

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()

국가연구개발성과평가사업 최종보고서

발간등록번호

11-1721000-000816-01

혁신정책 / 2023-002

탄소중립 기술혁신 전략고도화 및 정책 기반 조성 연구

2024. 2.

주관연구개발기관: 한국과학기술기획평가원



과학기술정보통신부

제 출 문

과학기술정보통신부 장관 귀하

본 보고서를 “탄소중립 기술혁신 전략고도화 및 정책 기반 조성 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 2

주관연구기관 : 한국과학기술기획평가원
연구책임자 : 조길수(부연구위원)
참여연구원 : 박창현(연구위원)
정선민(부연구위원)
이희권(연구위원)
김선교(부연구위원)
김혜나(부연구위원)
전혜수(연구원)

국가연구개발혁신법 시행령 제35조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서							보안등급 일반[○], 보안[]				
중앙행정기관명				사업명	사업명						
전문기관명 (해당 시 작성)					내역사업명 (해당 시 작성)						
공고번호				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)							
				연구개발과제번호							
기술 분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명	%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명					
	부처기술분류 (해당 시 작성)	1순위 소분류 코드명	%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명					
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	국문										
	영문										
연구개발과제명	국문	탄소중립 기술혁신 전략고도화 및 정책 기반 조성 연구									
	영문	A Study on the Development of Carbon-Neutral Technology Innovation Strategy									
주관연구개발기관	기관명	한국과학기술기획평가원			사업자등록번호		229-82-01678				
	주소	충북 음성군 맹동면 원중로 1339			법인등록번호		110271-0004210				
연구책임자	성명		조길수		직위		부연구위원				
	연락처	직장전화	043-750-2496		휴대전화		-				
		전자우편	gilsoojo@kistep.re.kr		국가연구자번호		11634098				
연구개발기간	2032. 2. 11. - 2024. 2. 10. (12 개월)										
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
		지방자치단체	기타()								
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
300,000								300,000		300,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
						역할	기관유형				
	공동연구개발기관										
	위탁연구개발기관										
연구개발기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자	성명		조길수		직위		부연구위원				
	연락처	직장전화	043-750-2496		휴대전화		-				
		전자우편	gilsoojo@kistep.re.kr		국가연구자번호		11634098				

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024년 2월 10일

연구책임자: 조길수 (인)

주관연구개발기관의 장: (직인)

공동연구개발기관의 장: (직인)

위탁연구개발기관의 장: (직인)

중앙행정기관의 장 귀하

< 요약서 >

사업명								총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)					
내역사업명 (해당 시 작성)								연구개발과제번호					
기술 분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명	%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%						
	부처기술분류 (해당 시 작성)	1순위 소분류 코드명	%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%						
총괄연구개발명 (해당 시 작성)													
연구개발과제명		탄소중립 기술혁신 전략고도화 및 정책 기반 조성 연구											
전체 연구개발기간		2032. 2. 11. - 2024. 2. 10. (12 개월)											
총 연구개발비		총 300,000천원 (정부지원연구개발비: 300,000천원, 기관부담연구개발비: 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)											
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]											
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		o 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 도출 및 기술분야별 전략로드맵 마련									
		전체 내용											
		1단계 (해당 시 작성)	목표										
			내용										
		n단계 (해당 시 작성)	목표										
내용													
연구개발성과		o 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술」 「탄소중립 기술혁신 전략로드맵-II」 안건을 탄소중립 기술특위에 상정											
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과		o 로드맵을 바탕으로 부처별 투자우선순위 설정 및 R&D 예산배분·조정에 반영 - 로드맵에 제시된 목표 달성에 대한 지속적 점검을 통한 성과관리 강화											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유													
연구개발성과의 등록· 기탁 건수		논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
				1					생명 정보	생물 자원		정보	실물
세부 정량적 연구개발성과 건수		과학적 성과				사회적 성과							기타
		논문 게재	학술 회의 발표	보고서 원문	법령 반영	정책 활용	안건 상정	제도 개선	다른 연구에 활용	국제 협력	(정책) 홍보	포상 ·수상	
							3						
국문핵심어 (5개 이내)		전략로드맵		탄소중립		임무지향		에너지정책		R&D전략			
영문핵심어 (5개 이내)		Strategic Roadmap		Carbon Neutral		Mission Oriented		Energy Policy		R&D Strategy			

요 약 문

I. 서론

- 탄소중립 이행을 위해 연료 대체, 원료 대체, 생산공정, 자원순환 등 산업 전반에 걸친 대전환이 요구됨에 따라, 친환경 혁신 기술의 중요성이 급격히 대두되는 중
 - 새로운 기술 혁신*에 의해 △산업 구조 변경(고탄소 → 저탄소), △전원믹스 변경(무탄소 전원 중심) 등 탄소중립 대전환 시대 전망
 - * 석탄화력을 대체하는 고효율 태양광 발전 기술, 탄소배출을 제로로 하는 수소환원제철 기술, 친환경 에너지원을 통한 그린수소 공급 기술 등
 - 글로벌 탄소중립 실현을 위해 필요한 탄소저감량 총량의 50%가 개발 중*인 기술의 개발 완료에 달려있고, 현재 시장에 존재하는 기술만으로는 탄소중립 실현이 불가능
 - * 실증(demonstration), 프로토타입(prototype) 단계
 - 탄소중립 실현을 위한 기술을 확보하기 위하여 주요국은 총력을 기울이는 중
- 우리나라는 에너지 소비가 많은 제조업 중심의 경제 구조, 재생에너지 생산에 불리한 환경 등 탄소중립 이행에 어려워 기술 혁신이 더욱 중요
 - 정부는 ‘탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략(22.10)’과 ‘탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획(23.4)’을 발표하여, 탄소중립을 위한 범부처 기술혁신 추진 방향 제시
 - 우리나라 여건을 고려하여 ▲탄소감축 기여도, ▲탄소감축 비용효과, ▲실현 가능성 검토하여 한국형 탄소중립 100대 핵심기술을 도출하고, 명확한 임무 기반의 R&D 로드맵 체계를 구축하기 위하여 17대 탄소중립 분야별 전략로드맵을 마련
 - 우리 여건상 반드시 필요한 기술을 정부 R&D 지원을 통해 전략적으로 선정·육성하여, 향후 민간의 기술 혁신을 유도하고 지속 가능한 녹색성장의 발판을 마련할 필요
- 본 연구는 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 구체화 및 기술 분야별 임무 기반의 기술혁신 전략로드맵 수립 추진
 - ▲탄소감축 기여도, ▲탄소감축 비용효과, ▲실현 가능성 등 우리나라 여건을 고려한 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 구체화
 - 탄소중립을 위한 임무 기반의 분야별 기술개발 목표 및 추진전략 제시

II. 한국형 탄소중립 핵심기술 도출

- (추진 목적) 우리 여건 상 반드시 필요한 기술을 전략적으로 선정·육성하여 실효성 있는 탄소중립 이행과 지속가능한 녹색성장에 기여하고자 우리나라 여건을 고려한 한국형 탄소중립 100대 핵심 기술(안) 선정

 - (추진 방향) ‘탄소중립기술기획위’를 구성하여 총 447개에 대한 탄소중립 기술분류체계 작성 후 100대 기술 선별하고 100대 기술을 구체화
 - 17대 중점기술 분야별 탄소중립기술기획위를 구성, 탄소중립기술기획위를 중심으로 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)을 마련
 - (추진 내용) 연구·산업 현장 수요, 정부·민간 R&D 투자 현황 및 국내외 기술 동향을 분석, 우선순위를 고려하여 탄소중립 기술분류체계 작성하고 국내 여건을 고려하여 반드시 필요한 100개 기술을 최종 선별
 - ※ 평가 지표: ①탄소 감축 기여도, ②탄소 감축 비용·효과, ③실현가능성
- (도출 결과) 체계적인 육성을 위해 기간별·수준별 포트폴리오를 구성하였으며, ^{기간별}중장기형(‘30년 이후 상용화), ^{수준별}신격차·감격차 기술에 집중

 - (에너지 전환 부문) 산업 및 사회 전 분야 탄소중립 전환의 근간으로, 미래 에너지 안보 차원과 국내 지리적 여건, 주민 수용성 등을 고려하여 기술 선정
 - (태양광) 현재 보유한 최고 수준 기술력, 좁은 국토면적 및 주민 편의성 등을 고려하여 초고효율화 관련 기술 선정
 - (풍력) 에너지 안보 차원의 기술 내재화 필요성, 좁은 국토면적, 심해에 집중된 풍력자원 등을 고려하여 초대형화·해상풍력 관련 기술 선정
 - (수소공급) 초기 시장 확보를 위한 선제적 기술 확보 필요성, 미래 수소 공급망 안정성을 고려하여 생산·저장 등 전주기 관련 기술 선정
 - (무탄소 전력공급) 신재생에너지 확대에 따른 전력 공급 안정성 확보 차원을 고려하여 분산·유연 발전원 관련 기술 선정
 - (전력 저장) 현재 보유한 이차전지 기술 경쟁력, 전력 공급 변동성 및 전력 수요 증가 대응을 고려하여 ESS 관련 기술 선정
 - (전력망) 재생에너지 확대에 따른 전력망 부담 가중에 대비하기 위해 지능형 전력망 관련 기술 선정

- (에너지통합시스템) 대부분의 연료를 수입에 의존하는 상황에서 에너지 안보 차원을 고려하여 히트펌프 관련 기술 선정
- (원자력) 현재 보유한 기술 경쟁력, 신재생에너지를 보완하는 기저발전원 역할을 고려하여 고효율 시스템·폐기물 관리 관련 기술 선정
- (산업 부문) 주력산업을 탈탄소화하는 동시에 경쟁력을 유지하기 위한 기술 혁신이 필요하여 원료전환·공정혁신 기여도를 고려하여 기술 선정
 - (철강) 탄소배출 감축을 위한 공정 혁신 필요성, 현재 보유한 기술 경쟁력 등을 고려하여 수소환원제철 등 관련 기술 선정
 - (석유화학) 탄소배출 감축 기여도, 부가가치 및 관련 산업 성장을 고려하여 연·원료 대체, 자원 순환, 신공정 관련 기술 선정
 - (시멘트) 내수 중심으로 국내 생산이 불가피한 산업 특성을 고려, 기술 내재화가 필요한 연·원료 대체 관련 기술 선정
 - (CCUS) 국내 감축목표 달성을 위한 필요성, 신시장 창출 효과가 크나 국내 인프라 등이 부족함을 고려, 전주기 관련 기술 선정
 - (산업 일반) 고탄소 제조업·수출 중심 경제구조에서 글로벌 탄소배출 규제 확산을 고려하여 설비 전환·에너지 효율화 등 범용 기술 선정
- (수송·교통 부문) 글로벌 규제가 본격화됨에 따라 산업 전반의 패러다임 전환이 요구되어 우리 기술 수준, 관련 산업 경쟁력 등을 고려하여 기술 선정
 - (친환경 자동차) 수송·교통부문 탄소감축 기여도와 현재 보유한 기술 경쟁력을 고려하여 구동 모터 등 핵심 부품 관련 기술 선정
 - (탄소중립 선박) 국제 규제에 대응한 조선 산업 경쟁력 유지 측면을 고려하여 탄소중립 내연기관 등 핵심 기자재 관련 기술 선정
- (건물·환경 부문) 우리 주거형태, 지형 등에 맞는 국내 맞춤형 자체 기술을 확보하는 것이 중요하여 도시 환경 및 효율적 국토 이용 등을 고려하여 기술 선정
 - (제로에너지건물) 건물이 밀집된 도시환경 및 공동주택 중심의 국내 주거형태 등을 고려하여 에너지 저감·신재생에너지 관련 기술 선정
 - (환경) 국내에서 주로 발생하는 폐기물의 종류, 좁은 국토 공간의 효율적인 이용 등을 고려하여 자원순환 및 탄소흡수 관련 기술 선정

〈표 1〉 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)

분야	핵심 기술명		분야	핵심 기술명	
태양광	1-01 초고효율 태양전지		석유화학	10-10 페플라스틱 열분해	
	1-02 사용처 다변형 태양광 시스템			10-11 페플라스틱 가스화	
	1-03 폐태양광 재활용·재사용			10-12 연료유·부산물의 기초화학원료 전환	
풍력	2-01 초대형 풍력 터빈		신공정	10-13 저에너지 반응 공정	
	2-02 해상풍력 부유체 시스템			10-14 저에너지 분리 소재·공정	
	2-03 해상풍력 발전 운영·관리			10-15 스마트 플랜트 전환	
	2-04 수직축 부유식 풍력발전			11-01 비탄산염 원료 대체	
	2-05 해상풍력 설치·시공			11-02 혼합재 함량 증대	
수소공급	생산	3-01 알칼라인 수전해	시멘트	11-03 신규 혼합재 제조	
		3-02 PEM 수전해		11-04 순환자원 연료 대체	
		3-03 차세대 수전해		11-05 저탄소 신열원 활용	
	저장·운송	3-04 기체수소 저장·운송		포집	12-01 습식 포집
		3-05 액체수소 저장·운송			12-02 건식 포집
		3-06 수소전용 배관망	12-03 분리막 포집		
	해외도입	3-07 해외 암모니아·수소 대용량 저장·운송	12-04 차세대 포집		12-05 저장소 탐사·평가·선정
		3-08 차세대 해외수소 저장·운송	12-06 저장 시설·설비 설계·구축		12-07 저장소 CO ₂ 주입 및 운영
		3-09 액체수소 운송선	12-08 CO ₂ 저장 모니터링	12-09 화학적 전환	
		3-10 액체수소 인수기지	12-10 광물 탄산화	12-11 생물학적 전환	
전력공급 무탄소	4-01 수소 혼소 가스터빈 발전		CCUS	12-11 생물학적 전환	
	4-02 수소 전소 가스터빈 발전			저장	13-01 산업공정용 수소·암모니아 활용
	4-03 석탄보일러 암모니아 혼소				13-02 공정가스 대체(반도체·디스플레이)
	4-04 초고효율 연료전지 복합발전				13-03 공정가스 처리(반도체·디스플레이)
	4-05 고효율 연료전지 열병합 시스템				13-04 친환경 냉매
전력저장	5-01 단주기 에너지 저장 시스템		산업일반	13-05 전동기·전력변환기 효율화	
	5-02 장주기 에너지 저장 시스템			13-06 그린 데이터센터	
	5-03 사용후 배터리 ESS 시스템			13-07 탄소배출 저감 효과 모니터링	
전력망	6-01 지능형 송배전 시스템			친환경자동차	14-01 이차전지 셀 고도화
	6-02 실시간 전력거래 플랫폼				14-02 이차전지 시스템 고도화
	6-03 분산전원 및 유연자원 통합 운영				14-03 구동 모터 성능 향상
시스템 통합 에너지	7-01 산업용 고온·초저온 히트펌프				14-04 전력변환장치 고도화
	7-02 복합에너지 시스템		14-05 유선충전 고속화		
	7-03 열에너지 저장 시스템		14-06 무선충전 고용량화		
원자력	8-01 소형모듈원자로(SMR)		14-07 연료전지 시스템 고도화		
	8-02 선진 원자력 시스템		14-08 차량용 수소저장시스템		
	8-03 원자력 폐기물 관리		14-09 수소 충전소		
철강	9-01 고로 연·원료 대체		선박탄소중립		15-01 탄소중립 내연기관
	9-02 전로 원료 대체			15-02 선박용 연료전지·배터리 시스템	
	9-03 탄소 저감형 전기로			15-03 선박 전기추진 시스템	
	9-04 한국형 수소환원제철			15-04 연료 후처리 및 에너지효율 향상	
	9-05 철강산업 하공정 무탄소 연료전환		건물제로에너지	16-01 고성능·다기능 외피	
	9-06 철강 부산물 재자원화			16-02 건물 설비 전기화·고효율화	
석유화학	연료대체	10-01 전기가열로 NCC 시스템		16-03 건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템	
		10-02 무탄소 연료 NCC 공정		16-04 건물에너지 관리·제어·데이터 활용	
		10-03 부생가스 고부가 전환		환경	17-01 생분해성 바이오 플라스틱
	원료대체	10-04 바이오 나프타·올레핀			17-02 리뉴어블 플라스틱
		10-05 바이오 PEF	17-03 금속자원 회수		
		10-06 바이오폴리올	17-04 국토공간별 탄소흡수 증진		
	자원순환	10-07 페플라스틱 자동선별			
		10-08 페플라스틱 용매 추출			
		10-09 페플라스틱 해중합			

〈표 2〉 분류별 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)

	단기형 (~'30년 상용화) (37개)	중장기형 ('30년 이후 상용화) (63개)
초격차 (9)	<ul style="list-style-type: none"> ·(수소) 기체수소 저장·운송 ·(전력저장) 단주기 에너지 저장 시스템 ·(원자력) 소형모듈원자로(SMR) ·(친환경차) 이차전지 셀 고도화 ·(친환경차) 이차전지 시스템 고도화 ·(친환경차) 연료전지 시스템 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> ·(철강) 수소환원제철 ·(석유화학) 연료유·부산물 기초화학 원료 전환 ·(산업일반) 친환경 냉매
신격차 (39)	<ul style="list-style-type: none"> ·(태양광) 초고효율 태양전지 ·(태양광) 사용처 다변형 태양광시스템 ·(태양광) 폐태양광 재활용 재사용 ·(수소) 해외 암모니아·수소 대용량 저장·운송 ·(무탄소전력) 고효율 연료전지 열병합 ·(전력저장) 사용후 배터리 ESS 시스템 ·(전력망) 분산자원 및 유연자원 통합운영 ·(철강) 고로 연·원료 대체 ·(철강) 전로 연·원료 대체 ·(철강) 철강산업 하공정 무탄소 연료 전소 ·(석유화학) 바이오 PEF ·(석유화학) 바이오플리울 ·(석유화학) 폐플라스틱 자동 선별 ·(친환경차) 전기구동시스템 성능 향상 ·(친환경차) 전력변환장치 고도화 ·(친환경차) 유선충전 고속화 ·(환경) 바이오 생분해성 플라스틱 	<ul style="list-style-type: none"> ·(풍력) 수직축 부유식 풍력발전 ·(수소) 차세대 수전해 ·(수소) 액체수소 운송선 ·(전력저장) 장주기 에너지 저장 시스템 ·(석유화학) 부생가스 고부가 전환 ·(석유화학) 바이오나프타·올레핀 ·(석유화학) 폐플라스틱 용매 추출 ·(석유화학) 폐플라스틱 해중합 ·(석유화학) 폐플라스틱 열분해 ·(석유화학) 폐플라스틱 가스화 ·(석유화학) 저에너지 반응 공정 ·(석유화학) 저에너지 분리·소재 공정 ·(CCUS) 습식 포집 ·(CCUS) 건식 포집 ·(CCUS) 차세대 포집 ·(산업일반) 공정가스 대체 ·(산업일반) 공정가스 처리 ·(선박) 연료 후처리 및 에너지 효율향상 ·(건축) 건물에너지 관리·제어·데이터 활용 ·(환경) 리뉴어블 플라스틱 ·(환경) 금속자원 회수 ·(환경) 국토공간 유형별 탄소 흡수 증진·관리
감격차 (52)	<ul style="list-style-type: none"> ·(풍력) 해상풍력 부유체 시스템 ·(풍력) 해상풍력 설치·시공 ·(수소) 알칼라인 수전해 ·(수소) PEM 수전해 ·(무탄소 전력) 수소혼소 가스터빈 ·(시멘트) 혼합재 함량 증대 ·(CCUS) 분리막 포집 ·(CCUS) 화학적 전환 ·(CCUS) 광물 탄산화 ·(친환경차) 수소차용 수소저장시스템 ·(친환경차) 수소충전소 ·(선박) 탄소중립 내연기관 ·(선박) 선박용 연료전지·배터리 시스템 ·(건축) 고성능·다기능 외피 	<ul style="list-style-type: none"> ·(풍력) 초대형 풍력 터빈 ·(풍력) 해상풍력발전 운영·관리 ·(수소) 액체수소 저장·운송 ·(수소) 수소 전용 배관망 ·(수소) 차세대 해외수소 저장·운송 ·(수소) 액체수소 인수기지 ·(무탄소전력) 수소전소 가스터빈 ·(무탄소전력) 석탄 보일러 암모니아 혼소 ·(무탄소전력) 초고효율 연료전지 복합발전 ·(전력망) 지능형 송배전 시스템 ·(전력망) 실시간 전력거래 플랫폼 ·(에너지통합) 산업용 고온·초저온 히트펌프 ·(에너지통합) 복합에너지시스템 ·(에너지통합) 열에너지 저장시스템 ·(원자력) 선진 원자력 시스템 ·(원자력) 원자력 폐기물 관리 ·(철강) 탄소 저감형 전기로 ·(철강) 철강 부산물 재자원화 ·(석유화학) 전기 가열로 NCC 시스템 ·(석유화학) 무탄소 연료 NCC 공정 ·(석유화학) 스마트 플랜트 전환 ·(시멘트) 비탄산염 원료 대체 ·(시멘트) 신규 혼합재 제조 ·(시멘트) 순환자원 연료 대체·(시멘트) 저탄소 신열원 활용 ·(CCUS) 저장소 탐사·평가·선정 ·(CCUS) 저장 시설·설비 설계·구축 ·(CCUS) 저장소 CO₂ 주입·운영 ·(CCUS) CO₂ 저장 모니터링 ·(CCUS) 생물학적 전환 ·(산업일반) 산업공정용 수소·암모니아 활용 ·(산업일반) 전동기·전력변환기 효율화 ·(산업일반) 그린데이터센터 ·(산업일반) 탄소배출 저감 효과 모니터링 ·(친환경차) 무선충전 대용량화 ·(선박) 선박 전기추진 시스템 ·(건축) 건물·설비 전기화·고효율화 ·(건축) 건물 신재생 에너지 및 에너지융합시스템

- (소결) 과학기술 기반의 체계적인 탄소중립 이행을 통해 지속 가능한 녹색 성장의 발판 마련을 위하여 한국형 탄소중립 100대 핵심기술을 선정
 - 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 및 탄소중립 기술혁신 전략로드맵에 반영된 내용은 향후 정부 R&D 예산에 반영 추진
 - 명확한 임무 및 국가 목표 달성 관점 등을 고려하여 우선순위를 범부처 차원에서 검토하여, 100대 핵심 기술 관련 사업에 R&D 예산이 우선 투자될 수 있도록 지원
 - 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 최종(안)에 선정된 핵심기술은 '23년까지 발표된 10대 탄소중립 분야 '탄소중립 기술혁신 전략로드맵'에 반영하였으며 '24년부터 준비할 주요 7대 분야 '탄소중립 기술혁신 전략 로드맵' 수립에 활용 예정
 - 수립한 '탄소중립 기술혁신 전략로드맵'은 국가과학기술자문회의 산하 탄소중립기술특별위원회를 통해 확정 예정
 - 현재 국내 기술 수준 및 상용화 기간 등을 고려하여 목표 및 달성 수단을 시나리오 방식으로 제시하고 향후 탄소중립 R&D 배분·조정과 연계하여 단계적으로 지원
 - 대내외 환경 변화, 기술 수준 등을 고려하여 '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'을 주기적으로 재검토하고 필요시 재설계
 - 재검토를 위해 분야별로 민간 전문가 의견을 수렴하며, 과학기술자문회의 산하 '탄소기술특별위원회' 심의를 통해 확정

III. 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 마련

- (추진 목적) 2030NDC 및 2050탄소중립 실현에 핵심적인 탄소중립 중점기술에 대한 기술혁신 전략 로드맵을 수립하여 향후 탄소중립 R&D 기획·평가·예산배분·조정 등의 가이드라인으로 활용

 - (추진 방향) 초기단계 R&D(요소기술 ~ 중소규모 실증)는 정부가 지원하고, 상업화 단계(대형 실증 등)는 민간 주도로 역할 분담할 수 있도록 단계별 시나리오 방식의 R&D를 통해 탄소중립 전략적 R&D 투자 강화
 - 탄소중립 17대 분야별 특성에 따라 시스템 기술에서 요소(소부장)기술까지 고려한 가치사슬 관점의 기술개발 기획
 - 단계별로 기술 획득이 성공(목표치 달성)할 경우, 이후 단계(실증 등)를 적용하는 방식의 로드맵 수립
 - (추진 내용) 탄소중립 17대 분야 중 △수소 공급, △CCUS, △무탄소 전력공급, △친환경차 분야를 제외한 14대 분야를 중심으로 탄소중립 기술혁신 전략로드맵을 수립
 - 국내 제조업 중 탄소 배출량이 높은 △철강, △석유화학·정유, △시멘트 대상으로 전략로드맵 수립('22.11~'23.5)
 - 탄소 저감을 위한 국내외 정책 변화에 따라 신속한 기술 개발이 중요한 △탄소중립 선박, △제로에너지건물, △태양광 분야 전략로드맵 수립('23.6~'23.12)
- (도출 결과) △석유화학·정유, △철강, △시멘트, △탄소중립 선박, △제로에너지건물, △태양광 분야 전략로드맵을 수립하여 탄소중립기술특별위원회에 상정

※ 제로에너지건물, 태양광 분야 전략로드맵은 NIGT에서 마련하여 본 보고서에는 불포함

 - (석유화학·정유) 석유화학 산업 분야의 탄소중립 구현을 위해 ▲친환경 기반의 연료 및 원료 전환, ▲자원 순환(폐플라스틱 활용), ▲에너지 효율화 등 석유화학 전 분야의 전방위적 기술 혁신 필요

기존에는 (AS-IS)			앞으로 (TO-BE)	
1	탄소 다배출 구조의 열원 공급	→	전기가열로 등 친환경 연료 대체	
2	고탄소 석유화학 원료 활용	→	저탄소 바이오매스 기반 원료 대체	
3	소각·매립되는 폐플라스틱	→	자원순환을 통한 산업 원료화	
4	에너지 다소비 공정	→	에너지 효율화 신공정 전환	

[그림 1] 석유화학·정유 분야 탄소중립 기술혁신 방향

- (연료 대체) 나프타 분해공정의 열원을 신재생 전력 혹은 무탄소 연료로 대체하고, 잔여 부생가스는 고부가 화학원료로 전환

- (전기 가열로) 전기가열 요소기술(직접가열, 플라즈마)을 개발하여 최적 가열방식을 선정하고(~'28), 소규모 실증(단일 튜브, ~'30) 등을 거쳐 상업운전으로 확대('30~)
- (무탄소 연료) 既 NCC 설비에 적용 가능한 '수소 혼소·전소, 암모니아 혼소' 열원 기술을 확보하고(~'27), 상용급 규모로 실증(NCC 2기, ~'30)한 이후 점차 확대('30~)
- (부생가스 전환) 부생가스(메탄)를 기초유분 및 고부가 화학제품으로 전환하는 공정기술을 개발하고(~'28), 소규모 실증(50Nm³/일, ~'30)을 거쳐 상용급으로 확대('30~)

- (원료 대체) 바이오매스 기반의 원료 생산 기술을 국산화하고, 이를 활용한 대규모 생산시스템을 구축하여 친환경 산업구조로 전환

- (바이오 나프타) 바이오매스를 나프타·올레핀으로 전환하는 기술을 개발하고(~'27), 중규모 실증(1만톤/년, ~'30)을 거쳐 상용급 양산단지(수십만톤급, 민간주도)로 확대('30~)
- (바이오 PEF) 바이오매스의 PEF 단량체(FDCA, MEG) 전환·중합 기술을 개발하고(~'26), 중규모 실증(5만톤/년, ~'30)을 거쳐 거대 양산플랜트(수십만톤급, 민간주도)로 확대('30~)
- (바이오 폴리올) 바이오 오일·다당의 폴리올 전환 원천기술을 개발하고(~'26), 중규모 생산 실증(0.6만톤/년, ~'30)을 거쳐 거대 양산플랜트(수만톤급, 민간주도)로 확대('30~)

- (자원 순환) 폐플라스틱 재활용 제고를 위해 ▲(전처리 공정)자동선별·용매 추출 기술, ▲(재활용 업사이클링) 폐플라스틱 종류별 맞춤형 전환 기술 등 폐플라스틱 전반에 걸쳐 고수율의 원료화 기술 확보

- (전처리: 자동선별·분류) AI·광학 기반으로 혼합물을 식별·분류하는 기술을 개발하고(~'25), 중규모 실증(1만톤/년, ~'30) 및 상용급(민간주도)으로 점차 확대('30~)
- (전처리: 용매 추출) 포장재 등 복합재에 대한 고순도 용매 추출 기술을 개발하고(~'28), 중규모 실증(300톤/년, ~'30) 및 상용급(3만톤/년)으로 점차 확대('30~)
- (업사이클링: 해중합) PET, 폴리우레탄 등을 분해하여 재생 원료 순도를 높이는 촉매와 연속식 생산공정 기술을 개발하고(~'26), 중규모 실증(300~3,000톤/년, ~'29) 및 상용급(2~20만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대('29~)
- (업사이클링: 열분해) 해중합이 어려운 PE, PP 등을 대상으로 올레핀 등 기초유분으로 분해하는 연속식 생산공정 기술을 개발하고(~'25), 중규모 실증(1만톤/년, ~'30) 및 상용급(1~4만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대('30~)
- (업사이클링: 가스화) 오염도가 높은 폐플라스틱을 대상으로 메탄올 등 화학원료를 생산하는 연속식 가스화 공정기술을 확보하고(~'25), 중규모 실증(6천톤/년, ~'30) 및 상용급(10만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대('30~)

- (신공정) ▲연료유·부산물 전환 기술, ▲나프타 분해 반응·분리 공정의 에너지 저감 기술을 개발하고, 석유화학 공정 전반에 걸친 ▲디지털 전환을 통해 에너지 효율 최적화 추진

- (연료유·부산물 전환) 저급 부산물 및 저활용 유분의 올레핀 전환 촉매를 개발하고(~'26), 중규모 실증(100톤/년, ~'28) 및 상용급(1만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대(~'28~)
- (저에너지 반응공정) 나프타 분해 공정에서 필요한 반응 에너지를 절감하는 기술을 개발하고(~'25), 중규모 실증(100톤/년, ~'30) 및 상용급(100만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대(~'30~)
- (저에너지 분리소재) 기존 심냉증류 방식을 대체하는 상온 구동 흡착 및 분리막 등을 개발하고(~'28), 중규모 실증(100톤/년, ~'30) 및 상용급(200만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대(~'30~)
- (스마트 플랜트 전환) 디지털 시뮬레이션 등 에너지 효율화 요소 기술을 개발한 이후(~'28), 석유화학 플랜트 전반에 시범 적용 및 확산(~'29~)

● (철강) 철강 산업 분야의 탄소중립 구현을 위해 ▲저탄소 연료·원료 대체, ▲전기로 에너지 사용 저감 등 기술 확보 및 장기적으로 혁신기술인 ▲수소환원제철 전환 기술 개발 필요

	기존에는 (AS-IS)		앞으로 (TO-BE)
1	탄소 다배출 고로-전로 공정	→	무탄소 수소환원제철 공정 전환
2	전기로의 낮은 에너지 효율	→	전기로 에너지 효율화
3	화석연료를 사용하는 하공정	→	무탄소 연료 사용으로 하공정 전환
4	철강 부산물 단순 제품 재활용	→	저탄소 고부가 자원 재활용

[그림 2] 철강 분야 탄소중립 기술혁신 방향

- (고로-전로 연·원료 대체) 탄소를 다량 배출하는 철광석, 코크스 등의 연·원료를 대체철원, 수소가 함유된 가스 등으로 일부 대체

- (고로 연·원료 대체) 수소가 함유된 가스, 대체철원을 사용하는 설비 개발 및 공정 최적화(~'25) 이후 상용급 실증(~'28)을 거쳐 전체 고로(11기)에 단계적으로 적용(~'29~)
- (전로 원료 대체) 철스크랩 사용 증대를 위해 열에너지를 추가 공급할 수 있는 전로 설비를 개발하여(~'25) 상용급 실증(~'28) 후 전체 전로(21기)에 단계적으로 적용(~'29~)

- (탄소저감형 전기로) 전기로 고효율화를 통해 전력에너지 사용을 절감하고, 석탄계 연료를 저탄소 신열원으로 대체

- (전기로 고효율화) 철스크랩 예열 및 에너지 고효율화 설계 기술을 확보하여(~'25) 상용급 실증(~'28) 후 전체 전기로(37기)에 단계적으로 적용(~'29~)
- (신열원재) 바이오매스, 폐합성수지 등 신열원재 활용 및 고효율 투입 기술을 개발하여(~'25) 상용급 실증(~'28) 후 전체 전기로(37기)에 단계적으로 적용(~'29~)

- (수소환원제철) 기존 기술을 기반으로 한국형 수소환원제철 新공정을 설계, 실증한 후, 기존 고로-전로를 단계적으로 전환

- (수소유동환원로) 수소유동환원 공정 및 실증 설비를 설계하고(~'25), 준상용급(연 100만톤급), 상용급(연 300만톤) 실증을 거쳐(~'40) 기존 공정을 단계적으로 전환('40~)
- (전기 용융로) 고효율 전기 용융로 공정 및 실증 설비를 설계하고(~'25), 준상용급(연 100만톤급), 상용급(연 300만톤급) 실증을 거쳐 기존 공정을 단계적으로 전환('40~)

- (철강 하공정 연료전환) 철강 최종 제품을 생산하는 하공정 가열로에서 사용하는 석탄계 연료를 수소, 암모니아로 전환

- (무탄소 연료전환) 예열, 연소 시 수소, 암모니아를 전소할 수 있는 핵심기술을 개발하여(~'25) 상용급 실증 후(~'30), 전체 설비(약 1,500여기)에 단계적으로 적용('30~)

- (철강 부산물 재자원화) 철강 부산물을 저탄소 원료 등으로 전환할 수 있는 유망기술을 확보하여 산업 전반의 탄소 감축에 기여

- (부산물 재자원화) 철강 원료, 건설 자재, 무기섬유 등으로 활용할 수 있는 유망 기술을 발굴하여(~'25) 공정 개발 및 파일럿 실증 이후(~'30), 현장 실증 및 적용 추진('30~)

● (시멘트) 멘트 산업 분야의 탄소중립 구현을 위해 ▲석회석을 저탄소 원료로 대체하고, ▲유연탄을 순환연료(폐합성수지 등) 및 친환경 열원으로 대체하는 기술 확보 필요

기존에는 (AS-IS)			앞으로 (TO-BE)	
1	석회석을 사용한 클링커(시멘트 반제품) 제조	→	클링커 제조 시 석회석 대체 원료 비중 확대	
2	낮은 혼합시멘트 및 혼합재 사용률	→	다양한 혼합재 및 혼합 시멘트 개발·보급으로 사용률 제고	
3	탄소를 다량 배출하는 유연탄 연료 사용	→	가연성 순환연료, 친환경 연료 사용 확대	

[그림 3] 시멘트 분야 탄소중립 기술혁신 방향

- (저탄소 원료 대체) 클링커(시멘트 반제품) 원료인 석회석을 저탄소 원료로 일부 대체하고, 시멘트 제조 시 혼합재 사용률 확대

- (비탄산염 원료 대체) 석회석을 슬래그, 페콘크리트 등으로 대체하는 핵심기술을 확보하여(~'26), 상용급 실증(~'29) 후 전체 킬른(소성로, 44기)에 단계적으로 적용('30~)
- (혼합재 함량 증대) 혼합재 비중을 증대시킬 수 있는 고성능 클링커 제조 기술 등을 개발하여(~'25) 상용급 실증(~'30) 후 전체 킬른(44기)에 단계적으로 적용('31~)
- (신규 혼합재) 무기계 재료, 소성점토 등 신규 혼합재를 발굴하여(~'25), 실증 및 표준화(~'30) 후 전체 킬른(44기)에 단계적으로 적용('31~)

- (저탄소 연료 대체) 유연탄을 순환연료(폐합성수지) 또는 무탄소 연료(수소, 바이오매스 등)로 대체하는 기술을 확보

- (순환연료) 전처리, 공정 최적화, 오염물질 제어 등 핵심기술을 개발하여('27), 상용급 실증(~'30) 후 전체 킬른(447)에 단계적으로 적용('31~)
- (차세대 신열원) 에너지 고밀도화, 균일 열원 공급 등 핵심기술을 개발하여('26), 상용급 실증(~'30) 후 전체 킬른(447)에 단계적으로 적용('31~)

- (탄소중립선박) 핵심 기자재 기술 내재화와 함께 기술 개발 단계부터 해상 조건에서의 실증과 연계하여 선박 탑재를 위한 실적(Track record) 확보 지원

	기존에는 (AS-IS)		앞으로 (TO-BE)
1	내연기관 해외 라이선스 의존	→	자체 기술 확보로 시장 창출
2	연료전지·배터리 제한적 사용	→	대용량·고출력·고안전성 기술 확보
3	전기추진시스템 해외기업 점유율 증가	→	핵심부품 원천기술 확보
4	탄소 저감·에너지 효율 향상 필요	→	신속한 상용화 및 경제성 개선

[그림 4] 탄소중립 선박 분야 탄소중립 기술혁신 방향

※ 소관부처 요청으로 상세사항은 비공개.

