림 3-4] 「수소 플래그십 프로젝트」 개념도



※ 출처: Hydrogen Flagship Projects(Website)

[표 3-3] 「수소 플래그십 프로젝트」의 주요 내용 (R&D 중심으로)

프로젝트	세부 프로젝트	주요 내용
H ₂ Giga	스케일업: 대량 생산 기술	<ul style="list-style-type: none"> • PEM, ALE, HTEL 기술 산업화를 위해 GW 수준으로 전해조 규모 확대, 생산기술 자동화 - '30년 녹색수소 생산용 수전해 목표 용량 5GW → 10GW 상향
	차세대 스케일업: 최첨단 프로세스	<ul style="list-style-type: none"> • 일부 양산 단계에 있는 수전해의 경우, 제조 비용 절감 및 양산 기술 단순화를 목표로 함 • 신규 공정의 설계 및 개발을 통해 더 큰 규모의 테스트에 중점
H ₂ Mare	Offgrid Wind: 전해조 통합 신규 터빈	<ul style="list-style-type: none"> • 수전해 직접 연계된 새로운 형태의 독립형 풍력 터빈 및 인프라 연구 • 생산된 수소의 저장 및 운송에 관한 연구, 풍력 터빈 운영 시뮬레이션 및 비용 계산
	H ₂ Wind: 공해상 효율적 수전해	<ul style="list-style-type: none"> • 해상 조건에서 독립적 작동할 수 있는 수전해 장치 효율화 연구 • 생산된 수소의 저장을 위한 수처리 및 공급 공정 개발, 운영 시뮬레이션 및 비용 계산
	PtX-Wind: PtX 제품 해상 생산	<ul style="list-style-type: none"> • PtX 제품 생산 시 이산화탄소와 질소 현지 추출 기술, 해수 전기분해 기술 연구
Trans HyDE	Get H ₂ : 파이프라인 재배치 및 신규 건설	<ul style="list-style-type: none"> • 규범, 안전 규정 및 모니터링 표준 마련을 위해 기존 파이프라인 용도변경과 신규 실험적 파이프라인 중심 테스트 및 데모 환경 구축
	Mukran: 새로운 저장 탱크	<ul style="list-style-type: none"> • 독일 최 북동쪽 항구 뤼겐섬의 무크란 항에서 공해상 사용될 고압 수소 구형 저장 탱크 개발 • 생산된 수소를 저장하기 위해 H₂Mare 시설에 통합하는 것이 목표
	AppLHy!: 액체 수소의 잠재력 활용	<ul style="list-style-type: none"> • 액체 수소 활용을 위한 펌프와 저온실 저장시스템 실증을 포함하고 있음 • 또한 액체 수소에 대한 미래 요구 사항과 잠재적 응용 분야를 탐색
	AmmoRef: 암모니아에서 수소 회수	<ul style="list-style-type: none"> • 수소 개질 방식을 최적화하고 이를 사업 규모로 확장하는 것이 목표 • 이와 함께, 공정 테스트와 신규 촉매 개발, 비용 절감, 귀금속 비용 저감 등 기술 개발 계획
	Campfire: 암모니아를 통한 운송	<ul style="list-style-type: none"> • 수소 수송 옵션으로서의 암모니아 잠재력 테스트를 위해 암모니아와 수소 합성 및 암모니아 분해를 통한 수소 추출에 관한 연구
	Helgoland: LOHC 활용 수소 운송	<ul style="list-style-type: none"> • H₂Mare를 통해 생산된 수소를 해상 시설에서 헬골란트섬까지 파이프라인을 통해 운송 • 해상-육상 운송을 위해 LOHC에서 수소를 회수할 탈수소 플랜트를 함부르크 항구에 건설 중

※ 출처: Hydrogen Flagship Projects(Website)

🌐 (IPCEI* Hydrogen) 유럽 공동으로 진행하는 수소 프로그램의 일환이며, 독일의 그린수소 시장 확대를 위한 중요한 마일스톤으로 수소 가치 사슬 전체에 걸쳐 자금을 지원⁵⁰⁾

* IPCEI: Important Project of Common European Interests, 유럽 공동이익의 중요프로젝트

- IPCEI Hydrogen 프레임워크는 현재 총 4개의 프로젝트가 존재하며, 이 중 독일은 'Hy2Tech', 'Hy2Infra', 'Hy2Move' 3개의 프로젝트에 참여

50) BMWK(Website), <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2024/02/20240215-european-commission-approves-funding-for-key-hydrogen-projects.html>

- (Hy2Tech) 모빌리티 부문을 중심으로 수소의 생산, 운송, 사용 기술을 연구하고 있음
 - Bosch(고체산화물 기반 고정식 연료 전지 시스템), Sunfire(AEL, SOEC* 전해조 대량 생산), Daimler trucks(연료전지 기반 트랙터/트레일러), EXPO(차세대 연료전지 스택 모듈 개발 등) 기업 등이 참여
 - * SOEC: 고체산화물 수전해
- (Hy2Infra) 수소 인프라 중점 연구로, 파이프라인, 대형 저장시설, LOHC, 부두 및 항구 설계 등 연구를 포괄
 - 3.2GW 대규모 수전해 설비, 최소 370GWh 용량의 대규모 저장시설, 연간 6천 톤의 수소를 처리하는 LOHC, 관련 터미널 및 항만 인프라 구축 지원
 - 독일 포함 7개 회원국이 향후 몇 년간 최대 69억 유로 공공자금 투자 예정, 민간 포함 총 120억 유로 이상
- (Hy2Move) 버스와 트럭뿐만 아니라, 선박, 기관차, 항공기 등에 사용할 수 있는 연료전지 및 수소 저장 기술과 충전 현장에서 수소를 생산하는 기술개발 연구를 지원
 - 앞서 승인된 3개의 수소 기술개발 프로젝트를 보완하기 위해 2024년 5월 승인됨

● (NAMOSYN) 「기후보호프로그램 2030」의 ‘연구와 혁신’ 및 ‘기후 보호와 사회’를 포괄하는 조치 중 하나인 ‘합성 에너지원 연구’ 이니셔티브⁵¹⁾

- BMBF가 2019년 4월 ‘합성 연료를 이용한 지속가능한 모빌리티’라는 3개년 연구 이니셔티브 착수발표

● (CO₂WIN) 프로젝트 간의 시너지 효과를 창출하고 개발된 기술의 빠른 시장 진입 달성을 위해 BMBF가 지원하는 CO₂ 활용 기술에 관한 프로젝트⁵²⁾

- 지속 가능한 화학물질과 연료 생산을 위한 화학 및 생명 공학 프로세스, CO₂의 전기 및 광화학적 전환, 기후 친화적인 건축 자재 생산을 위한 CO₂ 광물화 등 CCU의 세 가지 영역에 중점

● (Carbon2Chem) 철강 제조 시 배출되는 다량의 CO₂를 화학물질의 원료로 사용하는 프로젝트⁵³⁾

- 해당 기술은 유해가스가 대기 중으로 배출되지 않는 친환경적인 철강 생산이 가능하며, 비용 효율적이고, 별도의 CO₂ 저장시설이 필요 없다는 장점이 있음

51) NAMOSYN(Website), <http://namosyn.de/>

52) CO₂Win(Website), <https://co2-utilization.net/en/>

53) thyssenkrupp(Website), <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/company/sustainability/carbon2chem/carbon2chem.html>