■ (소결) 저탄소 사회로의 대전환을 뒷받침하고, ²⁰³⁰NDC 및 ²⁰⁵⁰탄소중립 실현에 핵심적인 10대 분야 탄소중립 중점기술에 대한 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵을 수립

- 탄소중립 녹색성장 기본계획 등 타 탄소중립 정책과의 정합성에 맞춰 해당 기술의 개발-실증-상용화-보급-확산 목표 시점 제시
- 그간 10대 분야 로드맵 수립을 통해 임무중심 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵 체계가 정착됨에 따라 앞으로 나머지 분야별 로드맵*은 소관 부처가 주도적으로 수립·이행할 수 있도록 지원

* ①풍력, ②전력저장, ③전력망, ④에너지통합시스템, ⑤산업일반, ⑥환경, ⑦원자력(국가전략기술 분야별 로드맵 수립)

- 수립된 로드맵은 대내외 환경 변화, 기술 수준 등을 고려하여 2~3년 주기로 재검토 예정

※ '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'('23.5.19, 제7회 탄소중립기술특별위원회) 재검토 및 재설계와 연계하여 추진

IV. 해외 탄소중립 정책 동향 조사

- (추진 목적) 기술비용 상승과 원자재 수급의 리스크를 해결하기 위해 주요국 중심으로 탄소중립을 이행하기 위한 자국의 친환경 산업·기술을 지원하는 법제 도입을 추진 가운데, 주요국들의 정책 동향을 분석함으로써 국내 기후변화대응을 위한 범부처 전략적 대응방안 모색

 - (추진 방향) 문헌분석, 전문가들 대상 인터뷰, 서면자문 및 의견 수렴을 통해 국가별 탄소중립 정책 동향 정리 및 국내 범부처 전략적 대응방안을 위한 시사점 도출
 - (추진 내용) 주요국들 대상 탄소중립 감축 목표와 이를 실현하기 위한 주요 법률 및 제도, 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향 분석

- (도출 결과) 미국, 유럽연합(EU), 영국, 독일, 프랑스, 일본, 중국의 탄소중립 정책의 주요 추진 경과, 주요 법률 및 제도, 기술·산업 정책 동향을 정리

 - (미국) 2030년 온실가스 배출량을 2005년 대비 50~52% 감축 및 2050 탄소중립 목표 설정, 이를 위한 일련의 정책 제시
 - 인플레이션 감축법(IRA)의 법안 통과로 청정에너지 촉진을 위한 발판을 마련(2022년 9월)
 - 직접공기포집(DAC, Directg Air Capture) 기술 실증을 위한 지역 허브 선정 및 이산화탄소 광물화와 바이오차(Biochar) 생산에 대한 인센티브 제공
 - EU의 CBAM에 대응하여 탄소국경조정 도입을 위한 청정경쟁법(CCA, Clean Competition Act) 발의, 2024년 시행 예정
 - 2021년 12월, 2050년 탄소중립 목표 달성을 위한 10대 기후혁신기술 및 저탄소 기술 연구개발에 대한 투자계획을 포함한 과학기술혁신계획 발표, 그 외에도 태양광, 풍력, 수소 및 수송 분야의 기술개발 및 인프라 투자에 박차를 가하는 중
 - (EU) 2019년 12월 EU 집행위원회가 출범하면서, 유럽 그린딜을 최우선 순위로 두고, 2050년 까지 온실가스 순배출 제로를 목표 선언
 - 유럽그린딜은 사회 전분야에 걸쳐 탄소중립 사회로 전환하기 위한 성장전략을 제시
 - 2021년 6월, 기후중립 목표에 법적 구속력을 부과하는 유럽 기후법을 제정
 - 2021년 7월, EU 집행위원회는 유럽 기후법의 중간 기후목표를 구체적으로 실현하기 위한 정책수단으로써 입법안 패키지인 Fir for 55를 발표, 탄소가격제, 온실가스 감축 목표, 규제, 지원 방안 등으로 구성

- 2023년 EU내 역내 청정기술 산업의 경쟁력을 강화하고 탄소중립으로의 전환을 가속하기 위한 그린딜 산업계획표, 탄소중립산업법과 핵심원자재법 등 두 개의 신규 법안과 전력시장구조 개편안 도입을 제안
- 2023년 5월, 탄소국경제도의 시행을 위한 입법화 절차를 완료, 2026년부터 시행 계획
- EU 집행위원회는 온실 가스 감축기술 개발을 위해 혁신기금(Innovation Fund), 호라이즌 유럽(Horizon Europe) 등의 재정적 지원 제도 마련
- (영국) 2030년 온실가스 배출량을 1990년 대비 68% 감축하고, 2050년까지 넷제로 달성 목표 선언
 - 2008년, 영국은 세계 최초로 기후변화법을 제정하면서 국가온실가스감축 목표를 설정, 이를 이행하기 위한 5년 단위의 단계별 배출 상한제도(탄소예산)를 도입
 - 2022년, 에너지법안을 의회에 제출, 팬데믹 회복에 따른 글로벌 에너지 수요 증가와 러-우 전쟁에 따른 에너지 공급 불안정성에 대응하여 에너지 시스템의 청정성·안전성·가격적정성을 증진하는 것을 목표
 - 2023년, 에너지안보를 위해 Powering up Britain 전략 발표, 넷제로성장플랜과 에너지안보 플랜 2개의 플랜으로 구성
 - 2020년, 녹색산업혁신을 위한 10대 중점계획을 발표, 2030년까지 정부투자금 50억 파운드와 민간투자금 등 총 120억 파운드의 기금을 녹색산업 분야에 투자하고 최대 25만개의 녹색일자리 창출 목표
- (독일) 2030년 온실가스 배출량을 1990년 대비 65% 감축, 2045년까지 넷제로 달성 목표 선언
 - 2015년 파리협정에 따른 탄소중립 실천을 위해 2019년 기후보호법을 제정, 에너지효율 증가, 에너지소비량 감축, 재생에너지 확충이라는 세부 계획 수립
 - 기후행동프로그램 2030 내 연구개발 및 혁신에 대한 24개 분야 중점기술 제시
 - 에너지 전환 및 온실가스 감축 기술혁신을 담당하는 연구혁신 이니셔티브로, 에너지연구 프로그램 운영, 에너지 공급 시스템 가치 사슬 전반에 걸친 에너지 전환을 위한 기후 친화적 혁신 R&D를 지원하고 연구성과가 시장에 바로 적용될 수 있도록 지원
- (프랑스) 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 39.5% 감축, 2050년까지 탄소중립 달성 목표
 - 2015년 녹색성장을 위한 에너지전환에 관한 법률(LTECV) 발표, 탄소 감축을 위한 활동과 이를 통한 경제성장 등의 내용을 포함

- 2019년 에너지·기후법 제정으로 국가 차원의 기후정책에 대한 범위와 달성목표를 규정
- 저탄소국가전략(SNBC)를 통해 건물, 농업, 수송, 부분에 대해 2050년까지 탄소중립 달성을 위한 국가 공공정책 방향 제시
- 2023년 녹색산업법 제정으로 녹색산업 관련 세액 공제, 신축 공장 허가 기간 단축, 인력 양성, 탄소발자국을 반영한 전기차 보조금 산정기준 제시

● (일본) 2030년까지 온실가스를 2013년 대비 42% 감축, 2050년 넷제로 달성 선언

- 2020년 12월, 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 수립, 성장이 기대되는 14개 중점분야에 대하여 실행계획을 책정하고 구체적인 전망 제시
- 녹색성장전략의 14개 중점분야를 지원하기 위해 2021년 2조엔 규모의 그린이노베이션 기금 설치, 2022년 9월 기준 총 19건의 프로젝트가 진행되고 1조 6,000억 엔의 예산 책정
- 2023년 녹색전환 추진전략(GX)을 통해 안정적인 에너지확보, 성장지향형 탄소가격제, 국제협력 및 사회 전반에 걸친 GX 추진 전략 발표

● (중국) 2030년 이전 온실가스 배출량 정점 도달, 2060년까지 넷제로 달성 선언

- 중국 정부는 제14차 5개년 계획(2021~2025년)에서 탄소중립을 핵심개념으로, 에너지 구조 전환 및 탄소저감 기술개발에 대한 내용을 명시
- 2021년 10월, 탄소배출정점 및 탄소중립 달성 업무 의견을 발표하면서 2025년까지 탄소중립 정책 기반 조성, 2030년 이전 탄소 배출 정점, 2060년까지 탄소중립 달성을 위한 정책 로드맵 제시

■ (소결) 새로운 시장을 창출·선점하고 공급생태계를 안정화하기 위해 탄소중립 관련 산업 생태계에 일관된 방향성을 제공하는 패키지 형태의 정책 필요성이 커졌으며, 경제로의 전환을 목적으로 중장기 전략을 포함하는 대규모 투자가 필요

- 탄소중립 달성을 위해 재생에너지를 저렴하게 활용하는 것을 목표로 설정하고 있으며, 이를 위해 기술 혁신 및 투자, 공급망 안정화를 위한 대내 역량 및 국제 협력 강화, 탄소중립 관련 산업의 경쟁력 강화 계획을 발표
- 글로벌 기후변화 정책은 공통적으로 탄소중립과 관련하여 자국의 신산업을 창출하고 활성화하기 위해 국가 전략을 패키지(Package) 형태로 마련하고 보조금 및 세액 공제 등 국가의 재정적 지원을 주요 수단으로 활용

V. 탄소중립 정책 만족도-중요도 조사

- (추진 목적) 탄소중립과 관련된 국내 이해관계자들의 과학기술혁신정책 만족도와 중요도에 대한 인식조사를 통해 정책에 대한 상세 수요를 파악
 - (방법) 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정 및 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 수립에 참여한 산·학·연 전문가를 대상으로 온라인 회의를 통해 정책 중요도-만족도에 대한 의견을 청취하고 중요도-만족도 분석(Importance Performance Analysis, 이하 IPA)을 추진
 - (내용) 탄소중립과 관련된 국내 이해관계자들의 과학기술혁신정책 만족도와 중요도 조사 및 IPA 분석을 통한 향후 탄소중립 유관부처의 정책과제 발굴
 - IPA 분석을 통해 탄소중립 관련 혁신 정책에 대한 8개 정책영역 및 28개 정책수단이라는 평가속성의 위치를 4개의 사분면을 통해 확인한 후 한정된 자원 중 선택과 집중이 필요한 평가속성을 중심으로 정책 기획 방향을 도출

〈표 3〉 과학기술혁신정책 영역 및 수단

정책영역	정책수단	
연구개발	•기초연구 투자 •응용연구 투자	•개발연구 투자
실증/사업화	•실증 지원 •창업 지원 •기술사업화·기술이전 지원	•제품화·생산 지원 •시범사업
시장	•공공조달 •우선구매 추천, 우수제품 지정	•해외시장진출
인프라	•시험·인증 등 시설 구축 •기업인증·제품인증 제도 •클러스터 조성	•표준 마련 •정보서비스 지원
규제	•규제개선	•법·제도개선
세제/금융	•투·융자 •보증	•조세공제 및 감면
인력	•대학(원) 인력 양성 •채용·고용 지원	•재직자 재·전환 교육 •해외인력 유지·활용
기타	•국제 협력 •산학연 협력	•특허 전략

※ 출처: 한국과학기술기획평가원 (2022)

■ (도출 결과) RIPA 분석 결과 3개 정책영역, 8개 정책수단이 집중 투자가 필요한 II사분면에 위치

※ 전통적 방식의 IPA 분석이 지닌 응답자 편의 또는 통계적 오류 관련 문제점을 최소화할 수 있는 RIPA의 결과 위주로 요약

● 정책수단

- I사분면(5개): 개발연구 투자(◆3), 실증 지원(◆4), 조세공제 및 감면(◆21), 산학연 협력(◆27), 특히 전략(◆28)은 중요도 값과 만족도 값 모두 전체 평균보다 높기 때문에 현재 상태를 유지할 수 있도록 지속적인 노력과 관심을 기울일 필요
- II사분면(8개): 기초연구 투자(◆1), 창업 지원(◆5), 제품화·생산 지원(◆7), 공공조달(◆9), 규제 개선(◆17), 법·제도개선(◆18), 재직자 재·전환 교육(◆24), 국제 협력(◆26)은 중요도 대비 낮은 만족도로 인해 가장 시급하게 개선할 필요가 있는 속성
- III사분면(8개): 기술사업화/기술이전 지원(◆6), 우선구매 추천/우수제품 지정(◆10), 해외시장 진출(◆11), 표준 마련(◆15), 투융자(◆19), 보증(◆20), 채용·고용 지원(◆23), 해외인력 유치·활용(◆25)은 전체 평균에 비해 중요도 값과 만족도 값 모두 낮기 때문에 현재 이상의 노력을 기울이는 것은 의미가 없고 우선순위와 가장 낮음
- IV사분면(7개): 응용연구 투자(◆2), 시범사업(◆8), 시험/인증 등 시설 구축(◆12), 기업인증/제품 인증 제도(◆13), 클러스터 조성(◆14), 기술/시장 정보서비스 지원(◆16), 대학(원) 인력 양성(◆22)은 중요도 값이 낮은 것에 비해 오히려 높은 만족도 값으로 인해 과잉적 노력을 피해야 할 영역으로, 개선의 노력을 차츰 줄일 필요가 있는 속성

● 정책영역

- I사분면(2개): 연구개발(■1)과 기타(■8)는 지속적인 노력이 요구되는 정책영역으로 나타났기 때문에 현재 상태를 유지하는 것이 무엇보다 중요
- II사분면(3개): 실증/사업화(■2), 규제(■5), 그리고 세제/금융(■6)은 시급하게 개선이 요구되는 정책영역으로 나타났기 때문에 개선을 위해 최우선의 노력이 요구
- III사분면(2개): 시장(■3)과 인력(■7)은 전체 평균에 비해 중요도와 만족도가 낮은 정책영역으로 나타났기 때문에 자원의 투입을 제한적으로 할 필요가 있는 우선순위 영역
- IV사분면(1개): 인프라(■4)는 중요도가 낮은 것에 비해 높은 만족도가 특징인 영역으로, 개선을 위해 개선을 위한 노력을 줄여나갈 필요

〈표 4〉 탄소중립 정책(영역/수단)에 대한 RIPA 결과

정책영역 및 정책수단	만족도(X축)	상대적 중요도(Y축)	영역
정책영역1(■1): 연구개발	2.96	.342**	I
◆1: 기초연구 투자	2.71	.243*	II
◆2: 응용연구 투자	3.01	.026	IV
◆3: 개발연구 투자	3.14	.110	I
정책영역2(■2): 실증/사업화	2.72	.216*	II
◆4: 실증 지원	2.96	.076	I
◆5: 창업 지원	2.46	.162	II
◆6: 기술사업화/기술이전 지원	2.59	-.076	III
◆7: 제품화·생산 지원	2.73	.102	II
◆8: 시범사업	2.88	.041	IV
정책영역3(■3): 시장	2.62	.025	III
◆9: 공공조달	2.67	.230	II
◆10: 우선구매 추천/우수제품 지정	2.71	-.237	III
◆11: 해외시장진출	2.47	.008	III
정책영역4(■4): 인프라	2.83	.034	IV
◆12: 시험/인증 등 시설 구축	2.98	.027	IV
◆13: 기업인증/제품인증 제도	2.77	.025	IV
◆14: 클러스터 조성	2.82	.006	IV
◆15: 표준 마련	2.73	-.055	III
◆16: 기술/시장 정보서비스 지원	2.86	-.004	IV
정책영역5(■5): 규제	2.56	.235*	II
◆17: 규제개선	2.56	.101	II
◆18: 법·제도개선	2.56	.064	II
정책영역6(■6): 세제/금융	2.63	.198	II
◆19: 투융자	2.61	-.038	III
◆20: 보증	2.53	.009	III
◆21: 조세공제 및 감면	2.76	.270*	I
정책영역7(■7): 인력	2.57	-.237*	III
◆22: 대학(원) 인력 양성	3.05	-.028	IV
◆23: 채용·고용 지원	2.66	-.278*	III
◆24: 재직자 재·전환 교육	2.38	.184	II
◆25: 해외인력 유치·활용	2.19	-.219	III
정책영역8(■8): 기타	2.96	.398**	I
◆26: 국제 협력	2.71	.408**	II
◆27: 산학연 협력	3.23	.063	I
◆28: 특허 전략	2.94	.076	I
정책수단 평균(28개)	2.74	.046	
정책영역 평균(8개)	2.73	.151	

- (소결) 탄소중립 관련 이해관계자들이 해당 정책의 중요도를 높게 인식하고 있음에도 불구하고, 모든 정책영역과 수단의 만족도를 충족시키지 못할 만큼 만족도가 상대적으로 낮게 인식되는 중
 - 탄소중립 정책에 대한 중요도와 만족도 간 격차를 줄이기 위한 전방위적 노력 필요
 - 탄소중립 정책 관련 가장 큰 강점인 연구개발을 개발연구 투자를 중심으로 지속적으로 유지할 필요
 - 연구개발은 정책 중요도 비율에서도 가장 높고, 정책 우선순위에서도 가장 선호되는 정책
 - 만족도와 전반적 만족도 간 다중회귀분석 결과에서도 연구개발은 전반적 만족도에 긍정적 영향을 미치는 정책영역으로 나타나 연구개발은 가장 큰 강점에 해당하는 정책영역
 - 탄소중립 정책 관련 가장 시급하게 개선이 요구되는 것은 규제개선
 - 정책영역만을 가지고 전통적 방식의 IPA를 적용하였을 때도 규제는 중점투자영역인 II사분면에 포함
 - 만족도와 전반적 만족도 간 다중회귀분석에서는 규제는 전반적 만족도에 어떠한 영향도 주지 못하는 정책영역으로 나타났다는 점에서 규제는 가장 큰 약점에 해당하는 정책영역
 - 실증/사업화는 중요하다고 판단되는 영역임에도 약점 영역에 포함되었다는 점에서 시급하게 개선이 필요한 정책영역 중 하나로 창업 지원, 제품화·생산 지원을 중심으로 개선사항을 발굴하여 보완하려는 노력 필요
 - 실증/사업화는 정책 중요도 비율에서도 연구개발 다음으로 높았고, 정책 우선순위 또한 연구개발 다음으로 선호
 - 만족도와 전반적 만족도 간 다중회귀분석 결과에서도 실증/사업화는 전반적 만족도에 긍정적 영향을 미치는 정책영역

VI. 탄소중립을 위한 기술혁신 포럼

□ (개요)

- (목적) 탄소중립 R&D 정책 추진 성과에 대한 대국민 인식 제고 및 산·학·연 의견 청취를 통한 정책 기반 조성
 - 탄소중립 실현 과정에서 기술의 중요성을 강조하고, 기술개발을 위한 단·중·장기 로드맵에 대한 민간 의견을 청취
- (내용) ²⁰³⁰NDC 및 ²⁰⁵⁰탄소중립 실현을 위한 우리나라의 노력들을 짚어보고, 혁신기술 개발을 통한 탄소중립 실현을 위하여 우리나라 탄소중립 R&D 정책이 나아가야 할 방향에 대해 논의
 - 2050년 넷제로 실현에 필수적인 혁신기술을 확보하기 위해 산·학·연·관은 어떻게 준비해야 할지, 2050년까지의 단기·장기 탄소중립 R&D 정책 방향은 어떻게 수립 방법 논의
- (일시 및 장소) 2023년 12월 13일(수), 14:00~17:00, 서울대학교 교수회관

□ (포럼 주요내용)

- 주요 부처에서 탄소중립과 관련된 R&D, 에너지, 산업 전략 등을 개별적으로 수립 중으로 부처별로 탄소중립 실현을 위한 정책·전략 수립 시, 최상위 계획과 부처별 전략의 정합성 제고 필요
 - 단일 부처 중심 R&D에서 기술실현까지 고려한 범부처 협업 지원체계 강화 및 임무 중심의 탄소중립 기술 타겟-개발-적용하는 전주기 체계 마련
- 탄소중립 혁신 기술의 상용화가 필요하지만 현재 개발된 혁신 기술 중 75%가 상용화 되지 못하는 실정
 - 탄소 저감에 기여할 수 있는 신속한 시장 대응 능력과 파괴적 혁신 실현 역량을 갖춘 스타트업 활성화할 필요
 - 정부는 기후테크 스타트업 대상 기술실증 확대, 제품/서비스 대상 공공조달 확대 등 정책적 담보 제공 고려
- 국내 탄소중립 분야별 기술 수준은 대부분 선도국 대비 65~82%로 3년 이상의 기술격차 존재하지만 국내 역량만으로는 탄소중립 대응에 한계 존재
 - 국내 여건(산업구조, 기술력, 인적자원 등)만 가지고는 탄소중립 대응에 한계 존재, 글로벌 협력을 통한 양자-다자간 대응이 필요
 - 선도국 중심의 탄소중립 분야별 기술경쟁 우위 분석을 통한 전략적 기술 협력국 발굴 및 협력 추진

- 개도국의 기후과학기술 로드맵 마련에 적극적으로 기여하고 한국 기술의 우수성을 소개하며 우호적 파트너십 형성 필요

▣ (토론 및 제언사항)

- 탄소중립 실현을 위해 반드시 에너지 전환이 필요하며 에너지 전환을 위해서는 우리 사회의 생산·소비와 관련된 모든 인프라를 전환하고 새로운 연·원료 기술을 도입해야 가능
 - 태양광, 풍력 등 재생에너지와 수소로 시작하는 에너지 시스템 전환이 우리 사회 전반에 영향을 미친다는 점을 감안하였을 때 탄소중립 관련 R&D 투자 확대가 필요
 - 에너지 생산 및 탄소 포집 이외에도 새로운 전력망 인프라 구축, 수소공급 및 이송망, 에너지 전주기의 디지털화를 위한 기술 개발 필요
- 과학기술 발전을 통해 탄소중립과 경제성장을 동시에 도모해야 하며, 이를 위한 정부 정책의 뒷받침이 중요
 - 정부의 기후변화 정책과 지속적으로 변화하는 탄소가격 변동성을 낮춰 민간의 투자를 유인하기 위하여 탄소차액계약제도(Carbon Contract for Difference: CCfD), 저탄소 기술 공공구매 확대, R&D 세제혜택 등 제도적 유인책 마련 필요
 - 정부 주도의 R&D만을 생각할 것이 아니라 정부-민간의 균형잡힌 기후기술 투자·개발이 이뤄질 수 있도록 민간 기술 실증 지원, 혁신기술 상용화를 위한 규제 개선 등을 통한 연구개발 촉진 방안이 필요

Ⅶ. 결론

- 저탄소 사회로의 대전환을 뒷받침하기 위하여 2030 NDC 및 2050 탄소중립 실현에 핵심적인 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안) 마련 및 10대 분야 탄소중립 핵심기술에 대한 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵을 수립

 - 좁은 국토면적, 제조업 중심 산업구조 등 국내 여건을 고려하고 ①탄소 감축 기여도, ②탄소 감축 비용·효과, ③실현가능성을 검토하여 탄소중립 실현을 위한 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)을 마련
 - '22.11월 발표한 수소공급, CCUS, 무탄소신전원, 친환경자동차 분야 기술혁신 전략 로드맵에 추가로 석유화학·정유, 철강, 시멘트, 탄소중립 선박, 제로에너지빌딩, 태양광 분야에 대한 기술혁신 전략로드맵 수립을 완료
 - 풍력, 전력저장, 전력망 등 향후 미수립 분야는 소관 부처를 중심으로 전략로드맵 수립·이행 할 수 있도록 지원
 - 수립된 로드맵은 대내외 환경 변화, 기술 수준 등을 고려하여 2~3년 주기로 재검토 예정
 - ※ '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'(23.5.19, 제7회 탄소중립기술특별위원회) 재검토 및 재설계와 연계하여 추진
- 향후 탄소중립 R&D 정책 기획 시 R&D 지원 이외에도 다양한 정책 수단을 통합적으로 고려한 패키지 형태의 정책을 마련할 필요

 - 특히 국내에서는 규제 개선과 실증/사업화에 대해 중요도는 높으나 만족도가 떨어지는 상황으로 R&D 정책 기획 시 규제 개선 및 실증/사업화도 함께 고려할 필요
 - 정부 주도의 R&D와 함께 정부-민간의 균형잡힌 기후기술 투자·개발이 이뤄질 수 있도록 민간 기술 실증 지원, 혁신기술 상용화를 위한 규제 개선 등을 통한 연구개발 촉진 방안을 함께 제시할 필요
- 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안) 및 탄소중립 기술혁신 전략로드맵을 포함한 금년 연구 결과는 향후 탄소중립 실현을 정책 과제 발굴에 활용 가능

 - 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안) 및 탄소중립 기술혁신 전략로드맵의 주기적 보완에 대한 사전 대응으로 100대 핵심기술의 범위를 기후 적응 기술로 확대해보는 선행 연구를 고려할 필요
 - 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)은 탄소 감축 기술 위주로 선정되어, 핵심기술(안) 재검토 시 기후 변화 대응 관점에서 기후 적응 기술을 추가하는 방안을 함께 검토 필요

- 17대 탄소중립 분야별 전략로드맵이 마련됨에 따라 분야 간 로드맵의 정합성을 검토하여, 분야 간 R&D 실현시기를 조정하는 작업을 검토할 필요
 - COP28 등 탄소중립 관련 최근 국제회의의 논의사항을 반영하여 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵을 재검토하고 필요 시 수정
- 탄소중립 관련 해외 R&D 정책 동향을 현장 방문 등을 통해 심층 탐색하고 국내 도입이 필요한 정책·제도를 발굴
 - 본 연구의 정책 만족도-중요도 분석을 통해 개선 수요를 확인한 실증·사업화·규제 개선 관련정책 현황, 특히 규제와 지원 정책 믹스의 구조도 함께 탐색 필요
 - 이스라엘, 호주 등 OECD 가입국 중 탄소중립을 선언하지 않은 나라의 탄소중립 대응 정책도 함께 검토해볼 필요

목 차

요 약	i
제1장 서 론	1
제1절 연구 배경	3
제2절 연구 목표 및 내용	5
제2장 한국형 탄소중립 핵심기술 도출	7
제1절 개요	9
제2절 한국형 탄소중립 핵심기술(안) 도출결과	12
제3절 소결	38
제3장 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 마련	39
제1절 개요	41
제2절 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 도출 결과	43
제3절 소결	74
제4장 해외 탄소중립 정책 동향 조사	75
제1절 개요	77
제2절 미국	79
제3절 유럽연합(EU)	90
제4절 영국	102
제5절 독일	108
제6절 프랑스	116
제7절 일본	123
제8절 중국	132
제9절 소결	139

제5장 탄소중립 정책 중요도-만족도 조사	141
제1절 개요	143
제2절 분석 결과	146
제3절 소결 및 제언	167
제6장 탄소중립을 위한 기술혁신 포럼	171
제1절 개요	173
제2절 포럼 주요내용	175
제7장 결 론	179
제1절 결론	181
참고문헌	183

표 목 차

〈표 2-1〉 태양광 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	12
〈표 2-2〉 풍력 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	13
〈표 2-3〉 수소공급 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	14
〈표 2-4〉 무탄소 전력공급 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	16
〈표 2-5〉 전력저장 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	17
〈표 2-6〉 전력망 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	18
〈표 2-7〉 에너지통합시스템 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	19
〈표 2-8〉 원자력 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	20
〈표 2-9〉 철강 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	21
〈표 2-10〉 석유화학 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	22
〈표 2-11〉 시멘트 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	25
〈표 2-12〉 CCUS 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	26
〈표 2-13〉 산업일반 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	29
〈표 2-14〉 친환경 자동차 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	31
〈표 2-15〉 탄소중립 선박 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	33
〈표 2-16〉 제로에너지건물 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	34
〈표 2-17〉 환경 분야 한국형 탄소중립 핵심기술	35
〈표 3-1〉 석유화학공정 무탄소 연료 대체 관련 핵심 기술	46
〈표 3-2〉 바이오 기반 원료·제품 생산 기술 관련 핵심 기술	47
〈표 3-3〉 폐플라스틱 산업원료화 기술 관련 핵심 기술	48
〈표 3-4〉 에너지 저감형 新공정 기술 관련 핵심 기술	49
〈표 3-5〉 철강 고로-전로 연·원료 대체 관련 핵심 기술	56
〈표 3-6〉 탄소저감형 전기로 관련 핵심 기술	57
〈표 3-7〉 한국형 수소환원제철 新공정 전환 기술	58
〈표 3-8〉 철강 하공정 무탄소 연료전환 관련 핵심기술	59
〈표 3-9〉 철강 부산물 재자원화 관련 핵심기술	60
〈표 3-10〉 저탄소 원료 대체 관련 핵심 기술	69
〈표 3-11〉 저탄소 연료 대체 관련 핵심 기술	70

〈표 4-1〉 국가별 주요 정책	78
〈표 4-2〉 미국 IJJA 내 탄소중립 관련 주요 재정투자 및 내용	84
〈표 4-3〉 청정경쟁법(CCA) 발의안 주요 내용	85
〈표 4-4〉 미국의 그린성장전략: 10대 기후혁신기술 주요 내용	88
〈표 4-5〉 미국의 주요 탄소중립 기술·산업 동향	89
〈표 4-6〉 미국의 주요 탄소중립 기술·산업 동향	91
〈표 4-7〉 EU 그린딜산업계획의 주요 구성요소	92
〈표 4-8〉 탄소중립산업법의 세부 목적 및 이행방안	93
〈표 4-9〉 탄소중립 기술별 제조용량 목표와 목표 달성을 위한 투자 및 인력 수요	94
〈표 4-10〉 활용가능한 EU 기금	95
〈표 4-11〉 EU 「유럽 기후법」의 주요 내용	97
〈표 4-12〉 EU 「유럽 기후법」의 주요 내용	98
〈표 4-13〉 온실가스 배출원 분류와 CBAM 적용 범위	99
〈표 4-14〉 EU 혁신기금 주요 내용	100
〈표 4-15〉 호라이즌 유럽 전략계획: 2021~2024의 기후·에너지·교통 분야	101
〈표 4-16〉 EU 혁신기금 주요 내용	104
〈표 4-17〉 영국 ‘에너지법안’의 주요 내용	105
〈표 4-18〉 영국 ‘에너지법안’의 주요 내용	106
〈표 4-19〉 영국 녹색산업혁신을 위한 10대 중점계획의 분야별 주요 내용	107
〈표 4-20〉 독일 재생에너지법(EEG) 주요 내용	111
〈표 4-21〉 독일 기후행동프로그램의 24개 중점 연구개발분야	112
〈표 4-22〉 프랑스 재개의 3대 분야 및 분야별 세부 분야	117
〈표 4-23〉 프랑스 「LTECV」의 주요 내용	118
〈표 4-24〉 프랑스 「에너지·기후법」상의 재생에너지 및 탄소중립 관련 정책	118
〈표 4-25〉 프랑스 프랑스재개 내 탄소중립 관련 내용	122
〈표 4-26〉 일본 「재생에너지특별조치법」의 주요 내용	125
〈표 4-27〉 일본 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 주요 내용	127
〈표 4-28〉 일본 GX 추진전략 ‘안정적인 에너지 확보’ 주요 내용	128
〈표 4-29〉 일본의 그린이노베이션기금 사업 개요	130
〈표 4-30〉 일본의 그린이노베이션기금 프로젝트 현황(2022년 9월 기준)	131
〈표 4-31〉 중국의 시기별 녹색성장 정책 방향 및 특징	133
〈표 4-32〉 「제14차 5개년 계획」 내 탄소중립 정책 관련 주요 내용	134
〈표 4-33〉 중국의 2060년 탄소중립 정책 로드맵	135
〈표 4-34〉 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」 내 에너지 분야 주요 추진 방향 ..	135

〈표 4-35〉 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」 내 산업 분야 주요 추진 방향	136
〈표 4-36〉 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」 내 교통운송 분야 주요 추진 방향 ..	136
〈표 4-37〉 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」 내 건설 분야 주요 추진 방향	136
〈표 4-38〉 2018-2020년 탄소중립 관련 중국 국가자연과학기금위원회 프로그램 리스트 ..	137
〈표 4-39〉 2019-2021년 탄소중립 관련 중국 국가중점연구개발계획 전문 프로그램 리스트 ..	138
〈표 5-1〉 과학기술혁신정책 영역 및 수단	143
〈표 5-2〉 측정 항목에 대한 정규분포 특성	146
〈표 5-3〉 탄소중립 정책(영역/수단)에 대한 전통적 방식의 IPA 결과	149
〈표 5-4〉 탄소중립 정책영역에 대한 전통적 방식의 IPA 결과 비교	154
〈표 5-5〉 탄소중립 정책(영역/수단)에 대한 RIPA 결과	156
〈표 5-6〉 IPA와 RIPA 분석의 사분면 위치 비교	158
〈표 5-7〉 정책수단(28개 항목)과 정책영역(8가지)에 대한 IPA와 RIPA의 결과 비교	158
〈표 5-8〉 정책영역과 정책수단에 대한 RIPA 결과 비교	159
〈표 5-9〉 정책(8개 영역)에 대한 중요도 비율과 우선순위의 평균 간 상관분석 결과	161
〈표 5-10〉 속성(정책영역)의 중요도별 선호 포지션/응답자 개별과 전체 IP 좌표	163
〈표 5-11〉 정책영역(만족도)과 전반적 만족도 간 다중회귀분석 결과	165
〈표 5-12〉 정책영역(중요도)과 전반적 만족도 간 영향관계 비교	166
〈표 6-1〉 주요 참석자 상세	173

그림목차

[그림 1-1] 기술 성숙도 변화에 따른 글로벌 CO ₂ 배출량 변화 예상	3
[그림 2-1] 탄소중립기술기획위원회	10
[그림 3-1] 석유화학·정유 분야 탄소중립 기술혁신 방향	43
[그림 3-2] 플라스틱 폐기물 발생 추이	44
[그림 3-3] 연료 대체 기술혁신 목표 및 전략	50
[그림 3-4] 원료 대체 기술혁신 목표 및 전략	51
[그림 3-5] 자원 순환 기술혁신 목표 및 전략	52
[그림 3-6] 신공정 기술혁신 목표 및 전략	53
[그림 3-7] 철강 분야 탄소중립 기술혁신 방향	54
[그림 3-8] (참고)고로-전로 공정 개념도	56
[그림 3-9] (참고)탄소저감형 전기로 공정 개념도	57
[그림 3-10] (참고)수소환원제철 新공정 개념도	58
[그림 3-11] (참고)무탄소 연료전환 기술 개념도	59
[그림 3-12] 철강 부산물 재활용 분야 및 현황(단위: 톤)	60
[그림 3-13] 고로-전로 연·원료 대체 기술혁신 목표 및 전략	61
[그림 3-14] 탄소저감형 전기로 기술혁신 목표 및 전략	62
[그림 3-15] 수소환원제철 기술혁신 목표 및 전략	63
[그림 3-16] 철강 하공정 무탄소 연료전환 기술혁신 목표 및 전략	64
[그림 3-17] 철강 부산물 재자원화 기술혁신 목표 및 전략	65
[그림 3-18] 시멘트 제조 과정	66
[그림 3-19] 시멘트 분야 탄소중립 기술혁신 방향	66
[그림 3-20] 시멘트 산업의 연료대체 및 부산물 재활용 기술 개념도	70
[그림 3-21] 저탄소 원료 대체 기술혁신 목표 및 전략	71
[그림 3-22] 저탄소 연료 대체 기술혁신 목표 및 전략	71
[그림 3-23] 탄소중립선박 분야 탄소중립 기술혁신 방향	72
[그림 4-1] 미국 온실가스 배출량 추이 및 전망	79
[그림 4-2] 미국 '연방의 지속가능성을 위한 계획(FSP)' 추진목표	86

[그림 4-3] 미국의 주(州)별 재생에너지의무할당제 시행 현황	87
[그림 4-4] EU 분야별 온실가스 배출량(1990~2021년)	90
[그림 4-5] 탄소중립 유럽플랫폼 구조	96
[그림 4-6] 영국 온실가스 배출량 추이 및 전망	102
[그림 4-7] 영국 에너지안보·넷제로부 홈페이지 화면	103
[그림 4-8] 독일 온실가스 배출량 추이 및 전망	108
[그림 4-9] 독일 에너지 연구 프로그램 추진 체계	115
[그림 4-10] 프랑스의 분야별 온실가스 배출량(1990~2021년)	116
[그림 4-11] 프랑스 녹색산업법의 주요 내용	120
[그림 4-12] 일본 온실가스 배출량 추이 및 전망	123
[그림 4-13] 일본 2050년 탄소중립 실현 로드맵	126
[그림 4-14] 중국 온실가스 배출량 추이 및 전망	132
[그림 5-1] 정책수단(28개)의 IP 매트릭스(전통적 방식)	150
[그림 5-2] 정책영역(8개)의 IP 매트릭스(전통적 방식)	150
[그림 5-3] 탄소중립 정책영역(8가지)에 대한 중요도와 만족도 평균값 비교	151
[그림 5-4] 정책영역(8가지)의 만족도 평균 비교	151
[그림 5-5] 정책영역(8가지)의 중요도 평균 비교	152
[그림 5-6] 탄소중립 정책수단(28가지)에 대한 중요도와 만족도 평균값 비교	152
[그림 5-7] 탄소중립 정책수단(28가지)에 대한 만족도 평균값 비교	153
[그림 5-8] 탄소중립 정책수단(28가지)에 대한 중요도 평균값 비교	153
[그림 5-9] 정책영역(8개)에 IP 매트릭스(전통적 방식: 중요도 비율 적용)	154
[그림 5-10] 정책수단(28개)의 IP 매트릭스(편상관계수 활용 RIPA)	157
[그림 5-11] 정책영역(8개)의 IP 매트릭스(편상관계수 활용 RIPA)	157
[그림 5-12] 탄소중립 정책(8개 영역)에 대한 중요도 비율 평균 분포도	160
[그림 5-13] 탄소중립 정책(8개 영역)에 대한 우선순위 평균 분포도	161
[그림 5-14] 탄소중립 정책(8개 영역) 중요도 비율과 우선순위 간 산점도 결과	162
[그림 5-15] 우선순위에 대한 전체 IP 결과	164
[그림 5-16] 우선순위에 대한 개별 IP 결과	164
[그림 5-17] 전통적 방식의 IPA와 RIPA 비교 시 발생한 문제점과 속성	167
[그림 6-1] 행사 당일 현장	174
[그림 6-2] 발제자 발표 모습	176
[그림 6-3] 패널토론 모습	177

제 1 장

서 론

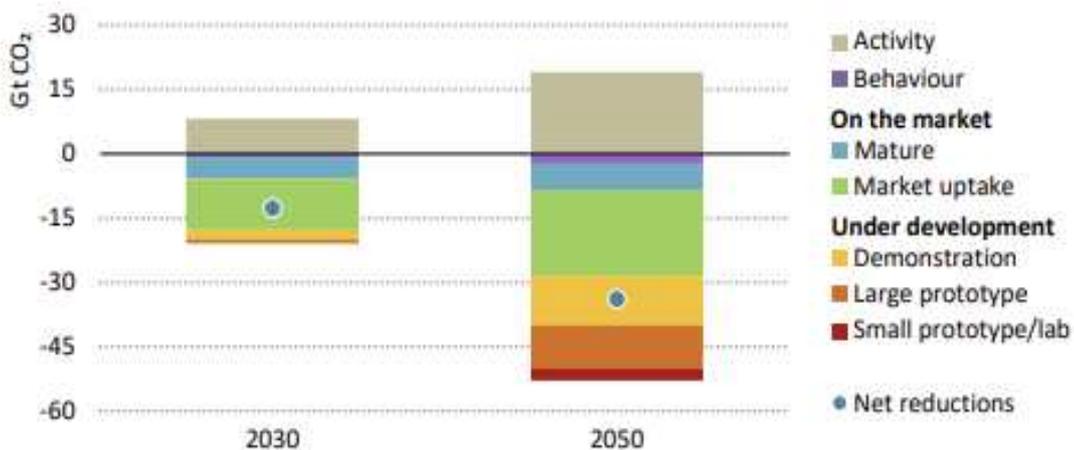
제1절 연구 배경

제2절 연구 목표 및 내용

제1절

연구 배경

- 탄소중립 이행을 위해 연료 대체, 원료 대체, 생산공정, 자원순환 등 산업 전반에 걸친 대전환이 요구됨에 따라, 친환경 혁신 기술의 중요성이 급격히 대두되는 중
 - 탄소중립 실현을 위한 국제적인 노력에도 불구하고 지구 평균 온도 상승 폭이 산업화 이전 대비 1.5°C를 넘어설 것이라는 예측이 지배적
 - 1.5°C 달성을 위해서는 2030년까지 전세계 온실가스 순배출량을 '19년 대비 43% 감축 (IPCC, 2022)해야 하며, 재생에너지 생산, 분산화 기술, 탄소 포집·저장 기술 등 온실가스 감축 및 제거와 관련된 기술 확보가 중요
 - 새로운 기술 혁신*에 의해 △산업 구조 변경(고탄소 → 저탄소), △전원믹스 변경(무탄소 전원 중심) 등 탄소중립 대전환 시대 전망
 - * 석탄화력을 대체하는 고효율 태양광 발전 기술, 탄소배출을 제로로 하는 수소환원제철 기술, 친환경 에너지를 통한 그린수소 공급 기술 등
 - 글로벌 탄소중립 실현을 위해 필요한 탄소저감량 총량의 50%가 개발 중*인 기술의 개발 완료에 달려있고, 현재 시장에 존재하는 기술만으로는 탄소중립 실현이 불가능
 - * 실증(demonstration), 프로토타입(prototype) 단계



[그림 1-1] 기술 성숙도 변화에 따른 글로벌 CO₂ 배출량 변화 예상

※ 출처: IEA (2021)

- 탄소중립 실현을 위한 기술을 확보하기 위하여 주요국은 총력을 기울이는 중
 - 미국은 에너지 공급망 안정화, 재생에너지 개발을 위해 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act, IRA)으로 '30년까지 3,690억 달러를 투자할 예정
 - 유럽은 탄소중립산업법(Net-Zero Industry Act, NZIA)을 통해 청정기술 분야의 핵심기술에 집중 투자 중
 - 일본의 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)는 향후 10년간 에너지·산업 분야의 구조 전환을 위한 연구개발과 실증사업에 대한 지속적인 투자 계획을 발표

■ 우리나라는 에너지 소비가 많은 제조업 중심의 경제 구조, 재생에너지 생산에 불리한 환경 등 탄소중립 이행에 어려워 기술 혁신이 더욱 중요

- 선진국 대비 탄소중립 대비를 위한 기한이 촉박하여 더욱 정교한 기술 혁신 지원 대책이 필요한 상황
- 정부는 '탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략('22.10)'과 '탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획('23.4)'을 발표하여, 탄소중립을 위한 범부처 기술혁신 추진 방향 제시
 - 우리나라 여건을 고려하여 ▲탄소감축 기여도, ▲탄소감축 비용효과, ▲실현 가능성 검토하여 한국형 탄소중립 100대 핵심기술을 도출하고, 명확한 임무 기반의 R&D 로드맵 체계를 구축하기 위하여 17대 탄소중립 분야*별 전략로드맵을 마련
 - * 태양광, 풍력, 수소공급, 무탄소신전원, 전력저장, 전력망, 에너지통합시스템, 제로에너지건물, 환경, 철강, 석유화학, 시멘트, 산업일반, 친환경자동차, 무탄소선박, CCUS, 원자력

〈탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략('22.10) 주요 내용〉

- ▶ (민간 주도 임무중심 기획) 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 도출 및 로드맵 마련
- ▶ (신속 유연한 투자) 탄소중립 분야에 유연한 예타 제도 적용, 국제협력 강화 등
- ▶ (선제적 기반 조성) 단계별 실증 지원, 산학연 공동연구 인력양성 모델 발굴·확산 등

- 우리 여건상 반드시 필요한 기술을 정부 R&D 지원을 통해 전략적으로 선정·육성하여, 향후 민간의 기술 혁신을 유도하고 지속 가능한 녹색성장의 발판을 마련할 필요
 - 탄소중립 시대 과학기술 기반의 새로운 성장 모멘텀으로 연결

제2절

연구 목표 및 내용

1. 연구 목표

- 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 구체화 및 기술 분야별 임무 기반의 기술혁신 전략로드맵 수립 추진
 - ▲탄소감축 기여도, ▲탄소감축 비용효과, ▲실현 가능성 등 우리나라 여건을 고려한 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 구체화
 - 탄소중립을 위한 임무 기반의 분야별 기술개발 목표 및 추진전략 제시

2. 연구 내용

- 탄소중립 100대 핵심기술 구체화
 - 17대 탄소중립 중점 분야 단위로 핵심기술 별로 기술수준, 감축효과, 개발동향 등을 검토하고 탄소중립 기술혁신 전략로드맵과 연계할 수 있도록 핵심기술을 구체화
 - 핵심기술 후보를 중심으로 우리나라 여건을 고려하여 ▲탄소감축 기여도, ▲탄소감축 비용효과, ▲실현 가능성을 검토
 - 혁신 신기술 등장, 탄소중립 규제 동향 등 대내·외 환경 변화를 고려하고 분야별 민간 의견을 수렴
 - 좁은 국토면적, 제조업 중심 산업구조 등 국내 여건을 고려하여 17개 중점기술 분야*를 한국형 탄소중립 100대 핵심기술로 구체화
- 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 수립 및 기존 로드맵 보완
 - 기 완료된 분야*를 제외한 나머지 분야(태양광, 석유화학·정유, 철강, 시멘트 등)를 중심으로 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 마련 등 관련 정책 고도화
 - * 수소공급, CCUS, 무탄소신전원, 친환경자동차
 - 분야별 전략기술 및 세부기술별 단계별 목표를 설정하고 이를 실현하기 위한 추진과제(기술확보 전략, 기술실현 방안 등) 제시
 - 임무중심 R&D혁신체계를 시범 적용하여 기술분야별 2050년 임무목표 제시하고, 임무 달성을 위한 기술개발·제도개선·R&D사업화 등 전략 수립

▣ 주요국 탄소중립 정책 동향 분석

- 주요국들* 대상 탄소중립 감축 목표와 이를 실현하기 위한 주요 법률 및 제도, 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향 분석 및 국제적 흐름을 반영한 국내 범부처 전략적 대응 방안 시사점 도출

* 미국, EU, 영국, 독일, 프랑스, 일본 등

제 2 장

한국형 탄소중립 핵심기술 도출

제1절 개요

제2절 한국형 탄소중립 핵심기술(안) 도출결과

제3절 소결

제1절

개요

■ 추진 목적

- (배경) 우리나라는 에너지 소비가 많은 제조업 중심의 경제 구조, 재생에너지 생산에 불리한 환경 등 탄소중립 이행 여건이 어려워 기술 혁신의 중요성 부각
 - 특히 선진국 대비 탄소중립 대비를 위한 기한까지 촉박하여, 탄소중립 이행을 위한 기술 혁신이 더욱 중요
 - 이에 정부는 '탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략(22.10)'을 발표하여, 탄소중립을 위한 범부처 차원의 기술혁신 추진 방향 제시하고 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안) 마련을 예고
- (목적) 우리 여건 상 반드시 필요한 기술을 전략적으로 선정·육성하여 실효성 있는 탄소중립 이행과 지속가능한 녹색성장에 기여하고자 우리나라 여건을 고려한 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안) 선정
 - 우리 여건상 반드시 필요한 기술에 정부 R&D 지원을 전략적으로 집중하여, 향후 민간의 기술 혁신을 유도할 필요
 - 실효성 있는 탄소중립 이행을 위해 우리 여건에 맞는 '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'을 선정·육성하여 지속 가능한 녹색성장의 발판 마련

■ 추진 방향 및 내용

- (추진 방향) '탄소중립기술기획위'를 구성하여 총 447개에 대한 탄소중립 기술분류체계 작성 후 100대 기술 선별*하고 100대 기술을 구체화
 - * '한국형 탄소중립 100대 핵심 기술' 초안 발표('탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략', '22.10.)
 - 17대 중점기술 분야별 탄소중립기술기획위를 구성, 탄소중립기술기획위를 중심으로 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)을 마련
 - 관계부처 의견 조회를 통해 마련된 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)을 검토
- (추진 내용) 연구·산업 현장 수요, 정부·민간 R&D 투자 현황 및 국내외 기술 동향을 분석, 우선순위를 고려하여 탄소중립 기술분류체계 작성하고 국내 여건을 고려하여 반드시 필요한 100개 기술을 최종 선별
 - ※ 평가 지표: ①탄소 감축 기여도, ②탄소 감축 비용·효과, ③실현가능성

- 체계적인 육성을 위해 기간별·수준별 포트폴리오를 구성하였으며, ^{기간별}증장기형(30년 이후 상용화), ^{수준별}신격차*·감격차** 기술에 집중

* 신시장을 선점할 수 있는 분야

** 기술격차 해소가 시급한 분야

〈(예시) 국내 여건 고려 사항〉

- ▶ 지리적 여건: 좁은 국토 면적, 풍량이 적은 기상 특성, 빌딩이 밀집된 도시 환경 적합성
- ▶ 산업 구조: 고탄소 연료·원료를 사용하는 에너지 다소비 산업의 탄소 배출 감축 가능성
- ▶ 발전(發電) 계획: 기 수립된 계획 상 신재생에너지, 무탄소 신전원 등 보급 목표 부합성
- ▶ 기술 수준: 세계 최고 수준의 기술 보유 여부 또는 확보 잠재력
- ▶ 기타: 주민 편의 및 수용성, 연관 산업 발전 가능성 등

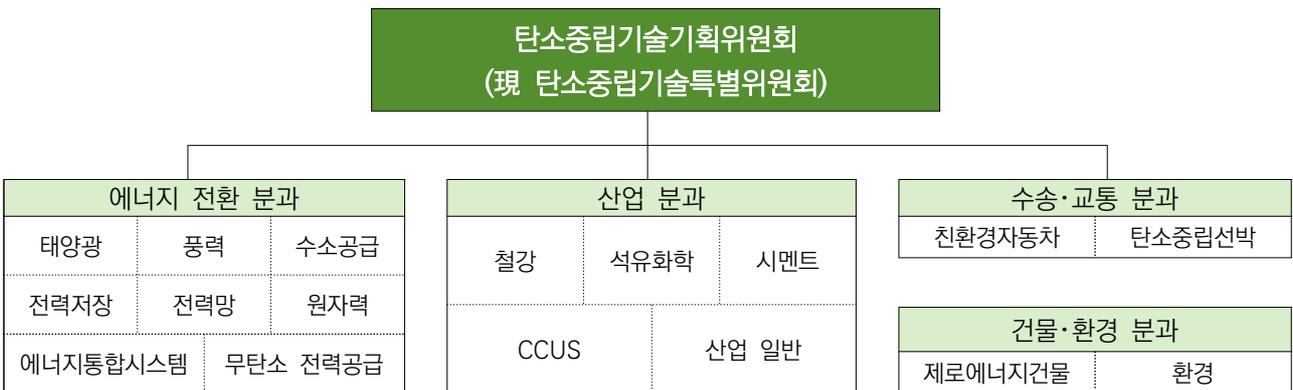
■ 추진 방법

- (전문가 위원회 구성) '22.10월 탄녹위에서 발표한 '한국형 탄소중립 100대 핵심기술' 초안*을 바탕으로 산·학·연 등 전문가 자문 및 의견 수렴

- 탄소중립 핵심기술 선정을 위해 산·학·연 전문가로 구성된 '탄소중립기술기획위원회*' 출범 (21.2), 위원회 산하 기술분과위** 운영

* '기술기획위원회'는 '21.6월부터 과기자문회의 산하 탄소중립기술특위로 전환

** 5개 기술분과(에너지, 산업, 수송교통, 건물도시·ICT, 환경) 50명으로 구성



[그림 2-1] 탄소중립기술기획위원회

- 연구·산업 현장 및 관계부처 대상 기술 수요 수렴(총 562건), 정부·민간 R&D 투자현황 및 국내외 현황 분석

※ (경과) 수요조사('21.3) → 기술분과위 운영('21.5~) → 탄소중립 기술분류체계 확립('21.8) → 17개 분야 선별('22.10) → 100대 핵심기술 구체화('22.11~'23.2)

● (기술 선정) 탄소중립 R&D 적용을 위한 ‘100대 핵심기술’ 도출

- 에너지 전환, 산업, 수송·교통, 건물·환경 등 경제·사회 전 분야에 걸쳐 탄소중립 기술분류 체계 확립(총 114개 중분류 447개 기술)

※ (선정 기준) 탄소감축 기여도, 탄소감축 비용·효과, 실현 가능성 등

- 탄소중립 기술분류체계를 바탕으로 전문가 워킹그룹 자문* 및 한국형 녹색분류체계 개정안(22.9) 등을 반영하여 17개 분야 선별하고 국내 여건에 적합한 ‘한국형 탄소중립 100대 핵심 기술’ 선정

* ‘기술기획위원회’ 분과 위원을 포함한 총 233명 참여(산 72명, 학 63명, 연 88명)

● (기술 재조정) 既 선정된 기술 중 서로 유사한 기술들은 시너지 효과를 고려하여 통합하고, 차별성이 있는 기술들은 세분화

※ (유사 기술 통합 예시) 미분탄 보일러 암모니아 혼소 기술 + 유동층 보일러 암모니아 혼소 기술
 ⇒ 석탄보일러 암모니아 혼소

※ (기술 세분화 예시) 수전해 수소 생산 기술 ⇒ 알칼라인 수전해 + PEM 수전해 + 차세대 수전해

● (포트폴리오) 기술수준별로 ▲초격차·▲신격차·▲감격차, 기간별로 ▲단기형·▲중장기형 기술로 구분하여 R&D 투자 전략성 제고

① 기술수준별 핵심기술 개발 전략 (예시)

- (초격차) 현재 보유한 기술 경쟁력을 강화하여 선두를 유지할 수 있도록 민간 주도 기술 개발을 추진
- (신격차) 전세계적으로 개발 초기 단계로서 기술 선점이 가능한 기술로, 국내 산·학 협력을 통해 자체 개발을 추진
- (감격차) 우리 경쟁력이 다소 떨어져 개발기간 단축 및 조기 상용화를 위하여 산·학·연 공동 연구를 지원, 필요시 해외 원천기술 도입 등 추진

② 기간별 핵심기술 개발 전략 (예시)

- (단기) '30년 이전 조기 상용화를 목표로 신속한 기술 개발을 추진하며, 현장 적용을 위해 기업이 주도하는 연구개발 지원
- (중장기) 정부 중심으로 선제적인 R&D를 추진하여 핵심 기술 확보, 이후 민간 중심으로 상용화를 위한 기술 고도화 및 현장 도입 추진

제2절

한국형 탄소중립 핵심기술(안) 도출결과

1. 에너지 전환 부문

☐ 태양광

- (국내 여건) 현재 최고 수준 기술력을 보유하고 있으나, △좁은 국토면적 및 △주민 편의·수용성 등으로 보급에 한계
- (개발 방향) 현재 단일접합 태양전지 기술의 한계치를 돌파하는 신격차 기술 중심으로, 초고 효율화·보급 확대 기술 집중
 - (초고효율화) 기존 단일접합 태양전지 기술에서의 기술 역량을 활용, '30년까지 효율 35% 이상(셀 기준)의 탠덤 태양전지 개발
 - (보급 확대) '30년까지 건물형·창호형 등 사용자 다변형 시스템을 상용화하고, 폐태양광 재사용·재활용 기술 확산

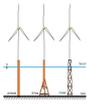
〈표 2-1〉 태양광 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 초고효율 태양전지 	신격차	단기형 (~'30)	• 2개 이상의 태양전지 소재를 적층하여 더 넓은 범위의 태양광을 흡수, 변환효율을 높이는 기술 * ('30) 탠덤 태양전지 셀 변환효율 35% 이상	• 페로브스카이트/실리콘 탠덤 태양전지 및 모듈 • 박막 기반 탠덤 태양전지 및 모듈
② 사용자 다변형 태양광 시스템 	신격차	단기형 (~'30)	• 건물, 수상, 농지 및 수송수단 등 다양한 공간에 활용될 수 있는 태양전지·모듈·시스템 기술 * ('30) 건물형 태양광 발전시스템 이용률 (≥15%)	• 건물형 태양광 기술 • 입지 다변형 태양광 기술 • 다기능 태양전지 기술
③ 폐태양광 재활용·재사용 	신격차	단기형 (~'30)	• 태양광 폐모듈 파쇄 장비 및 폐모듈에서 실리콘을 회수하여 재활용·재사용하는 기술 * ('30) 폐태양광 모듈 재사용 및 재활용률 (80%)	• 태양광 폐모듈 재사용(reuse)를 위한 기술 • 태양광 폐모듈 파쇄 장비 및 유리 분리 기술 • 태양광 폐모듈 회수 실리콘 활용 재활용 기술

□ 풍력

- (국내 여건) 에너지 안보 측면에서 기술 내재화가 중요하나, △좁은 국토면적, △심해에 집중된 풍력자원, △주민 수용성 등 고려 필요
- (개발 방향) 빠른 기술 확보를 위해 감격차 기술 중심으로 개발, 경제성을 제고하기 위한 초대형화·해상풍력 기술에 집중
 - (초대형화) '30년 15MW급, '50년 20MW급 풍력터빈을 개발, 수직축 부유식 풍력발전 핵심 부품 및 시스템을 '30년까지 확보
 - (해상풍력) '30년까지 15MW급 이상 부유체 시스템 및 하부 구조물 기술을 확보, 증장기적으로 해상풍력단지 운영·관리 기술 상용화

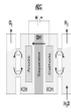
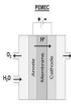
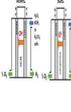
〈표 2-2〉 풍력 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

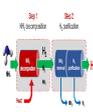
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 초대형 풍력 터빈 	감격차	증장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 15MW급 이상 대규모 발전이 가능한 풍력 발전 시스템으로 단위당 발전비용이 저감되는 기술 * ('30) 15MW급 → ('50) 20MW급 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 블레이드 대형화 및 성능 고도화 기술 • 블레이드 리사이클링 기술 • 드라이브트레인 대형화 및 고효율화 기술
② 해상풍력 부유체 시스템 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 수심이 깊은 원해에도 설치할 수 있는 부유식 풍력발전 부유체, 계류선, 앵커 등 설계·제작 기술 * ('30) 15MW급 부유체 시스템 최적 설계·제작 	<ul style="list-style-type: none"> • 부유체 시스템의 최적 해석/설계/제작 기술 • 신개념 부유체시스템의 해석/설계/제작 기술
③ 해상풍력발전 운영·관리 	감격차	증장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 원격 진단 등을 통해 상태를 실시간으로 파악, 유지·보수를 자동화·지능화하는 기술 * ('35) AI, IoT, 빅데이터를 활용한 GW급 단지 운영 지능화 	<ul style="list-style-type: none"> • 해상풍력단지 유지보수 관리 기술의 고도화 • AI·IoT·빅데이터를 활용한 단지운영 지능화 기술
④ 수직축 부유식 풍력발전 	신격차	증장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 블레이드 회전축이 수면에 수직인 형태의 풍력발전 시스템으로 터빈 초대형화에 기여하는 기술 * ('30) 핵심 부품·시스템 → ('50) 20MW급 수직축 부유식 터빈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 수직축 방식 부유식 풍력발전 핵심부품 기술 • 수직축 방식 부유식 풍력발전 시스템 기술
⑤ 해상풍력 설치·시공 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 터빈 설치 해역의 수심 등 환경에 따라 최적의 하부 구조물을 설계·제작·설치하기 위한 기술 * ('30) 15MW급 터빈 설치를 위한 구조물 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 자켓 구조물 설계, 제작, 설치 기술 • 모노파일 구조물 설계, 제작, 설치 기술 • 석션 버켓 구조물 설계, 제작, 설치 기술

□ 수소공급

- (국내 여건) 전 세계적으로 초기 단계인 만큼 선제적인 기술 확보가 필요하나, 안정적인 수소공급을 위한 인프라가 부족한 상황 고려
- (개발 방향) 수소 공급 전 분야에 걸쳐 빠른 기술 확보를 위해 감격차 기술 중심으로, 생산, 저장·운송 및 해외 도입의 전주기 기술 확보
 - (생산) '25년부터 수전해 기술을 상용화하기 시작하며, 소재·스택 및 시스템 기술의 국산화 및 조기 상용화를 병행
 - (저장·운송) 경제성 확보를 위한 대용량화를 목표로, 단기적으로는 기체수소 저장·운송 기술, 중장기에는 액체수소 저장·운송기술 확보
 - (해외 수소) 중장기적으로 대규모·장거리 운송을 위한 핵심 원천기술 및 액체수소 인수기지 등 인프라 기술 확보 추진

〈표 2-3〉 수소공급 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

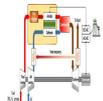
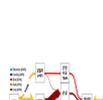
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 알칼라인 수전해 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 물을 전기분해하여 수소를 생산하는 과정에서 알칼라인 수용액을 이용하는 기술 * ('28) 10MW급 시스템 개발, 실증, 양산 	<ul style="list-style-type: none"> • 알칼라인 수전해 스택 • 알칼라인 수전해 시스템
② PEM 수전해 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 물을 전기분해하여 수소를 생산하는 과정에서 증류수와 전도성 고분자전해질막을 이용하는 기술 * ('30) 5MW급 시스템 개발, 실증, 양산 	<ul style="list-style-type: none"> • PEM 수전해 스택 모듈 • PEM 수전해 시스템
③ 차세대 수전해 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • △고온의 수증기와 세라믹전해질(SOEC) 또는 △약한 알칼라인 수용액과 음이온 전도성 고분자전해질막(AEMEC)를 이용하는 수전해 기술 * ('50년) 스택 수명 80,000시간 이상 	<ul style="list-style-type: none"> • 고온 수전해 • 음이온교환막 수전해
④ 기체수소 저장·운송 	초격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 고체소재저장, 고정용 수소저장기술 등 수소를 고압형태로 저장·운송하는 기술 * ('30) 모빌리티용, 충전소 및 수전해 대용량 저장기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 모빌리티용 고압수소 저장기술 • 고정용 고압수소 저장기술 • 수소 운송용 고압수소 저장기술 • 기체수소 고체저장 기술 • 기체수소 저장 부품기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
⑤ 액체수소 저장·운송 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 수소 액화 기술 및 액체수소 저장탱크, 탱크 로리, 배관 등 액체수소 초저온 저장·운송에 필요한 기술 * ('30) 저장탱크·탱크로리 실증 및 안전기준 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 수소 액화 및 액화수소 저장탱크 기술 운반용 액화수소 탱크로리 기술 액화수소 배관 기술 액화수소 이송 BOP 기술
⑥ 수소 전용 배관망 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 배관을 통해 대용량의 수소를 공급하기 위해 필요한 소재, 용접, 안전 및 부식방지 기술 등 * ('30) 중규모 실증 → ('50) 전국 배관 인프라 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 수소배관 소재기술 대용량 수소 공급, 운영 및 안전기술 용접·접합기술 및 부식방지 기술
⑦ 해외 암모니아·수소대용량 저장·운송 	신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 해외 수소를 암모니아 형태로 국내에 도입한 후 암모니아로부터 수소를 효율적으로 추출하는 기술 * ('30) 20,000Nm³/h급 수소 추출 시스템 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> 암모니아-수소 추출 시스템 암모니아 분해 촉매
⑧ 차세대 해외 수소 저장·운송 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 대용량의 해외 그린수소를 암모니아로 국내 도입하기 위한 수전해 연계 그린 암모니아 생산 기술 * ('30)일 100톤 → ('50)일 275톤 수소 액화 	<ul style="list-style-type: none"> 수소저장을 위한 촉매 및 반응시스템 수소추출을 위한 촉매 및 반응시스템 저온·저압 암모니아합성 촉매 수전해 연계를 위한 암모니아 합성 플랜트 기술
⑨ 액체수소 운송선 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 대용량의 액화수소를 운반하기 위한 대용량 저장 탱크 및 운송 중 배출되는 BOG 처리 등 기술 * ('50) 대형(160,000m³급) 액체수소 운송선 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> 고단열 선박용 중대형 화물창 기술 액체수소 증발가스 처리/관리 시스템 기술 안전운용 및 적하역 기술 액체수소 운송선 설계 및 해상 실증 기술 액화수소 핵심시스템(화물창 등) 및 기자재(극저온 기자재)성능검증 기술
⑩ 액체수소 인수기지 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 대용량의 액화수소를 하역, 저장하는 데 필요한 저장탱크, BOG 처리, 대구경 배관 등 기술 * ('30) 2,800톤/일 급 시스템 개발 → ('35~) 상용급 실증 	<ul style="list-style-type: none"> 액화수소 인수기지 최적 모델 도출 대용량 액체수소 저장탱크 기술 액체수소 극저온 핵심 장비 및 시스템 기술 액체수소 인수기지 건설 및 운영 실증

■ 무탄소 전력공급

- (국내 여건) 신재생에너지 확대에 따른 △전력 공급 불안정성과 △계통 설비 부담을 완화하기 위한 유연·분산발전원 필요
- (개발 방향) 기술 내재화를 위한 감격차 기술 중심으로, 대형 유연발전원으로 활용될 가스터빈 등과 소규모 분산발전원인 연료전지 집중
 - (수소가스터빈·암모니아 혼소) '30년 이전에 암모니아 혼소·수소 혼소 기술을 확보, 중장기적으로 무탄소 연료 전소 기술 개발
 - (연료전지) 단기적으로 열병합 시스템 기술을 확보하고, 중장기적으로는 복합발전 기술을 통해 발전효율을 80%까지 제고

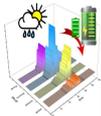
〈표 2-4〉 무탄소 전력공급 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 수소 혼소가스터빈 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 LNG 발전에 수소 연료를 혼합 적용하는 기술 * ('30) 대형 혼소가스터빈 보급 확산 	<ul style="list-style-type: none"> • 가스터빈 수소 혼소 연료전환 기술 • 수소연료 안전 공급 시스템 • 수소혼소 연료전환 성능 시험평가 기술
② 수소 전소 가스터빈 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소를 포함하지 않는 무탄소 연료로 가스터빈을 구동하여 전기를 생산하는 기술 * ('35) 발전효율 67% → ('50) 효율 70% 이상 달성 	<ul style="list-style-type: none"> • 가스터빈 수소 전소 연료전환 기술 • 암모니아크래킹 시스템 • 가스터빈 고효율화 기술
③ 석탄 보일러 암모니아 혼소 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 석탄발전소에 암모니아를 혼합 적용하여 미세먼지 및 탄소 배출을 저감하는 기술 * ('30) 50% 혼소 실증 → ('50) 암모니아 전소 	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 혼소 기술 및 보일러 모델 개발 • 발전용 암모니아 공급 인프라 구축 및 안전기술 • 암모니아 혼소 전환 및 실증
④ 초고효율 연료전지 복합발전 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 초고효율 연료전지와 기존 발전을 복합적으로 사용하여 발전 효율을 극대화하는 기술 * ('30) 시스템 발전효율 70% → ('50) 80% 이상 	<ul style="list-style-type: none"> • 초고효율 연료전지 셀 및 스택 • 타 발전기술과 연계를 위한 시스템 설계 기술
⑤ 고효율 연료전지 열병합 	신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 연료전지의 전력 생산 효율을 높이는 동시에 발생하는 열을 냉난방, 스팀 등으로 활용하는 기술 * ('30) 통합 운전 및 효율 극대화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 냉방/난방/발전/수소 생산을 포함한 삼중열병합 발전기술 • 수소 이용 70%이상 고효율 PEMFC MEA 및 스택, 시스템 제조 기술 • 스팀 생산 가능한 수소 이용 SOFC 고내구성 셀 및 스택 제조 기술

■ 전력저장

- (국내 여건) 신재생에너지 확대 시에도 전력망 안정성을 유지하기 위한 전력저장 수요 증가, 기존 경쟁력을 활용한 새로운 기회로 활용
- (개발 방향) 초격차·신격차 기술 중심으로, 시간·계절별 부하 변동에 대응할 수 있는 단·장주기 저장시스템 및 사용후 배터리 ESS 시스템 개발

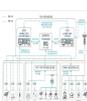
〈표 2-5〉 전력저장 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 단주기 에너지 저장 시스템 	초격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 단시간(4시간 이하) 총·방전하여 재생에너지 변동성으로부터 전력망 안정성을 유지할 수 있는 에너지 저장 시스템 기술 * ('30) 300W/L급 리튬이온전지, \$300/kWh 비리튬계 이차전지 	<ul style="list-style-type: none"> • 고출력 리튬이온전지 기술 • 고출력 비리튬계 • 이차전지 기술 • 차세대 슈퍼커패시터 기술 • 하이브리드 전력저장 시스템 기술
② 장주기 에너지 저장 시스템 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 100MWh 이상 대용량 전력을 공급하여 주간, 월간 및 계절 간 전력 공급 및 재생 에너지 간헐성 보완 기술 * ('35) 바나듐 플로우 전지, 등 비리튬계 전지 실증 및 확대 	<ul style="list-style-type: none"> • 저가 친환경 대용량 기동 이차 전지 에너지저장 시스템 기술 • 고효율 레독스 플로우 전지 에너지저장 시스템 기술 • 시스템 통합 및 운영 기술
③ 사용후 배터리 ESS 시스템 	신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 전기차의 사용후 배터리를 재사용(reuse)하여 ESS를 저가화하고 자원을 재활용하는 기술 * ('26) 사용후 배터리 모듈/랙 제조 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 사용후 배터리 성능·안정성 평가기술 • 사용후 배터리 적용 ESS 제조기술 • 사용후 배터리 적용 ESS 성능인증, 사후관리 기술

▣ 전력망

- (국내 여건) 탄소중립 전환 과정에서 재생에너지 확대 및 전력 수요 증가로 전력망 부담 가중이 예상되어 선제적 대응 필요
- (개발 방향) 기술 내재화를 위한 감격차 기술 중심으로, '30년까지 실시간 전력거래 기술 실증, 중장기적으로 지능형 송배전 시스템 상용화

〈표 2-6〉 전력망 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 지능형 송배전 시스템 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 이웃 배전계통 또는 기간계통과의 전력 거래 및 계통 운영서비스를 제공할 수 있는 송배전 시스템 * ('30) 재생에너지 변동성 수용 전력망 → ('50) GW급 연근해 송전망 	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지 변동성 수용 전력망 운영 및 엔지니어링 기술 • DC 기반 전력망 고효율화 기술
② 실시간 전력거래 플랫폼 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 분산·중앙급전 발전원이 전체 및 지역별 전력 공급 상황과 실시간으로 연계 운전 되도록 하는 기술 * ('30) 실시간 전력거래 및 보안 기술 개발·실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 지능형 전력거래 및 전력망 보안 인프라 기술 • 전력계통 연동 新서비스 지원 기술
③ 분산전원 및 유연자원 통합운영 	신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지원과 전력 수요의 변동성을 전력계통 내 가용 자원 제어를 통해 보상하는 운영기술 * ('30) 분산·유연자원 통합운영기술(단위용량 10MW) 	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지 출력예측 기술 • 유연자원 통합운영 및 계통연계 기술 • 분산에너지 계통접속 한계용량 증대 기술

■ 에너지통합시스템

- (국내 여건) 에너지를 전기화 할 때 변환 효율을 높일 필요가 있으며, 연료를 수입에 의존하는 상황에서 에너지 안보 차원에서도 중요
- (개발 방향) 감격차 기술을 중심으로 산업 및 건물에서 활용 가능한 사업용 히트펌프, 복합에너지시스템, 열에너지저장시스템 등 개발

〈표 2-7〉 에너지통합시스템 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 산업용 고온·초저온 히트펌프 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 초저온 콜드체인 등 산업 부문에서 필요한 광대역의 고온 및 냉열을 공급하는 열원기기 기술 * ('30) 초저온(-100oC), 고온(200℃/MWth급) 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 고온 히트펌프 기술 • 초저온 히트펌프 기술
② 복합에너지 시스템 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 에너지를 유기적으로 동시 운영 할 수 있는 네트워크 자원 및 수요 관리 기술 * ('30) 단일 에너지 섹터(P2G 등) → ('50)복합 섹터커플간(P2X 등) 변환 	<ul style="list-style-type: none"> • 변동성 전력의 에너지화 전환 기술 (Power to X) • 열-전기-가스 복합 에너지 네트워크 운영 기술
③ 열에너지 저장시스템 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 열 수급의 시공간 불일치를 해소하고자 열 에너지를 저장하고 이를 활용하는 기술 * ('30) 저온 열저장 효율 90% 이상 	<ul style="list-style-type: none"> • 저온 단기 열저장 기술 • 저온 장기 열저장 기술 • 중고온(300~1,000℃) 열저장 기술 • 초고온(1,000℃ 이상) 열저장 기술

▣ 원자력

- (국내 여건) 현재 보유한 기술 경쟁력이 높은 편이며, △기저발전원으로서 신재생에너지를 보완하는 역할 고려
- (개발 방향) 초격차 및 감격차 기술 투트랙 전략, 안전하고 효율적인 원자력 활용을 위한 신규 시스템 및 폐기물 관리 기술 개발
 - (신규 시스템) '30년까지 SMR 조기 상용화, 중장기적으로 SFR, VHTR, MSR 등 안전하고 다목적 활용이 가능한 선진 기술 확보
 - (폐기물 관리) '30년대 중반까지 운반 저장, 부지평가, 안전성 인증 등 핵심 기술 개발, 중장기적으로 고효율 심층처분시스템 구축

〈표 2-8〉 원자력 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

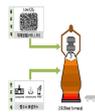
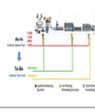
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 소형모듈원자로 (SMR) 	초격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 펌프, 증기발생기 등 주요 기기를 하나의 용기에 담아 안전성을 높인 경수로 기반 소형 원자로 * ('30) 혁신형 SMR 시제품 제작 및 사업화 	<ul style="list-style-type: none"> • 원자로 무한냉각 기술 • 무봉산 재생에너지 연계 운전기술 • 사고저항성핵연료(ATF) 개발 기술
② 선진 원자력 시스템 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 액체금속, 가스, 용융염 등을 냉각재로 사용하는 4세대 원자력시스템 기반 非경수형 SMR 응용 기술 * ('50년) SFR 핵심기술, 수소생산용 VHTR, 선박용 MSR 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 순환형 원자력 시스템 기술 (소듐냉각고속로: SFR) • 수소/공장열 생산 고온 시스템 기술 (초고온 가스로: VHTR) • 선박·해양 원자력 플랫폼 기술 (용융염원자로: MSR)
③ 원자력 폐기물 관리 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 사용 후 핵연료를 고준위 방사성 폐기물 관리시설에 저장한 후 영구 처분하는 기술 * ('29) 저장시스템 설계 → ('50) 처분시스템 안전성능 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 사용 후 핵연료 해상 장거리 운반 및 건식 저장 기술 • 중간저장 및 영구처분을 위한 관리시설부지 특성 평가 기술 • 고효율 심층처분시스템 개발

2. 산업 부문

▣ 철강

- (국내 여건) △ 국내 주력산업이자 기간산업이나, 국내 탄소 배출량의 15% 이상을 차지하는 △ 대표적인 탄소 다배출 업종
- (개발 방향) 공정 혁신을 위한 신격차 기술 중심으로, 단기적으로 무탄소 연·원료 적용 → 중장기적으로 한국형 수소환원제철 전환
 - (연·원료 대체) '30년까지 고로·전로 연·원료 대체를 위한 상용급 실증을 추진한 후, 민간 중심으로 전체 설비에 확산
 - (에너지 효율화) '30년까지 탄소저감 및 전기 사용량 감축이 가능한 고효율 전기로 기술 상용급 실증 추진
 - (수소환원제철) 국내에서 보유한 유동환원로 기술을 활용하여, '40년까지 상용급(300톤급) 실증 후 '50년까지 단계적 전환

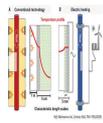
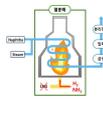
〈표 2-9〉 철강 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

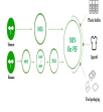
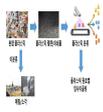
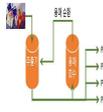
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 고로 연·원료 대체 	신격차	단기형 (~'30)	• 기존 고로에서 사용하는 탄소계 연·원료를 수소가 함유된 가스, 직접환원철 등으로 대체하는 기술 * ('30) 고로기반 저탄소 연원료 대체 기술 개발	• 부생가스 활용 고로 수소 증대 기술 • 고로 대체 철원 사용기술
② 전로 원료 대체 	신격차	단기형 (~'30)	• 기존 전로 공정에서 대체원료인 철스크랩의 사용 비율을 증가시키는 기술 * ('30) 300톤급 상저취전로 엔지니어링 및 실증	• 전로 기반 저탄소 원료 대체기술
③ 탄소저감형 전기로 	감격차	중장기형 (~'50)	• 전기로 공정에서 전력에너지 사용을 줄이거나 저탄소 열원을 사용하는 기술 * ('30) 상용급 실증 → ('50) 전체 설비에 적용	• 탄소배출 저감형 전기로 고효율화 기술 • 저탄소 신 열원재 활용 기술
④ 한국형 수소환원제철 	초격차	중장기형 (~'50)	• 철광석에서 철을 제조하기 위해 사용되는 환원제와 열원을 석탄에서 수소로 전환하는 기술 * ('40) 상용급(300만톤) 설비 실증 및 단계적 전환	• 수소 유동환원 공정기술 • 수소환원철 전용 전기용 용로 공정기술
⑤ 철강산업 하공정 무탄소 연료 전소 	신격차	단기형 (~'30)	• 단조, 압연 등 철강 제품을 생산하기 위한 하공정에서 배출되는 탄소를 감축하는 기술 * ('30) 기술 개발, 민간 주도로 보급 추진	• 무탄소 연소 시스템 기술
⑥ 철강 부산물 재자원화 	감격차	중장기형 (~'50)	• 슬래그, 분진 등 1차 부산물을 타 산업에서 저탄소 원료로 활용하는 기술 * ('30) 슬래그의 복합소재 적용 기술 개발	• 단열소재, 고강도 무기섬유 및 복합소재 제조 기술 • 함철부산물 환원·용융 기술 개발을 통한 철강 원료 제조 기술

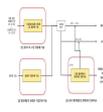
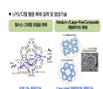
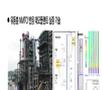
▣ 석유화학

- (국내 여건) 우리나라 △주력 산업으로서 △전체 산업 배출량의 약 18%를 차지하는 대표적인 온실가스 다배출 업종
- (개발 방향) 공정 혁신을 위한 신격차 기술 중심으로, 연·원료 대체, 폐플라스틱 자원순환 및 에너지 저감형 신공정 개발
 - (연료대체) 나프타 분해공정의 열원을 신재생 전력 혹은 무탄소 연료로 대체하고, 잔여 부생 가스는 고부가 화학원료로 전환
 - (원료대체) 바이오매스 기반 원료 생산 기술(바이오 올레핀 등)을 국산화하고 중규모 실증을 거쳐 친환경 산업구조로 단계적 전환
 - (자원순환) 폐플라스틱의 자동선별 용매 추출 기술, 종류별 맞춤형 전환 기술 등을 개발하여 폐플라스틱을 고수율 원료화
 - (신공정) 新촉매 등을 통해 나프타 분해에 필요한 반응 에너지를 절감하고, 저급 부산물 저활용 유분도 활용 가능한 공정 기술 개발