3.3 소결

● (R&D 투자) 한국과 독일 모두 최근 6년간 탄소중립 R&D 투자 규모는 양적으로 크게 팽창한 상태

- 직전년도인 2023년은 한국은 증가 폭이 낮아졌지만, 독일은 소폭 감액되는 상반된 움직임을 보임
- 독일의 2023년 R&D 투자가 소폭 감액(▼1.7%)하였으나, 직전년도가 「제7차 에너지 연구 프로그램」 기간 중 최대 규모의 투자가 진행된 해였음을 고려할 필요
 - 리빙랩/플래그십 프로젝트들이 포함되는 '전략적 자금 형태'와 기관 자금 항목이 증액된 점을 고려할 때, 양적 팽창 속도를 조절하면서 전략적으로 중요한 기술 분야 역량 확충을 도모하는 것으로 해석 가능

● (중점 투자 분야) 두 국가 모두 최근 수소 및 CCUS R&D 투자를 강화하는 움직임을 보이고 있음

- (CCUS) 양국 모두 2022년 대비 소폭 감액하였으나, 여전히 2021년 투자 규모보다 큰 수준을 유지 중
- (수소) 한국은 CCUS 기술과 마찬가지로 R&D 투자가 이전 연도 대비 소폭 감소하였으나, 독일은 전체 「에너지 연구 프로그램」 투자 규모의 감소에도 불구하고 확대되는 추세

● (R&D 사업) 한국과 독일 모두 최근 수소, CCU 관련 신규 R&D 사업을 추진하는 움직임이 두드러짐

- 독일은 탈원전·탈화력 정책과 독일 내부의 지중저장에 대한 반감으로 인해 타국 대비 CCUS에 대한 정책적 추동력이 약한 편이었으나, 정책 현황과는 별개로 신규 CCU R&D 사업을 출범하는 등 기술 확보를 위한 조치는 이미 시행 중
 - 최근 독일 내부에서 감축이 어려운 분야의 해결책으로서의 CO₂ 기술의 역할을 재조명하는 상황이므로, CCUS 기술을 활용한 정책적 성과 창출을 가속할 수 있는 기술적 토대는 존재하는 것으로 보임

Chapter 4

최신 탄소중립 R&D 정책 동향

4.1 기후변화대응 기술개발 기본계획의 연구개발⁵⁴⁾

4.1.1 전략별 목표

● 「기후변화대응 기술개발 촉진법(약칭: 기후기술법)」 제5조에 따른 법정 계획인 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」을 통하여 기후변화 대응 기술개발 촉진에 관한 중장기 정책 목표 및 추진 방향을 제시

- 상기 법은 신재생에너지와 에너지 효율 개선에 치중된 기존의 기술개발 추진의 한계를 극복하고, 기후변화 적응 분야를 포함한 통합적 R&D 지원 필요에 따라 2021년 4월에 제정
 - 이에 따라, 「탄소중립·녹색성장 기본법」 및 「과학기술기본법」에 대하여 특별법적 지위를 가지며, 기후변화 대응 기술개발과 관련하여 최우선 적용
- 향후 10년간의 각 부처의 온실가스 감축 및 기후변화 적응 연구개발 정책 방향을 설정하고 추진 내용을 포함하고 있으며, 특히, 기존 고시된 기술 사항, 주요 R&D 정책 및 기술로드맵과의 정합성·연계성 확보 노력⁵⁵⁾
- 본 계획은 '과학기술 혁신을 통한 기후위기 대응과 신시장 선점'이라는 비전을 제시하고, 이를 위해서 1) 온실가스 감축, 2) 기후변화 적응, 3) 혁신생태계 조성 3개 전략을 구성
 - ※ 특히 첫 번째 전략 '온실가스 감축' 부문은 독일의 「에너지 연구 프로그램」에 상응하는 정책으로써, 세부 내용을 후술
 - 온실가스 감축을 위한 필수 기술로 1) 에너지원의 무탄소화, 2) 산업·건물·수송 부문의 전기 이용 확대, 3) 전기화 어려운 연료의 무탄소화, 4) 에너지 효율 향상과 수요관리, 5) 잔존 온실가스 저감을 도출하고,
 - 에너지시스템 유연화와 그리드 구축 R&D를 포함하는 6) 에너지 공급/수요 유연성 향상 기술을 추가로 구성

● 상기 중점 과제 수행을 통해 2030 국가 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contribution, NDC) 전환, 산업, 건물, 수송 및 흡수·제거 부문에서 온실가스 저감효과를 기대

- 2032년 기준 주요 달성 목표로 태양광 상용화 모듈 효율 30%, 수전해 시스템 효율 52kwh/kgH₂ 이하, CO₂ 포집 비용 30\$/tCO₂ 이하 달성 등을 제시

54) 관계부처 합동(2022a), 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」

55) 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술(’22)」, 「탄소중립 기술혁신 추진전략(’21)」, 「탄소중립 중점기술(안)(’21)」, 「탄소중립 산업에너지 R&D 전략(’21)」, 「탄소중립 기술혁신 전략로드맵(’22)」 등

[표 4-1] 온실가스 감축 부문 추진 과제 및 소관 부처

세부 전략	중점 과제	추진 과제	소관 부처
무탄소 에너지 생산	재생에너지	1. 재생에너지 보급 확대를 위한 경제성 제고 R&D 추진	과기부, 산업부
		2. 태양광공력 등 설치지역 확대를 위한 맞춤형 실증사업 추진	산업부, 해수부
		3. 수력·해양수열 등 기타 재생에너지원 운영 및 확충 지원	산업부, 해수부, 환경부
	비재생에너지	1. 원자력 에너지의 안전성 및 지속성 제고	과기부, 산업부
		2. 글로벌 원전 수출시장 선점을 위한 차세대 원자력 기술 확보	과기부, 산업부
		3. 핵융합 발전 관련 핵심기술 확보 및 기반 구축	과기부, 산업부
에너지시스템 전기화	산업·건물	1. 열에너지 공급 무탄소화를 위한 히트펌프 시스템 개발 및 실증	산업부
		2. 열에너지 설비(전기로·보일러 등) 고도화 및 산업공정별 최적화 추진	과기부, 산업부
	수송	1. 전기차 사용성 극대화할 수 있는 혁신 기술개발 추진	산업부
		2. 전기 추진 모빌리티 다양화 및 실증	산업부, 국토부, 해수부
탄소배출 연·원료 대체	수소	1. 청정수소 생산기술 개발 및 실증	과기부, 산업부, 해수부
		2. 국내외 생산 수소 안정적 보급 기술 확보	산업부, 국토부, 해수부
		3. 탄소규제 강화 대응 모빌리티 및 산업공정 기술개발	산업부, 국토부, 해수부
	바이오매스	1. 도시가스·수송 등에 활용가능한 바이오연료 경제성 확보	산업부, 국토부, 환경부
		2. 기존 화학산업 공정에 적용가능한 바이오매스 기반 원료물질(C1~) 개발	과기부, 산업부
	폐자원	1. 자원순환 제품 생산 기술개발	과기부, 산업부, 환경부, 해수부
에너지 소비 효율 향상	산업	1. 에너지 소비 절감을 위한 맞춤형 공정 기술개발	산업부
		2. 에너지 다소비 공통 산업기기 효율 향상 추진	산업부
	건물	1. 건물 외피 고성능화 및 부하 저감 기술개발	과기부, 국토부
		2. 냉난방/조명/환기 등 건물 설비 효율 향상 기술 확보	산업부
		3. ICT 기반 건물 에너지 효율 관리 기술개발	산업부, 국토부
	수송	1. 기존 모빌리티 기술혁신으로 친환경·고효율 모빌리티 실현	산업부, 환경부, 해수부
온실가스 저장·흡수 활용	CCUS	1. 배출원별 맞춤형 저비용 포집 기술개발 및 대규모 실증 추진	과기부, 산업부, 환경부
		2. CO ₂ 대규모 저장소 확보 및 저장 효율 향상	과기부, 산업부, 환경부, 해수부
		3. CCU 제품 상용사례 창출 및 실효성 있는 CO ₂ 전환 기술개발	과기부, 산업부, 환경부, 해수부
	Non-CO ₂	1. 산업공정(반도체디스플레이 등) 배출 온실가스 감축 기술개발	산업부, 환경부
		2. 환경기초시설 및 농축산분야 배출 온실가스 저감 및 처리 기술개발	환경부, 농진청
	자연계 흡수원	1. 국제 수준에 부합하는 온실가스 흡수·배출량 산정 기술 확보	과기부, 환경부, 해수부, 산림청
에너지 공급/수요 유연성 향상	에너지 유연화 시스템	2. 최적 흡수원 관리 방안 마련 및 신규 흡수원 확보 기술개발	환경부, 해수부, 농진청
		1. 에너지 통합 관제시스템 및 데이터 기반 그리드 구축	기상청
		2. 에너지원 간 전환 기술(섹터 커플링) 고도화 및 실증	산업부
	차세대 전력망·열에너지망	3. 대용량저비용·장주기 에너지 저장 기술개발	산업부, 국토부
		1. 재생에너지원 확충 대응용 전력망 유연성 향상 기술 확보	과기부, 산업부
		2. 재생열·미활용열·폐열 활용 극대화 열에너지망 고도화 기술개발	산업부, 국토부, 환경부

※ 출처: 관계부처 합동(2022a)

[표 4-2] 온실가스 감축 부문 세부 전략별 주요 내용

세부 전략	중점 과제의 주요 목표
무탄소 에너지 생산	1. '32년까지 상용화 기준 태양광 모듈 효율 30% 달성 2. '32년까지 20MW 이상 대형 풍력발전기 개발 3. '28년까지 170MW 수준 차세대 원자로(SMR) 표준설계 확보 4. '32년까지 수백kW급 연료전지 시스템 발전효율 60% 달성
에너지시스템 전기화	1. '32년까지 산업용 히트펌프(저GWP 냉매 전환) 공급 온도 250℃ 달성 2. '32년까지 수송 부문 1회 충전거리 800km 달성
탄소배출 연·원료 대체	1. '32년까지 수전해 시스템 효율 52kWh/kgH ₂ 이하 달성 2. '32년까지 석유계 제품 대비 기준 바이오 제품 CO ₂ 배출 80% 감축 3. '32년까지 폐자원 순환 이용률 최대 93% 달성(부문별 상이)
에너지 소비 효율 향상	1. '32년까지 전동기 기준 산업기기 효율 IE4~IE5 수준 향상 2. '32년까지 건물 부문 CO ₂ 발생량 40kgCO ₂ /(m ² ·yr) 이하 달성 3. '32년까지 하이브리드 자동차 엔진 효율 50% 달성
온실가스 저장·흡수·활용	1. '32년까지 CCUS 활용 CO ₂ 포집 비용 30\$/tCO ₂ 이하 달성 2. '32년까지 환경기초시설 Non-CO ₂ 배출량 50% 이상 감축 3. '32년까지 블루카본 기준 자연계 탄소 흡수량 100만tCO ₂ 달성
에너지 공급·수요 유연성 향상	1. 에너지 통합시스템(섹터 커플링) 구축 2. '32년까지 ESS 구축 비용 80% 감축

※ 출처: 관계부처 합동(2022a)

● '전략 3. 기후변화대응 혁신생태계 조성'을 통해 국제협력 및 기술이전, 인력양성 등에 관한 추진 과제 제시

- (국제협력) 플래그십 프로젝트 사업을 통한 국제기구·선도국과의 전략적 국제 공동 연구 및 현지 실증을 통한 개도국 기후기술 현지화 기반 마련 추진
 - UNFCCC 기술 메커니즘 등 다자 협력 체계를 적극적으로 이용
- (인력양성) 대학원생의 실습 참여, 산업 현장 실무 인턴십과 맞춤형 교육 프로그램 등을 활용한 산업 실무인력 양성
- (산업 활성화/소통) 개발된 기술의 기술 검증 및 창업 활성화 지원, 민간 R&D 투자 활성화 기반 조성 및 선제적 규제개선, 대국민 인식 제고를 위한 소통강화 등의 내용을 포함

4.1.2 임무별 주요 연구개발 내용

● (무탄소 에너지 생산) 무탄소 에너지 기술의 개발실증을 통해서 화력 발전 등의 탄소배출 에너지 생산기술을 대체하고 전환하는 것을 목표로 함

- 태양광 및 풍력을 중심으로 에너지 효율과 가격 경쟁력 향상을 위한 원천기술 R&D, 국산 소재부품장비 기술 적용을 위한 테스트베드 인프라 구축 및 조기 상용화, 설치지역 확대를 위한 실증을 지원
- 수력·해양수열 등의 기타 재생에너지원을 중심으로 노후화된 발전설비 국산화, 성능개선, 디지털 전환 기술을 적용한 고도화를 추진하고, 잠재량경제성 등을 고려한 핵심기술 개발 및 실증을 지원
- 원자력 에너지의 안정성 및 지속성 제고를 위한 이상징후 조기진단 등 대응 역량 강화 기술개발 및 차세대 원자력 기술 확보, 핵융합 발전 핵심기술 확보에 중점적 지원
- 기존 도시가스망을 활용한 혼합연료 연료전지 시스템, 청정수소 연계형 연료전지 시스템, 열병합 발전 시스템 등

● (에너지시스템 전기화) 수송 부문에 초점을 맞추어, 연구개발 추진 방향을 전기차 사용 극대화와 기타 모빌리티 사용 확대를 통한 탈탄소화로 설정

- 에너지 다소비 또는 온실가스 다배출 산업장 설비에 적용할 수 있는 고온 히트펌프 및 열에너지 설비 전기화 기술을 개발하고 산업 현장에 실증
- 건물에 활용할 수 있는 전가미열 활용 히트펌프 시스템 구축 및 통합제어 기술개발을 지원
- 수송 부문에서는 전기차 충전 기술, 전비 및 주행거리 개선 기술, 차세대 배터리 개발 및 이를 적용한 시스템 기술을 구분하여 R&D 방향을 제시
- 이외, 친환경 선박, 드론, 도심항공교통(UAM) 등에 적용하기 위한 배터리 기술 확보와 관리시스템 개발을 위해 자금을 지원

● (탄소배출 연원료의 대체) 수소 전주기 기술 확보, 바이오매스 경제성 확보, 핵심 폐자원의 전과정 관리 기술개발을 통해 궁극적으로 화석 연료의 대체를 목표로 함

- 수소는 탈탄소 규제 및 수요 확대에 대비하여 청정수소의 생산 및 해외 수소를 운송·저장하기 위한 기술 확보가 시급한 상황임
- 이에 따라, 수전해 성능 및 단가 개선 기술개발 및 차세대 수소 생산기술 지원을 포함하여, 저장·운송 부문에서 액체 수소, LOHC 등 고밀도 수소 변화 기술 및 저장시스템 기술개발 방향을 제시
- 바이오매스 부문에서는 기존 인프라를 통한 바이오연료의 경제적 생산, 통합형 바이오리파이너리 공정 기술개발, 바이오 유래 원료물질 제조 기술 및 공정 개발을 추진
- 폐자원 부문에서는 안정적 공급이 가능한 폐자원을 이용한 자원순환 제품 생산기술 개발, 기존 산업공정 적용 및 공정 고도화 등을 지원
- 특히, 에너지 폐자원 가치 재창출 부문을 별도 제시하여 폐배터리 및 폐태양광, 풍력 블레이드 재사용·재활용 R&D 방향을 제시