〈표 2-10〉 석유화학 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 전기 가열로 NCC 시스템 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 탄화수소 열분해 공정의 열원을 화석연료에서 전기 기반의 가열 방식으로 전환하는 기술 * ('30) 직접가열, 플라즈마 방식 분해로 기술 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄화수소 직접가열 분해로 가발 • 플라즈마 분해 신공정 개발
② 무탄소 연료 NCC 공정 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • NCC의 열분해공정에 투입되는 열에너지를 수소, 암모니아 등 무탄소 연료로 전환하는 기술 * ('30) 공정 설계 → ('50) 공정 최적화 및 확산 	<ul style="list-style-type: none"> • NCC 공정 열공급 전용 무탄소 연료 연소 • 무탄소 연료 기반 NCC 열분해 공정 설계 및 운영 • 무탄소 연료 공급 안정성 확보 및 온실가스감축 분석
③ 부생가스 고부가 전환 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 연료로 사용 중인 메탄을 원료로 활용하여 기초유분과 고부가 제품을 생산하는 기술 * ('30) 데모급 공정 기술 확보 → ('50) 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄으로부터 기초유분 생산기술 • 메탄으로부터 고부가 화학제품 생산기술

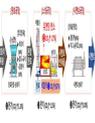
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
④ 바이오나프타·올레핀 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 석유로부터 생산되는 나프타·올레핀을 바이오매스 유래 나프타·올레핀으로 대체하는 기술 * ('30) 전환 공정·축매기술 실증 → ('50) 십만톤급 생산 	<ul style="list-style-type: none"> 1세대 식용 바이오오일 기반 바이오나프타 고변환 생산 기술 비식용(폐유지, 목질, 탄수화물 등) 유래 바이오나프타 기반원료 생산기술 2세대 비식용 바이오매스 유래 바이오나프타 생산 기술
⑤ 바이오 PEF 	신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 비식용 바이오매스로부터 PEF 고분자 수지를 생산하는 기초 중합 기술 * ('30) PEF 기초/응용 원천 및 실증 → ('50) 십만톤급 생산 	<ul style="list-style-type: none"> 바이오 FDCA 생산 공정 기술 개발 바이오 MEG 생산 공정 기술 개발 바이오 PEF 중합 생산 공정기술 개발
⑥ 바이오폴리올 	신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 석유계 폴리올 산업 전환을 위한 바이오오일·다당 생산 및 천연 폴리올 생산 공정 기술 * ('30) 바이오 폴리올 생산 기술 → ('50) 수만톤급 생산라인 	<ul style="list-style-type: none"> 비식용 기반 바이오오일·다당 전환 및 생산 기술 천연 에테르계/에스테르계/페놀계 폴리올 생산 공정 기술
⑦ 페플라ستيك 자동 선별 	신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 페플라ستيك 혼합물을 플라스틱 원료로 분리·정제하여 물리적·화학적 재활용 원료로 공급하는 기술 * ('26) AI 기반 선별 기술 개발 → ('30) 상용 공정 실증 	<ul style="list-style-type: none"> 페플라ستيك 혼합물의 AI 빅데이터 기반 선별 기술 페플라ستيك 혼합물의 분광학적 선별 기술 페플라ستيك의 파쇄/성형 기술
⑧ 페플라ستيك 용매 추출 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 포장재 등 기계적 선별로 분해가 어려운 페플라ستيك 복합재를 플라스틱 원료로 분리·정제하는 기술 * ('30) 파일럿 규모 실증 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 페플라ستيك 복합재의 연속식 용매 분리 기술 플라스틱 추출물 정제 기술 플라스틱 추출 용매 회수 기술
⑨ 페플라ستيك 해중합 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 열, 용매, 촉매 등을 통해 폴리에틸렌 등을 해중합하여 플라스틱 재생 원료로 사용하는 기술 * ('30) 페PET, 페PS, 페PU 등 상용 공정 실증 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 페PET의 해중합 기술 페PS의 해중합 기술 페PU의 해중합 기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
10 폐플라스틱 열분해 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 폐플라스틱을 열분해하여 나프타, 중질유, 경질유분 등 석유화학 원료를 생산하는 기술 * ('30) 상용공정 실증 및 제품 생산 	<ul style="list-style-type: none"> 폐플라스틱 연속식 열분해 및 열분해 오일 생산 기술 폐플라스틱 열분해를 통한 나프타 생산 기술 폐플라스틱 열분해 오일로 부터 올레핀 직접 생산 기술 폐플라스틱 중질 열분해 오일의 화학연료 전환 기술 초임계/아임계 용매 분해 기술
11 폐플라스틱 가스화 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 폐플라스틱으로 합성가스를 생산하고, 그 가스로부터 메탄올, 파라핀 등 화학 원료를 생산하는 기술 * ('30) 상용 공정 실증 및 상용제품 생산 	<ul style="list-style-type: none"> 폐플라스틱 가스화 기술 폐플라스틱 유래 합성 가스로부터 메탄올 등 기초 원료·생산 기술
12 연료유·부산물 기초화학 원료 전환 	초격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 디젤 LPG 등 저급 부산물 및 저활용 유분을 활용도가 높은 기초화학원료로 전환하는 기술 * ('30) LPG, 디젤 활용 올레핀 생산 연간 수만톤급 실증 	<ul style="list-style-type: none"> 저활용 유분 접촉 분해 촉매 제조 기술 LPG(C4) 활용 올레핀 생산기술
13 저에너지 반응 공정 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 촉매 등을 도입하여 나프타 열분해에 필요한 에너지를 저감하는 기술 * ('30) 촉매 개발 및 중규모 실증 → ('50) 대규모 확대 	<ul style="list-style-type: none"> 유동층 반응용 나프타/메탄올 분해용 촉매기술 에너지저감형 나프타/메탄올 접촉분해 공정기술
14 저에너지 분리 소재·공정 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 나프타 분해공정에 고선택성 분리 소재·공정을 도입하여 에너지를 저감하는 기술 * ('30) 고성능 흡착체 대량생산 및 제품화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> Demethanizer 대체 분리 소재 및 공정 개발 C2 splitter 대체 흡착 소재 및 분리 공정 원료 다변화에 따른 대응 기술 확보 필요 H2-CH4 분리기술 Xylene 이성질체 분리 기술 심랭 종류 공정 고효율화
15 스마트 플랜트 전환 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> AI, 디지털 트윈 등을 적용한 공정 최적화 및 에너지 통합관리, 설비 상태 모니터링 등 기술 * ('30) 에너지 관리시스템 적용, 디지털 트윈 파일럿 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 배출량 모니터링 및 관리 시스템 인공지능기반 모델링 및 공정 최적화 기술 다중물리해석 기반의 디지털 트윈 기술

■ 시멘트

- (국내 여건) △대표적인 탄소 다배출 업종(산업 전체의 11%)이나, △내수 중심인 산업 특성상 국내 생산이 불가피한 특성
- (개발 방향) 기술 내재화를 위해 감격차 기술 중심으로, 시멘트 원료 및 연료를 대체하여 직·간접 및 공정배출 감축
 - (원료대체) 석회석을 비탄산염광물로 대체하는 기술 실증을 '30년까지 완료, 클링커를 줄이는 혼합재 기술을 '50년까지 개발
 - (연료대체) 가연성 순환자원 활용 및 시멘트 소성로 신열원(바이오매스 및 수소 등) 기술을 '30년까지 실증 및 최적화

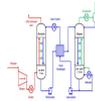
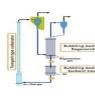
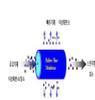
〈표 2-11〉 시멘트 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

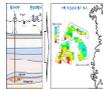
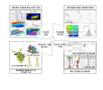
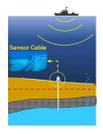
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 비탄산염 원료 대체 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 기존의 석회석을 CO₂가 발생하지 않는 비탄산염 원료(슬래그, 폐콘크리트 미분말 등)로 대체하는 기술 * ('26) 비탄산염 원료 전처리·소성 기술 및 적용 공정 기술 개발 → ('30) 실증 및 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> • 비탄산염원료 전처리 기술 • 비탄산염원료 소성 기술 • 공정 및 품질 제어 기술
② 혼합재 함량 증대 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 품질 저하 없이 보통 포틀랜드 시멘트의 클링커 함량을 낮추기 위해 혼합재 함량을 증가시키는 기술 * ('30) 혼합재 함량 15%까지 확대 	<ul style="list-style-type: none"> • OPC 내 혼합재 함량 증대 배합 기술 • 혼합재 증대용 고성능 클링커 제조 기술
③ 신규 혼합재 제조 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 무기계 재료, 소성점도 등 신규 혼합재 및 다성분계 혼합재를 개발하여 적용하는 기술 * ('30) 신규 혼합재 기술 개발 및 표준화 	<ul style="list-style-type: none"> • 무기계 미활용 자원을 활용한 혼합재 개발 • 석회석미분말 활용 저탄소 시멘트 실용화 기술 개발 • 소성점도계 광물을 활용한 저탄소 시멘트 실용화 기술 개발 • 혼합재 증대 적용 양산 기술 및 표준화
④ 순환자원 연료 대체 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 현재의 유연탄 연료를 폐합성수지 등 가연성 순환자원으로 대체하여 탄소 직접배출을 감축하는 기술 * ('27) 공정·품질 제어기술 개발 → ('30) 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 화석연료인 유연탄을 가연성 순환자원으로 대량 대체 기술 • 가연성 순환자원 대량 대체 시멘트 제조 공정 및 품질 제어기술 • 시멘트 제조 공정상 발생하는 염소 바이패스 분진의 유효 재활용 기술
⑤ 저탄소 열원 활용 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 소성로의 기존 화석연료 열원을 바이오매스, 수소기반 열원 등으로 대체하는 기술 * ('30) 공정기술 개발 및 실증 추진 	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 고밀도화 기술 • 균일열원 공급 및 연소 기술 • 엔지니어링 및 공정·품질제어 기술

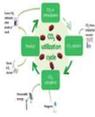
■ CCUS

- (국내 여건) △국내 감축 목표 달성에 필수적이며 현재 기술개발 초기로 △신시장 창출이 기대되나, 매우 도전적인 기술로서 확보 노력 필요
- (개발 방향) 빠른 기술 확보를 위해 감격차 기술 중심으로, 탄소 포집·저장·활용 전주기 기술 확보를 위한 단계적 실증 추진
 - (포집) 탄소 포집 국내 역량 확대를 위해 '30년까지 상용급 실증을 추진하는 동시에 중장기적으로 혁신 기술(직접공기포집 등) 개발
 - (저장) 핵심 요소기술을 개발하여 저장 용량 증가·비용 절감을 달성하고, 중·대규모(연 400만톤) CCS 통합 실증을 통한 기술 확보
 - (활용) 상용화 가능성이 높은 탄소 활용 기술을 선별하여 파일럿 규모의 실증을 통해 조속한 상용화 지원

〈표 2-12〉 CCUS 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 습식 포집 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 아민계 흡수제 등 액상 흡수제를 활용하여 기체 내 CO₂를 분리·회수하는 기술 * ('30) 준상용급(최대 1천톤/일) 포집 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 고효율, 저에너지 소비형 습식 흡수제 • 습식 흡수제 원료 생산 기술(국내) • 습식 중정 기자재(CO₂ compressor 등)
② 건식 포집 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 알칼리 금속류, 고체 아민 흡수제 등 고체 흡수제를 활용하여 기체 내 CO₂를 분리·회수하는 기술 * ('30년 이후) 상용급(3천톤/일) 이상 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 고효율·저비용 CO₂ 고체 흡수제 • CO₂ 고체흡수제 대량 성형 기술 • 고효율·저비용 건식 CO₂ 포집 공정
③ 분리막 포집 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂를 선택적으로 투과할 수 있는 분리막을 활용하여 기체 내 CO₂를 분리·회수하는 기술 * ('30) 혁신소재 개발, 산업분야 CO₂ 포집 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 고효율, 저에너지 소비형 분리막 소재 기술 • 분리막 CO₂ 포집 공정 기술

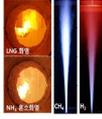
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
4 차세대 포집 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 산소 전달입자를 이용하거나(매체순환) 직접 공기 중의 CO₂를 포집하는(직접공기포집) 기술 및 바이오연료 연소 시 배출되는 CO₂ 포집 기술(BECCS) * ('30) 매체순환 30MWth급 실증 → ('50) 직접포집 실증 	<ul style="list-style-type: none"> (매체순환) 산소전달 입자 제조기술 (매체순환) 고밀도 순환 유동층 공정기술 및 발전 시스템 기술 (DAC) 탄소배출원에 제약이 없는 분산형 직접공기포집(DAC) 원천 기술 (BECCS) BECCS 연계 실증 기술
5 저장소 탐사·평가·선정 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> CO₂를 저장할 수 있는 위치를 탐사하고 저장 잠재량과 안전성을 파악하여 부지를 선정하는 기술 * ('30) 저장소 탐사 → ('50) 사업화 및 추가 저장소 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 저장소 탐사 기술 대심도 시추 및 지층 평가 기술 부지 특성화 기술 저장용량 평가 및 유망 구조/우선순위평가/도출 기술
6 저장 시설·설비 설계·구축 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 포집된 CO₂를 해상의 저장 장소까지 수송하기 위한 압축·액화·저장 관련 설비 기술 * ('50년) 액화수소 연계 Co₂ 장거리 운송기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ 압축, 정제기술 CCS용 CO₂ 액화 플랜트 설계 제작기술 CO₂ 장거리 수송기술 CO₂ 허브터미널 구축 및 안전 운영관리 기술
7 저장소 CO₂ 주입 및 운영 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 포집 및 수송된 CO₂를 심부 지층에 주입하고 저장소를 운영하기 위한 기술 * ('30년 이후) 상용급(3천톤/일) 실증 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 심부 주입·저장 공정 및 시스템 설계 기술 주입성 및 안전성 향상 주입 제어 및 저장소 운영 기술 시추/주입·관측정완결 설계 및 구축 기술
8 CO₂ 저장 모니터링 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 심부 지층에 주입된 CO₂가 안정적으로 저장되어 있는지 확인하고 누출에 대응하는 기술 * ('30) 기술 사업화(3천만톤/년 CO₂ 감축 확인) 	<ul style="list-style-type: none"> 시간지연 3D(4D) 탄성파 모니터링 기술 지구물리 복합·상시 수동 모니터링 기술 관정기반 지구물리/수리역학/지화학 모니터링 기술 모니터링 연계 히스토리 매칭 및 거동 평가 기술 해양/대기 누출 탐지 및 환경 위해성 평가 기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
9 화학적 전환 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 포집한 CO₂를 다양한 탄소화합물로 전환하여 연료 및 기초화학제품으로 사용하는 기술 * ('30) CO₂ 활용 준상용급 통합공정 실증 → ('45) 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂의 열역학적 수소화에 의한 연료 및 화학연료 제조 기술 CO₂ 전기화학적 전환에 의한 화학원료 제조 기술 CO₂ 카보네이트 및 고분자 전구체 제조 기술 저활용 가스자원 활용 기술
10 광물 탄산화 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 폐콘크리트, 철강슬래그 등 산업 부산물을 탄산화하여 무기탄산염을 생산하고 이를 활용하는 기술 * ('30) 광물 탄산화 기술 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> 시멘트 및 콘크리트 양생 기술 이산화탄소 전환 건설 자재·소재화 기술 고순도 무기탄산염 (탄산칼슘 등) 화학제품 생산 기술
11 생물학적 전환 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 조류의 광합성 반응을 통해 CO₂를 생물 내에 고정하여 바이오매스를 생산·활용하는 기술 * ('30) 고성장성 미세 조류 플랫폼 군주 확보 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ 전환을 위한 고성장성 미세조류 플랫폼 군주의 확보 및 개량기술 CO₂를 고집적으로 처리, 전환할 수 있는 고효율 광생물반응기 제작기술 미세조류 배양 과정에서 바이오피너리를 통한 소재 생산 및 공정 개발기술

■ 산업일반

- (국내 여건) 탄소국경세 도입 등 탄소 배출 관련 규제가 전 산업으로 확산됨에 따라, 산업 전반에의 탄소 감축 노력 필요
- (개발 방향) 기술 내재화를 위한 감격차 기술 중심으로, 산업 전반에 범용성이 있는 공정가스 대체, 전동기 효율화 등 기술 개발
 - (설비 전환) 기존 화석연료 보일러·공업로에 '30년까지 무탄소연료 혼소 기술을 적용, 중장기적으로 전소 보일러·공업로 개발
 - (공정 전환) 중장기적으로 반도체·디스플레이 산업의 주요 공정가스를 대체하고, '30년까지 친환경 냉매 적용 시스템 실증
 - (에너지 효율화 등) 전동기, 데이터센터 등 기반 설비의 에너지 효율을 높이고, 탄소 저감효과 모니터링 기술 개발 추진

〈표 2-13〉 산업일반 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 산업공정용 수소·암모니아 활용 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 보일러·공업로 등의 기존 화석 연료를 수소 및 암모니아 등 무탄소 연료로 대체하는 기술 * ('30) 수소·암모니아 혼소 → ('50) 전소 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 수소 혼소 및 수소 연소기 • 암모니아 혼소 및 암모니아 연소기 • 수소/암모니아 연소기 채용 보일러·공업로 설계 및 배열회수 기술
② 공정가스 대체 (반도체·디스플레이) 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 반도체·디스플레이 식각·증착 등에서 사용되는 온실가스를 대체하면서도 공정 효율을 극대화하는 기술 * ('30) 대체가스 개발 → ('40) 실증 → ('50) 공정 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 고GWP 식각 공정가스 대체 • 증착 및 세정 공정용 온실가스를 대체하는 신규 가스 개발 • 고GWP 가스의 실시간 모니터링을 통한 가스 사용 최적화
③ 공정가스 처리 (반도체·디스플레이) 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 반도체·디스플레이 산업 주요 공정 가스를 무해한 gas로 만들어 처리하는 장치·시스템 기술 * ('30) F-gas 등 95% 분해 → ('45) 완전 분해 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 반도체·디스플레이 공정가스 분해 기술 • 공정 배출가스 분해 후 생성 2차 부산물 제거 기술 • 공정가스, 부산물 실시간 측정·모니터링 및 운영 효율화 기술

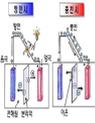
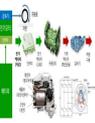
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
4 친환경 냉매 	초격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 지구온난화지수가 낮은 친환경 냉매 및 자연냉매 기반의 냉동·냉장설비를 개발하는 기술 * ('30) 친환경·자연 냉매 적용 시스템 개발 및 실증 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경 냉매용 핵심 요소 기기의 고효율화 및 최적화 기술 친환경 냉매 적용 시스템 최적 설계 및 제어 기술 자연냉매 기반 저온 냉동시스템 기술
5 전동기·전력변환기 효율화 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 전동기의 제조 및 운용 과정에서 발생하는 온실가스를 감축하기 위한 제조공정 및 성능 고도화 기술 * ('30) 차세대 전력반도체 기반 전력변환기 성능 개선 	<ul style="list-style-type: none"> 전동기 고효율화 기술 구동모듈 전동화 설계기술 전력변환 고효율화 설계 기술
6 그린 데이터센터 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 데이터센터의 에너지 효율화를 위한 초저 전력 서버 부품 및 개별 제어 기술 등 * ('30) 초저전력 디지털 장비 및 인프라 설비 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 극저전력 디지털장비 기술 초절전 인프라설비 기술 AI·디지털트윈 기반 데이터센터 에너지 공급·소비 통합 최적화 기술
7 탄소 배출 저감 효과 모니터링 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 고배출 산업분야의 tier 3(굴뚝 직접측정) 수준 탄소배출량 측정 및 국제 표준화 기술 * ('30)GWP 인증체계 확립, 배출가스 원격측정 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> GWP 인증평가 기술 GWP/GTP 고도화 산출을 위한 모사대기 환경 연구 인프라 구축 및 활용 인위적 온실가스 다배출 분야 탄소저감 모니터링 인증·평가 기술

3. 수송·교통 부문

▣ 친환경자동차

- (국내 여건) △국내 수송부문 탄소배출의 대부분을 도로 운송이 차지하며, 수출비중이 높은 산업 특성상 △해외 규제에도 대응 필요
- (개발 방향) 초격차·신격차 기술을 중심으로 요소부품 기술을 내재화하고, 경쟁력 유지를 위한 경제성·안전성·편의성 제고
 - (경제성) 가격경쟁력 및 차량시스템 효율 제고를 위한 이차전지·연료전지 핵심 소재·부품기술 확보 및 구동시스템 기술 고도화
 - (안전·편의성) 화재·폭발 사고 예방, 충전 편의성·효율을 개선하는 차량용 이차전지 및 수소 연료전지 시스템·충전 기술 고도화

〈표 2-14〉 친환경 자동차 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

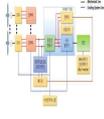
핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 이차전지 셀 고도화 	초격차	단기형 (~'30)	• 전기차용 이차전지의 에너지밀도 및 안전성을 향상하고, 사용후 재사용·재활용 등을 위한 기술 * ('30) 차세대 전지 상용화, 재활용·재사용 인프라 구축	• 차세대 이차전지 기술 • 사용후 이차전지 재사용·재활용 기술
② 이차전지 시스템 고도화 	초격차	단기형 (~'30)	• 전기차용 이차전지 시스템 소형·경량화, 상태 관리 및 운용 고도화 기술 * ('30) 차세대 이차전지 시스템 상용화	• 이차전기 팩/시스템 고밀도화 기술 • 배터리관리시스템(BMS) 고도화 기술
③ 전기구동시스템 성능 향상 	신격차	단기형 (~'30)	• 모터, 인버터, 감속기 등으로 구성되는 전기구동시스템을 고효율화 하는 기술 * ('30) 전기·수소차 전기동력 성능 고도화	• 구동모터 성능 고도화 기술 • 전기구동 인버터 제어 성능 고도화 기술 • 구동시스템 통합 일체화 기술 • 고성능 전기구동시스템 통합 성능 및 신뢰성 검증 기술
④ 전력변환장치 고도화 	신격차	단기형 (~'30)	• 컨버터, 인버터 등 전력변환장치를 고효율화, 고출력화, 고전력밀도화 하는 기술 * ('30) 요소부품 초격차 국산화 개발	• SiC 전력반도체 고도화 기술 • 고안전 및 저작격 자성 소재 요소기술 개발 • 냉각시스템 최적화를 적용한 하우징 기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
⑤ 유선충전 고속화 	신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 접속식 충전커플러로 대용량의 충전전력을 공급하여 배터리 충전시간을 단축시키는 기술 * ('30) 초급속 충전시스템 및 MW 충전 인터페이스 	<ul style="list-style-type: none"> 대용량 초급속 충전시스템 및 MW 충전인터페이스 배터리 상태분석 기반 전기차 충전제어 기술 충전 중 배터리시스템 냉각제어 기술
⑥ 무선충전 대용량화 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> 무선 전력전송 기술을 이용하여 수십kW 이상의 용량을 충전할 수 있는 기술 * ('30) 무선충전 용량 50kW 이상 → ('40) 100kW 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 무선 충전전력 송/수신 장치 대용량화 기술 무선충전 송/수신 장치 정렬 최적화 제어 및 전달효율 극대화 기술 무선충전 신뢰성 및 안정성 확보기술
⑦ 연료전지 시스템 고도화 	초격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 수소차용 연료전지시스템의 효율성을 개선하고 내구성을 향상하는 데 필요한 기술 * ('30) 시스템 효율 승용 62%, 상용 57% 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 연료전지시스템 성능 (효율) 향상 기술 연료전지시스템 내구성 개선 기술 연료전지시스템 재활용·재사용 기술
⑧ 수소차용 수소저장 시스템 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 수소차 수소저장시스템의 단위 중량 당 수소 저장량을 증대시켜 주행거리를 향상시키는 기술 * ('30) 수소 저장밀도 승용 4.8wt%, 상용 6.3wt% 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 고압수소 투과방지 라이너 기술 고압을 견디는 카본복합 소재 성형 및 수소저장 시스템 기술 수소차용 액화수소 저장 용기 및 시스템 기술
⑨ 수소 충전소 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> 수소충전설비를 국산화하여 가격을 저감하고, 충전 속도를 높이는 기술 * ('30) 기체수소 100kg/hr → ('50) 액체수소 500kg/hr 충전 	<ul style="list-style-type: none"> 수소차용 수소충전 기술

■ 탄소중립선박

- (국내 여건) △국제해사기구(IMO) 환경 규제를 만족하기 위해 '30년 신조 선박부터 탄소중립 연료 추진 시스템 탑재 필요
 - ※ 선박에너지효율설계지수(EEDI), 현존선에너지효율지수(EEXI), 탄소집약도지수(CII) 등
- (개발 방향) 조선 분야 전반에 비해 탄소중립 선박 관련 기술 수준은 낮은 편으로, 감격차 기술 중심으로 신속한 보완 추진
 - (추진시스템) '30년 이전 탄소중립 선박 상용화를 목표로 내연기관 및 연료전지·배터리시스템 등 핵심 부품 국산화 추진
 - (에너지효율화 등) 중장기적으로 연료 슬립·배기가스 처리 기술, 선박 에너지효율 향상을 위한 신선행·신소재 기술 등 고도화

〈표 2-15〉 탄소중립 선박 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술	
	수준별	기간별			
① 탄소중립 내연기관		감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 무탄소연료(암모니아, 수소 등) 또는 탄소중립연료(이퓨얼, 바이오)를 사용하는 내연기관 기술 * ('30) MW급 연안선박 추진 및 국제항해 발전용 수소엔진 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 혼합연료 내연기관 • 무탄소연료 내연기관 • 내연기관 실증 기술
② 선박용 연료전지·배터리 시스템		감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 전기추진선박 발전원으로 연료전지와 배터리를 단일 또는 복합적으로 사용하는 기술 * ('30) 선박용 연료전지 및 배터리 시스템 기술 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 선박용 연료전지 시스템 기술 • 선박용 연료전지 연료 저장 및 연료공급시스템 기술 • 선박용 고출력 고안정성 배터리시스템 기술 • 선박용 연료전지 및 배터리 시스템 통합제어 시스템 기술
③ 선박 전기추진 시스템		감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 발전기, 연료전지 및 배터리에서 생산된 전기에너지를 변환하여 추진전동기를 구동하는 기술 * ('30) 직류배전시스템 인버터, 영구자석동기 전동기 등 핵심 설비 선박 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 전기추진시스템 전력 변환장치 기술 • 고속 반도체 차단기가 포함된 직류배전시스템 기술 • 영구자석 동기전동기를 적용한 추진전동기 기술 • 전기추진선박의 제어 관리시스템
④ 연료 후처리 및 에너지 효율향상		신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 연료 운송·저장 시 발생하는 증발가스와 연소 시 발생하는 연료슬립·배기가스 등을 처리하고 운항에 필요한 에너지를 절감하는 기술 * ('40) 증발가스 처리 화물창 밀 연료탱크 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> • 선박 시운전, 방커링 과정 중 증발가스(BOG) 처리 기술 • 연료슬립 처리 기술 • 배기가스 처리 기술 • 에너지 효율 향상 기술

4. 건물·환경 부문

▣ 제로에너지건물

- (국내 여건) 밀집·고밀도화된 △국내 도심환경 및 공동주택 중심의 △주거 형태, △주민 편의성 등을 고려한 기술 확보 필요
- (개발 방향) 기술 내재화를 위한 감격차 기술 중심으로, 건물에서 사용되는 에너지를 저감하는 기술과 신재생에너지를 활용하는 기술을 연계 개발
 - ※ 신축 및 기축 건물을 대상으로 기술 실증 및 단계적 확산 추진
 - (에너지 저감) '30년까지 고성능 외피·건물 설비 고효율화 기술을 신축 건물에 도입, 장기적으로 ICT 활용 건물에너지 관리 기술 개발
 - (신재생에너지 활용) 중장기적으로 건물일체형 태양광·열 및 냉난방, 커뮤니티 단위에서의 열에너지 저장·공유 기술 고도화

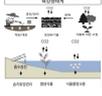
〈표 2-16〉 제로에너지건물 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 고성능 다기능 외피 	감격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 건물 자재·부품의 생산부터 폐기까지 전주기 과정을 저탄소화하고 에너지 소비를 최소화하는 기술 * ('30) 설비·신재생 통합형 외피 패키지 개발 → ('40) 리모델링 적용 기술 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> • 조명 연계형 스마트 복합 차양 기술 • 초단열 외피 기반 설비 모듈화/패키지 기술 • 기축 외피 에너지 효율화 리트로핏 기술 및 고효율 단열재 개발
② 건물 설비 전기화·고효율화 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 냉난방 설비 등을 히트펌프 시스템으로 전환하고, 환기·열에너지저장, 에너지 관리를 고효율화하는 기술 * ('30) 신축 건물 도입·실증 → ('50) 기축 건물 확산 	<ul style="list-style-type: none"> • 건물부문 열에너지 네트워크 및 중앙-분산 히트펌프 기술 • 전력-열에너지 연계 P2H-EMS 기술 • 고효율/고밀도 열저장 기술 • ZEB 청정-전열교환 시스템 기술
③ 건물 신재생 에너지 및 에너지융합 시스템 	감격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 건물 일체형 등 다양한 신재생에너지를 바탕으로 건물에서 소비되는 전기 및 열에너지 효율을 높이는 기술 * ('30) ZEB 3등급 수준 → ('50) 도시단위 실증 	<ul style="list-style-type: none"> • 건축 구체 연동형 초고효율 태양광·열 및 HVAC(냉난방, 급탕 및 환기) 융합 기술 • 커뮤니티 전력 및 복합 네트워크 구현 기술
④ 건물에너지 관리·제어·데이터 활용 	신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 건물과 도시의 에너지 생산·운영·소비 관련 정보를 수집하여 에너지 소비를 효율적으로 제어하는 기술 * ('30) 데이터 플랫폼 구축 → ('50) 자율 운전 구현 	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털트윈 기반의 건물 자율운전 기술 • 건물부문 디지털트윈의 가상센싱 기술 • 데이터 기반의 도시건물 에너지 사용량 분석 및 효율화 진단기술

□ 환경

- (국내 여건) △폐기물 증가 추세 및 △국내 재활용 체계에 적합한 기술 확보, △좁은 국토 공간의 효율적 활용 필요성 등
- (개발 방향) 신격차 기술을 중심으로, '30년까지 핵심 요소 기술을 확보하여, 중장기적으로 상용화 및 기술 고도화 추진
 - (자원 순환) 바이오 생분해성 플라스틱은 '30년까지 상용화하고, 금속자원 회수기술은 단수명 전자기기부터 ESS로 확대
 - (탄소 흡수) '30년까지 국토 공간 유형별 탄소 흡수·저장 증진 요소 기술을 개발, 중장기적으로 실증 및 효과평가 기술 개발

〈표 2-17〉 환경 분야 한국형 탄소중립 핵심기술

핵심 기술명	기술 유형		기술 개념 및 개발 목표	요소기술
	수준별	기간별		
① 바이오 생분해성 플라스틱		신격차	단기형 (~'30)	<ul style="list-style-type: none"> • 생분해성 플라스틱 모노머 생산 및 중합기술 • 바이오기반 생분해성 플라스틱 생산 기술 • 생분해성 플라스틱 자원 순환 기술 • 생분해성 플라스틱 인증 기술
② 리뉴어블 플라스틱		신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 리뉴어블 플라스틱 소재 생산 기술 • 리뉴어블 플라스틱 제품화 기술 • 리뉴어블 플라스틱 자원화 기술 • 리뉴어블 플라스틱 순환 공정 및평가 기술
③ 금속자원 회수		신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 제품/핵심부품의 자동 해체 및 분류기술 • 복합물질 구성부품의 단체분리 및 선별/농축 기술 • 선별 후 저품위 부산물로부터 물질별 회수/순환 기술
④ 국토공간 유형별 탄소 흡수 증진·관리		신격차	중장기형 (~'50)	<ul style="list-style-type: none"> • 공간유형별 흡수 및 저장능력 증진기술 • 탄소 배출방지를 위한 복원 및 관리 기술 • 탄소흡수원 확대를 위한 모니터링 및 평가기술

[참고] 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)

분야		핵심 기술명	분야	핵심 기술명	
태양광		1-01 초고효율 태양전지	석유화학	10-10 페플라스틱 열분해	
		1-02 사용처 다변형 태양광 시스템		10-11 페플라스틱 가스화	
		1-03 폐태양광 재활용·재사용		10-12 연료유·부산물의 기초화학원료 전환	
풍력		2-01 초대형 풍력 터빈	신공정	10-13 저에너지 반응 공정	
		2-02 해상풍력 부유체 시스템		10-14 저에너지 분리 소재·공정	
		2-03 해상풍력 발전 운영·관리		10-15 스마트 플랜트 전환	
		2-04 수직축 부유식 풍력발전		시멘트	11-01 비탄산염 원료 대체
		2-05 해상풍력 설치·시공			11-02 혼합재 함량 증대
수소공급	생산	3-01 알칼라인 수전해	11-03 신규 혼합재 제조		
		3-02 PEM 수전해	11-04 순환자원 연료 대체		
		3-03 차세대 수전해	11-05 저탄소 신열원 활용		
	저장·운송	3-04 기체수소 저장·운송	포집	12-01 습식 포집	
		3-05 액체수소 저장·운송		12-02 건식 포집	
		3-06 수소전용 배관망		12-03 분리막 포집	
	해외도입	3-07 해외 암모니아·수소 대용량 저장·운송		12-04 차세대 포집	
		3-08 차세대 해외수소 저장·운송		CCUS 저장	12-05 저장소 탐사·평가·선정
		3-09 액체수소 운송선	12-06 저장 시설·설비 설계·구축		
		3-10 액체수소 인수기지	12-07 저장소 CO ₂ 주입 및 운영		
전력공급 무탄소	4-01 수소 혼소 가스터빈 발전	활용	12-08 CO ₂ 저장 모니터링		
	4-02 수소 전소 가스터빈 발전		12-09 화학적 전환		
	4-03 석탄보일러 암모니아 혼소		12-10 광물 탄산화		
	4-04 초고효율 연료전지 복합발전		12-11 생물학적 전환		
	4-05 고효율 연료전지 열병합 시스템		산업일반	13-01 산업공정용 수소·암모니아 활용	
전력저장	5-01 단주기 에너지 저장 시스템	13-02 공정가스 대체(반도체·디스플레이)			
	5-02 장주기 에너지 저장 시스템	13-03 공정가스 처리(반도체·디스플레이)			
	5-03 사용후 배터리 ESS 시스템	13-04 친환경 냉매			
전력망	6-01 지능형 송배전 시스템	친환경자동차		13-05 전동기·전력변환기 효율화	
	6-02 실시간 전력거래 플랫폼		13-06 그린 데이터센터		
	6-03 분산전원 및 유연자원 통합 운영		13-07 탄소배출 저감 효과 모니터링		
시스템 통합 에너지	7-01 산업용 고온·초저온 히트펌프		신박탄소중립	14-01 이차전지 셀 고도화	
	7-02 복합에너지 시스템			14-02 이차전지 시스템 고도화	
	7-03 열에너지 저장 시스템	14-03 구동 모터 성능 향상			
원자력	8-01 소형모듈원자로(SMR)	건물제로에너지		14-04 전력변환장치 고도화	
	8-02 선진 원자력 시스템			14-05 유선충전 고속화	
	8-03 원자력 폐기물 관리		14-06 무선충전 고용량화		
철강	9-01 고로 연·원료 대체		14-07 연료전지 시스템 고도화	14-08 차량용 수소저장시스템	
	9-02 전로 원료 대체			14-09 수소 충전소	
	9-03 탄소 저감형 전기로	15-01 탄소중립 내연기관		15-02 선박용 연료전지·배터리 시스템	
	9-04 한국형 수소환원제철			15-03 선박 전기추진 시스템	
	9-05 철강산업 하공정 무탄소 연료전환			15-04 연료 후처리 및 에너지효율 향상	
	9-06 철강 부산물 재자원화		16-01 고성능·다기능 외피	16-02 건물 설비 전기화·고효율화	
석유화학	연료대체			10-01 전기가열로 NCC 시스템	16-03 건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템
		10-02 무탄소 연료 NCC 공정		16-04 건물에너지 관리·제어·데이터 활용	
		10-03 부생가스 고부가 전환		17-01 생분해성 바이오 플라스틱	
	원료대체	10-04 바이오 나프타·올레핀			17-02 리뉴어블 플라스틱
		10-05 바이오 PEF	17-03 금속자원 회수		
		10-06 바이오폴리올	17-04 국토공간별 탄소흡수 증진		
	자원순환	10-07 페플라스틱 자동선별			
		10-08 페플라스틱 용매 추출			
		10-09 페플라스틱 해중합			