● **(에너지 소비 효율 향상) 기존 모빌리티 요소 기술을 고도화 및 지능화를 통해 효율 개선 기반을 마련하고자 함**

- 정유·철강·석유화학 등 산업 특화 공정 효율 향상 및 대체 공정 기술개발, 데이터 기반 관리 기술 적용 등을 포함하고, 에너지 다소비 산업기기의 효율 향상, 폐열 활용 시스템 및 저장변환 기술 확보를 지원
- 건물 부문에서는 건물 외피 고성능화, 외부 부하 저감, 건물 설비 효율 향상, 차세대 냉방 기술개발 등을 제시하고 건물 에너지 효율 관리에 디지털 전환을 추진
- 수송 부문에서는 자동차의 하이브리드 동력 시스템, 청정연료 기반 내연기관 기술을 포함하여 중대형 선박에 대한 연료전자전기 추진 시스템 기술 확보를 추진하고 이의 지능형 운용 체계 구축 등을 지원

● **(온실가스 저장·흡수·활용) 탄소배출이 불가피한 분야에 적용할 수 있는 탄소 포집, 배출 저감 기술을 개발하고 국제 기준에 부합하는 흡수·배출량 산출 기술 확보를 추진함**

- 다양한 배출원에서 적용할 수 있는 저비용·대규모 포집 기술 및 시스템 개발을 포함한 차세대 기술개발을 지원
- 최대 11.6억 톤 수준의 대규모 CO₂ 저장소 확보하고 이를 저장하고 전환·활용하는 기술 수준 향상을 목표
- 반도체, 디스플레이 등의 산업공정과 하수처리장, 농경지 및 축산시설 등에서 발생하는 온실가스 배출 저감 기술의 개발 및 실증을 추진
- 모든 탄소저장고에 대한 활동자료를 확보하고 고도화된 측정·보고·검증(Measurement·Reporting·Verification, MRV) 체계를 구축하여 국제 수준에 부합하는 온실가스 흡수·배출량 산정 기술 확보
- 산림순환경영 모델 등 탄소의 최적 흡수원 관리 방안을 마련하고, 신규 흡수원 확보 기술개발 및 보급을 촉진

● **(에너지 공급/수요 유연성 향상) 에너지 다양화로 인해 발행할 수 있는 문제를 해결하기 위한 통합적 관리운영**

- 에너지원 간 섹터 커플링, 대용량·저비용·장주기 에너지 저장 기술개발, 에너지 통합 관제시스템 구축 및 이의 데이터 기반 운영 등 전환에서 운영에 이르기까지 에너지시스템 기술 분야를 통합적으로 지원
- 재생에너지의 변동성 대응과 열에너지망 고도화 기술을 개발하여 에너지시스템 전체의 효율성 향상 목표

4.2 독일의 제8차 에너지 연구 프로그램⁵⁶⁾

4.2.1 임무별 목표

● 독일은 2045년 기후중립 목표 달성을 위한 일환으로 「제8차 에너지 연구 프로그램: 응용에너지 연구-에너지 전환을 위한 연구 임무」를 발표

- 연방 정부의 에너지 전환 이행 목표와 긴밀하게 연계된 최초의 「에너지 연구 프로그램」으로써, 2045년까지 기후 중립을 달성하기 위한 전략적 정책 도구 중 하나
- 기후중립 달성까지 촉박한 시간을 고려하여 ‘2045년까지 에너지시스템의 성공적인 전환’을 프로그램의 초점으로 두고 주로 응용 단계의 연구를 지원
- 이에 따라, 구체적인 기술보다는 ‘임무지향적’ 연구 프로그램으로 재편되었으며, 에너지 전환 및 가속화를 위한 자금지원 우선순위를 5가지 임무를 통해 제시
- 이른바 ‘스프린터 목표’를 제시하여 5가지 임무별로 에너지 전환과 특히 관련성이 높은 긴급한 연구 수요 및 목표를 제시하고 있는 것이 또한 특징
- 지속적인 모니터링을 통해 연구 자금이 연구 결과에 유연하게 대응할 수 있도록 ‘학습 프로그램’ 형태로 설계
 - 연방 정부는 공식화된 목표를 면밀히 모니터링하고 프레임워크 조건에 맞게 조정하는 절차를 거침
 - 스프린터 목표 역시 지속해서 검토 조정되며, 연방 정부의 정책 목표뿐만 아니라 시장 상황, 사회적 요구 사항 등에 대한 대응이 목적

[표 4-3] 「제8차 에너지 연구 프로그램」의 임무별 목표

임무	목표
에너지시스템 2045 Energiesystem 2045	탄력적이고 효율적인 에너지시스템
	프로그램 <ul style="list-style-type: none"> • '45년 에너지시스템 목표 비전과 전환 경로의 발전 • 에너지시스템의 전반적인 효율 향상 • 에너지시스템의 회복탄력성 및 공급 안정성 보장 • 에너지시스템의 지속가능성 향상 • 경제적이고 균형 잡힌 혁신 형성
	스프린터 <ul style="list-style-type: none"> • '30년 독일의 모든 지역에 대해 부문별 통합 에너지 인프라 계획 수립

56) BMWK(2023a), *op. cit.*

57) SPRIND(Stiftung für Technologie, Innovation und Forschung Sachsen)는 독일 내 혁신 생태계 조성 및 활성화, 혁신 프로젝트와 스타트업 발굴 및 지원, 기술혁신을 통한 사회경제적 과제 해결을 주요 목적으로 2019년 설립된 혁신기관. 본 기관에서는 기존 연구개발 지원 방식과 차별화하여 민첩성, 실험정신, 리스크 감수 등을 장려하고 창의성과 혁신성 높은 프로젝트를 선별하여 지원

<div>열 전환 2045</div> <div>Warmewende 2045</div>	기후 중립적인 냉난방 공급	
	프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 기후 중립적이면서 지속할 수 있는 건물 난방 수요 충족 산업/상업 냉난방 공급의 탈화석연료 달성 및 효율 향상 열 및 냉기를 효율적으로 분배하고 저장할 수 있는 강력한 인프라 설계 냉난방 부문의 유연한 잠재력을 활용
	스프린터	<ul style="list-style-type: none"> '30년 300℃ 이상의 공정 열을 공급할 수 있는 히트펌프의 산업공정 적용 '30년 중-심부 지열 에너지에서 10TWh 수준 지열 잠재력 개발 '30년 산업 및 지역 부문에 재생에너지 및 열에너지 저장시스템 도입 '30년 신행 단열재 도입으로 수명 전주기의 1차 에너지 투입량 기존 대비 절반 달성
<div>전력 전환 2045</div> <div>Stromwende 2045</div>	전기 공급을 재생할 수 있는 에너지로 전환	
	프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 효율적이고 지속 가능한 재생에너지 발전 안정적 전력 공급을 위한 안정적 전력망 확보 효율적인 전기 사용 및 저장 분산형 전력 생산자와 소비자의 효율적 네트워킹
	스프린터	<ul style="list-style-type: none"> '30년 15MW급 대형 풍력발전기 개발 향후 5년 이내 독일 및 EU의 완전한 태양광 가치사슬 구축 향후 5년 이내 전력 계통의 안정적인 탈석탄 에너지 그리드 운영 및 대규모 실증
<div>수소 2030</div> <div>Wasserstoff 2030</div>	지속 가능한 수소경제	
	프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 친환경 수소 및 파생 제품의 효율적 생산 탄력적인 수소 인프라 개발 및 테스트 친환경 수소를 전기로 유연하게 전환하는 공정의 효율 제고 효율적인 수소 기술로 산업공정 전환
	스프린터	<ul style="list-style-type: none"> '30년 전해조 투자 비용을 400유로/kW 미만 달성 '35년 전기 생산량을 수십 배 증가하고, 연료전지 발전소 효율 향상 '30년 대규모 친환경 수소 체인(생산, 운송, 저장 및 산업 사용자) 1개 이상 대규모 시연 '24년 '국가 수소 전략'에 따른 범부처 '수소 기술 및 혁신 로드맵' 발표 '27년 가스 및 수도 네트워크의 표준화된 국가 모델링 개발
<div>이전 Transfer</div>	연구 결과를 신속하게 실무에 적용	
	프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 전환을 위한 자격 있는 전문가의 활용성 확대 에너지 연구의 혁신 및 포트폴리오 관리 통합 신속한 프로세스 및 방식 활용 기술혁신 잠재력 활용 및 가치사슬 유지/확장 개방형 과학원칙을 통해 에너지 연구의 수용성 및 재사용 기회 확대
	스프린터	<ul style="list-style-type: none"> '30년 에너지 연구 프로젝트 모든 경력 단계의 여성 비율 증가 에너지 전환 형식의 실제 실험실은 계속 진행하며, 신규 자금은 미션을 모델로 선정 '24년 가용 R&D 예산의 일정 비율을 민첩하고, 비관료적인 자금 형식에 사용 민첩한 자금지원 형식에 대한 SPRIND와 협력⁵⁷⁾

※ 출처: BMWK(2023a)

4.2.2 임무별 주요 연구개발 내용

● (에너지시스템) 탄력적이고 효율적인 에너지시스템을 목표로, 에너지시스템 효율 향상 및 지속가능한 에너지원으로 전환 촉진

- 다양한 에너지원의 시스템 연계성과 의존성, 시나리오 계산 등을 통해 시스템 최적화를 지원하고, 미래 기술의 적용을 위한 기술평가, 수용성 연구 등을 지원
 - BMWK의 장기 시나리오를 토대로 하며, 발표 예정인 「시스템 개발 전략(Systementwicklungsstrategie)」과 연계하여 목표 및 범위를 보완하여 추후 업데이트
- 에너지시스템 효율 향상 관련 연계 시스템 모델 개발, 표준화된 형식 및 인터페이스 개발, 디지털화 등을 지원하고 이를 검증할 수 있는 '에너지 전환의 실제 실험실'과 같은 대규모 프로젝트 추진
- 에너지 회복탄력성과 공급 안정성을 도모하기 위해서 에너지시스템 취약점 분석, 원자재부터 기술에 대한 의존도 감소, 에너지시스템 중단 등 부정 영향 시뮬레이션 등과 같은 연구를 지원
 - 에너지 수입 의존도 및 기술 주권 강화를 위해 독일과 유럽연합의 핵심기술에 대한 수직적 제조 기반 마련, 규모 확대, 자재 재활용 등도 언급
- 기술 및 제품의 전체 수명 주기 동안의 온실가스 배출량과, 환경 영향 최소화를 목표로 제품 설계, 생산 프로세스 관련 연구를 지원하여 지속가능성을 높이고, 자동화를 위한 기술 비용 절감 및 비즈니스 모델 연구 등도 지원
 - 2023년 독일 정부는 표준화 기업 등과 협력하여 「순환 경제 표준화 로드맵」을 발표⁵⁸⁾

● (열 전환) 2030년 기후중립적인 냉난방 공급 50% 달성을 목표로, 에너지 소비생산 구조의 근본적 변화 촉구

- 비용 효율성 높은 공정, 난방 및 단열 평가 기술, 개별 기술 간의 디지털 네트워킹 등 산업 현장부터 구축 건물까지 특정 대상의 기술 수요를 맞출 수 있는 기술개발을 지원하여 에너지 효율화를 지향
- 태양열, 지열, 폐열, 바이오에너지 등의 다양한 에너지원의 사용 촉진과 전력 그리드의 지능화를 통해 열 및 냉방의 분배 및 저장을 위한 견고한 인프라 구축 연구개발을 지원
 - 바이오에너지는 활용에 양적 제한이 있으므로, 연방 정부는 「바이오매스 전략」을 수립하여 활용 우선순위와 에너지 연구 기술지원 지침을 마련

● (전력 전환) 2045년까지 재생에너지를 총 전력 소비량의 100%를 달성하는 것을 목표로, 효율적이고 지속 가능한 재생에너지 기반 전력 생산과 더불어 분산된 전기 생산자와 소비자를 효과적으로 연결하는 것 등에 중점

- 특히 태양광과 풍력 발전을 중심으로 전력 생산을 전환하고, 토지와 특정 자원의 소비 절감, 에너지 소비 효율이 높고 안정적인 시스템 개발, 유지 보수 용이성 개선 등을 연구
- 전력 다각화 관점에서 바이오연료, CCUS(Carbon Capture Utilization & Storage)를 활용하고, 열원도 태양열, 지열, 폐열 등으로 확대

58) 독일 환경부의 자금지원을 토대로 독일표준연구원(DIN), 독일전기전자기술위원회(DKE), 독일에너지니어링협회(VDI)가 '순환 경제 표준화 로드맵'을 발간하였으며, △디지털화/비즈니스 모델/관리, △전기공학 및 ICT, △배터리, △포장, △플라스틱, △섬유, △건물 및 지자체 7개 핵심 주제를 다룸

- 전력 공급수요 변동성, 사이버 공격, 디지털 제어 시스템 오작동, 이상기후 등에 대비하여 그리드 확장과 운영 연구를 지원하고 전기자동차를 포함한 전 분야에 걸친 에너지 저장 장치 연구를 지원
- 무역 및 산업 분야로 에너지 효율성 연구를 확대하고, 특히 산업 부문에 활용할 수 있는 수소 기반 대규모 에너지 저장 장치 개발을 지원

● **(수소) 독일 내 그린수소 경제를 구축하고 세계 시장 주도권을 확보하기 위해서, 수소 생산, 인프라 활용 등 전체 가치사슬에 걸친 기술혁신을 강조**

- 시장 확대를 위한 정책적 지침과 목표로 「국가수소전략(NWS)」⁵⁹⁾ 수립하고, 관련하여 범부처 「수소기술혁신 로드맵」이 2024년 발표될 예정
- 그린수소와 관련 시장 성숙을 위해 전해조, 대체 생산 공정, 유도체 생산 공정 등에 혁신적인 기술개발을 요구
- 수소 인프라 개발 및 시범 운영을 위해서, 기존 가스 인프라를 개조, 모델링을 통한 통합 계획, 저장 기술 관련 연구를 지원하고, 실증을 통한 운영 경험 축적, 안전 및 친환경 인증 개념 개발
- 수소 터빈, 연료전지, 가스 엔진 등의 기술 최적화를 통해 효율을 증가시키고, 섬 지역의 분산형 발전뿐 아니라 산업 플랜트, 대형 상용차, 선박, 철도, 항공기 등 다양한 분야로 적용 확대 제언
- 산업공정의 고온 공정과 설비를 수소 및 유도체에 적합하게 개조하고, 새로운 공정 개발을 지원

● **(이전) 연구 결과를 신속하게 시장에 적용하는 것을 목표로, 연구의 투명성, 시민 참여, 실용성을 지향하는 방향으로 기존 에너지 연구를 보완**