[참고] 분류별 한국형 탄소중립 100대 핵심기술

	단기형 (~'30년 상용화) (37개)	중장기형 ('30년 이후 상용화) (63개)
초격차 (9)	<ul style="list-style-type: none"> ·(수소) 기체수소 저장·운송 ·(전력저장) 단주기 에너지 저장 시스템 ·(원자력) 소형모듈원자로(SMR) ·(친환경차) 이차전지 셀 고도화 ·(친환경차) 이차전지 시스템 고도화 ·(친환경차) 연료전지 시스템 고도화 <p style="text-align: center;">6개</p>	<ul style="list-style-type: none"> ·(철강) 수소환원제철 ·(석유화학) 연료유·부산물 기초화학 원료 전환 ·(산업일반) 친환경 냉매 <p style="text-align: center;">3개</p>
신격차 (39)	<ul style="list-style-type: none"> ·(태양광) 초고효율 태양전지 ·(태양광) 사용처 다변형 태양광시스템 ·(태양광) 폐태양광 재활용 재사용 ·(수소) 해외 암모니아·수소 대용량 저장·운송 ·(무탄소전력) 고효율 연료전지 열병합 ·(전력저장) 사용후 배터리 ESS 시스템 ·(전력망) 분산자원 및 유연자원 통합운영 ·(철강) 고로 연·원료 대체 ·(철강) 전로 연·원료 대체 ·(철강) 철강산업 하공정 무탄소 연료 전소 ·(석유화학) 바이오 PEF ·(석유화학) 바이오폴리올 ·(석유화학) 페플라스틱 자동 선별 ·(친환경차) 전기구동시스템 성능 향상 ·(친환경차) 전력변환장치 고도화 ·(친환경차) 유선충전 고속화 ·(환경) 바이오 생분해성 플라스틱 <p style="text-align: center;">17개</p>	<ul style="list-style-type: none"> ·(풍력) 수직축 부유식 풍력발전 ·(수소) 차세대 수전해 ·(수소) 액체수소 운송선 ·(전력저장) 장주기 에너지 저장 시스템 ·(석유화학) 부생가스 고부가 전환 ·(석유화학) 바이오나프타·올레핀 ·(석유화학) 페플라스틱 용매 추출 ·(석유화학) 페플라스틱 해중합 ·(석유화학) 페플라스틱 열분해 ·(석유화학) 페플라스틱 가스화 ·(석유화학) 저에너지 반응 공정 ·(석유화학) 저에너지 분리·소재 공정 ·(CCUS) 습식 포집 ·(CCUS) 건식 포집 ·(CCUS) 차세대 포집 ·(산업일반) 공정가스 대체 ·(산업일반) 공정가스 처리 ·(선박) 연료 후처리 및 에너지 효율향상 ·(건축) 건물에너지 관리·제어·데이터 활용 ·(환경) 리뉴어블 플라스틱 ·(환경) 금속자원 회수 ·(환경) 국토공간 유형별 탄소 흡수 증진·관리 <p style="text-align: center;">22개</p>
감격차 (52)	<ul style="list-style-type: none"> ·(풍력) 해상풍력 부유체 시스템 ·(풍력) 해상풍력 설치·시공 ·(수소) 알칼라인 수전해 ·(수소) PEM 수전해 ·(무탄소 전력) 수소혼소 가스터빈 ·(시멘트) 혼합재 함량 증대 ·(CCUS) 분리막 포집 ·(CCUS) 화학적 전환 ·(CCUS) 광물 탄산화 ·(친환경차) 수소차용 수소저장시스템 ·(친환경차) 수소충전소 ·(선박) 탄소중립 내연기관 ·(선박) 선박용 연료전지·배터리 시스템 ·(건축) 고성능·다기능 외피 <p style="text-align: center;">14개</p>	<ul style="list-style-type: none"> ·(풍력) 초대형 풍력 터빈 ·(풍력) 해상풍력발전 운영·관리 ·(수소) 액체수소 저장·운송 ·(수소) 수소 전용 배관망 ·(수소) 차세대 해외수소 저장·운송 ·(수소) 액체수소 인수기지 ·(무탄소전력) 수소전소 가스터빈 ·(무탄소전력) 석탄 보일러 암모니아 혼소 ·(무탄소전력) 초고효율 연료전지 복합발전 ·(전력망) 지능형 송배전 시스템 ·(전력망) 실시간 전력거래 플랫폼 ·(에너지통합) 산업용 고온·초저온 히트펌프 ·(에너지통합) 복합에너지시스템 ·(에너지통합) 열에너지 저장시스템 ·(원자력) 선진 원자력 시스템 ·(원자력) 원자력 폐기물 관리 ·(철강) 탄소 저감형 전기로 ·(철강) 철강 부산물 재자원화 ·(석유화학) 전기 가열로 NCC 시스템 ·(석유화학) 무탄소 연료 NCC 공정 ·(석유화학) 스마트 플랜트 전환 ·(시멘트) 비탄산염 원료 대체 ·(시멘트) 신규 혼합재 제조 ·(시멘트) 순환자원 연료 대체·(시멘트) 저탄소 신열원 활용 ·(CCUS) 저장소 탐사·평가·선정 ·(CCUS) 저장 시설·설비 설계·구축 ·(CCUS) 저장소 CO₂ 주입·운영 ·(CCUS) CO₂ 저장 모니터링 ·(CCUS) 생물학적 전환 ·(산업일반) 산업공정용 수소·암모니아 활용 ·(산업일반) 전동기·전력변환기 효율화 ·(산업일반) 그린데이터센터 ·(산업일반) 탄소배출 저감 효과 모니터링 ·(친환경차) 무선충전 대용량화 ·(선박) 선박 전기추진 시스템 ·(건축) 건물·설비 전기화·고효율화 ·(건축) 건물 신재생 에너지 및 에너지융합시스템 <p style="text-align: center;">38개</p>

제3절

소결

□ 소결

- 과학기술 기반의 체계적인 탄소중립 이행을 통해 지속 가능한 녹색 성장의 발판 마련을 위하여 한국형 탄소중립 100대 핵심기술을 선정
- 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 및 탄소중립 기술혁신 전략로드맵에 반영된 내용은 향후 정부 R&D 예산에 반영 추진
 - 명확한 임무 및 국가 목표 달성 관점 등을 고려하여 우선순위를 범부처 차원에서 검토하여, 100대 핵심 기술 관련 사업에 R&D 예산이 우선 투자될 수 있도록 지원
- 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 최종(안)에 선정된 핵심기술은 '23년까지 발표된 10대 탄소중립 분야 '탄소중립 기술혁신 전략로드맵'에 반영하였으며 '24년부터 준비할 주요 7대 분야 '탄소중립 기술혁신 전략 로드맵' 수립에 활용 예정
 - 수립한 '탄소중립 기술혁신 전략로드맵'은 국가과학기술자문회의 산하 탄소중립기술 특별위원회를 통해 확정 예정
 - 현재 국내 기술 수준 및 상용화 기간 등을 고려하여 목표 및 달성 수단을 시나리오 방식으로 제시하고 향후 탄소중립 R&D 배분·조정과 연계하여 단계적으로 지원
- 대내외 환경 변화, 기술 수준 등을 고려하여 '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'을 주기적으로 재검토하고 필요시 재설계
 - 재검토를 위해 분야별로 민간 전문가 의견을 수렴하며, 과학기술자문회의 산하 '탄소기술특별 위원회' 심의를 통해 확정

제 3 장

탄소중립 기술혁신 전략로드맵 마련

제1절 개요

제2절 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 도출 결과

제3절 소결

제1절

개요

▣ 추진 목적

- (배경) 국내 여건을 고려하여 국가 차원에서 조망한 쏠분야 기술 혁신, 탄소중립 R&D 규모 확대 등 탄소중립 기술 확보를 위한 노력을 지속
 - 민·관이 함께 탄소중립 기술을 정확히 타겟팅하여 신속히 개발·적용하는 ‘씨부처’·‘쏠주기’ 체계 마련하기 2050 탄소중립녹색성장위원회를 출범하고 ‘탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략(22.10)’을 발표
 - ‘탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략(22.10)’을 통하여 명확한 임무 기반의 R&D 로드맵 체계 구축하고자 탄소중립 17대 분야별로 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안) 마련을 예고
 - 이후 ‘수소기술 미래전략’ 수립(22.11)과 연계하여 수소와 연관성이 높은 △수소 공급, △CCUS, △무탄소 전력공급, △친환경차 분야에 대한 전략 로드맵 수립·발표
- (목적) 2030 NDC 및 2050 탄소중립 실현에 핵심적인 탄소중립 중점기술에 대한 기술혁신 전략로드맵을 수립하여 향후 탄소중립 R&D 기획·평가·예산배분·조정 등의 가이드라인으로 활용
 - 2030 NDC, 2050 탄소중립을 고려한 단기(2030) / 중장기(2050) 측면에서 탄소감축 기여가 가능한 기술을 구분하여 각 목표 시점에 적합한 기술 목표치 설정

▣ 추진 방향 및 내용

- (추진 방향) 초기단계 R&D(요소기술 ~ 중소규모 실증)는 정부가 지원하고, 상업화 단계(대형 실증 등)는 민간 주도로 역할 분담할 수 있도록 단계별 시나리오 방식의 R&D를 통해 탄소중립 전략적 R&D 투자 강화
 - 탄소중립 17대 분야별 특성에 따라 시스템 기술에서 요소(소부쟁)기술까지 고려한 가치사슬 관점의 기술개발 기획
 - 단계별로 기술 획득이 성공(목표치 달성)할 경우, 이후 단계(실증 등)를 적용하는 방식의 로드맵 수립
 - (추진 내용) 탄소중립 17대 분야 중 △수소 공급, △CCUS, △무탄소 전력공급, △친환경차 분야를 제외한 14대 분야를 중심으로 탄소중립 기술혁신 전략로드맵을 수립
 - 국내 제조업 중 탄소 배출량이 높은 △철강, △석유화학 정유, △시멘트 대상으로 전략로드맵 수립(22.11~23.5)
 - 탄소 저감을 위한 국내외 정책 변화에 따라 신속한 기술 개발이 중요한 △탄소중립 선박, △제로에너지건물, △태양광 분야 전략로드맵 수립(23.6~23.12)
- ※ 제로에너지건물, 태양광 분야 전략로드맵은 NIGT에서 마련하여 본 보고서에는 불포함

■ 추진 방법

- 전략로드맵 마련 초기 단계부터 분야별 협회, 관련기업, 주요 연구소, 연구개발 전담기관(PD 등) 등 민간이 참여하여 직접 기획하는 '민간주도형 기획 방식'으로 작업 추진
 - 분야별로 산·학·연 전문가 10명 내외로 구성된 워킹그룹을 운영하고 4~5회의 기술 소위 회의 및 서면 자문을 통한 전략로드맵(안) 작성
 - 마련한 전략로드맵(안)은 과기정통부, 산업부, 환경부, 국토교통부 등 관계부처들의 공식 의견 수렴 후 탄소중립 기술특별위원회 안건으로 상정

■ 추진 경과

- '탄소중립녹색성장 기술혁신전략' 후속조치로 '22.11부터 현재까지 총 10개 분야의 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 수립 완료
 - '수소기술 미래전략' 수립('22.11)과 연계하여 수소와 연관성이 높은 △수소 공급, △CCUS, △무탄소 전력공급, △친환경자동차 분야 전략로드맵 수립·발표('22.11)
 - 국내 제조업 중 탄소 배출량이 높은 △철강, △석유화학·정유, △시멘트 분야 전략로드맵 수립·발표('22.11)
 - 탄소 저감을 위한 국내외 정책 변화에 따라 신속한 기술 개발이 중요한 △탄소중립 선박, △제로에너지건물, △태양광 분야 전략로드맵 수립('22.11)

제2절

탄소중립 기술혁신 전략로드맵 도출 결과

1. 석유화학·정유

□ 개요

- (개념) 석유화학은 원유 정제과정에서 발생하는 나프타 또는 천연가스로 합성수지 등 각종 화학제품을 생산하는 우리나라 대표 기술·산업 분야
 - 우리나라는 석유화학이 대표 주력 수출산업으로, 에틸렌 생산능력 세계 4위('21년 기준 1,270만톤/년, 시장점유율 6.2%) 위상 보유
 - 국내 제조업 중 생산 측면에서는 국내 5위를 기록하고, 수출 측면에서는 반도체, 자동차에 이어 국내 3위에 해당
 - ※ (석유화학 생산액, '21년 기준) 95조원, (수출규모, '21년 기준) 551억불
- (배경) 탄소배출량은 '18년 기준 우리나라 산업 중 철강(10,120만 톤)에 이어 석유화학 2위 (4,690만 톤)로 매우 높은 수준
 - ※ 전체 산업 배출량 중 약 18% 차지
 - 석유계 원료인 나프타를 고온 분해하여 에틸렌 등 기초유분을 제조하는 나프타 분해공정 (NCC)에서 전체 CO₂ 65%가 배출
 - 기초 원료에서 합성고무·수지 등 화학제품을 생산하는 다운스트림 공정에서 간접배출 34%, 공정배출 1% 등 나머지 탄소 배출
- (목적) 석유화학 산업 분야의 탄소중립 구현을 위해 ▲친환경 기반의 연료 및 원료 전환, ▲자원 순환(폐플라스틱 활용), ▲에너지 효율화 등 석유화학 전 분야의 전방위적 기술 혁신 필요

	기존에는 (AS-IS)		앞으로 (TO-BE)
1	탄소 다배출 구조의 열원 공급	→	전기가열로 등 친환경 연료 대체
2	고탄소 석유화학 원료 활용	→	저탄소 바이오매스 기반 원료 대체
3	소각·매립되는 폐플라스틱	→	자원순환을 통한 산업 원료화
4	에너지 다소비 공정	→	에너지 효율화 신공정 전환

[그림 3-1] 석유화학·정유 분야 탄소중립 기술혁신 방향

■ 주요 이슈

- 탄소 다배출 구조의 열원 공급 방식 → 친환경 연료로 대체 필요
 - (진단) 석유제품인 나프타의 분해과정 중 발생하는 부생가스를 연료로 활용하기 위해 연소하는 과정에서 이산화탄소 발생
 - ※ 국내 5대 NCC기업의 에틸렌 생산량이 증가하면서 탄소 배출량은 매년 증가 추세('21년 기준, 국내 5대 기업이 배출한 온실가스 총량은 '15년 대비 5.03% 증가)
 - (대응이슈) 부생가스(메탄 등)를 활용한 열원 공급 방식이 아닌, 전기가열로 기반의 열원 공급 방식 등 획기적 탄소배출 감축 기술 필요
- 고탄소 석유화학 원료 방식 → 저탄소 바이오매스 기반 원료 대체
 - (진단) 현재 석유화학 원료가 원유 기반의 나프타가 활용되는바, 나프타를 생산하는 원유 정제과정에서 불가피하게 탄소 배출 발생
 - (대응이슈) 고탄소 석유화학 원료를 탄소중립형 바이오매스 기반 원료로 대체하여 온실가스 배출 최소화 필요
- 소각·매립되는 폐플라스틱 → 자원 순환을 통한 산업 원료화
 - (진단) 국내 폐플라스틱 발생량은 약 1,000만 톤/년('19년 기준)이며, 이 중 재활용 처리되는 66%를 제외한 폐플라스틱은 소각·매립 실시
 - ※ '20년 기준 1인당 플라스틱 소비량 145kg/년으로 플라스틱 주요 소비국 중 1위



[그림 3-2] 플라스틱 폐기물 발생 추이

- (대응이슈) 물리적 재활용이 불가능한 복합 소재, 열경화성 수지, 오염도가 높은 폐플라스틱의 재활용을 위한 핵심기술 개발 필요
- 석유화학은 대표적 에너지 다소비 공정 → 에너지 효율화 필요
 - (진단) 에틸렌, 프로필렌 등 경질 올레핀 생산을 위한 나프타 분해 공정은 석유화학의 대표적 에너지 다소비 공정에 해당
 - (대응이슈) 기존 석유화학 공정에서 사용되는 에너지를 획기적으로 절감할 수 있는 저에너지 촉매·공정기술 개발 필요

■ 선정기술

● (연료 대체) 석유화학공정 무탄소 연료 대체

- (개념) 나프타 분해공정(NCC)의 고온 가열을 위해 사용되는 연료(부생가스)를 친환경 연료로 대체하는 기술
- (분류) △전기 가열로 NCC 시스템, △무탄소 연료 NCC 공정기술, △부생가스(메탄) 고부가 전환기술 등

〈표 3-1〉 석유화학공정 무탄소 연료 대체 관련 핵심 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 전기 가열로 NCC 시스템	• 나프타 분해공정 중 고온 가열에 사용되는 연료(부생가스)를 전기로 대체하는 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 세계적으로 재생에너지 유래 전기를 활용하는 전기 가열로 기술이 주목받고 있으나 아직은 개발 초기 단계 • 유럽과 미국의 주요 석유화학 업계를 중심으로 전기로를 접목한 NCC 공정 개발 추진 중 • NCC 업체 중심으로 기술개발을 검토하는 단계이며 전기가열로 공정 기술개발 관련 R&D 이력 無
② 무탄소 연료 NCC 공정기술	• 나프타 분해공정 중 고온 가열에 사용되는 연료(부생가스)를 무탄소 연료(수소혼소 혹은 수소전소 등)로 대체하는 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 주요기업은 무탄소 연료(수소 혼소 및 전소) 전환 시도를 위한 NCC 공정 R&D 추진 중이거나 계획 중 • 日 이데미츠코산社이 중공업 업체인 IH와 도쿠야마 공장에서 부생가스와 암모니아를 NCC 연료로 혼소하는 실증을 착수('22) • NCC 기업 중심으로 수소 활용을 위한 기술개발을 검토하고 있으며, 아직은 연구개발 초기 단계임
③ 부생가스(메탄) 고부가 전환기술	• 전기로 적용 시 기존에 연료로 활용되는 부생가스(메탄)가 남아 배출되므로 이를 활용·전환(메탄올 등)하는 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 메탄의 간접전환기술 중 일부는 이미 선진국에서 상용화 단계이나, 직접전환기술은 대부분 실험실 혹은 벤치 규모로 TRL 수준이 낮은 단계 • 특히, 메탄으로부터 직접전환을 통한 올레핀 및 BTX(벤젠, 톨루엔, 자일렌) 제조기술은 전 세계적으로 아직 상업화 사례가 없으며 실험실 규모의 연구개발 단계에 불과

● (원료 대체) 바이오 기반 원료·제품 생산 기술

- (개념) 바이오 유래 원료를 화학적·생물학적으로 전환하여 바이오 기반 원료·제품을 생산하고, 석유계 원료를 대체하는 기술

※ 안정된 바이오매스 원료 수급이 가장 큰 문제인 분야로 바이오매스를 부산물로 생산하거나 경제적으로 이용효율이 낮은 폐기물 등을 최대한 확보하여 활용

- (분류) △바이오나프타·올레핀, △바이오PEF, △바이오폴리올

※ PEF: Polyethylene furandicarboxylate

〈표 3-2〉 바이오 기반 원료·제품 생산 기술 관련 핵심 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 바이오나프타·올레핀	<ul style="list-style-type: none"> 석유로부터 생산되는 석유화학 기초 원료인 나프타·올레핀을 바이오매스 유래 나프타·올레핀으로 대체하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> Neste, UPM, Eni 등 선도기업을 중심으로 바이오 나프타 상업 생산 진행 중 ※ 10~15만톤 생산 규모로 이는 유럽 전체 나프타 소비량의 0.3%에 해당 佛Akema사는 피마자유 중쇄 알파올레핀 유도체로부터 폴리 아미드 11 생산·판매 중 국내(LG화학) 원료를 구매하여 NCC 원료로 적용한바 있으나, 바이오 나프타 생산을 위한 기술 연구개발 및 상업화 사례는 부재
② 바이오 PEF	<ul style="list-style-type: none"> 석유로부터 NCC 공정을 거쳐 합성하는 PET(페트병) 소재를 바이오매스의 당으로부터 합성·추출 가능한 성분으로 생산한 PEF로 대체하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> (유럽) '20년부터 유럽바이오플라스틱, Nova 연구소 등이 시장 진입 (미국) Origin Materials사는 바이오PEF 생산 및 제품 응용과 관련하여 화학·식품 기업과 기술협약 체결 (롯데케미칼) PET 제조원료 중 약 30%를 석유 대신 사탕수수 유래 바이오매스로부터 생산 (화학연) 키토산을 이용해 바이오 PEF의 중간 화합물인 FDCA 대량생산을 위한 촉매 개발
③ 바이오 폴리올	<ul style="list-style-type: none"> 폴리우레탄의 주원료로 사용되는 폴리올을 기존 석유화학 기반이 아닌 바이오매스 유래 오일 자원에서 생산하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> BASF, Bayer 등 다국적 기업은 대두유, 피마자유 등 식물유 유래 바이오폴리올 합성, 중합, 양산 기술 구축 (금호석유화학, KPX케미칼 등) 식물오일 기반 바이오폴리올 연구 진행 중 (SK케미칼) 수천 톤 규모의 바이오 폴리올(P03G) 양산 체계를 구축하고 본격적인 양산, 공급 계획

● (자원순환) 폐플라스틱 산업원료화 기술

- (개념) 폐플라스틱 자원을 순환·재생하여 다양한 석유화학 공정의 저탄소 산업원료로 변환·활용하는 기술
- (분류) △혼합 플라스틱 분류·전처리 기술, △폐플라스틱 해중합, △폐플라스틱 열분해, △폐플라스틱 가스화 등으로 구분

〈표 3-3〉 폐플라스틱 산업원료화 기술 관련 핵심 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
①-1 혼합 플라스틱 자동 선별 분류 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 불순물, 이물질이 제거된 플라스틱을 가공성 좋은 크기로 분해하여 카메라, 레이저 등 장비로 시각적으로 분류하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 주로 미국과 유럽이 상용화된 광학적 분류 시스템을 개발하여 세계적으로 선도 중인 상황 • 국내는 아직 국산 기술로 자동 선별 분류시스템 실증 사례가 없으며 연구개발 단계에서 소규모 개념 확인 및 시제품 제작 진행 수준
①-2 혼합 플라스틱 화학적 용매 추출 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 플라스틱 복합재의 플라스틱 소재를 분리·정제하고 용매를 회수하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽을 중심으로 플라스틱 복합재의 용매 분리 공정 기술이 개발·실증 진행 중 • 국내는 한국생산기술연구원을 중심으로 기술 개발이 진행되어 왔으나 상업적 기술 활용 사례 부재
② 폐플라스틱 해중합 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 재활용이 어려운 PET, 폴리우레탄, 폴리스타이렌 등의 고분자 사슬을 선택적으로 분해하여 재생 단량체, 스티렌, 폴리올 등 고부가 화학원료를 생산하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 선도 기업은 실증 또는 상업 규모의 화학적 해중합 시설 건설 추진 중 • 국내는 폴리우레탄 폐기물의 화학 원료화 및 경질 우레탄폼 등 제조를 위한 적용기술 연구 지원 중
③ 폐플라스틱 열분해 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 사용후 플라스틱 제품을 고온으로 가열하여 고분자 사슬을 붕괴시켜 나프타, 중질류, 올레핀 등 기초 원료를 생산하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 해외에서는 초임계/아임계 용매를 이용한 고급 열분해 기술 연구개발 추진 중이며, 폐플라스틱 열분해유의 올레핀 직접 전환 기술은 일부 파일럿 단계에 진입 • 국내는 소규모 설비를 통한 연구개발 추진 단계로 실증 사례 부재
④ 폐플라스틱 가스화 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 폐플라스틱을 가스화하여 합성가스(CO, H₂ 등 포함)를 만들고, 합성가스로부터 화학원료(메탄올 등)를 생산하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 일본, 유럽 등에서는 폐기물 가스화를 통해 합성 가스를 이용하여 수소, 합성천연가스, 메탄올 등 생산기술을 개발하고 상용화를 통해 상업 운전 중 • 국내는 가스화 용융로, 합성가스 정제 및 이용 기술에 대한 파일럿 규모의 연구가 주로 진행되고 있으며 상용 플랜트 보급 실적은 없음

● (신(新)공정) 에너지 저감형 新공정 기술

- (개념) 기존 석유화학 공정에서 사용되는 에너지를 획기적으로 절감할 수 있는 공정·촉매 기술
- (분류) △연료유·부산물의 기초화학원료 전환, △저에너지 화학반응 공정, △저에너지 분리 △석유화학 공정 스마트플랜트 전환

〈표 3-4〉 에너지 저감형 新공정 기술 관련 핵심 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 연료유·부산물의 기초 화학원료 전환 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 석유화학 공정의 저급 부산물(디젤 비점 범위의 다환 방향족 화합물) 및 저활용 유분(디젤 및 LPG)을 기초화학원료로 전환하는 신기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 중동과 중국의 정유사들을 중심으로 원유에서 석유화학제품을 직접 생산하는 COTC 기술 개발 및 설비 도입을 진행 • 국내 기업은 독자 기술 개발 사례는 없으나 외국 기업과의 협력을 통해 석유화학 제품 생산 확장 노력
② 저에너지 화학반응 공정 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 나프타 열분해 공정에서 촉매도입으로 반응열을 낮추고 흡열+발열 하이브리드 반응 공정을 통해 나프타의 반응을 제어하는 반응공정 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 나프타 열분해 공정의 한계를 극복하기 위해 해외에서는 나프타 접촉분해 공정 개발 중 • 국내에서는 유동층 나프타 촉매기술을 개발하였으나 고온 영역에서 촉매의 급격한 비활성화가 나타나 이를 억제할 수 있는 높은 수열 안전성을 보유한 촉매 개발 요구
③ 저에너지 분리소재·공정기술	<ul style="list-style-type: none"> • 나프타 분해 이후의 석유원료 제품을 분리·정제 하는데 소요되는 에너지 절감을 위해 고선택성 분리 소재를 활용하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 전세계적으로 에탄/에틸렌의 에너지 사용량 절감을 위한 흡착 기반 공정기술 연구가 진행 되고 있으나 높은 TRL 수준의 연구성과는 부재한 상황 • 국내에서는 연구소와 대학 중심으로 소재 관련 연구 수행 중
④ 석유화학 공정 스마트플랜트 전환	<ul style="list-style-type: none"> • AI 및 빅데이터를 활용하여 탄소중립 기술 적용에 따른 공정 최적화, 에너지 통합관리 시스템 개발 및 안정적 운전·모니터링을 위한 디지털 트윈, 소프트센서 개발을 통한 스마트 플랜트로의 전환 	<ul style="list-style-type: none"> • 해외는 기업을 중심으로 저탄소 AI 공정 융합 시스템 구축과 관련된 기술 개발을 진행 중 • 국내에서는 대학 및 연구소를 중심으로 공정 최적화 기술 및 설계 자동화를 위한 AI 연구가 진행 중이며, 기업도 선제적인 디지털 전환 추진을 위한 노력 중

■ 기술혁신 추진전략

- (연료 대체) 나프타 분해공정의 열원을 신재생 전력 혹은 무탄소 연료로 대체하고, 잔여 부생가스는 고부가 화학원료로 전환
 - (전기 가열로) 전기가열 요소기술(직접가열, 플라즈마)을 개발하여 최적 가열방식을 선정하고(~'28), 소규모 실증(단일 튜브, ~'30) 등을 거쳐 상업운전으로 확대('30~)

〈참고〉 전기가열로 기술

구분	주요내용	
직접 가열	개념	• 외부열원을 통해 공급받지 않고 반응기 자체가 발열하는 방식
	장점	• 고온의 열량을 손실없이 전달(가장 높은 효율)
	단점	• 반응기의 고내구성 충족 필요 • 반응기 내부 온도 편차 존재
플라즈마	개념	• 원료 자체를 플라즈마화하여 직접가열·분해하는 신공정
	장점	• 외부가열이 아닌 원료 직접분해 방식으로 내부온도 균일 • 기존 반응기가 제공하지 못하는 고온 조건으로 높은 수율
	단점	• 보고된 바 없는 새로운 개념의 기술로 난이도가 매우 높은 기술

- (무탄소 연료) 既 NCC 설비에 적용 가능한 ‘수소 혼소·전소, 암모니아 혼소’ 열원 기술을 확보하고(~'27), 상용급 규모로 실증(NCC 2기, ~'30)한 이후 점차 확대('30~)
- (부생가스 전환) 부생가스(메탄)를 기초유분 및 고부가 화학제품으로 전환하는 공정기술을 개발하고(~'28), 소규모 실증(50Nm³/일, ~'30)을 거쳐 상용급으로 확대('30~)

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	(NDC) 30	35	40	45	(탄소중립) 50
① 전기 가열로 NCC 시스템	전기가열로 원천기술 확보						소규모 실증 (1개 튜브)	상용규모 실증 (NCC 1기, 민간주도)	단계적 확대 (민간 주도)			
② 무탄소 연료 NCC 공정기술	무탄소 전환 요소기술 개발 (수소 혼소 및 전소 등)				상용공정 실증 (NCC 2기)			상용공정에 단계적으로 확대 (민간 주도)				
③ 부생가스(메탄) 고부가 전환기술	메탄 전환 원천기술 개발 (에틸렌 및 수소 제조, 생분해성 고분자 제조 등)						소규모 실증 (50N/m ³ /일 규모)	상용공정에 단계적으로 확대 (민간 주도)				

[그림 3-3] 연료 대체 기술혁신 목표 및 전략

- (원료 대체) 바이오매스 기반의 원료 생산 기술을 국산화하고, 이를 활용한 대규모 생산시스템을 구축하여 친환경 산업구조로 전환
 - (바이오 나프타·올레핀) 바이오매스를 나프타·올레핀으로 전환하는 기술을 개발하고(~'27), 중규모 실증(1만톤/년, ~'30)을 거쳐 상용급 양산단지(수십만톤급, 민간주도)로 확대('30~)
 - (바이오 PEF) 바이오매스의 PEF 단량체(FDCA, MEG) 전환·중합 기술을 개발하고(~'26), 중규모 실증(5만톤/년, ~'30)을 거쳐 거대 양산플랜트(수십만톤급, 민간주도)로 확대('30~)
 - (바이오 폴리올) 바이오 오일·다당의 폴리올 전환 원천기술을 개발하고(~'26), 중규모 생산 실증(0.6만톤/년, ~'30)을 거쳐 거대 양산플랜트(수만톤급, 민간주도)로 확대('30~)

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45	50
① 바이오 나프타·올레핀	바이오나프타·올레핀 원천기술 확보				중규모 실증 (1만 톤/년)			상용급 설비 구축 및 운영 (수십만톤급, 민간 주도)				
② 바이오 PEF	바이오PEF 원천기술 개발 (단량체·중합체 촉매·반응 공정)				중규모 실증 (5만 톤/년)			거대 양산플랜트 건설·운영 (수십만톤급, 민간 주도)				
③ 바이오 폴리올	바이오오일·다당 원천기술 개발 (비식용 바이오매스 유래)				비식용 바이오폴리올 중규모 실증 (0.6만 톤/년)			상용급 설비 구축 및 운영 (수만톤급, 민간 주도)				

[그림 3-4] 원료 대체 기술혁신 목표 및 전략

- (자원 순환) 폐플라스틱 재활용 제고를 위해 △(전처리 공정)자동선별·용매 추출 기술, △(재활용 업사이클링) 폐플라스틱 종류별 맞춤형 전환 기술 등 폐플라스틱 전반에 걸쳐 고수율의 원료화 기술 확보
 - (전처리: 자동선별·분류) AI·광학 기반으로 혼합물을 식별·분류하는 기술을 개발하고(~25), 중규모 실증(1만톤/년, ~30) 및 상용급(민간주도)으로 점차 확대(30~)
 - (전처리: 용매 추출) 포장재 등 복합재에 대한 고순도 용매 추출 기술을 개발하고(~28), 중규모 실증(300톤/년, ~30) 및 상용급(3만톤/년)으로 점차 확대(30~)
 - (업사이클링: 해중합) PET, 폴리우레탄 등을 분해하여 재생 원료 순도를 높이는 촉매와 연속식 생산공정 기술을 개발하고(~26), 중규모 실증(300~3,000톤/년, ~29) 및 상용급(2~20만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대(29~)
 - (업사이클링: 열분해) 해중합이 어려운 PE, PP 등을 대상으로 올레핀 등 기초유분으로 분해하는 연속식 생산공정 기술을 개발하고(~25), 중규모 실증(1만톤/년 ~30) 및 상용급(1~4만톤/년 민간주도)으로 점차 확대(30~)
 - (업사이클링: 가스화) 오염도가 높은 폐플라스틱을 대상으로 메탄올 등 화학원료를 생산하는 연속식 가스화 공정기술을 확보하고(~25), 중규모 실증(6천톤/년 ~30) 및 상용급(10만톤/년 민간주도)으로 점차 확대(30~)

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45	50
① 폐플라스틱 자동 선별 분류기술	자동 선별 원천기술 확보 (AI 기반 신속·자동 선별시스템)			중규모 실증 (1만 톤/년)				상용공정 실증 및 단계적 확대 (민간 주도)				
② 용매 추출 기술	화학적 용매 추출 기술 개발 (폐플라스틱 복합재 용매 추출 요소기술)						중규모 실증 (300톤/년)		상용공정에 단계적으로 확대 (연 3만톤급, 민간 주도)			
③ 해중합	해중합 원천기술 개발 (PET, 폴리우레탄, 폴리스티렌 해중합)			중규모 파일럿 실증 (300~3,000톤/년)				상용공정에 단계적으로 확대 (연 2~20만톤급, 민간 주도)				
④ 열분해	원천기술 개발 (연속식 열분해)			중규모 실증 (1만톤/년)				상용공정 실증(1~4만톤) 및 단계적 확대 (민간 주도)				
⑤ 가스화	가스화 원천기술 확보 (폐플라스틱 혼합물 가스화)			중규모 실증 (6천톤/년)				상용공정에 단계적으로 확대 (연 10만톤급, 민간 주도)				

[그림 3-5] 자원 순환 기술혁신 목표 및 전략

- (신공정) △연료유·부산물 전환 기술, △나프타 분해 반응·분리 공정의 에너지 저감 기술을 개발하고, 석유화학 공정 전반에 걸친 △디지털 전환을 통해 에너지 효율 최적화 추진
 - (연료유·부산물 전환) 저급 부산물 및 저활용 유분의 올레핀 전환 촉매를 개발하고(~26), 중규모 실증(100톤/년, ~28) 및 상용급(1만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대(28~)
 - (저에너지 반응공정) 나프타 분해 공정에서 필요한 반응 에너지를 절감하는 기술을 개발하고(~25), 중규모 실증(100톤/년, ~30) 및 상용급(100만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대(30~)
 - (저에너지 분리소재) 기존 심냉증류 방식을 대체하는 상온 구동 흡착 및 분리막 등을 개발하고(~28), 중규모 실증(100톤/년, ~30) 및 상용급(200만톤/년, 민간주도)으로 점차 확대(30~)
 - (스마트 플랜트 전환) 디지털 시뮬레이션 등 에너지 효율화 요소 기술을 개발한 이후(~28), 석유화학 플랜트 전반에 시범 적용 및 확산(29~)

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45	50
① 연료유·부산물 기초화학원료 전환	촉매 개발 및 소규모 실증 (1 톤/년)		중규모 실증 (100 톤/년)			대규모 실증단지 구축 (1만톤급, 민간 주도)						
② 저에너지 화학반응 공정기술	촉매 반응기술 개발 (촉매분해 반응기)		중규모 파일럿 실증 (100 톤/년)			상용 공정에 단계적으로 확대 (100만톤급, 민간 주도)						
③ 저에너지 분리소재·공정기술	분리소재·공정 기술 개발 (저에너지 분리 소재·단위장치 기술)			중규모 실증 (100 톤/년)		상용 공정에 단계적으로 확대 (200만톤급, 민간 주도)						
④ 석유화학 공정 스마트플랜트 전환	스마트플랜트 원천기술 개발 (디지털 시뮬레이션 활용)				파일럿 실증		상용 공정에 단계적으로 확대 (민간 주도)					

[그림 3-6] 신공정 기술혁신 목표 및 전략

2. 철강

▣ 개요

- (개념) 철강 산업은 자동차, 조선, 기계 등 전 산업에 필수적인 소재를 공급하는 핵심 기반산업
 - 우리나라의 주력산업이자 주요 수출산업으로 생산량 기준으로 세계 6위 수준의 경쟁력 보유
 - ※ 생산량 세계 6위(6,710만톤, '20년), 우리나라의 6위 수출품(5.6% 점유, '21년)
- (배경) 철강 생산 과정에서 막대한 탄소가 배출*되며, 특히 우리나라 철강 산업은 산업 분야 중 가장 많은 탄소를 배출(1억 120만톤, '18년)
 - ※ 철광석과 코크스로 철강을 생산하는 고로-전로에서 대부분 배출(85.7%, 상·하공정 전체)
 - 세계적인 탈탄소화에 대응하여 포스코, 현대제철, 동국제강 등 우리나라 주요 기업들도 탄소중립 선언과 함께 적극적 탄소 감축 추진
 - EU, 일본, 미국 등 주요국은 산업 부문 탄소중립 실현을 위해 탄소 집약도가 높은 철강 산업의 탈탄소화를 핵심과업으로 설정
 - 특히, EU는 철강 등 고탄소 수입품에 추가적인 세금을 부과하는 탄소국경조정제도(CBAM)*를 시범도입 후 본격 시행할 예정('27년~)
 - ※ 우리나라의 對 EU 철강 수출은 약 43억 달러(5조 6,000억원)로 6개 품목 수출 중 약 89%를 차지하며, '30년에는 매출액의 약 12.3%를 탄소세로 부담이 예상
- (목적) 철강 산업 분야의 탄소중립 구현을 위해 ▲저탄소 연료·원료 대체, ▲전기로 에너지 사용 저감 등 기술 확보 및 장기적으로 혁신기술인 ▲수소환원제철 전환 기술 개발 필요

	기존에는 (AS-IS)		앞으로 (TO-BE)
1	탄소 다배출 고로-전로 공정	→	무탄소 수소환원제철 공정 전환
2	전기로의 낮은 에너지 효율	→	전기로 에너지 효율화
3	화석연료를 사용하는 하공정	→	무탄소 연료 사용으로 하공정 전환
4	철강 부산물 단순 제품 재활용	→	저탄소 고부가 자원 재활용

[그림 3-7] 철강 분야 탄소중립 기술혁신 방향

▣ 주요 이슈

- 탄소 다배출 고로-전로 공정 → 무탄소 연·원료로 대체 필요
 - (진단) 철광석과 코크스(석탄)로 쇳물을 만들고 철강을 생산하는 고로-전로 공정에서 다량의 탄소가 배출
 - (대응이슈) 탄소 배출의 대부분을 차지하는 고로-전로 공정에서 사용하는 연·원료를 함수소 가스, 철스크랩 등으로 대체가 시급
 - ※ 독일, 일본 등은 함수소 가스 투입, 철스크랩 사용 기술의 상용화를 위한 최적화 기술을 개발 중이나, 우리나라는 기초연구 단계
- 전기로 공정의 낮은 에너지 효율 → 에너지 효율화 기술 개발 필요
 - (진단) 철스크랩을 용해하여 철강을 생산하는 전기로 공정에서 전력에너지 및 석탄계 연료 사용에 따라 탄소 배출
 - (대응이슈) 에너지 저감형 신규 전기로 개발, 기존 설비 고효율화, 저탄소 신열원 활용 등 탄소 감축을 위한 핵심 기술 확보 필요
- 그린 제철을 위한 기술 경쟁 → 한국형 수소환원제철 기술 확보 추진
 - (진단) 혁신적인 그린 제철 기술인 수소환원제철 기술을 확보하기 위해 각국이 기술 개발을 추진 중이나 개발 수준은 아직 낮은 상황
 - (대응이슈) 국내 철강사가 운영 중인 석탄계 가스 기반의 유동환원로 기술을 발전시켜 기존 고로-전로를 수소환원제철로 전환이 가능
 - ※ 석탄을 이용하는 경우 공정 부산물로 CO₂가 발생($2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$)되나, 수소를 이용할 경우 물이 발생($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 = 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$)
- 철강 제품 생산 시 탄소 다량 배출 → 무탄소 연료 전환 필요
 - (진단) 철강 최종 제품을 생산하는 하공정(단조·압연 등)에서도 석탄계 연료 사용으로 인해 탄소를 배출
 - (대응이슈) 하공정에서 탄소 감축 기술은 아직 상용화되지 않아 선점을 위해 무탄소 연료 기반의 연소 시스템 등 기술 개발이 필요
 - ※ 콘크리트 원료, 도로포장, 토목용 성토 등의 비중이 약 88%
- 철강 부산물 단순 재활용 → 저탄소, 고부가가치 재자원화 필요
 - (진단) 철강 산업에서 발생하는 고체 부산물(3,000만톤)의 95% 이상이 재활용되고 있으나, 대부분이 저부가의 단순제품으로 활용*