- 전문 인력 확보를 위해 연구 프로젝트를 통한 신진 연구자 양성, 연구기관의 전문성 강화, 연구-실무(기업, 에너지 공급업체, 상공회의소, 지방 당국 등) 간 네트워킹 등을 추진, 이와 관련하여 여성 인력에 대한 참여 혜택을 지원
- 프로젝트 결과에 대한 포트폴리오 관리를 강화하여 이를 기반으로 한 비즈니스 기회 파악, 시장조사, 파트너 협력 등을 지원
- ‘마이크로 프로젝트’라는 새로운 프로세스 형식을 통해 절차 간소화, 소규모 단기 프로젝트 지원, 실험적 방식의 자금지원을 도입하고 새로운 과제에 신속히 대응
 - 진행 중인 프로젝트는 ‘학습’과 ‘시행착오’ 접근 방식을 토대로 목표 지향적으로 평가하고, 이러한 프로세스는 모든 연구 주제로 확대할 예정
- 독일 제조업체의 기술리더십을 확보하기 위해서 전체 가치사슬을 고려한 핵심기술 개발, 제조업 기반 구축, 유럽 파트너와의 연구 협력을 지원
- 오픈 사이언스 원칙⁶⁰⁾ 통해 연구 결과 공개와 활용 기회를 높이고, 시민 참여를 확대하여 사회적 수용성을 제고

59) 「국가수소전략」은 「기후보호 프로그램 2030」에 포함되어 2020년 6월에 처음 발표되었으며, 2023년에는 국내외 에너지 시장 변화에 대응하여 목표를 상향 수정한 「국가수소전략 업데이트」 발표, 관련 세부 내용은 후술

60) 오픈 사이언스는 과학 연구의 데이터, 방법론, 출판물 등 연구 과정과 결과를 공개하고 공유하는 것을 의미. 이를 통해 개방적 협업이 이루어져 과학 연구의 투명성, 접근성, 효율성이 높아지고 새로운 발견과 혁신을 촉진

4.2.3 지원 대상 및 가속화 목표

● BMWK는 2024년 「제8차 에너지 연구 프로그램」 신규 과제 지원 공지에서 지원 대상 기술 분야를 명시하고, 프로젝트 제안 시 해당 기술 분야는 기술 1개 혹은 횡단 영역에 해당하여야 함을 명시⁶¹⁾

- 기술 분야를 크게 1) 에너지 공급, 2) 에너지 운송·저장 인프라, 3) 에너지 활용 및 에너지 효율, 4) 에너지시스템 및 시스템 통합, 5) 응용에너지 연구의 분야 횡단적 측면(Ubergreifende Aspekte der angewandten Energieforschung)으로 구분하고 있으며, 분야별로 세부적인 기술 분야를 제시
 - 횡단적 측면 해당 기술은 교차적인 속성을 가지며, 모든 기술 영역에서 적절한 방식으로 고려할 것을 요구
- 일부 기술 분야에 대해서는 관련된 스프린터 목표를 명시

[표 4-4] 「제8차 에너지 연구 프로그램」 지원 대상 및 가속화 목표

분야	세부 기술	연관 가속화 목표
1. 에너지 공급	1. 풍력	전력 전환 2045 : • '30년까지 15MW급 대형 풍력발전기 개발
	2. 태양광 발전	-
	3. 지열 에너지	-
	4. 히트펌프 및 열에너지 공급	열 전환 2045 : • '30년까지 300℃ 이상의 공정 열을 공급할 수 있는 히트펌프의 산업공정 적용
	5. 수소 및 파생 화학제품 생산, 연료전지, 전기로의 재전환	수소 2030 : • '30년까지 전해조 투자 비용을 400유로/kW 미만 달성 • '35년까지 전기 생산량을 수십 배 증가하고, 연료전지 발전소 효율 향상
	6. 태양열 에너지	-
	7. 바이오 잔여물·폐기물의 에너지로 활용	-
2. 에너지 수송 및 저장 인프라	1. 전력망 및 전력 저장	전력 전환 2045 : • 향후 5년 이내 전력 계통의 안정적인 탈석탄 에너지 그리드 운영 및 대규모 실증
	2. 난방 및 냉방 네트워크, 열·냉 저장	열 전환 2045 : • '30년까지 산업 및 지역 부문에 재생에너지 및 열에너지 저장 시스템 도입
	3. 수소 저장 및 운송	수소 2030 : • '27년까지 가스 및 수도 네트워크의 표준화된 국가 모델링 개발

61) BMWK(2024a), *op. cit.*

3. 에너지 활용 및 에너지 효율	1. 건물	열전환 2045 : • '30년까지 신형 단열재 도입으로 수명 전주기의 1차 에너지 투입량 기준 대비 절반 달성
	2. 지역	-
	3. 산업	-
	4. 자원 효율화 및 순환 경제	-
4. 에너지시스템 및 시스템 통합	1. 에너지 시스템 분석, 분야 횡단적 시스템 모델링 및 계획	에너지시스템 2045 : • '30년까지 독일의 모든 지역에 대해 부문별 통합 에너지 인프라 계획 수립
	2. 시스템 통합 및 디지털 솔루션	-
	3. 에너지 전환과 사회	-
5. 응용에너지 연구의 분야 횡단적 측면	1. 복원력, 표준화 및 인증, 디지털화 및 인공지능, 오픈 사이언스, 지속가능한 자원 이용, 이해관계자와 대중 참여, 사회적 잠재력 활용(여성 비율 증가), 국제협력 및 EU 협력	이전 : • '30년까지 에너지 연구 프로젝트 모든 경력 단계의 여성 비율 증가

※ 출처: BMWK(2024a)를 기반으로 저자 작성

4.3 소결

● (정책 목표) 우리나라는 일부 기술에 대해 달성해야 하는 기술 성능을 목표로 설정한 것에 반해, 독일에서는 임무별 달성 연도와 함께 프로그램별로 기술개발이 지향해야 하는 사회적인 과제를 제시

- 임무-프로그램-스프린터 목표 구조를 취하고 있는 독일은 임무 및 프로그램 단위에서는 사회적 달성 목표와 이를 지원하는 정책 과제를 다루고 있으며, 스프린터 목표(가속화 임무의 일종) 수준에서 단열, 풍력, 히트펌프, 수전해조 등 일부 기술에 관련된 기술 성능목표가 포함되는 경우가 존재

● (정책 범위) 양 정책 모두 탄소중립 달성을 지원하기 위한 최상위 R&D 계획이지만, 정책적 맥락에 따라 기술 범위 등 포괄 범위는 다소 상이

- (한국) 윤석열 정부 출범 이후 원자력 위상이 재조정됨에 따라 기본계획에서도 원자력 및 핵융합에너지를 포괄하고 있으며, '원전+재생에너지 조화'라는 방향성이 제시됨
 - 또한, 거버넌스, 제도 개선, 국제협력 및 기술이전, 인력양성 등 기술의 현장 적용 및 보급확산을 지원할 수 있는 기반에 관한 추진 과제들도 포함
- (독일) 탈원전·탈화력을 추진하는 에너지 전환 정책이 추진되면서 연구개발 프로그램에서도 원자력 안전 이외 원자력에 관한 사항은 대상에서 제외됨
 - 「제8차 에너지 연구 프로그램」에서 원자력 안전 분야 역시 제외되어 핵분열 에너지 관련된 사항은 모두 제외

● (제도 기반 조성) 정책상의 전략임무 단위에서 제도개선·인력양성·국제협력 등의 기반 조성에 관한 영역을 설정하고 있는 것은 공통으로 나타남

- 독일은 에너지 전환 리빙랩의 중요성은 지속해서 강조하면서 「제8차 에너지 연구 프로그램」에서도 스프린터 목표로서 설정하고 있으며, DARPA형 모델인 SPRIND를 통한 자금 조달도 포함
 - 또한, 이전 임무의 개방형 과학원칙 적용, 젠더 형평성 등의 원칙은 단순한 정책적인 선언뿐만 아니라 자금지원 공모에서도 지원 때 고려할 것을 적시하고 있어 정책적 실효성을 담보하는 구조
- 독일은 '이전 임무' 영역을 통해 전략적인 학습을 위한 소규모 과제 지원에 대한 근거를 마련하고 있는 점을 눈여겨 볼 수 있음
 - 난제에 효율적으로 대응하기 위한 전략인 임무지향적 혁신 정책의 핵심은 실패로부터의 교훈을 빠르게 학습 흡수하여 피드백할 수 있는 구조의 형성이나, 우리나라의 기본계획은 상대적으로 지속적인 학습 및 이를 반영할 수 있는 체계는 다소 미흡한 것으로 사료됨
- 우리나라는 국제협력 부분에서 선진국과의 공동 연구-개도국의 현지 실증 등을 강조하고 있으며, 독일은 에너지 연구 프로그램에서 EU와의 파트너십 강화를 강조하고 있음
 - 실제 사업 단위에서도 Horizon Europe, IPCEI 등에 적극 참여하고 있는 독일의 움직임을 고려해 볼 때, 우리나라에서도 EU Horizon Europe 등을 통한 양국 간 가교 강화 전략을 검토할 필요성이 있음

Chapter 5

요약 및 결론

5.1 요약 비교

- 본 장에서는 독일의 「제8차 에너지 연구 프로그램」과 이에 상응하는 우리나라의 R&D 정책인 「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획」에 대하여 R&D 정책 및 투자 현황을 중심으로 비교·정리하고자 함

[표 5-1] 한국과 독일의 최근 기후변화 대응 정책 요약 비교

구분	한국	독일
	「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획」	「제8차 에너지 연구 프로그램」
임무	<ul style="list-style-type: none"> 과학기술 혁신을 통한 기후위기 대응과 신시장 선점 	<ul style="list-style-type: none"> 2045년까지 에너지시스템의 성공적인 전환
추진 현황	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 대응 R&D 최상위 계획으로 '22년 최초 수립 온실가스 감축, 적응, 혁신생태계 조성 3개 부문 재생에너지 확대, 에너지 효율 향상, 그린수소 등에 집중 	<ul style="list-style-type: none"> '77년 처음 추진되어 현재 제8차에 이룸 당시의 시급한 에너지 문제를 반영하여 지속 개편 현재 실증 및 응용 연구에 집중
추진체계	<ul style="list-style-type: none"> 국가과학기술자문회의와 탄소중립녹색성장위원회는 목표·핵심기술·전략의 선정, 부처 역할 조정 등 지원 과기부, 산업부, 국토부, 환경부 등 관계부처 합동 - 부처별 R&D 전략 수립 	<ul style="list-style-type: none"> (~'23) BMWK(TRL 3~9), BMBF(TRL 1~3), BMEL(바이오매스 3~7), BMUV(원자력 안전 3~9) ('24~) BMWK, BMBF
특징	<ul style="list-style-type: none"> 상위 기본계획에서 '임무 중심의 R&D'를 명시 기존 고시된 기술, 정책에 대한 정합성 강조 세부 기술별 소관 부처가 분산 	<ul style="list-style-type: none"> '임무지향적' 연구 프로그램으로 개편 '스프린터 목표'를 제시 '학습 프로그램' 형태로 설계 '실제 실험실' 실증 프로젝트 추진
투자 현황	<ul style="list-style-type: none"> '22년 기준 약 2조 9,072억 원* 에너지 생산, 에너지 효율, 연원료 분야 투자 추이 ▲ 연원료 대체, 온실가스 처리 분야에 신규 투자 ▲ 	<ul style="list-style-type: none"> '23년 기준 약 14억 6,172만 유로 (약 2조 2천억 원) 수소 및 섹터 결합 기술 부분에 투자 추이 ▲ 통합시스템, 에너지 전환 시스템에 신규 투자 ▲ 원자력 에너지 ▼, 원자력 안전 투자 ▼
유관 사업 (R&D 투자 상승 부분)	<ul style="list-style-type: none"> 그린수소 기술자립 프로젝트: 알카라인, PEM 수전해 H2NEXTROUND: 차세대 수전해 및 LOHC 미래수소원천기술개발사업: 태양광 수소, PCEC 수소, 고체 흡착 수소 저장, 암모니아 수소 추출 등 DACU 원천기술개발사업: DAC 및 유용화합물 전환 C1가스 리사이클링: C1가스 기반 고부가가치 화합물 생산 CCU3050: 블루수소 생산, 산업용 CCU 	<ul style="list-style-type: none"> 수소 플래그십 프로젝트: 수전해 대규모 양산, 해상 풍력 연계 수소 및 PtX 제품 생산, 수소 운송 기술 개발 IPCEI Hydrogen: 수소 모빌리티, 수소 인프라 NAMOSYN: 합성연료 기반 모빌리티 CO₂WIN: CO₂ 전기 전환, CO₂ 광물화 등 CCU Carbon2Chem: 철강 생산 공정의 CO₂ 활용

* '23년은 투자 총액은 추정치로 비교하지 않음

[표 5-2] 「기후기술법」 기준 한국과 독일의 중점기술 범위 비교

구분		한국	독일
		「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획」	「제8차 에너지 연구 프로그램」
「기후기술법」 기술 세부내용 고시	에너지 생산	태양광	포함
		태양열	포함
		풍력	포함
		해양에너지	-
		수력	-
		수열	-
		지열	포함
		바이오에너지	포함
		수소암모니아 발전	포함
		석탄액화가스화	-
		원자력	포함
		핵융합에너지	포함
	연·원료 대체	수소	포함
		바이오매스	포함
		폐자원	포함
	에너지 효율	발전효율	포함
		산업효율	포함
		수송효율	포함
		건물효율	포함
	온실가스 처리	CCUS	포함
		메탄 처리	-
		기타 온실가스 처리 및 대체	-
	에너지 융복합	탄소흡수원	-
		전력 통합	포함
		열 통합	포함
		전력비전력 부문간 결합	포함
기타* (「기후기술법」 기술 세부내용 고시)		에너지 효율성 지역 부문	포함
		에너지 전환과 사회	포함
		에너지 시스템 분석, 분야 횡단적 시스템 모델링 및 계획	포함
		횡단 영역	포함

* 해당 기술은 「기후기술법」 기술 세부내용 고시에는 포함되지 않고, 독일 「에너지 연구 프로그램」에만 포함된 경제사회적 또는 횡단 영역 기술임

- 독일은 BMWK가 응용부터 실증까지 주도하며, 다양한 부처 간 협력 체계를 통해 연구를 추진하는 반면, 한국은 과기정통부, 산업통상부 등 여러 부처가 각각의 기술 영역을 담당하고 있음
- 양국의 R&D 정책에서 다루는 기술 범위는 기술을 지칭하는 용어나 분류에 차이가 있으나 상당 부분 유사하며, 일부 기술 원자력, 바이오매스, 시스템 분석, 모델링 및 계획, 횡단 영역 등에서 차이가 있음

- 독일은 2045년까지 기후중립을 달성하기 위해 에너지 시스템 전환과 수소 기술에 중점을 두고, 인프라 구축과 섹터 결합 통합시스템을 주요 연구 목표로 하는 프로그램을 추진
- 반면, 한국은 재생에너지, 에너지 효율 향상, 수소 개발에 주력하는 R&D 정책을 추진하며, 특히 재생에너지와 에너지 효율 향상에 상대적으로 높은 중요성
- 독일과 한국 모두 수소 및 CCUS 기술 분야에서 신규 투자 규모가 확대되고 있음

5.2 결론 및 시사점

● 독일은 「제8차 에너지 연구 프로그램」을 출범하면서 ‘임무지향적 혁신정책’을 전면적으로 도입하였으며, 우리나라도 「기후변화 대응 기술개발 기본계획」에서 구체적인 기간과 성능을 정한 전략 목표 및 추진 과제들이 다방면으로 설정되어 있으나 체계 면에서는 다소 미흡한 부분이 존재