- (대응이슈) 고부가 업사이클링 기술을 통해 철강 부산물(더스트, 슬러지, 슬래그 등)을 시멘트, 건설 산업 등에서 활용하여 탄소 감축 가능

※ 철강 산업의 탄소 배출을 직접 감축하는 것은 아니나 타 산업 분야의 탄소 배출을 감축할 수 있는 원천기술로 개발 필요

■ 선정기술

● 고로-전로 연·원료 대체 기술

- (개념) 기존 고로-전로 공정의 탄소계 연·원료를 수소 함유 가스 및 대체철원(직접환원철, 철스크랩 등) 등으로 일부 대체하여 탄소 배출 감축

※ 기존 고로 공정에서 발생하는 부생가스인 코크스오븐가스(수소 50~60% 함유) 및 LNG(메탄(CH₄) 함유)



[그림 3-8] (참고)고로-전로 공정 개념도

- (분류) △고로 저탄소 연료 대체 기술, △고로 저탄소 원료 대체 기술, △전로 저탄소 원료 대체 기술 등

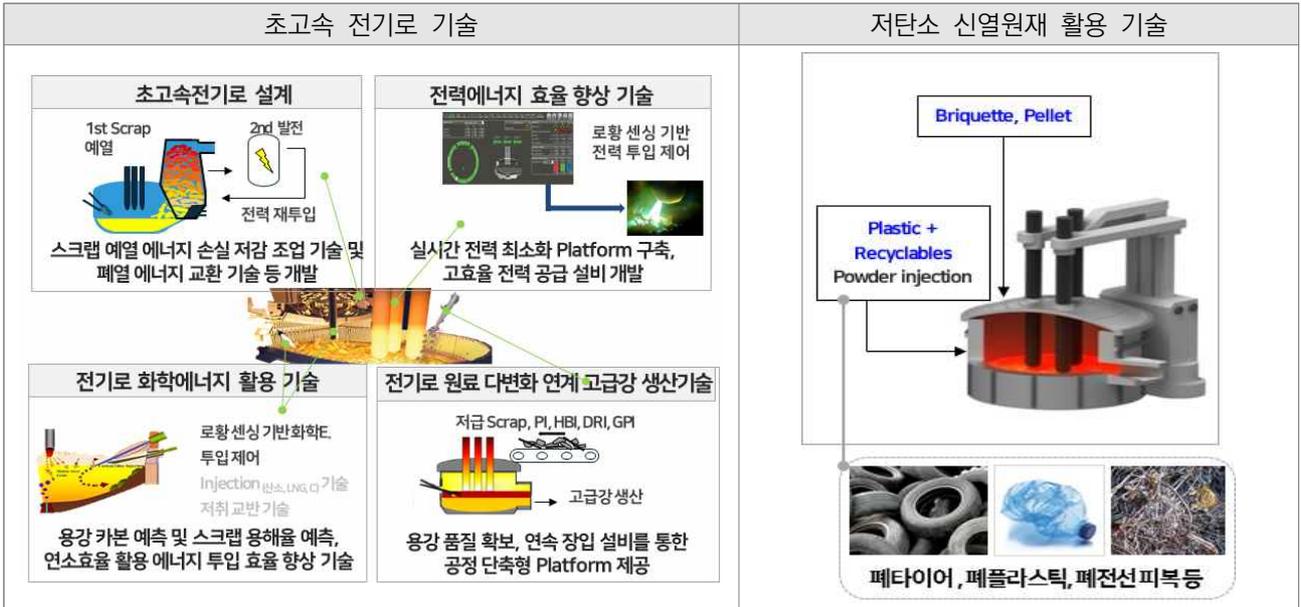
<표 3-5> 철강 고로-전로 연·원료 대체 관련 핵심 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 고로 저탄소 연료 대체	<ul style="list-style-type: none"> 고로에 수소 가스를 투입함으로써 탄소계 환원제인 코크스 사용량을 줄여 고로에서 발생하는 탄소를 감축하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> (독일, 아르셀로미탈) 상용고로에 수소소가스 일부를 투입 중 (일본, 일본제철) Pilot 실험설비에서 고로에 수소 가스 투입 테스트를 완료, 상용기술 개발 착수 (포스코) 실험실 수준에서 고로에 수소소가스 투입을 위한 기초연구 진행(COOLSTAR 프로젝트)
② 고로 저탄소 원료 대체	<ul style="list-style-type: none"> 기존 철광석 원료를 대체하여 직접환원철(화석 연료를 이용하여 제조한 고체철) 또는 철스크랩과 같이 환원이 된 철을 일부 사용하여 탄소를 감축하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> (미국, Cleveland-Cliffs) 상용고로에 직접환원철을 최대 12% 사용 중 (포스코) 실험실 수준에서 고로에 환원철 사용을 위한 요소 기술개발 중(COOLSTAR 프로젝트)
③ 전로 저탄소 원료 대체	<ul style="list-style-type: none"> 전기로 적용 시 기존에 연료로 활용되는 부생가스(메탄)가 남아 배출되므로 이를 활용·전환(메탄올 등)하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> (독일, 아르셀로미탈) 300톤급 상용전로에 상저취 전로 기술 및 철스크랩 25% 사용 기술 확보 (일본, JFE steel) 실험실 수준에서 전로에 철스크랩 다량 사용 기술 개발 착수 (포스코) 전로에 철스크랩 다량 사용 위한 상저취 전로 기초연구 진행 중

● 탄소저감형 전기로 기술

- (개념) 전기로 효율을 높여 전력에너지 사용을 줄이거나 석탄계 연료를 저탄소 연료로 일부 대체하여 탄소 배출량을 저감하는 기술

※ 전기로에서 전력에너지 사용에 따른 CO₂ 간접배출은 65~70% 수준이며, 슬래그 포밍, 가탄, 발열을 위한 석탄계 탄재의 CO₂ 배출량은 15~22%를 차지



[그림 3-9] (참고)탄소저감형 전기로 공정 개념도

- (분류) △초고속 전기로 기술(철스크랩 예열·전력 및 화학에너지 효율 향상·전기로 원료 다변화 연계 고급강 생산), △저탄소 신열원재 활용 기술

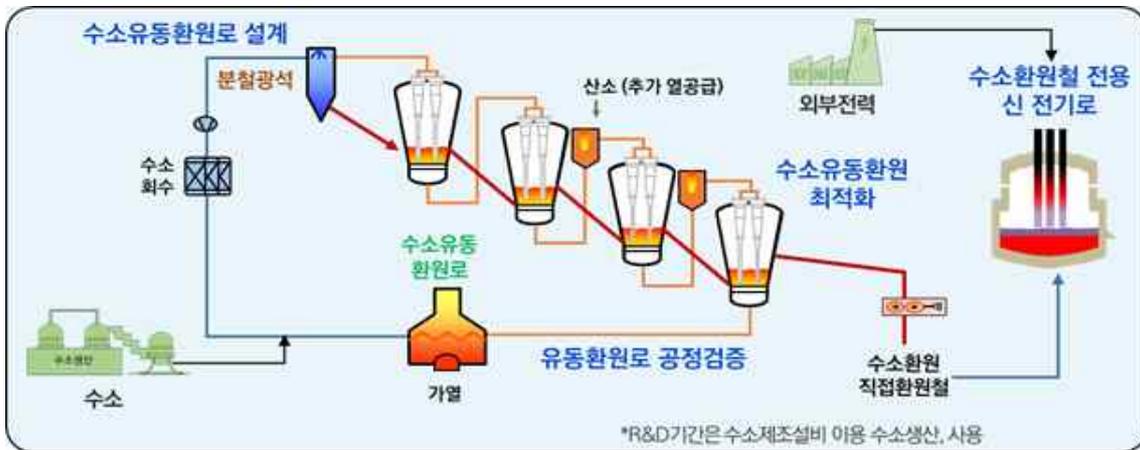
〈표 3-6〉 탄소저감형 전기로 관련 핵심 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
①-1 철스크랩 예열 기술	• 전력에너지 저감을 위해 전기로 철스크랩 예열 기술을 접목한 신속용해 전기로 개발	• (일본 JFE, 유럽 다니엘리/BSE) '14년 초반 이후 새로 개발된 철스크랩 예열 전기로는 거의 없음 • (동국제강) 철스크랩 예열 전기로를 운영 중이나 일반전기로의 국내 자체 기술개발은 낮은 수준
①-2 전력 및 화학에너지 효율 향상 기술	• 전기로에 투입되는 재료의 성분과 용해 특성 및 연소 효율을 예측 또는 측정하여 에너지 투입 효율 극대화 기술	• (일본) 전기로에 산소 부화조업+폐플라스틱 활용에 대한 시도 있음 • 산소 투입효율 향상 버너개발 연구 추진 ※ 상용로에서는 용강 성분, 연소효율이 고려되지 않은 산소·탄재 등 투입 문제
①-3 전기로 원료 다변화 연계 고급강 생산	• 전기로 제강의 주원료 다변화와 고효율화된 고급강 생산이 가능한 전기로 고속 용해프로세스 구축 기술	• 천연가스와 광석이 풍부한 국가에서 부분적으로 DRI, HBI를 전기로에 사용하여 고급 강판 생산 • (현대제철, 동국제강, 세아베스틸) 철스크랩만 사용 중으로 제품 품질 확보 측면을 고려하여 노폐 철스크랩 사용 제한(20%) • 엔지니어링 업체 중심으로 고효율 투입기술 개발 진행 중

핵심 기술	개념	기술 현황
② 저탄소 신열원재 기술	<ul style="list-style-type: none"> 석탄계 연료를 바이오매스, 폐합성수지 등 무(저)탄소 연료로 일부 대체하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> (호주, On steel) 페타이어 chip을 전기로에 사용 연구 有 (유럽) 바이오매스 실험적 연구 (일본, JFE) 연 7만톤의 폐플라스틱을 연료로 활용 중 (세아베스틸, 대한제강) 전기로에 페타이어 chip을 사용하고 있으나 사용량 낮음 (현대제철) 조연버너 열효율 및 화염폭 증대를 위한 LNG/산소 가스 혼합기술 등 고효율 투입 기술개발 및 초기 도입단계

● 한국형 수소환원제철 新공정 전환 기술

- (개념) 철강 산업의 탈탄소화를 위해 석탄 대신 100% 수소를 사용해 직접환원철(DRI)을 만들고 이를 전기로에서 녹여 쇳물을 생산하는 기술



[그림 3-10] (참고)수소환원제철 新공정 개념도

- (분류) △수소 유동환원로 기술, △수소환원철 전용 전기용융로 기술로 구분

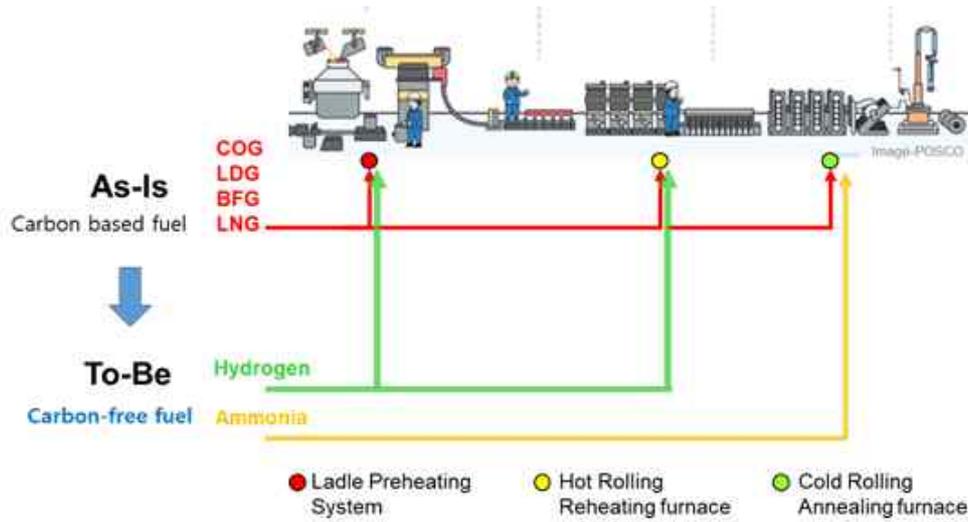
<표 3-7> 한국형 수소환원제철 新공정 전환 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 수소 유동 환원로 기술	<ul style="list-style-type: none"> 100% 수소를 이용하여 유동로에서 철광석을 환원하여 고체상태의 직접 환원철을 제조하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서는 세계 최대 규모의 기존 유동환원로 공정을 활용하여 석탄계 가스를 100% 수소로 전환하는 계획 수립 단계 (POSCO) 공정 적용사례는 없으나, FINEX 유동환원로 기술 기반의 수소환원제철 개발 전략 수립 완료
② 수소환원철 전용 전기용융 기술	<ul style="list-style-type: none"> 수소환원철의 특성을 고려한 전용 전기로를 통해 환원철을 용해하여 쇳물을 제조하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> (일본) 실험실 수준으로 고정충방식 수소환원제철 상용기술 개발 전략 수립

● 철강 하공정 무탄소 연료전환 기술

- (개념) 철강 하공정(연주, 열연, 후판, 냉연, 열처리 등의 공정)가열로에 사용되는 화석연료를 무탄소 연료(수소·암모니아)로 전환하여 탄소를 최대 100% 감축하는 기술

※ 하공정 가열로의 CO₂ 배출량은 철강산업 전체 배출량의 약 12%~14% 차지



[그림 3-11] (참고)무탄소 연료전환 기술 개념도

- (분류) △무탄소 연소시스템 기술

〈표 3-8〉 철강 하공정 무탄소 연료전환 관련 핵심기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 무탄소 연소시스템 기술	<ul style="list-style-type: none"> 메탄올, COG 등을 대신하여 수소/암모니아 연료 연소기술 개발을 통해 탄소 감축 	<ul style="list-style-type: none"> 철강 하공정 분야 탄소저감 기술은 현재까지 상용화 사례가 없으며, 유럽 등 선도국을 중심으로 기초기술 개발 및 실증 진행 중 (유럽 Linde社) '20년 수소 기반(전소) 가열로에서 테스트 조업 수행

● 철강 부산물 재자원화

- (개념) 슬래그, 분진, 슬러지, 밀스케일 등의 철강 부산물을 고부가 업사이클링 기술을 통해 저탄소 원료 등으로 전환하는 기술

※ 철강 외 타 산업 분야에서 재사용 시 철강 산업의 감축량에 포함되지는 않으나, 산업 전반에서 배출되는 탄소를 감축할 수 있는 기반 기술



[그림 3-12] 철강 부산물 재활용 분야 및 현황(단위: 톤)

- (분류) △철강 부산물 재자원화 기술

〈표 3-9〉 철강 부산물 재자원화 관련 핵심기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 철강 부산물 재자원화	<ul style="list-style-type: none"> 철강 부산물을 제철공정(더스트, 슬러지)에서 재사용하거나 저탄소 건설자재(고로 및 제강슬래그), 저탄소 시멘트 원료(수소환원 공정슬래그) 등으로 활용할 수 있도록 전환하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 선도국을 중심으로 철강 부산물을 활용한 시멘트계 혼합재 활용 기술, 용선·용강 생산 등 다양한 상용화 사례 존재 (해외) 제강슬래그, 합철부산물 등 철강 부산물을 활용한 다양한 고부가 업사이클링 기술 개발 및 적용 중 (국내) 철강 부산물의 대부분이 단순 제품(콘크리트 원료, 도로 포장, 토목용 성토 등)으로 활용되고 있어, 고부가화 및 탄소 감축에 기여*할 수 있는 다양한 원천기술 개발 필요

■ 기술혁신 추진전략

● (고로-전로 연·원료 대체) 탄소를 다량 배출하는 철광석, 코크스 등의 연·원료를 대체철원, 수소가 함유된 가스 등으로 일부 대체

※ '40년 이후에는 고로-전로를 수소환원제철로 전환('50년까지 100% 전환 목표)

- (고로 연·원료 대체) 수소가 함유된 가스, 대체철원을 사용하는 설비 개발 및 공정 최적화 (~'25) 이후 상용급 실증(~'28)을 거쳐 전체 고로(11기)에 단계적으로 적용(~'29~)

〈참고〉 주요 기술별 실증목표(예시)

주요 기술	주요 실증 목표
함수소가스 고로 사용 기술	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 저감율 3.7% 이상(연간 32만톤) 용선 1톤 생산 시 함수소 가스를 통한 수소 투입량 65Nm³/t-p 이상(현재는 수소 투입 없음)
고로 대체철원 사용 기술	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 저감율 2% 이상(연간 17만톤) 용선 1톤 생산 시 대체 철원 사용률 5% 이상(현재 0%)

- (전로 원료 대체) 철스크랩 사용 증대를 위해 열에너지를 추가 공급할 수 있는 전로 설비를 개발하여(~'25) 상용급 실증(~'28) 후 전체 전로(21기)에 단계적으로 적용('29~)

〈참고〉 주요 기술별 실증목표(예시)

주요 기술	주요 실증 목표
이차연소 극대화 기술	<ul style="list-style-type: none"> 상취전로 이차연소율 3% → 5%(세계 최고수준) 이상 상저취전로 이차연소율 13% → 15%(세계 최고수준) 이상 전로 온도 제어 모델 적용률 90% 이상
상저취 전로 공정 최적화	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 저감율 20% 이상(연간 108만톤) 전로 내 철스크랩 사용비율 15% → 25%(세계 최고수준) 이상 전로 내 탈린율 91%(세계 최고수준) → 92% 이상 전로 취련 제어모델 정합성 83%(세계 최고수준) → 85% 이상

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	(NDC) 30	35	40	45	(탄소중립) 50
① 고로 기반 저탄소 연·원료 대체	테스트베드 활용한 파일럿 실증		상용급 고로 실증 (2,500m ³ 급 이상)			단계적 확대 (고로 11기, 민간 주도)						
② 전로 기반 저탄소 원료 대체	전로 설비기술 개발		상용급 전로 실증 (300톤급 이상)			단계적 확대 (전로 19기, 민간 주도)						

[그림 3-13] 고로-전로 연·원료 대체 기술혁신 목표 및 전략

- (탄소저감형 전기로) 전기로 고효율화를 통해 전력에너지 사용을 절감하고, 석탄계 연료를 저탄소 신열원으로 대체
 - (전기로 고효율화) 철스크랩 예열 및 에너지 고효율화 설계 기술을 확보하여(~'25) 상용급 실증(~'28) 후 전체 전기로(37기)에 단계적으로 적용(~'29~)

〈참고〉 주요 기술별 실증목표(예시)

주요 기술	주요 실증 목표
철스크랩 예열기술	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 효율 극대화 전기로 설계기술 확보 • 전력 에너지 저감비율: 5% → 30%(세계최고수준) 이상 • 조업 단축시간: 40분(세계 최고수준) → 35분 이하 • 탄소 저감율 4% 이상(연간 8.5만톤) • 전력 에너지 저감비율: 0% → 3% 이상(세계최고수준 3.5%)
전력 및 화학 에너지 효율 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 저감율 3% 이상(연간 6.4만톤) • 전력 에너지 저감비율: 없음(세계 최고수준) → 3% 이상
전기로 원료 (철스크랩) 다변화 연계 고급강 생산기술	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 저감율 3% 이상(연간 6.4만톤) • 광석 기반 대체철원 사용 비율(봉형강 제품기준): 10% → 30%(세계 최고수준) • 노폐 고철 사용 비율: 20%(세계 최고수준) → 30% • 질소 함량: 70ppm(세계 최고수준 65ppm) → 50ppm

- (신열원재) 바이오매스, 폐합성수지 등 신열원재 활용 및 고효율 투입 기술을 개발하여 (~'25) 상용급 실증(~'28) 후 전체 전기로(37기)에 단계적으로 적용(~'29~)

〈참고〉 주요 기술별 실증목표(예시)

주요 기술	주요 실증 목표
신 열원재	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 저감율 35% 이상(연간 2.8만톤) • 폐합성수지 사용률: 없음(세계 최고수준) → 20% 이상 • 신 열원재(알루미늄 부산물) 사용률: 없음(세계 최고수준) → 20% 이상
고효율 투입기술	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 저감율 15% 이상(연간 1.2만톤) • 탄재 대체, 신 열원재 투입효율: 없음(세계최고수준) → 20% 이상

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	(NDC)	35	40	45	(탄소중립)
① 전기로 고효율화	파일럿 실증			상용급 전기로 실증 (중형 1기, 대형 1기)			단계적 확대 (전기로 37기, 민간 주도)					
② 저탄소 신열원재 활용	파일럿 실증			상용급 전기로 실증 (중형 1기, 대형 1기)			단계적 확대 (전기로 37기, 민간 주도)					

[그림 3-14] 탄소저감형 전기로 기술혁신 목표 및 전략

※ (기본방향) 전기로 고효율화 및 신열원재 활용을 위한 핵심기술을 갱라하여 상용급 전기로 실증 후, 민간 주도로 단계적 확대 적용

● (수소환원제철) 기존 기술을 기반으로 한국형 수소환원제철 新공정을 설계, 실증한 후, 기존 고로-전로를 단계적으로 전환

※ (고려사항) △수소 및 신재생에너지 기반 전력 대량 공급 필요, △공정 설비 기술 조기 확보를 위해 선도국과의 공동연구 지원 필요

- (수소유동환원로) 수소유동환원 공정 및 실증 설비를 설계하고(~'25), 준상용급(연 100만톤급), 상용급(연 300만톤) 실증을 거쳐(~'40) 기존 공정을 단계적으로 전환(~'40~)

- (전기 용융로) 고효율 전기 용융로 공정 및 실증 설비를 설계하고(~'25), 준상용급(연 100만톤급), 상용급(연 300만톤급) 실증을 거쳐 기존 공정을 단계적으로 전환(~'40~)

〈참고〉 주요 기술별 실증목표(예시)

주요 기술	주요 실증 목표
수소유동환원 공정 개념설계	<ul style="list-style-type: none"> 수소유동환원 공정 및 실증설비 개념 설계 실증설비 구축을 위한 기초데이터 확보(유동·환원 특성 등) 수소 100% 이용 시 환원율 90% 이상 수소 원단위 80kg/t-DRI 이하
전기용융로 공정 개념설계	<ul style="list-style-type: none"> 고효율·난용해성 전기용융로 공정 및 실증설비 개념 설계 실증설비 구축을 위한 기초데이터 확보(용해·정련 반응 등) 전기로 슬래그 중 FeOx 함량 3% 이하 용해 기초연구

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	(NDC) 30	35	40	45	(탄소중립) 50
① 한국형 수소환원제철 新공정 개발	신공정 설계			준상용급 설비 실증 (연 100만톤급)				상용급 설비 실증 (연 300만톤급)	단계적 전환 (민간 주도)			

[그림 3-15] 수소환원제철 기술혁신 목표 및 전략

- (철강 하공정 연료전환) 철강 최종 제품을 생산하는 하공정 가열로에서 사용하는 석탄계 연료를 수소, 암모니아로 전환
 - (무탄소 연료전환) 예열, 연소 시 수소, 암모니아를 전소할 수 있는 핵심기술을 개발하여(~'25) 상용급 실증 후(~'30), 전체 설비(약 1,500여기)에 단계적으로 적용(30~)

〈참고〉 주요 기술별 실증목표(예시)

주요 기술	주요 실증 목표
래들 예열시스템	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 저감율 100% 100~250톤급 수소 전소 래들시스템 기술 검증 수소 혼소율: 55% → 100%
가열로 연소기	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 저감율 100% 100~250톤급 수소 전소 가열로 기술 검증 질소 산화물: 80ppm(NG gas 기준) → 80ppm 이하(수소 전소)
복사관 연소기	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 저감율 100% 100kW급 암모니아 복사관 기술 검증 암모니아 혼소율: 사례 없음 → 100%

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	(NDC) 30	35	40	45	(탄소중립) 50
① 철강 하공정 무탄소 연료전환	파일럿 실증 (10톤급)			상용급 실증 (100~250톤급)				단계적 확대 (약 1,500여기)				

[그림 3-16] 철강 하공정 무탄소 연료전환 기술혁신 목표 및 전략

- (철강 부산물 재자원화) 철강 부산물을 저탄소 원료 등으로 전환할 수 있는 유망기술을 확보하여 산업 전반의 탄소 감축에 기여
 - (부산물 재자원화) 철강 원료, 건설 자재, 무기섬유 등으로 활용할 수 있는 유망 기술을 발굴하여(~'25) 공정 개발 및 파일럿 실증 이후(~'30), 현장 실증 및 적용 추진('30~)

〈참고〉 재자원화 대상 철강 부산물 및 개발목표(예시)

부산물 종류	주요 개발 목표
고로슬래그	<ul style="list-style-type: none"> • 용융·냉각 기술 개발을 통해 단열소재, 고강도 무기섬유 및 복합소재 개발 • 현시장가 대비 15% 이하, CO₂ 감축효과 5% 이상 달성
제강슬래그	<ul style="list-style-type: none"> • 슬래그 처리공정 기술개발을 통해 저탄소 건설소재 개발 ※ 고품위 소결용 원료, 고기능 팽창안정화 개질골재, 고기능 비료, 액상화 방지용 지반개량재, 항만방재형 콘크리트용 골재, 고강도 도로용 로반재 등 • 현 성능 대비 5% 이상 향상, CO₂ 감축효과 15% 이상 달성
함철부산물	<ul style="list-style-type: none"> • 함철부산물 환원·용융 기술개발을 통한 탄소저감형 철강 원료 개발 ※ 소결광, 고품철 단광, 용선, 용강 및 합금철 등 • 현시장가 대비 10% 이하, CO₂ 감축효과 10% 이상 달성
수소환원공정 용융슬래그	<ul style="list-style-type: none"> • 개질·냉각 기술개발을 통해 저탄소 건설재료 소재화 기술 개발 ※ 슬래그 개질·냉각 공정기술, 저탄소 건설재료 원료, 탄소 Zero형 시멘트 등 • 현 성능 대비 동등 이상, CO₂ 감축효과 30% 이상 달성 ※ 25년부터 Pilot plant 가동 예정

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	(NDC) 30	35	40	45	(탄소중립) 50
① 철강 부산물 재자원화	재자원화 기술 발굴공정 시스템 개발 및 파일럿 실증							현장 실증 및 적용				

[그림 3-17] 철강 부산물 재자원화 기술혁신 목표 및 전략

3. 시멘트

□ 개요

- (개념) 시멘트 산업은 주택, 도로, 항만 등 사회간접자본 건설을 위한 기반산업으로, 우리나라의 경우 생산된 시멘트의 대부분을 국내에서 소비
- (배경) 시멘트 생산 과정에서 탄소가 다량 배출되며, 특히 우리나라 시멘트 산업은 철강, 석유화학에 이은 대표적 탄소 다배출 산업(3,410만톤, '18년)

※ 시멘트의 주원료인 석회석과 연료인 유연탄 사용 시 대부분 배출(약 90%)



[그림 3-18] 시멘트 제조 과정

- 주요 선진국은 순환연료 활용을 바탕으로 시멘트 산업을 친환경으로 전환하고 있으나, 우리나라는 선도국에 비해 뒤쳐진 상황

※ EU는 유럽 그린딜 선언에 따라 '50년까지 시멘트 산업의 탄소 배출을 제로화 할 계획.

폐합성수지 등 순환연료 활용률: EU 52%('20년), 우리나라 23%('19년)

- (목적) 시멘트 산업 분야의 탄소중립 구현을 위해 △석회석을 저탄소 원료로 대체하고, △유연탄을 순환연료(폐합성수지 등) 및 친환경 열원으로 대체하는 기술 확보 필요

	기존에는 (AS-IS)	→	앞으로 (TO-BE)
1	석회석을 사용한 클링커(시멘트 반제품) 제조	→	클링커 제조 시 석회석 대체 원료 비중 확대
2	낮은 혼합시멘트 및 혼합재 사용률	→	다양한 혼합재 및 혼합 시멘트 개발·보급으로 사용률 제고
3	탄소를 다량 배출하는 유연탄 연료 사용	→	가연성 순환연료, 친환경 연료 사용 확대

[그림 3-19] 시멘트 분야 탄소중립 기술혁신 방향

■ 주요 이슈

● 탄소를 다량 배출하는 석회석 사용 → 석회석 대체 원료 사용 확대

- (진단) 시멘트의 주원료인 석회석을 클링커화하는 과정에서 시멘트 산업에서 배출되는 탄소의 약 60.8%가 배출

※ 석회석(CaCO_3)을 고온으로 가열시켜 화학적 반응을 통해 클링커(CaO)와 CO_2 로 분리

- (대응이슈) CO_2 가 없는 비탄산염 원료 사용을 확대하고, 다양한 혼합재 및 혼합시멘트를 개발·보급하여 탄소 배출을 감축할 필요

● 화석연료 중심 소성 공정 → 저탄소 연료 사용 확대

- (진단) 시멘트 제조 시 유연탄을 주원료로 사용*하고 있으며, 연료 연소과정에서 시멘트 산업에서 배출되는 탄소의 약 29.2%가 배출

※ 주연료: 유연탄 3.7백만톤(77%), 보조연료: 폐합성수지 등 1.4백만톤(23%)(19년 기준)

- (대응이슈) 유연탄을 대체하여 가연성 순환연료 사용을 대폭 확대하고, 수소, 바이오매스 등 친환경 열원 사용 기술 개발에 대한 투자 필요

■ 선정기술

● 저탄소 원료 대체 기술

- (개념) 석회석의 일부를 저탄소 원료로 대체하거나, 시멘트 대체용 혼합재 함량을 높여 탄소배출을 감축하는 기술
- (석회석 대체) CO₂를 다량 배출하는 석회석 원료를 CO₂가 발생하지 않는 비탄산염 원료(슬래그류, 페곤크리트 등)로 일부 대체하는 기술

※ 시멘트 반제품인 클링커를 제조하기 위한 혼합 원료는 대부분 석회석(90%)을 이용하고 있으며, 시멘트 산업에서 배출되는 탄소의 57%가 석회석 탈탄산 과정에서 발생

〈참고〉 탄산염광물(석회석) 원료 대체 기술 개념

배출 요인	배출기전
석회석 탈탄산	$CaCO_3 + Heat \Rightarrow CaO + CO_2$
소성연료 연소	유연탄 연소(예열과정 900℃ 및 본소성과정 1,450℃)에 따른 CO ₂ 배출
운반·전기에너지 소비	석회석 채광, 원료분쇄, 원료혼합, 클링커 분쇄, 운송 등 전력소비

※ 클링커 생산용 소성설비(킬른)은 9개사 44기 보유

- (혼합재) 시멘트 품질 저하 없이 시멘트의 석회석 함량을 낮추어 탄소 배출량을 감축할 수 있는 고성능 혼합재 및 혼합시멘트 기술

※ 현 KS 기준 내 혼합재 사용 허용량 10%(석회석 미분말 5% 이내, 고로슬래그, 포졸란, 플라이애시 중 한 종류 5% 이내)의 점진적 확대를 위한 요소 기술 개발

〈참고〉 국내 시멘트 규격 현황

종류	개요	
포틀랜드 시멘트 (OPC)	<ul style="list-style-type: none"> • 포틀랜드 시멘트 클링커 + 석고 및 분쇄조제* * 고로슬래그, 포졸란 및 플라이애시 중 한 종류를 5% 이내, 석회석을 5% 이내 	
혼합 시멘트	고로슬래그	• 포틀랜드 시멘트 클링커 + 고로슬래그(최대 70%) + 석고
	플라이애시	• 클링커 + 플라이애시(최대 30%) + 석고
	포졸란	• 클링커 + 실리카질 혼합재(최대 30%) + 석고

- (분류) 저탄소 원료 대체를 위한 비탄산염 원료 대체 기술, 혼합재 함량 증대 기술, 신규 혼합재 제조 기술로 구분

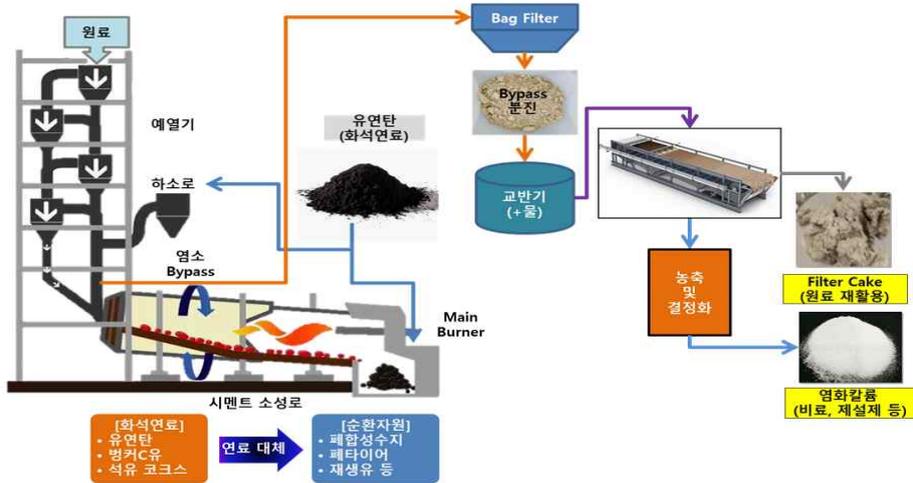
〈표 3-10〉 저탄소 원료 대체 관련 핵심 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 비탄산염 원료 대체	<ul style="list-style-type: none"> 슬래그류 유가 성분(CaO) 최대화/유해성분 최소화 기술 및 페콘크리트에 함유된 고품위 CaO 미분말 확보 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 유럽 및 일본 등은 석회석을 대체하기 위해 다양한 슬래그류를 시멘트 공정에 적용하여 시멘트 생산 중 (일본, 태평양시멘트) 고로슬래그, 제강슬래그 등을 클링커원료 대체재로 사용 (EU) 클링커 원료 중 약 3~4%를 석회석 대체원료로 사용, 연간 약 1,450만 톤 수준 (미국, Chemstar Products Co.) 제강슬래그를 클링커 원료의 5%까지 투입하는 기술 상용화
② 혼합재 함량 증대	<ul style="list-style-type: none"> OPC 생산에 있어 탄소를 배출하는 클링커(화석 연료를 이용하여 제조한 고체철) 사용량을 줄이기 위해 혼합재 함량을 증대시키는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> (유럽) 총 31종의 포틀랜드시멘트 규격이 있고, 혼합 시멘트 중심의 소비시장이 형성 <ul style="list-style-type: none"> ※ 혼합재는 10종류를 6~95% 사용하고, 복합사용이 가능하며, 고성능 클링커 제조기술이 상용화 (미국) 시멘트 표준은 20종(PC 10종, 혼합시멘트 10종)이나, 혼합재 함량을 최대치만 규정하여 실제로는 다양 <ul style="list-style-type: none"> ※ 혼합재 함량은 10% 이하(PC) 및 5~95%(혼합시멘트), 혼합재의 복합 사용도 3성분까지 허용 (일본) 21종의 시멘트 KS표준(PC 12종, 혼합 시멘트 9종)이 있고, 다양한 시멘트가 사용됨 <ul style="list-style-type: none"> ※ 혼합재는 4종류이고, 함량은 최대 5%(PC), 5~70%(혼합시멘트), 혼합재 복합사용 금지 규정은 없음 14종의 시멘트 KS표준(PC 5종, 혼합시멘트 9종)이 있고, OPC(1종 PC) 중심의 소비시장 형성 <ul style="list-style-type: none"> ※ 혼합재는 4종류, 함량은 10% 이하(PC), 5~70% (혼합시멘트)이며, 석회석 미분말 이외의 혼합재 복합 사용 불가 KS 규격은 일본을 모방하여 현재 기술수준 및 환경 요구 반영 곤란
③ 신규 혼합재 제조	<ul style="list-style-type: none"> 무기계재료, 소성점도 등 신규 혼합재를 개발하고 2개 이상의 혼합재를 사용하는 다성분계 혼합재 제조 	<ul style="list-style-type: none"> (유럽) 무기계 미활용 자원을 활용하여 총 27종의 혼합재 상용화 <ul style="list-style-type: none"> ※ '14년 소성계점도계 광물 활용 저탄소 시멘트 1종(LC3) 사용 확대를 위한 연구 진행 (미국) 석회석 미분말 혼입 시멘트 품질 기준을 제시하고 도로포장용을 중심으로 사용 확대 (일본) 석회석 미분말 연구 일부 진행 국내 석회석 대체 기술은 선도국 대비 초기 단계(TRL 2~3)로, 상용 공정 적용 사례가 없고, 혼합재(총3종류) 사용율도 낮은 상황

● 저탄소 연료 대체 기술

- (개념) 시멘트 소성로에서 사용하는 화석연료 기반 열원*을 순환연료(폐합성수지 등) 또는 무탄소 연료(수소, 바이오매스 등)로 대체하는 기술

※ 시멘트 제조공정에서 배출되는 온실가스 중 약 27%는 유연탄 등 화석연료 연소에서 기인



[그림 3-20] 시멘트 산업의 연료대체 및 부산물 재활용 기술 개념도

- (분류) △순환연료 대체 기술, △차세대 신열원 기술로 구분

〈표 3-11〉 저탄소 연료 대체 관련 핵심 기술

핵심 기술	개념	기술 현황
① 순환연료 대체 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 전처리, 균일 열원 공급, 공정효율 최적화 및 배출가스, 오염물질 최소화 등을 통해 폐합성수지 사용을 극대화하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 선도국은 폐합성수지 등 순환연료를 대량 사용하는 기술이 상용화되었으며, 수소 등 무탄소 연료 사용 기술을 실증 추진 중 • 유럽은 순환연료를 최대 96%까지 사용하고 있으며, 수소 혼소, 전소 연소기 개발을 위한 실증 연구를 추진 중 • (쌍용, 아세아, 성신 등) '21년 폐합성수지 등 순환연료 대체율은 35%이며, 핵심 기술은 대부분 해외 의존
② 차세대 신열원 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트 소성로에서 사용하는 화석연료를 바이오매스, 수소 등 친환경 열원으로 대체하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • (EU) 시멘트 소성로에서 바이오매스 활용 상용화 • (일본) 도시 바이오매스 생산 및 시멘트 연료적용(20톤/일) • (영국, Hanson) 수소연료 39%와 바이오매스 연료를 혼소하여 소성로 화석연료 100% 대체 실증 완료

■ 기술혁신 추진전략

- (저탄소 원료 대체) 클링커(시멘트 반제품) 원료인 석회석을 저탄소 원료로 일부 대체하고, 시멘트 제조 시 혼합재 사용을 확대
 - ※ 개발·실증한 신규 혼합재의 현장 활용을 위해 혼합재별 KS 규격 마련을 병행 추진 필요
 - (비탄산염 원료 대체) 석회석을 슬래그, 폐콘크리트 등으로 대체하는 핵심기술을 확보하여(~26), 상용급 실증(~29) 후 전체 킬른(소성로, 44기)에 단계적으로 적용(30~)
 - (혼합재 함량 증대) 혼합재 비중을 증대시킬 수 있는 고성능 클링커 제조 기술 등을 개발하여(~25) 상용급 실증(~30) 후 전체 킬른(44기)에 단계적으로 적용(31~)
 - (신규 혼합재) 무기계 재료, 소성점토 등 신규 혼합재를 발굴하여(~25), 실증 및 표준화(~30) 후 전체 킬른(44기)에 단계적으로 적용(31~)

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45	50
① 비탄산염 원료대체	원천기술 R&D 및 파일럿 실증			상용급 킬른 실증			단계적 확대(킬른 44기)					
② 혼합재 함량 증대	파일럿 실증			상용급 킬른 실증			단계적 확대(킬른 44기)					
③ 신규 혼합재 제조	원천기술 R&D			파일럿 실증 및 표준화			단계적 확대(킬른 44기)					

[그림 3-21] 저탄소 원료 대체 기술혁신 목표 및 전략

- (저탄소 연료 대체) 유연탄을 순환연료(폐합성수지) 또는 무탄소 연료(수소, 바이오매스 등)로 대체하는 기술을 확보
 - ※ 순환자원 활용 활성화를 위한 관련 제도 개선 및 사회적 우려 해소 필요
 - (순환연료) 전처리, 공정 최적화, 오염물질 제어 등 핵심기술을 개발하여(~27), 상용급 실증(~30) 후 전체 킬른(44기)에 단계적으로 적용(31~)
 - (차세대 신열원) 에너지 고밀도화, 균일 열원 공급 등 핵심기술을 개발하여(~26), 상용급 실증(~30) 후 전체 킬른(44기)에 단계적으로 적용(31~)

핵심 기술	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45	50
① 순환연료	원천기술 R&D				상용급 킬른 실증				단계적 확대 (킬른 44기, 민간 주도)			
② 차세대 신열원	기초·원천기술 R&D 및 파일럿 실증				기술 확보 및 상용급 킬른 실증				단계적 확대 (킬른 44기, 민간 주도)			

[그림 3-22] 저탄소 연료 대체 기술혁신 목표 및 전략

4. 탄소중립 선박

□ 개요

- (개념) 무탄소 연료(암모니아, 수소 등)를 사용하거나 저탄소 연료(LNG 등) 사용에 따른 CO₂를 처리하여 순 탄소배출이 0인 선박
 - 우리나라는 기존에 보유한 조선업 경쟁력을 바탕으로 글로벌 고부가·친환경 선박 시장에서 높은 점유율을 나타내며 약진 중
 - 그러나 LNG 화물창, 무탄소 연료 엔진 등 친환경 선박 핵심기술의 국외 의존도가 커 시장 협상력 확보를 위한 독자 기술 개발 필요
- (배경) 현재 국제 물류의 80% 이상을 선박이 차지하고 있으며, 해운 물류의 지속적인 증가가 예상되어 선제적 탄소 감축 필요
 - 국제해사기구(IMO)는 신조선 환경규제*(‘15~)에 더해 올해부터 현존선 환경규제**를 본격 시행하여 해운시장 탄소중립 추세 가속화
 - * 에너지효율설계지수(EEDI) 규제: 선박 종류·규모별 탄소배출 기준에 맞게 설계·건조 요구
 - ** 탄소집약도지수(CII) 규제: 선박 종류·규모별 탄소배출 기준 미달 시 개선·퇴출 등 요구
 - 선박 평균 수명(20년) 고려 시 IMO 규제 준수를 위해 '30년 신조선부터 탄소중립 추진시스템 탑재 또는 레디(ready) 설계* 필요
 - ※ LNG·디젤연료 등으로 추진하는 선박을 향후 무탄소 연료 추진선으로 개조할 수 있도록 선체 구조·연료탱크 사양·안전성 평가 등을 미리 반영한 설계
- (목적) 핵심 기자재 기술 내재화와 함께 기술 개발 단계부터 해상 조건에서의 실증과 연계하여 선박 탑재를 위한 실적(Track record) 확보 지원
 - '30년부터 무탄소 연료 추진 선박이 상용화되기 시작하여 '50년 신규 건조량은 무탄소 연료 선박이 67% 이상 차지할 것으로 예상

기존에는 (AS-IS)			앞으로 (TO-BE)	
1	내연기관 해외 라이선스 의존	→	자체 기술 확보로 시장 창출	
2	연료전지·배터리 제한적 사용	→	대용량·고출력·고안전성 기술 확보	
3	전기추진시스템 해외기업 점유율 증가	→	핵심부품 원천기술 확보	
4	탄소 저감·에너지 효율 향상 필요	→	신속한 상용화 및 경제성 개선	

[그림 3-23] 탄소중립선박 분야 탄소중립 기술혁신 방향

▣ 로드맵 수립결과

※ 소관부처 요청으로 로드맵 수립결과는 비공개합니다.