- 난제의 속성상 이해관계자 간 지속적·효율적 연계·협력 체계 구축이 필수 불가결한 상황이므로, 우리나라에서 기후기술 개발 이행점검 범부처 협의체의 운영을 다양한 이해관계자를 포함하여 활성화할 필요
- 새로운 식견을 지속적·효율적으로 발굴하여 학습하기 위한 수단으로서 별도의 소규모 프로젝트 운영 방식의 도입을 검토해 볼 필요성이 있음
 - 우리나라에서도 혁신도전형 사업, 기초연구 지원사업에서 소규모 과제들이 다수 운영되고 있으나, 기후변화 관련 연구개발사업이 아닌 별도 틀에서 운영되고 있으므로 관련 식견들이 효율적으로 정책에 피드백되기 어려운 구조로 보임
 - * 최근 독일뿐만 아니라 일본에서도 미래사회창조사업 등을 통해 영역별로 새로운 식견을 발굴하기 위한 탐색형 연구개발 프로젝트들이 수행되고 있는 점 등을 고려할 때, 시험적인 시도를 할 수 있는 도전형 프로젝트에 관한 트랙의 도입도 검토해 볼 필요성이 있음
- 독일은 「제8차 에너지 연구 프로그램」을 통해 소규모 탐색-응용 연구-리빙랩을 통한 사회적 확산을 포함하고 있을 뿐만 아니라, 독일형 DARPA인 SPRIND의 역할까지 명시하고 있음
 - 한국 「제1차 기후변화 대응 기술개발 기본계획」상으로도 혁신도전 프로젝트 등 High-Risk/High Reward형 사업의 활용에 관한 내용이 포함되어 있지 않음
 - 우리나라에서도 DARPA형 모델 R&D 사업인 혁신도전 프로젝트 등이 시행되고 있으나, 과학기술 전 분야를 포괄하고 있으므로 실제 추진 과제에서 탄소중립 관련 기술에 대한 비중은 적은 실정
 - 따라서, 우리나라의 ‘High-Risk/High Reward’형 사업 내에서 돌파구가 될 탄소중립 분야 혁신기술 창출이 가속화될 수 있도록 향후 기본계획 내에서 관련 근거를 포함하는 것을 검토하여야 함
- 독일은 개발된 기술의 효율적인 사회적 보급을 위한 수단으로써 활용하고 있는 리빙랩을 분석하여, 우리나라에서의 리빙랩 확산 전략을 마련할 필요성이 있음
- 국제협력 부문에서도 Horizon Europe, IPCEI 등 EU 차원의 국제협력 활성화를 강조하고 있는 점을 볼 때, 최근 우리나라의 Horizon Europe 준회원국 가입을 활용하여 독일과의 협력 창구 확대를 추진할 필요성이 있음

● **독일과 한국 모두 CCUS, 수소 기술을 미래 에너지 전환의 핵심으로 보고 있으며 이에 대한 투자와 연구개발이 매우 활발**

- 그러나, 한국과 다르게 독일은 자국 주변의 EU 협력 국가와의 수소 파이프라인 구축 등 인프라 부분에 장기적인 계획을 마련하고 높은 비중으로 투자
- 독일은 실제 실험실 등의 대규모 실증 프로그램을 통해 기술 조기 상용화 및 수소경제 주도권 선점을 위해 노력하고 있으며,
- 한국도 대내외적 환경을 고려하여 맞춤형 장기적 전략을 수립할 필요가 있으며, 실증연구에 적극적 투자 필요

● **에너지시스템, 섹터 결합 등 종합적인 연구 성과를 달성하기 위해 부처 간 협력의 필요성을 더욱 강조할 필요**

- 독일은 BMWK를 주무 부처로 하여 다양한 종류·수준의 기술을 포괄하여 다룸
- 한국의 연구개발 체계는 각 부처의 역할이 분산되어 있어, 연구개발 과정에서 부처 간의 긴밀하면서 효율적인 연계·협력 체계를 마련할 필요

참고문헌

- 과학기술정보통신부(2022), 「제5차 과학기술기본계획 2023~2027」
- 과학기술정보통신부(2023), 「국가 수소 중점연구실 운영방안」
- 과학기술정보통신부(2024), 「2024년도 과기정통부 연구개발사업 종합시행계획 및 세부사업 추진계획」
- 과학기술정보통신부(Website), <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=238&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3183850>
- 관계부처 합동(2022), 「탄소중립 녹색성장 기술 혁신 전략」
- 관계부처 합동(2022a), 「제1차 기후변화대응 기술개발 기본계획」
- 관계부처 합동(2023), 「탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」
- 김영수(2021), 독일 연방 기후보호법의 분석 및 2021년 3월 24일자 연방헌법재판소의 동 법률 일부 위헌결정과 그 후속 논의, 法學論文集, 45(2), p161~205.
- 산업통상자원부(2023), 「2024년도 산업기술혁신사업 안내」
- 안세진 외(2023), 기후기술 국가연구개발사업 투자현황분석(2018~2022), NIGT BRIEF, 국가녹색기술연구소.
- 정책브리핑(Website), <https://korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148923926>
- 탄소중립 정책포털(Website), <https://www.gihoo.or.kr/menu.es?mid=a30201000000>
- BMBF(2023), Strategien und strategienähnliche Maßnahmen im Rahmen der Zukunftsstrategie Forschung und Innovation.
- BMWi(2011), 6th Energy Research Programme of the Federal Government
- BMWi(2017), Energieforschungsprogramm der Bundesregierung 1977 – 2017
- BMWi(2018), 7th Energy Research Programme of the Federal Government
- BMWK(2023), Bundesbericht Energieforschung 2023 Forschungsförderung für die Energiewende
- BMWK(2023a), 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten energieforschung
- BMWK(2023b), Photovoltaik-Strategie
- BMWK(2023c), Windenergie-an-Land-Strategie
- BMWK(2023d), Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie
- BMWK(2024a), Förderbekanntmachung zur angewandten Energieforschung im Rahmen des 8. Energieforschungsprogramms

- BMWK(2024b), Förderprogramm Fusion 2040
- BMWK(2024c), Bundesbericht Energieforschung 2024
- BMWK(2024d), Bundesbericht Energieforschung 2024 Forschungsförderung für die Energiewende
- BMWK(Website), <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Ministerium/haushalt-2024.html>
- BMWK(Website), <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2024/02/20240215-european-commission-approves-funding-for-key-hydrogen-projects.html>
- CO2Win(Website), <https://co2-utilization.net/en/>
- Hydrogen Flagship Projects(Website), <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/projects>
- KIER 기술정책(2021), 「기후변화대응 기술개발 촉진법」의 주요 내용 및 시사점
- KISTEP(2023), 「2023 국가연구개발사업 종합안내서」
- KISTEP(2024), 「2024 국가연구개발사업 종합안내서」
- NAMOSYN(Website), <http://namosyn.de/>
- thyssenkrupp(Website), <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/company/sustainability/carbon2chem/carbon2chem.html>

본 발간물은 국가녹색기술연구소(NIGT)의 주요사업 「기후변화 적응 유망기술 발굴 및 신규 R&D 사업기획 연구: 복합재난 대응 기술 중심으로」(과제번호: R2410201)의 일환으로 수행되었습니다.



07328 서울특별시 영등포구 여의나루로 60 여의도포스트타워 14층

TEL. 02-3393-3900 FAX. 02-3393-3919~20 www.nigt.re.kr

*본 NIGT FOCUS의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 연구소의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.