제3절

소결

□ 소결

- 저탄소 사회로의 대전환을 뒷받침하고, 2030 NDC 및 2050 탄소중립 실현에 핵심적인 10대 분야 탄소중립 중점기술에 대한 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵을 수립
 - 향후 탄소중립 관련 R&D 기획·평가·예산배분·조정 등의 가이드라인으로 활용하고 민간에서 반영하여 적용할 수 있도록 민간 협업을 통한 기술개발 경로 제시
 - 탄소중립 녹색성장 기본계획 등 타 탄소중립 정책과의 정합성에 맞춰 해당 기술의 개발-실증-상용화-보급-확산 목표 시점 제시
- 그간 10대 분야 로드맵 수립을 통해 임무중심 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵 체계가 정착됨에 따라 앞으로 나머지 분야별 로드맵*은 소관 부처가 주도적으로 수립·이행할 수 있도록 지원
 - * ①풍력, ②전력저장, ③전력망, ④에너지통합시스템, ⑤산업일반, ⑥환경, ⑦원자력(국가전략기술 분야별 로드맵 수립)
 - 수립된 로드맵은 대내외 환경 변화, 기술 수준 등을 고려하여 2~3년 주기로 재검토 예정
 - ※ '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'(23.5.19, 제7회 탄소중립기술특별위원회) 재검토 및 재설계와 연계하여 추진

제 4 장

해외 탄소중립 정책 동향 조사

제1절 개요

제2절 미국

제3절 유럽연합(EU)

제4절 영국

제5절 독일

제6절 프랑스

제7절 일본

제8절 중국

제9절 소결

제1절

개요

■ 추진 목적

- (배경) 주요국들의 탄소중립 신기술에 대한 패권 경쟁과 신산업정책 하의 글로벌 환경 규제가 변화하고 있는 상황에서 기후변화대응을 위한 범부처 전략적 대응방안 모색이 필요
 - 탄소중립 목표 달성하기 위해서는 각국 정부가 일관성 있는 탄소중립 전략과 녹색산업 활성화 정책을 통해 탄소중립 및 녹색산업에 대규모의 투자가 지속되는 것이 중요
 - 최근 제28차 유엔기후변화협약 당사국 총회(COP28)에서 각국이 제출했던 온실가스 감축 계획이 지구온도 상승을 1.5도로 제한하기는 불가능하고, 기술 비용 상승, 원자재 수급의 리스크로 인한 공급생태계가 불안정 등 기술적 혁신을 주도하는 동력 부족을 원인으로 지목
 - 이에 기술비용 상승과 원자재 수급의 리스크를 해결하기 위해 미국과 EU 등 주요국을 중심으로 자국의 친환경 산업·기술을 지원하는 법제 도입을 추진 중
- (목적) 에너지 집약산업을 주축으로 무역의존도가 높은 우리나라의 실정을 고려하여, 미국·EU·일본 등 주요 국가들의 탄소중립 정책 검토를 통해 국내 여건을 고려한 전략적 시사점 도출
 - 주요국 정책 동향 분석을 통해 국내 정책 동향에서 부족한 부분을 탐색하고 향후 정책 기획에 활용할 수 있도록 부족한 부분에 대한 보완 방안을 제시

■ 추진 방법 및 내용

- (방법) 문헌분석, 전문가들 대상 인터뷰, 서면자문 및 의견 수렴을 통해 국가별 탄소중립 정책 동향 정리 및 국내 범부처 전략적 대응방안을 위한 시사점 도출
 - 탄소중립 정책 관련 전문가를 대상으로 주요국 탄소중립 정책 동향 인터뷰 및 서면자문 추진하고 문헌분석 내용을 함께 통합
- (내용) 주요국들 대상 탄소중립 감축 목표와 이를 실현하기 위한 주요 법률 및 제도, 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향 분석

〈표 4-1〉 국가별 주요 정책

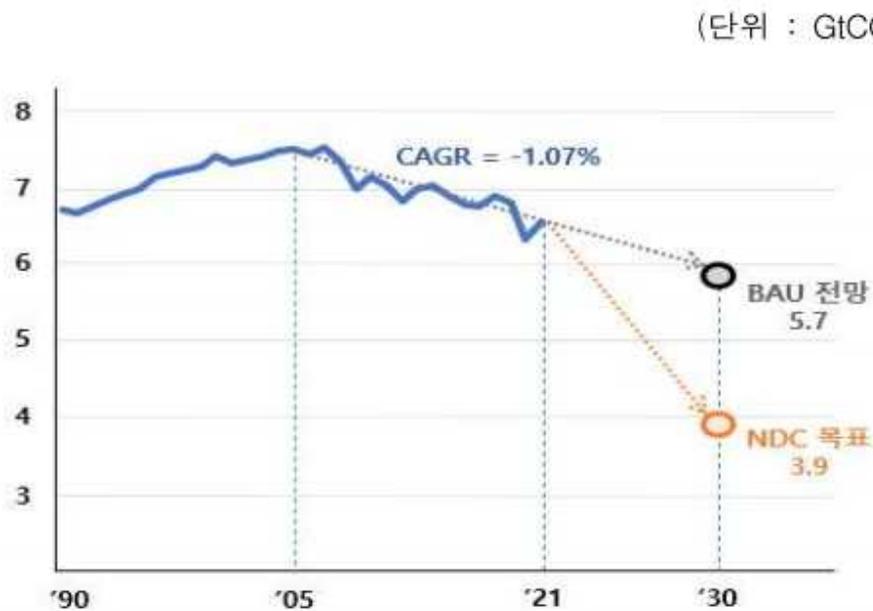
구분	정책명
미국	인플레이션 감축법(IRA: Inflation Reduction Act, '22.8.)
	인프라 투자 일자리 법(Infrastructure Investment and Jobs Act, '21.11.)
	청정경쟁법 (Clean Competition Act, '22.6.)
	연방의 지속가능성을 위한 계획(Federal Sustainability Plan, '21.12.)
	연방 바이 클린 이니셔티브(Federal Buy Clean Initiative, '22.9.)
	재생에너지 의무 할당제('1983~)
	그린성장전략 10대 기후혁신 기술('21.2.)
EU	EU 그린딜산업계획(Green Deal Industry Plan, '23.2.)
	탄소중립산업법(Net Zero Industry Act, '23.3.)
	유럽 기후법(European Climate Law, Regulation, '21.6.)
	Fir for 55('21.7.)
	EU 배출권 거래제('05~)
	탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism, '23.5)
영국	기후변화법('08~)
	에너지 법안(Energy Bill, '22.7.)
	파워링업 영국(Powering up Britain, '23.3.~)
	녹색산업혁신을 위한 10대 중점계획('20.11.)
독일	기후보호법(Klimaschutzgesetz, '19.12.)
	재생에너지법(EEG 2000, '00)
	기후행동 프로그램 2030('18~)
	에너지 연구 프로그램(Energie for schungs programm)
프랑스	녹색성장을 위한 에너지전환에 관한 법률(LTECV, '15.8.)
	에너지·기후법('19)
	저탄소 국가전략(SNBC, '15~)
	기후와 회복법('21.8.), 녹색산업법('23.10.)
	프랑스 재개('20.9.)
일본	지구온난화대책 추진에 관한 법률('21.5.)
	재생에너지특별조치법('20.6.)
	탈탄소성장형 경제구조로의 원활한 이행 추진에 관한 법률('23.5.)
	2050 탄소중립에 따른 녹색성장전략('20.12.)
	Green Transformation('23.7.)
중국	제14차 5개년 계획('21.3.)
	탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견('21.10.)

제2절

미국

1. 온실가스 배출량 및 저감목표

- (배출 현황) 2021년 기준, 미국 온실가스 총배출량은 63억 4,023만 톤 CO₂eq이며, 이 중 이산화탄소가 47억 5,208만 톤으로 79.4%를 차지¹⁾
 - 2021년 이산화탄소 배출량은 1990년 대비 약 1.7% 감소하였지만, 2020년 대비 약 6.7% 증가한 것으로 나타났으며, 2020년은 코로나19 팬데믹의 영향으로 2019년 대비 약 10.4% 감소
- (감축 목표) 2030년 온실가스 배출량을 2005년 대비 50~52% 감축하고, 2050년까지 ‘탄소 중립’을 달성하겠다는 목표를 선언²⁾



[그림 4-1] 미국 온실가스 배출량 추이 및 전망

※ 출처: Potsdam Institute for Climate Impact Research, Climate Watch, Climate Action Tracker

1) <https://di.unfccc.int>, 2024년 1월 5일 접속

2) 한국경제인협회(2023), “주요 탄소 배출국 2030 NDC 목표 달성 전망”

2. 탄소중립 정책 추진 경과

- 바이든 행정부는 유엔기후변화협약 재가입 선언(2021년 1월) 및 도전적 국가감축목표(NDC)를 제시하여 미국의 기후위기 대응을 위한 의지와 지향목표를 복원(기후정상회담, 2021년 4월)

 - 대통령 취임 첫날 파리 기후협약 재가입을 공식화³⁾
 - 2030 NDC와 관련하여 2030년까지 2005년 대비 50-52% 감축을 목표로 설정 “경제 전반 (economy-wide)”을 언급하고, 대통령 특사의 자문 및 바이든 대통령의 승인을 기재⁴⁾

- 인플레이션 감축법(IRA)의 법안⁵⁾ 통과로 청정에너지 촉진을 위한 발판을 마련(2022년 9월)

 - (기대효과) 코로나19 이후 침체된 미국 내 경제를 살리고 기후변화 대응 촉진을 위한 관련 재원을 확보하는데 기여할 것으로 예상
 - (청정에너지) 에너지 가격을 인하하고, 청정에너지 경제를 구축하며, 해로운 오염 감소에 기여

- 강력한 온실가스인 수소불화탄소, 메탄에 대한 강력한 정책추진 및 이행형 대외활동을 추진⁶⁾

 - 상원의 수소불화탄소(HFCs) 감소에 대한 키갈리 개정의정서(Kigali Amendment)가 비준되고 환경 보호청(EPA)의 단계적 삭감에 대한 규정이 발표(2022년 9월)
 - 바이든 대통령은 글로벌 메탄서약(Global Methane Pledge)* 발족에 기여하였고, IRA에 메탄배출금(Methane Emission Fee)을 포함시켰으며, 메탄 행동계획(Methane Action Plan) 보완버전을 발표(2022년11월)

* 2021년 11월 영국 글래스고에서 열린 제25차 유엔기후변화협약 당사국 총회에서 150여 개국 대표가 모여 2030년까지 전체 메탄의 30% 감축을 목표로 하는 글로벌 메탄서약(Global Methane Pledge)에 서명

- 환경 및 생태계 보호와 함께 이산화탄소 감축을 위한 자연 및 기술적 방법을 적극 추진

 - 초당적 인프라법(Bipartisan Infrastructure Law)를 통해 산불방지 및 생태계 복원을 위한 투자 촉진⁷⁾ (2021년 11월)
 - 직접공기포집(Direct Air Capture, DAC) 기술 실증을 위한 지역 허브 선정 및 이산화탄소 광물화와 바이오차(Biochar) 생산에 대한 인센티브 제공

3) The Guardian(2021.1.20.), “Biden returns US to Paris climate accord hours after becoming president”

4) The United States of America(2021.4.21.), “Nationally Determined Contribution – Reducing Greenhouse Gases in the United States: A 2030 Emissions Target”

5) The White House(2022.8.15.), “BY THE NUMBERS: The Inflation Reduction Act”

6) 김태건(2023), “바이든 행정부의 기후행동: 임기 전반부 종료에 따른 평가”

7) 에너지경제연구원(2021), “세계 에너지시장 인사이트(제21-22호)”

3. 주요 탄소중립 관련 법률 및 제도: 인플레이션감축법 (IRA, Inflation Reduction Act)

3.1 배경과 개요

- 바이든 대통령의 대선 국가비전 ‘더 나은 재건(BBB: Build Back Better)’을 달성하기 위해 인플레이션감축법(IRA, Inflation Reduction Act)을 법제화

 - 20년 제46대 미국 대선캠페인 당시 바이든은 BBB를 국가비전으로 제시했으며, BBB는 미국 구제계획, 미국 일자리 계획, 미국 가족 계획의 3개 계획으로 구성
 - 1조9천억 달러 예산 규모의 미국 구제계획은 2021년 「미국 구제계획법」으로 법제화
 - 2조3천억 달러 예산 규모의 미국 일자리 계획은 민주당과 공화당의 협상 과정에서 1조2천억 달러 규모로 축소되어 2021년 「인프라 투자 및 일자리 법」으로 법제화
 - 「인프라투자 및 일자리법」에 담기지 못한 기후변화 대응 및 에너지안보 사항들과 미국 가족계획이 민주당 주도하에서 2조 달러 규모의 「더 나은 재건법」으로 입안되어 하원 통과
 - 상원에서는 민주당 보수파의 반대로 일부 항목이 빠지고 예산도 약 7,400억 달러 규모로 축소되어 통과된 후, 2022년 8월 16일 「인플레이션감축법」 발효
 - 향후 10년간(2022~2031) IRA의 수입액은 7,390억 달러, 투자액은 4,330억 달러로 추정
 - 다양한 항목을 통해 국가 세수를 늘려서 국가부채를 줄이고, 온실가스 감축, 기후·에너지 투자, 의료보험 확대 등을 이루는 것이 IRA의 목표⁸⁾
 - IRA 투자액 4,330억 달러 중 약 85%인 3,690억 달러가 에너지안보 및 기후변화 분야에 편성되어, IRA는 미국 역사상 최대 규모의 기후·에너지법 성격을 지님⁹⁾
 - IRA는 총 8개의 편으로 구성되어 있고, 제 I 편(재정위원회)의 하위편D에서 에너지안보 및 기후변화 대응 관련 투자를 규정
 - IRA의 주요 이슈인 청정에너지 설비, 청정전기, 청정차량에 대한 세제혜택은 모두 제 I 편 하위편D 내에서 규정
 - 미국은 IRA를 통해 전기차, 배터리 등을 비롯한 미국 내 친환경 산업부문에 대한 제조업 역량을 제고하고 친환경에너지 생산 설비 밸류체인을 미국 내에 확보함으로써 탄소중립을 이행하는 신산업에 대한 성장 동력을 확보하고자 함

8) Public Law 117-169, Inflation Reduction Act of 2022

9) Congressional Research Service(2023), p.4~27.

3.2 IRA 주요 내용

- IRA의 주요 내용은 청정에너지와 청정차량의 세액공제로 에너지 전환을 유도하고 청정에너지 공급 능력을 확충하기 위해 탄소 배출 감축, 청정연료, 친환경 자동차 및 청정에너지 제조 관련 투자 등 재정적 지원 확대를 구성
 - 청정에너지 사용 전기생산, 설비투자, 중간재에 대한 세제혜택 강화
 - IRA의 혜택은 주로 세액공제 방식을 취하고 있으며, 선별적 지불과 양도 제도를 도입하여 투자자들에게 즉시 혜택이 부여되도록 설계
 - 청정에너지를 통한 전력생산 또는 설비투자에 대해, 기존 생산 세액공제(PTC: Production Tax Credit)와 투자 세액공제(ITC: Investment Tax Credit)를 강화하였고, 청정에너지 사업자는 유리한 쪽을 택해서 세액공제를 받음
 - PTC는 청정에너지를 이용하여 생산한 전력량에 따라 세액공제를 부여하며, ITC는 청정에너지 자산·설비 투자액에 비례하여 세액공제 부여
 - 첨단제조생산 세액공제(AMPC: Advanced Manufacturing Production Credit) 조항을 신설하여, 미국에서 생산된 청정에너지 중간재에 대해 용량에 비례하여 PTC 또는 ITC와는 별도로 세액공제 부여
 - 기타 탄소격리, 지속가능항공연료, 청정수소에 대해서도 다양한 세제혜택을 부여
 - 청정차량(전기차, 플러그드인 하이브리드 전기차, 수소차)에 높은 세제혜택 부여, 다만 이를 위한 세액공제 조건을 설정
 - 전기차 구매자에게 부여하는 7,500달러의 세액공제를 모두 받으려면, 핵심광물 요건(3,750달러)과 배터리 부품 요건(3,750달러)을 모두 충족시켜야 함
 - 핵심광물 요건은, 미국 또는 미국과 FTA를 체결한 국가에서 채굴 또는 가공한 핵심광물이 전기차 배터리 내에 일정 비율 이상 함유되거나, 북미에서 재활용된 배터리를 장착해야 한다는 조건
 - 배터리 부품 요건은, 부품 가치의 일정 비율 이상이 북미에서 제조 또는 조립된 배터리를 장착한 전기차여야 한다는 조건
 - 위의 두 조건 이외에도, 해외우려법인 배제, 최종 조립 지역, 제조업체 권장소매가 제한, 고소득 구매자 제한 등 기본 요건을 모두 충족해야 세액공제 부여
 - 적격 상업용(리스) 청정차량은 위의 까다로운 조건을 충족시키지 않아도 되며, 리스회사가 리스용 청정차량을 구매하는 경우 최대 7,500달러 세액공제 부여

3.3 미 IRA에 따른 미국 내 영향

- 미국 내 온실가스 배출량 감축 및 청정에너지 투자 증진 관련 IRA의 영향이 클 것으로 예상하며, 시행 1년 후 청정에너지 관련 산업의 성장이 두드러짐
 - 온실가스 감축과 청정에너지 투자 증진 면에서 IRA는 발효 이후 많은 성과를 달성¹⁰⁾
 - 2005년 대비 2035년 미국 온실가스 배출량을 추정할 때, IRA를 시행하면 43~48%의 감축이, 시행하지 않으면 27~35%의 감축이 일어날 것으로 추정
 - IRA 시행 1년 후, 미국 내 총 2,780억 달러 규모, 272개의 신규 청정에너지 사업이 추진되고 있고, 청정에너지 관련 약 17만개의 신규 일자리가 발생되었다고 보고됨
 - IRA의 보호주의적 성격에 의해 추후 다양한 국제 갈등도 예상 가능
 - IRA 청정차량 세액공제 조건은 국제법의 비차별조항을 위반할 가능성이 높아, 많은 통상분쟁을 야기할 것으로 예상
 - IRA는 중국 배제의 성격을 명시적으로 지니고 있어, 향후 미중 갈등을 더욱 심화시키는 요인으로 작용할 것
 - IRA의 보호주의적 성격은 미국의 동맹국들에게도 산업적 부담으로 작용할 수 있어, 미국은 이를 해결하기 위해 IRA의 하위규정을 변경하는 등 노력을 기울이는 중

10) Barnes, Noah(2023.8.15.), "After One Year, the Inflation Reduction Act is Spurring Private Investments in the Electric Vehicle Industry"

4. 기타 탄소중립 관련 주요 법률 및 제도

□ (인프라 투자 및 일자리 법) 바이든 행정부는 2021년 11월 15일, 「인프라 투자 및 일자리법 (Infrastructure Investment and Jobs Act (Public Law No. 117-58))」(이하 「IIJA」)을 제정¹¹⁾

● 「IIJA」는 향후 10년간 노후된 사회기반시설을 교체하는 데 총 1조 2,000억 달러를 투자해 미국의 제조업 진흥과 공급망 강화를 이끌고 매년 약 150만 개의 일자리를 창출하는 것을 목표로 설정

- 「IIJA」는 ①수송, ②기후·에너지·환경, ③광대역 분야의 개발을 다룸

〈표 4-2〉 미국 IIJA 내 탄소중립 관련 주요 재정투자 및 내용

분야	주요사업	예산
수송	• 도로·교량·철도 시설 개량	\$326,274,999,998
	• 온실가스 배출 저감을 위한 교통수단 현대화	\$82,587,020,112
	• 탄소 무배출 차량 및 대중교통 옵션 확대	\$18,634,720,864
기후·에너지·환경	• 청정에너지 기술의 개발, 시연, 배포 등 지원(청정 전력 공급, 청정에너지 제조 및 인력 개발, 주택·건물·지역 사회를 위한 에너지 효율 및 내후성(耐候性) 개선, 청정에너지 시연)	\$74,952,140,781
	• 기후변화(홍수, 가뭄, 산불 등)에 따른 피해 예방 인프라 구축	\$37,866,099,248
광대역	• 초고속 인터넷망 전국 보급	\$64,410,250,000

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”,

□ (청정경쟁법) EU의 탄소국경조정제도* 시행에 따른 미국 정부의 대응으로 2022년 6월 상원에서 탄소국경조정 도입을 위한 청정경쟁법(Clean Competition Act, CCA)을 발의하였으며, 2024년에 시행 예정¹²⁾

* 탄소국경메커니즘(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)이라고도 하며, 탄소배출이 많은 국가에서 생산·수입되는 제품에 대해 탄소비용을 부과하여 탄소누출(Carbon Leakage)을 방지하고 국가간 감축노력 차이를 보정하기 위한 무역 조치로 유럽연합(EU)에서 먼저 시행을 확정

● 탄소가격제도가 없는 미국은 미국내 해당 산업 평균보다 배출량이 높은 수입품 및 자국 제품에 탄소비용을 부과함으로써 배출집약도가 상대적으로 낮은 미국 기업에게 경쟁 우위를 제공하고자 CCA를 설계

11) The White House(2021), “A Guidebook to the Bipartisan Infrastructure Law”, (<https://www.whitehouse.gov/build/guidebook/>), 2024년 1월 6일 접속

12) U.S. Congress(2022.6.7.), “Clean Competition Act, S. 4355, 117th Cong., 2nd sess”, (<https://www.congress.gov/117/bills/s4355/BILLS-117s4355is.pdf>), 2024년 1월 6일 접속

〈표 4-3〉 청정경쟁법(CCA) 발의안 주요 내용

구분	세부내용
적용 분야	• 화석 연료, 석유정제, 석유 화학, 비료, 수소, 아디프산, 시멘트, 철강, 알루미늄, 유리, 펄프 및 종이, 에탄올
탄소 가격	• 톤당 55달러, 매년 인플레이션보다 5% 인상
비용 부과 방식	• 수입업체가 원산지 국가의 배출집약도와 미국 산업 평균 배출집약도 차이에 해당하는 톤당 배출량에 대한 비용 지불 - 신뢰할만한 데이터가 없는 경우: 원산지 국가 경제의 배출 집약도 수준과 미국 경제 배출량 집약도 수준 비율 - 신뢰할만한 데이터가 있는 경우: 원산지 국가 산업 평균 배출 집약도 대 미국 해당 산업 배출 집약도 비율
자국산업 영향	• 미국 내 생산자는 업계 평균 배출량 기준보다 많은 배출량에 대해 비용 지불 • Baseline은 재무부가 산출하고, baseline을 기반으로 각 해당 산업별 Scope1,2 배출에 대해 평균 배출 용량을 계산 • Baseline은 2025-2028년까지 매년 2.5%씩, 그 이후에는 5%씩 감소하도록 설계
수출 리베이트	• 탄소국경조정이 적용되는 미국 내 원자재 생산자는 수출 리베이트 적용(WTO 규칙 준수 전제)
시행기간	• 2024년부터 적용 대상 제품에 대해 단계적으로 도입 • 2026년부터 적용 범위가 확대되어 에너지 집약 1차 제품을 최소 500파운드(226kg) 이상 포함하는 수입 완제품까지 확대하고, 2028년에는 최소 원자재량 기준을 100파운드로 하향 조정

※ 출처: 국회미래연구원(2023), “탄소국경조정 메커니즘 도입 확정 - 기후통상 시대의 대응 전략”

- (연방의 지속가능성을 위한 계획) 2021년 12월, 미국 백악관은 「행정명령 제14057호」를 추진하기 위한 세부 전략을 담은 ‘연방의 지속가능성을 위한 계획(Federal Sustainability Plan, FSP)’ 정책을 발표¹³⁾
 - FSP는 2035년까지 탄소 무탄소전력(CFE)을 달성하고자 노력함으로써 미국의 청정에너지 및 청정에너지 산업의 성장을 지원하고 양질의 일자리를 창출할 계획
 - 이를 달성하기 위한 추진목표는 연방정부의 인프라를 무공해로 전환하고, 변화하는 기후의 영향에 대한 대비와 회복력을 향상시키며 국민의 경제적, 환경적 형평성을 증진하는 방식으로 마련

13) The White House(2021), “Biden-Harris Administration Celebrates First Year Accomplishments Under President Biden’s Federal Sustainability Plan”, ([s://www.whitehouse.gov/ceq/news-updates/2022/12/08/biden-harris-administration-celebrates-first-year-accomplishments-under-president-bidens-federal-sustainability-plan/](https://www.whitehouse.gov/ceq/news-updates/2022/12/08/biden-harris-administration-celebrates-first-year-accomplishments-under-president-bidens-federal-sustainability-plan/)), 2024년 1월 6일 접속



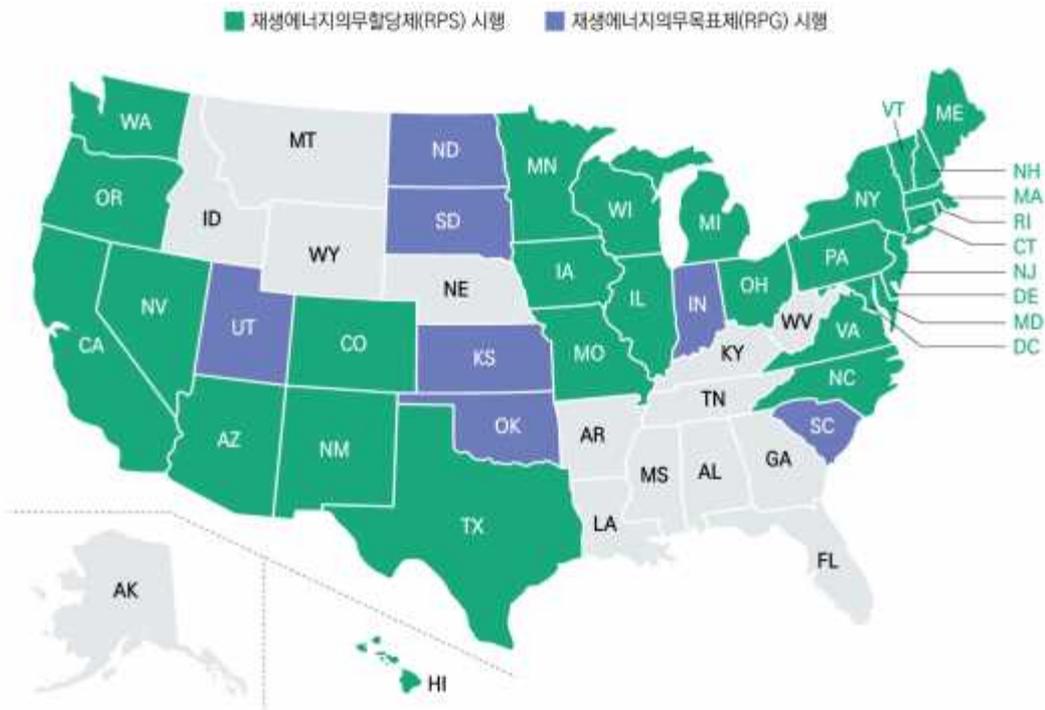
[그림 4-2] 미국 '연방의 지속가능성을 위한 계획(FSP)' 추진목표

※ 출처: 국회도서관(2023), "탄소중립 한눈에 보기"

- (연방 바이 클린 이니셔티브)** 2022년 9월, 바이든 행정부는 '연방 바이 클린 이니셔티브(Federal Buy Clean Initiative)' 정책 시행계획을 발표¹⁴⁾
 - 탄소 배출량이 낮은 탄소 건축 자재의 개발과 관련 고임금 일자리의 창출을 지원하기 위해 연방정부 차원에서 청정제품을 우선적으로 조달 함으로써 친환경 사업을 육성
 - 연방 바이 클린 이니셔티브는 「인프라 투자 및 일자리법(IJA)」의 조항을 이행하기 위한 정책으로, 2022년 초에 결성된 '연방 바이 클린 태스크포스(Federal Buy Clean Task Force)'를 중심으로 미국 상무부(DOC), 농무부(USDA), 교통부(DOT) 등이 참여

14) The White House(2022.9.15.), "FACT SHEET: Biden- Harris Administration Announces New Buy Clean Actions to Ensure American Manufacturing Leads in the 21st Century", (<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/09/15/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-new-buy-clean-actions-to-ensure-american-manufacturing-leads-in-the-21st-century/>), 2024년 1월 6일 접속

- (재생에너지의무할당제) 총 발전량의 일정 비율 이상을 태양광, 풍력 등의 재생에너지를 사용해 전기를 생산하도록 요구하거나 권장하는 제도로 1983년부터 시행
 - 재생에너지의무할당제(Renewable Portfolio Standards, 이하 RPS)란, 전력업체에서 재생에너지의 사용량을 높일 수 있도록 고안된 정책
 - 2022년 기준, 워싱턴 D.C.와 29개 주에서 시행
 - 워싱턴 D.C.는 2032년까지 100%, 뉴욕주는 2030년까지 70% 및 2040년까지 100%, 뉴저지주는 2030년까지 50% 및 2050년까지 100% 재생에너지 사용량 확대 목표를 설정해 시행 중
 - 인디애나주, 유타주 등 총 7개 주는 RPS와 유사한 ‘재생에너지의무목표제(Renewable Portfolio Goals, RPG)’를 설정하여 시행
 - 인디애나주는 2025년까지 10%, 유타주는 2025년까지 20% 재생에너지 사용량 확대 목표를 설정



[그림 4-3] 미국의 주(州)별 재생에너지의무할당제 시행 현황

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

5. 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향

- 바이든 정부는 2021년 2월, 2050년 탄소중립 목표 달성을 위한 10대 기후혁신기술 및 저탄소 기술 연구개발에 대한 투자계획을 포함한 ‘과학기술혁신계획’을 발표¹⁵⁾

〈표 4-4〉 미국의 그린성장전략: 10대 기후혁신기술 주요 내용

구분	세부내용
탄소중립건물	<ul style="list-style-type: none"> • 2032년까지 연방정부 건물 온실가스 배출량 50% 감소 달성 • 2045년까지 모든 연방정부 건물의 탄소중립화 달성 <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 효율 개선, 태양열 패널 및 기타 탄소중립 기술 적용 • 연방정부 신축 건물에 대한 탄소배출 회피 노력 <ul style="list-style-type: none"> - 연방건물 성능 표준 설정 및 기존 건축 자재(강철, 시멘트 등)를 저공해 재료로 전환
에너지저장시스템 (ESS)	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 기술 대비 1/10만큼의 비용을 절감
최첨단 에너지시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 무배출 발전소로부터 전력을 공급받는 그리드 운영을 위한 고급 에너지 시스템 관리 도구 개발
저탄소 차량 및 운송시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 저렴한 저탄소 차량 및 운송시스템 확충
항공기 및 선박 연료	<ul style="list-style-type: none"> • 새롭고 지속가능한 연료를 개발하고 항공기 및 선박 효율성을 제고 하는 한편 운송 관리 시스템을 개선
온실가스 무배출 냉매	<ul style="list-style-type: none"> • 온실가스를 배출하지 않는 냉매를 사용하는 저렴한 냉장고, 에어컨, 열펌프 제조
무탄소화 화학공정	<ul style="list-style-type: none"> • 철강, 콘크리트, 화학물질 및 기타 중요 산업 제품 제조과정에서 온실가스 포집을 활용하는 무탄소 산업공정 개발
탄소무배출 수소	<ul style="list-style-type: none"> • 오염물질로부터 생산한 수소보다 저렴한 비용으로 탄소무배출 수소를 생산하는 기술 개발
이산화탄소 토양 흡수	<ul style="list-style-type: none"> • 대기 중 이산화탄소를 제거하거나 토양에 저장하기 위한 혁신적인 토양 관리, 생물학 및 농업 기술 개발
이산화탄소 포집	<ul style="list-style-type: none"> • 직접 탄소 포집 시스템과 함께 기존 산업 및 발전소 배출가스로부터 이산화탄소를 포집하고 이를 대체할 수 있는 제품을 생산하거나 영구적으로 지하 깊은 곳에 저장하는 기술 개발

※ 출처: 대외경제정책연구원(2022), “주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로”

15) 이구용·이민아(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향: G7 국가 탄소중립 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언”, p.10

■ 글로벌 공급망 이슈와 더불어 태양광, 풍력, 수소 및 수송 분야의 기술개발 및 인프라 투자에 박차를 가하고 있음

〈표 4-5〉 미국의 주요 탄소중립 기술·산업 동향

분야	세부내용
태양광	• (설비규모) '21년 사상 최대 신규용량(20GW) 추가
	• (세제혜택) '25년부터 시작되는 프로젝트의 경우, 기존 투자세액공제(ITC)보다 공제 비율이 상향된 '청정에너지 투자 세액공제'(Clean Energy Investment Tax Credit)가 적용될 예정
	• (주요특징) 태양광 산업 육성법안인 SEMA를 통해 미국산 제품에 대한 세제혜택을 주려는 정책이 마련 중
	• (공급망 이슈) 미국 태양광 산업은 중국산 제품에 대한 의존도가 높으며 폴리실리콘 생산 능력을 갖추었음에도 자국 내에서 활용하지 않는 풍력 상황(미국 설치 모듈의 실리콘 셀 중 75%는 중국 기업의 동남아 공장에서 생산)
풍력	• (설비규모) '20년 기준 육상풍력은 122.4GW, 해상풍력은 0.042GW 보유
	• (육상풍력) 16개 주 총 발전량의 10% 이상이 풍력에너지로 집계
	• (해상풍력) '30년까지 30GW 해상풍력 발전설비 추가 목표가 수립
	• (공급망 이슈) 풍력산업 관련 기자재, 부품 등을 조달하기 어려워 해외시장에 의존하고 있으며, 일부 미국 기업들은 자국 내 공급망 구축과 관련한 계획을 수립 중
수소	• 1,100만 톤 이상의 수소를 생산하는 미국은 수소 생산-운송-저장 인프라를 보유, 수소 활용 부문에 대한 투자를 늘리는 추세
	• IJEA에 따르면 4개 청정 수소연료 허브지역을 개발해 수소생산-처리-운송-저장 기술을 시현하고 산업·주거·교통용 에너지 상용화를 추진(80억 달러 투자 예정)
	• 수소 활용 촉진을 위해 '30년까지 수소충전소 1,200개소 구축 및 수소 전기차 120만 대 보급 추진
	• (전망) '50년까지 미국 내 에너지 수요 중 14% 이상을 수소에너지가 차지할 것으로 전망, 이를 통해 탄소 배출량 16% 감축 예상
배터리 소재 요건	• (전기차) 미국 전기차 보급은 '30년 6백만 대 이상 보급될 것으로 전망
	• (인프라) 현재 약 4만여 개 충전소가 운영되고 있으나, 전기차 성장에 비해 그 숫자가 부족하여 관련 투자 및 시장 확장이 이뤄지는 중
	• (2차전지) 미국 완성차 업체 빅3을 선두로 2차전지 업체와의 합작법인 설립 및 미국 내 공장 설립을 추진하여 제품개발 및 대량생산 계획
	• (공급망 이슈) 미국산 2차전지 사용을 장려하기 위한 보조금 지급과 핵심 원료인 리튬 채굴 허가 확대 등 미국 내 공급망 구축 및 자체생산 프로세스를 정부 주도하에 적극 추진 중

※ 출처: KOTRA(2022), "주요국 탄소중립 추진동향과 한국 기후기술 산업의 해외진출 기회분석"

제3절

유럽연합(EU)

1. 온실가스 배출량 및 저감목표

- (배출 현황) 2021년 기준, EU의 온실가스 총배출량은 34억 6,839만 톤 CO₂eq이며, 이 중 이산화탄소가 28억 1,442만 톤으로 81.1%를 차지¹⁶⁾

 - 2021년 이산화탄소 배출량은 1990년 대비 약 37.6% 감소하였지만, 2020년 대비 약 6.2% 증가한 것으로 나타났으며, 2020년은 코로나19 팬데믹의 영향으로 2019년 대비 약 10.4% 감소
 - EU는 세계에서 세 번째로 많은 이산화탄소를 배출하는 국가연합이며, 배출량 상위 6개국 중에서 1990년 대비 가장 많이 배출량을 저감
- (감축 목표) 2019년 12월 EU 집행위원회가 출범하면서 유럽 그린딜(European Green Deal)을 최우선 순위로 두고, 2050년까지 온실가스 순배출 제로를 목표로 제안¹⁷⁾

 - 이후 EU는 ‘핏 포 55’(Fit For 55)를 통해 2030년까지 1990년 대비 온실가스 순배출량을 55% 감축하겠다는 목표를 선언¹⁸⁾



[그림 4-4] EU 분야별 온실가스 배출량(1990~2021년)

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

16) <https://di.unfccc.int>, 2024년 1월 5일 접속

17) European Commission(2019.12.11.), “Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: The European Green Deal”, COM/2019/640 final. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>), 2024년 1월 6일 접속

18) European Commission(2021.7.14.), “Fit for 55’: delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality”, (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52021DC0550>), 2024년 1월 6일 접속

2. 탄소중립 정책 추진 경과

- 2007년 EU는 지역 차원의 포괄적인 공동 기후정책의 필요성을 인식한 이후, 회원국 정상들의 합의로 ‘EU 에너지 정책(An Energy Policy for Europe)’을 채택하여 연대를 통한 에너지 정책 및 기후변화 대책을 마련¹⁹⁾
- 2008년, ‘2020 기후 및 에너지 패키지(2020 Climate and Energy Package)’를 채택해 ‘20-20-20’ 목표를 제시
 - ‘20-20-20’ 목표는 2020년까지 ①온실가스 20% 감축, ②재생에너지 비중 20% 확대, ③에너지 효율 20% 증대하는 것을 겨냥²⁰⁾
- 2019년 12월, EU 집행위원회는 2030년 온실가스 배출량 목표를 55%로 상향하고, 2050년까지 탄소중립 구현 및 경제성장이라는 목표를 설정하고 구체적인 전략을 담은 ‘유럽 그린딜’을 발표²¹⁾
 - 에너지, 건물, 식품, 교통, 산업, 일자리 등 전 사회 분야에 걸쳐 탄소중립 사회로 전환하기 위한 성장전략을 제시
- 2021년 6월 30일, 기후중립 목표에 대해 법적 구속력을 부과하는 법률 「유럽 기후법(European Climate Law, Regulation (EU) 2021/1119)」을 제정하고, 7월 29일에 발효

〈표 4-6〉 미국의 주요 탄소중립 기술·산업 동향

2030년	2040년	2050년	2050년 이후
온실가스 배출량 1990년 대비 최소 55% 감축	향후 EU 차원의 ‘중간 기후목표’ 설정	순배출 제로 (net-zero emission) 달성	탄소 역배출 (negative emission) 달성

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

원 출처: (1) European Commission(2020.12.17). The update of the nationally determined contribution of the European Union and its Member States, (https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/EU_NDC_Submission_December%202020.pdf), 2024년 1월 6일 접속

(2) European Commission(2021). European Climate Law, Regulation (EU) 2021/1119, (https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en), 2024년 1월 6일 접속

19) EUR-Lex(2007.11.20), “An Energy Policy for Europe”, (<https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/an-energy-policy-for-europe.html>), 2024년 1월 6일 접속

20) EUR-Lex(2015..9.10), “2020 climate and energy package”, (<https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/2020-climate-and-energy-package.html>), 2024년 1월 6일 접속

21) European Commission(2019.12.11.), “Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: The European Green Deal”, COM/2019/640 final.(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>), 2024년 1월 6일 접속

3. 주요 탄소중립 관련 주요 법률 및 제도: EU 그린딜산업계획(GDIP, Green Deal Industry Plan)

3.1 배경

☐ EU는 역내 청정기술 산업의 경쟁력을 강화하고 탄소중립으로의 전환을 가속하기 위해 2023년 2월 ‘그린딜산업계획(GDIP, Green Deal Industry Plan)’을 발표

- GDIP는 탄소중립 산업과 관련된 ▲규제환경 개선, ▲원활한 자금 지원, ▲숙련인력 양성, ▲국제협력을 도모하기 위한 2개 신규 법안과 1개의 제도 개편안 및 세부 정책방안들로 구성
 - 「탄소중립산업법(Net-Zero Industry Act)」과 「핵심원자재법(Critical Raw Materials Act)」 등 두 개의 신규 법안과 전력시장구조 개편안(Reform of the Electricity Market Design)의 도입을 제안하는 내용으로 구성됨
- ‘탄소중립산업법(Net-zero Industry Act, NZIA)’은 2030년까지 EU내 탄소중립 기술 연간 수요의 최소 40%를 자체적으로 조달하는 것을 목표로 배터리, 재생에너지(풍력, 태양광, 히트펌프 등), 수소, 바이오메탄, CCS 등의 제조 능력 확대를 위한 보조금 지급 및 규제 환경 개선에 대해 지원
- ‘핵심원자재법(Critical Raw Material Act, CRMA)’은 EU의 녹색 전환을 위한 안전하고 지속가능한 공급망을 확보하기 위한 법안으로 2030년까지 단일 제3국의 전략적 원자재 의존도를 역내 전체 소비량의 65% 미만으로 낮추는 것을 목표로 함

〈표 4-7〉 EU 그린딜산업계획의 주요 구성요소

① 규제환경 개선	② 원활한 자금 지원
<ul style="list-style-type: none"> • 예측가능하고 일관적이며 간소화된 규제환경 조성 - 탄소중립산업법(안) - 핵심원자재법(안) - 전력시장구조 개편(안) 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소중립기술·산업 투자 촉진 및 신속한 지원 - 국가보조금규제 한시적 완화 - 다양한 EU 지원기금 활용 - 유럽국부펀드 신설
③ 숙련인력 양성	④ 개방형 교역
<ul style="list-style-type: none"> • 인력양성 기관 신설 및 인재 유치 - 탄소중립산업 아카데미 설립 - 역외 인재 유치를 위한 관련 자격 인정 - 교육훈련을 위한 재정적 지원 확대 	<ul style="list-style-type: none"> • 안정적 공급망 구축을 위한 국제협력·교역 - 핵심원자재클럽 구성 - 청정기술·탄소중립 파트너십 구축 - 역외보조금 규제를 통한 공정경쟁·거래

※ 자료: EC(2023a)를 토대로 저자 작성. 신동원 외(2023)에서 인용

3.2 탄소중립산업법(NZIA) 주요 내용

■ 2023년 3월 16일, 유럽 집행위원회는 「탄소중립산업법(Net Zero Industry Act: NZIA)」 발의

- EU 역내 탄소중립 기술의 제조역량 강화를 위한 생태계, 즉 환경 조성을 위한 세부 이행조치를 담은 규정
 - 탄소중립 기술에 대한 ▲투자 촉진, ▲CO₂ 배출 감축, ▲시장 접근성 향상, ▲탄소중립 인력 양성, ▲기술 혁신 지원, ▲거버넌스 및 이행 모니터링 체계 구축 목적

〈표 4-8〉 탄소중립산업법의 세부 목적 및 이행방안

세부 목적	이행방안
① 투자 촉진	탄소중립 기술 투자 환경 조성을 위해 EU 차원의 규제체계를 확립함으로써 법적 확실성을 부여하고 인허가 절차 간소화 등을 통해 행정부담 완화
② CO ₂ 배출 감축	역내 CO ₂ 감축을 위해 CO ₂ 저장역량에 관한 목표를 설정하고 관련 이행조치 제시
③ 시장 접근성 향상	탄소중립 기술의 시장 접근성 강화를 위해 공공 조달하는 탄소중립 제품을 대상으로 일정 수준 이상의 지속가능성과 회복력 기준 준수를 요구함으로써 지속가능제품에 대한 공공 및 민간 수요 확대 유인
④ 탄소중립 기술인력 양성	청정에너지로 전환에 따른 경제 변화에 대비하여 EU 차원에서 숙련되고 훈련 받은 전문인력을 양성하고 노동시장 활성화
⑤ 기술 혁신 지원	기술 혁신을 도모할 수 있는 회원국 간에 조화로운 연구/실험 환경 조성 및 유사한 법적 면제조항 적용을 위해 샌드박스 설치
⑥ 거버넌스 체계 구축	탄소중립 기술의 제조역량 강화 목표 달성을 위한 활동들을 지원하고, 그 이행 상황을 주기적으로 모니터링 하기 위해 공동의 거버넌스 및 모니터링 체계 구축
⑦ 이행 모니터링	

※ 자료: EC(2023b)를 토대로 저자 작성. 신동원 외(2023)에서 인용

- 탄소중립 기술 중 ▲기술 성숙도, ▲탈탄소화 기여도 및 경쟁력, ▲공급망 리스크 등의 세 가지 기준을 바탕으로 전략적 탄소중립 기술을 선정하여 집중지원 계획
 - 전략적 탄소중립 기술에는 ①태양광 및 태양열 기술, ②육상 및 해상 풍력 기술, ③배터리 및 저장 기술, ④히트펌프 및 지열에너지 기술, ⑤전해조 및 연료전지, ⑥지속가능한 바이오가스 및 바이오메탄 기술, ⑦탄소 포집·저장 기술(Carbon Capture and Storage: CCS), ⑧그리드 기술 등 8종 포함
 - 전략적 탄소중립 기술의 EU 역내 제조역량을 2030년까지 연간 보급 수요 대비 40% 이상으로 확대 계획
 - 풍력, 태양광, 히트펌프, 배터리, 전해조 기술 대상 목표 달성을 위해 2030년까지 해당기술 제조부문 투자 수요는 880억 유로, 인력 수요는 350,000명에 이를 것으로 추정

● 법의 목적과 2030년 목표 달성을 위해 행정규제 완화, 보조금 지급, 교육훈련 제공, 전략적 파트너십 결성 계획

- 규제환경 개선을 위해 인허가창구 일원화로 절차 간소화, 인허가기간 단축, 규제샌드박스 도입 예정
- 재정적인 지원규모는 특정하지 않았으나, 개별 회원국 국가보조금과 REPowerEU, InvestEU Fund, Innovation Fund 등 EU 차원에서 운용되고 있는 다양한 기금을 활용해 지원한다는 계획
- 숙련인력 양성을 위해 탄소중립 산업 아카데미를 신설하여 교육·훈련 실시 예정
- 청정기술/탄소중립 산업 파트너십 등 전략적 파트너십을 구축·강화한다는 계획

〈표 4-9〉 탄소중립 기술별 제조용량 목표와 목표 달성을 위한 투자 및 인력 수요

구분	현재 제조용량	2030년 제조용량				2030년 인력	
		수요	목표	목표 달성시 수요 충족 비중	목표 달성을 위한 투자 수요 (10억 유로)	필요 인력 (천명)	훈련비용 (백만 유로)
풍력	13	42	36	85%	6,073	21	270
태양광	1	53	24	45%	7,579	25	223
히트펌프	14	51	3	60%	5,624	28	243
배터리	75	610	549	90%	68.244	261	2284
전해조	2.3	25	25	100%	1,332	5	41
합계					88.852	350	3062

※ 자료: 저자 작성, 신동원 외(2023)에서 인용

■ 집행위원회 분석결과에 따르면, 탄소중립 기술 제조용량 강화를 위해서 2021~2027년의 기간 동안 혁신기금(Innovation Fund), 회복 및 복원력기금(Recovery and Resilience Fund: RRF) InvestEU, REPowerEU 등 기존의 EU 기금과 재정 프로그램을 통해서 약 80억 유로 가까이 지원할 수 있을 것으로 추산²²⁾

● 회원국들은 RRF 대출자금을 활용해 약 2,250억 유로의 대출 실행이 가능한 것으로 파악

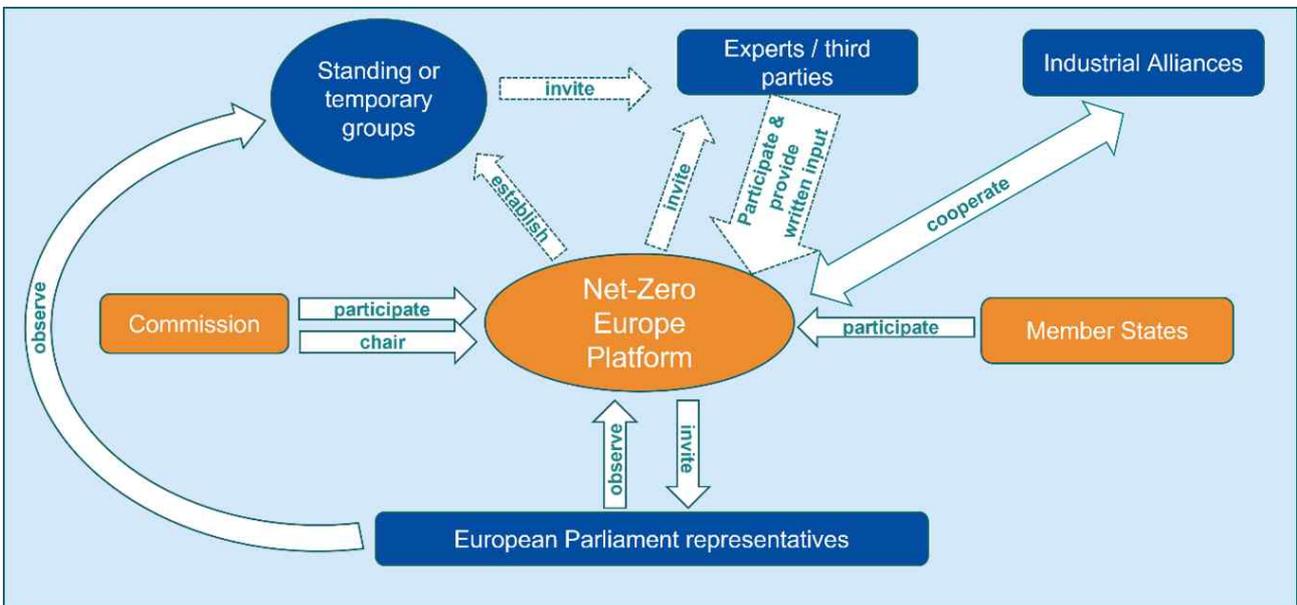
22) (EC. 2023d, p.34).

〈표 4-10〉 활용가능한 EU 기금

기금/프로그램명	개요	조성가능한 자원 규모(백만 유로)			
		그린전환 전반	R&D 부문	제조 부문	보급 부문
Horizon Europe	대표적인 연구·혁신을 지원하는 기금으로서, 기후·에너지·수송 및 디지털 분야 집중 지원	~ 11,220	~ 11,550		
Innovation Fund	EU ETS 경매 수입으로 조성된 혁신적인 저탄소기술 지원 기금	28,000	2,800	~ 4,000	~12,000
LIFE Clean Energy Transition	다양한 이해당사자 참여 청정에너지 보급 지원 프로그램	1,000			~ 350
Invest EU Fund	EU 예산을 바탕으로기술 혁신과 재생 에너지 및 에너지효율성 프로젝트 등에 대한 지급보증을 통해 민간자금을 유통하는 대표적인 혼합금융 프로그램	7,900	600	600	1,800
Recovery and Resilience Fund (RRF)	코로나19 피해복구를 위한 회복 및 복원력 자금으로 그린전환이 집중 지원분야이며, 채권발행과 탄소조정세 등 신규 세원 확보를 통해 자금 조달	251,000	13,000	2,300	37,000
REPowerEU	러시아에 대한 에너지 의존도를 낮추고 친환경 전환 가속화를 위한 투자 지원, 유럽은행(EIB)그룹또한 대출과 지분 형태로 금융지원에 참여	22,000		~ 1,000	~ 21,000
Just Transition Fund	녹색경제로의 전환과정에서 경제적 영향을 받는 지역 집중 지원 기금				
European Regional Development Fund (ERDF) & Cohesion Fund	ERDF는 디지털 및 녹색 전환을 위해 중소기업 지원 기금이며, 융합기금은 유럽 균형발전 기금으로 친환경 재생 에너지 프로젝트 지원	85,000	7,800		10,100
Modernisation Fund	ETS 배출권수익 활용해 회원국의 에너지 시스템 현대화 지원	39,000			27,300
Social Climate Fund	ETS 경매 수익활용해 취약계층(영세 사업자 포함)의 에너지 비용 보조	14,900			~ 14,900
예상 총액		470,140	~ 35,750	~ 7,900	~ 124,450
			(+225,000)		

※ 자료: EC(2023d), 신동원 외(2023)에서 인용

- 인허가 절차와 관련된 자문 제공을 비롯해 탄소중립 기술 프로젝트 추진을 위한 재정적 수요와 장애요소, 모범사례 등에 관한 정보 공유 및 이해당사자 소통, 의견 조율 등 다양한 지원을 제공을 위해 탄소중립 유럽플랫폼(Net-Zero Europe Platform)을 운영을 계획
 - 플랫폼은 기본적으로 집행위원회의 주도하에 회원국의 고위급 대표들이 참여해 운영되며, 필요에 따라 산업계 파트너 등이 참여하는 특정 이슈에 관한 다양한 하위그룹을 구성해 운영
 - NZIA의 이행을 지원 및 모니터링하고, 집행위원회와 회원국, 관련 이해당사자 간에 상호 소통 및 정보를 공유하는 거버넌스 체계
 - 플랫폼 내에서 집행위원회와 회원국은 탄소중립 기술 활성화와 청정에너지 전환 가속화를 위해 탄소중립 산업파트너십(Net-Zero Industrial Partnerships)을 구축하거나 제3국과 협력 가능
 - 탄소중립 산업파트너십은 역내 또는 제3국에 필요한 투자 장려, 가치사슬의 지속가능성과 회복력 증진, 참여자 간 공정한 경쟁 보장 등을 통해 참여자 간 무역 촉진을 목적



[그림 4-5] 탄소중립 유럽플랫폼 구조

※ 자료: EC(2023c)

- EU는 유럽 그린딜에 따라 그린전환과 디지털전환을 표방하고 있으며, GDIP는 그 일환에서 발표된 그린전환을 위한 산업정책으로 2050 탄소중립 달성 기여와 에너지 수급 안정성을 꾀하는 기후·에너지계획에 해당하며, 일자리 창출과 신성장을 이끄는 경제성장계획
 - 최근 EU의 산업정책이 경제적 효율성과 안보와 결합되는 방식으로 진화하고 있으며 기후환경 규범 준수가 에너지 안보와 경제 안보의 관점에서 중요하다는 점을 시사함

4. 기타 탄소중립 관련 주요 법률 및 제도

- (유럽 기후법) 2021년 6월 30일, 「유럽 기후법(European Climate Law, Regulation (EU) 2021/1119)」¹⁷⁵⁾이 제정²³⁾
 - 모든 회원국을 법적으로 구속하는 효력을 갖는 ‘규정(Regulation)’¹⁷⁶⁾ 형식으로 제정함에 따라, EU 기관과 회원국은 기후중립 목적을 달성하는 데 필요한 모든 조치를 취해야 할 의무를 부과
 - 「유럽 기후법」은 파리협정에 설정된 장기 온도 목표를 달성하기 위해 EU 전체 차원의 기후변화에 대한 대응을 강화하고자 중간 기후목표와 장기 기후목표를 법제화

〈표 4-11〉 EU 「유럽 기후법」의 주요 내용

분야	주요사업
법적 구속력 있는 온실가스 배출 감축목표	<ul style="list-style-type: none"> • 장기 기후목표로 △ 2050년까지 탄소중립, △ 2050년 이후 탄소 역배출(negative emission) 달성을 의무로 규정(제2조제1항) • 중간기후목표로 △ 2030년까지 탄소 배출량 1990년 대비 55% 감축(제4조제1항), △ 2040년 목표 신설을 이행(제4조제3항) • 2040년 기후목표는 파리협정 제14조에 따라 2023년 제1차 글로벌 이행점검 이후 6개월 내 EU 집행위가 제출할 예정
‘유럽과학자문위원회’ 설치	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화 관련 과학적 지식의 판단 기준처로서 독립기관인 ‘기후변화에 관한 유럽과학자문위원회(European Scientific Advisory Board on Climate Change)’를 설치(제3조제1항)
EU 회원국의 기후변화 적응 역량 증진	<ul style="list-style-type: none"> • 회원국은 기후변화 관련 적응 역량을 증진하고, 회복성을 강화하여 지속해서 취약성을 줄이기 위해 노력(제5조제1항) • 자국의 기후변화 적응 전략·계획을 채택 및 이행(제5조제4항)
회원국의 기후중립 달성 이행에 관한 EU 집행위원회의 평가 및 조치	<ul style="list-style-type: none"> • EU 집행위의 감시 권한을 강화하기 위해 회원국의 기후중립 목적과 대응 조치에 대한 평가 의무 부여(제6조) • 검토 결과, 이행현황이 불충분한 경우 EU 집행위는 적절한 조치를 취함(제6조제3항) • 불이행 시 해당 회원국에 공개적으로 권고안 발행(제7조제2항)
EU 집행위원회 및 회원국의 공공 참여 촉진	<ul style="list-style-type: none"> • EU 집행위는 정당하고 공정한 기후중립 전환을 위해 국가, 지역, 지방 등 모든 차원에서 학계, 기업, 시민사회 등과 협력(제9조제1항)

※ 출처: 대외경제정책연구원(2022), “주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로”

23) Official Journal of the European Union(2021.6.30.), “REGULATION (EU) 2021/1119 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 30 June 2021, establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 (‘European Climate Law’)”

■ (Fit for 55) 2021년 7월, EU 집행위원회는 「유럽 기후법」의 중간 기후목표를 구체적으로 실현하기 위한 정책 수단으로써 입법안 패키지 ‘핏 포 55(Fit for 55)’를 발표²⁴⁾

- Fit for 55는 ① 탄소가격제(carbon pricing) ② 2030년 목표달성을 위한 제반조치(targets) ③ 규제강화(rules) ④ 지원대책(support measures)으로 구성
 - (탄소가격제) 탄소가격제 분야에 포함된 입법안은 온실가스 배출권거래제(ETS: Emission Trading Scheme) 개정, 에너지 조세지침 개정, 탄소국경조정제도 도입으로 구성
 - (온실가스 감축) EU 차원의 온실가스 배출 감축을 위해 다양한 분야에서 감축목표 달성을 지원하는 제도와 규제를 강화하는 것으로 노력분담규정 강화, 토지이용·토지이용변경·삼림규정의 개정, 재생에너지 지침 개정, 에너지효율지침 개정으로 구성
 - (규제강화) EU 집행위원회는 하이브리드카를 포함한 내연기관을 사용하는 신차는 2035년 이후 출시를 금지하는 방안을 제안하는 등 승용차 및 승합차 부문의 탄소배출 규제를 강화

〈표 4-12〉 EU 「유럽 기후법」의 주요 내용

분야	주요사업
1. 탄소가격제 (Carbon pricing)	• EU 배출권거래제(ETS) 개정: 해상 분야 ETS 강화 및 CORSIA 확대 적용
	• 탄소국경조정제도(CBAM) 도입
	• 에너지조세지침(Energy Tax Directive) 개정
2. 목표 (Targets)	• 노력분담규정(ESR:Effort Sharing Regulation) 개정
	• 토지이용, 토지이용변경 및 삼림(LULUCF:Land Use, Land Use Change and Forestry) 규정 개정
	• 재생에너지지침(Renewable Energy Directive) 개정
	• 에너지효율화지침(EED:Energy Efficiency Directive) 개정
3. 규제강화 (rules)	• 신차(승용차 및 승합차) 탄소배출 규제 기준 강화: 모든 신차에 대해 2035년 제로배출 적용
	• 대체연료인프라 확충에 관한 규정 개정
	• 항공운송연료의 탈탄소화 프로그램(ReFuelEU) 추진
	• 청정 해상운송연료 프로그램(FuelEU) 추진
4. 지원대책 (rules)	• 사회기후기금(Social Climate Fund) 신설 및 현대화혁신기금(Modernisation and Innovation Funds) 확충 → 혁신 지원 및 환경약자층에 대한 지원 강화

※ 출처: 유럽 기후법(European Climate Law, Regulation (EU) 2021/1119)

24) European Commission(2021.7.14.), "Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality", (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52021DC0550>), 2024년 1월 6일 접속

- (EU 배출권 거래제) EU는 교토의정서에 규정된 온실가스 감축의무를 효과적으로 이행하고자 세계 최초로 2005년부터 ‘EU ETS’를 시행

 - EU는 ETS를 통해 EU 전체 온실가스 배출량의 약 40%를 관리하고, 에너지, 제조업, 항공 부문 1만여 개 시설의 배출량을 제한
 - 현재 제4기(2021~2030년) 계획을 시행 중이며, 온실가스 감축목표를 강화 하여 매년 2.2%씩 배출량을 감축한다는 계획이 핵심²⁵⁾

- (탄소국경조정제도, CBAM) 2023년 5월, 「탄소국경조정제도 설립을 위한 규정(Regulation(EU) 2023/956)」¹⁸⁷⁾이 발효되며 ‘CBAM’의 시행을 위한 입법화 절차를 완료²⁶⁾

 - CBAM(Carbon Border Adjustment Mechanism)은 수입품의 탄소 함유량이 EU 기준치를 초과할 경우, 초과한 탄소량에 대해 탄소세를 추가로 부과하는 제도
 - CBAM은 탄소 배출 규제가 강한 국가에서 약한 국가로 탄소 배출이 이전 되는 ‘탄소누출’ 문제를 해결하고 산업경쟁력을 개선하기 위해 도입
 - CBAM은 ETS의 무상할당제 폐지에 대한 보충적 수단으로 가능하며, 2026년부터 ETS 무상할당제의 단계적 폐지가 진행됨에 따라, CBAM도 같은 해 도입되어 단계적으로 시행될 예정
 - 적용 대상 품목은 철강, 알루미늄, 전력, 비료, 시멘트, 수소의 6개 제품군이며, 철광석과 같은 특정 원료·재료(precursors)와 일부 철강 후방제품(downstream products)이 포함²⁷⁾
 - CBAM이 적용되는 온실가스 배출 범위는 직접배출량(Direct emissions)과 간접배출량(Indirect emissions)이며, 이산화탄소는 물론 아산화질소(N₂O), 과불화탄소(PFCs)도 포함
 - 온실가스 배출영역은 배출 유형과 범위에 따라 직접배출(Scope1), 간접배출(Scope2), 기타 간접 배출(Scope3)으로 구분

〈표 4-13〉 온실가스 배출원 분류와 CBAM 적용 범위

분야	정의	CBAM 적용 범위
직접배출 (Scope1)	• 기업이 소유하고 통제하는 경계 안에서 발생한 온실가스 배출	적용 범위에 해당 (철강, 알루미늄, 수소는 직접배출량만 산정, 간접배출량 산정은 이행 법률로 구체화)
간접배출 (Scope2)	• 기업이 구입하거나 다른 경로를 통해 경계 안으로 들어와 소비한 전기와 스팀에 의한 온실가스 배출	
기타 간접배출 (Scope3)	• 기업 활동 결과에 해당하지만, 기업이 소유하거나 통제하지 않는 시설에서 발생한 온실가스 배출	적용 범위에 해당 되지 않음

※ 출처: 구지선·김태윤·오수림·손지희(2023), “제도혁신 Insight EU 탄소국경조정제도(CBAM)의 주요 내용과 전망”

25) https://icapcarbonaction.com/system/files/ets_pdfs/icap-etsmap-factsheet-43.pdf, 2024년 1월 6일 접속

26) European Commission(2023.5.10.), “REGULATION (EU) 2023/956 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism”

27) 구지선·김태윤·오수림·손지희(2023), “제도혁신 Insight EU 탄소국경조정제도(CBAM)의 주요 내용과 전망”, p.3

5. 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향

- EU 집행위원회는 파리기후협약 및 2050년 기후중립 목표달성을 위해 온실 가스 감축기술의 사업화 및 상용화를 위한 투자자원인 ‘혁신기금(Innovation Fund)’을 운영
 - 동 기금은 2020~30년 기간 중 약 400억 유로를 지원하며, EU 온실가스배출권거래제(ETS)를 통해 재원을 마련할 계획²⁸⁾

〈표 4-14〉 EU 혁신기금 주요 내용

분야	주요사업
목적	• 온실가스 감축 또는 기존 탄소함유량 낮은 동일상품 생산기술 보유 기업의 사업화 및 상용화 지원
지원규모 및 기간	• 2020~30년 기간 400억 유로 • 대규모 프로젝트는 관련 비용의 최대 60%, 소규모 프로젝트는 총자본지출액의 최대 60% 지원(총자본지출 750만 유로 기준 대규모·소규모 프로젝트 구분)
지원대상	• 온실가스 감축 기술을 보유하면서 EU 내에서 프로젝트를 수행할 민간기업, 공공기업, 국제기구 등의 단체 또는 컨소시엄 구성
지원분야	• (에너지 집약산업) 시멘트, 철강, 알루미늄, 화학, 정유, 비료산업 부문 저탄소 생산기술 • (이산화탄소 포집 및 활용) 연료변환 또는 콘크리트나 플라스틱의 원료 재활용 • (이산화탄소 포집 및 저장) 이산화탄소 발생원으로부터 포집 후 압축과 수송과정을 거쳐 육상·해상·지중에 저장하거나 유용한 물질로 전환하는 일련의 과정 • (재생에너지 생산·사용·발전) 태양열, 태양광, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열 등 발전기술 및 관련 부품 생산 • (에너지 저장장치) 배터리 생산 및 관련부품의 생산
신청자격	• 온실가스 감축기술 보유 및 사업화를 희망하는 EU 내 프로젝트 추진 기업 • 신청단체가 직접 프로젝트 수행 및 관리

※ 출처: 대외경제정책연구원(2022), “주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로”

28) European Commission, “What is the Innovation Fund?”, (https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/what-innovation-fund_en”, 2024년 1월 6일 접속

■ 또한 EU는 1983년부터 시행해오고 있는 ‘호라이즌 유럽(Horizon Europe)’ R&D 프로그램을 시행해오고 있으며, 최근 호라이즌 유럽 전략계획(2021~27년)의 약 955억 예산을 투입²⁹⁾

- 이 중 기후 및 탄소중립과 관련한 부문은 ‘글로벌 과제 유럽 산업경쟁력 강화’ 분야로 디지털 전환(DX) 및 녹색전환(GX) 관련 기술개발과 클러스터를 활용한 기후·에너지·교통 분야의 녹색전환, EU 역내 순환경제 및 기후 중립적인 경제시스템 구축에 주력

〈표 4-15〉 호라이즌 유럽 전략계획: 2021~2024의 기후·에너지·교통 분야

분야	주요사업	협력 채널
선진 기후과학을 통한 기후중립사회 전환	기후과학 및 솔루션	
청정하고 지속가능한 에너지전환	청정운송 및 모빌리티 에너지 저장	청정수소배터리, EU 산업배터리가치사슬
좀 더 효율적이고, 청정하며, 안전하고, 경쟁력을 갖춘 에너지 공급	에너지 공급, 에너지시스템, 에너지 그리드, 에너지 저장	청정에너지 전환
좀 더 효율적이고, 지속가능한 에너지 사용	건축 및 산업 유틸리티	인간중심의 지속가능한 건축환경
기후중립적이고 친환경적인 운송	운송분야 산업경쟁력, 청정운송 및 모빌리티, 스마트 모빌리티	유럽철도시스템2 개혁, 청정항공2, 넷제로(Net Zero) 육상운송 등

※ 출처: 대외경제정책연구원(2022), “주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로”

29) European Commission(2021), “Horizon Europe – The EU Research & Innovation Programme 2021–27”

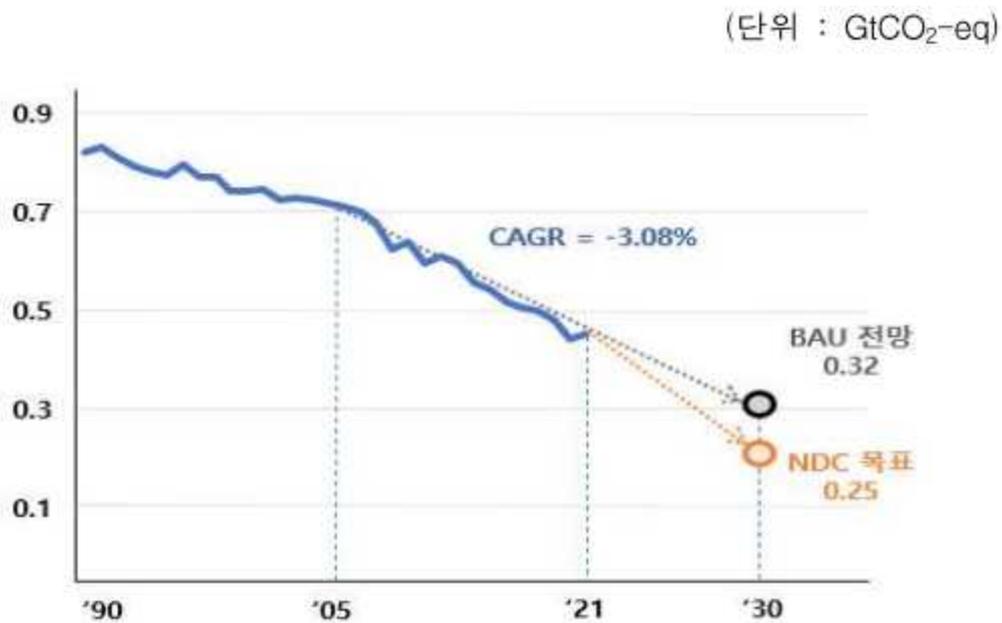
제4절

영국

1. 온실가스 배출량 및 저감목표

- (배출 현황) 2021년 기준, 영국의 온실가스 총배출량은 4억 2,949만 톤 CO₂eq이며, 이 중 이산화탄소가 3억 4,841만 톤으로 81.1%를 차지³⁰⁾

 - 2021년 이산화탄소 배출량은 1990년 대비 약 42.3% 감소하였지만, 2020년 대비 약 6.5% 증가한 것으로 나타났으며, 2020년은 코로나19 팬데믹의 영향으로 2019년 대비 약 10.8% 감소
- (감축 목표) 영국은 일찍이 온실가스 배출량 정점(1979년)을 기록한 이후 지속적으로 배출량이 감소해왔으며, 2030년 온실가스 배출량을 1990년 대비 68% 감축하고 2050년까지 '넷제로'를 달성하겠다는 목표를 선언



[그림 4-6] 영국 온실가스 배출량 추이 및 전망

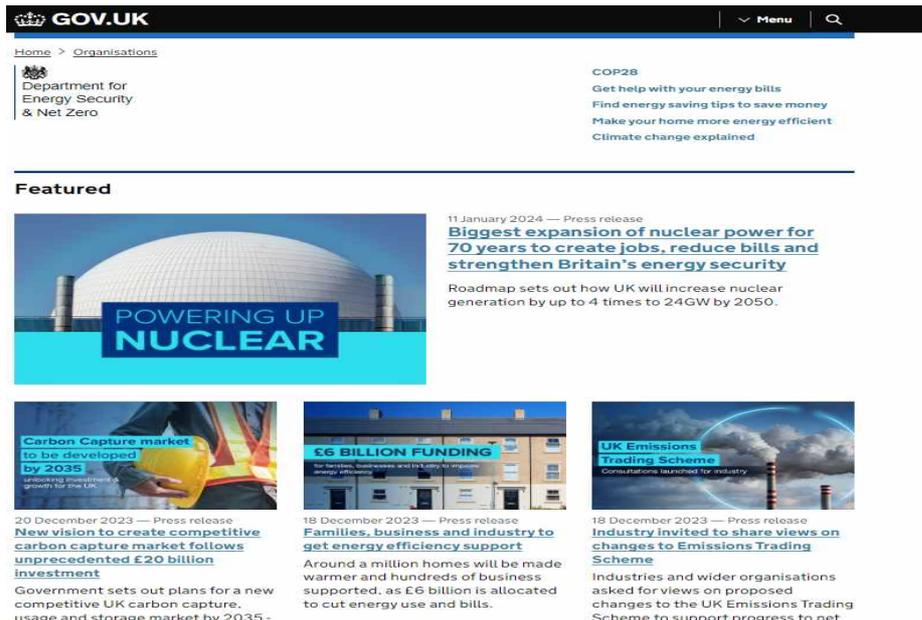
※ 출처: Potsdam Institute for Climate Impact Research, Climate Watch, Climate Action Tracker

30) <https://di.unfccc.int>, 2024년 1월 8일 접속

2. 탄소중립 정책 추진 경과

- 영국은 2008년 세계 최초의 기후변화 관련 법인 「기후변화법(Climature Change Act)」을 제정하고, 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량을 80%까지 감축 목표에 법적구속력을 부여³¹⁾

 - 세계 최초로 국가온실가스감축목표를 설정하고 이 감축목표를 이행하기 위한 5년 단위의 단계별 배출 상한, 이른바 탄소예산(Carbon budget)제도를 도입
 - 2019년 6월, 「기후변화법」을 개정하여 2050년 감축목표를 1990년 대비 기존 80%에서 최소 100% 상향함으로써, 2050년 탄소중립 목표를 법제화
- 2020년 11월, 보리스 존슨 총리가 브렉시트 이후 영국의 독자적인 에너지 및 탄소중립 정책 방향을 밝힌 ‘녹색 산업혁명을 위한 10대 중점계획(Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)’을 발표
- 뒤를 이어 2020년 12월, ‘에너지백서(Energy White Paper)’, 2021년 10월, ‘넷제로 전략(Net Zero Strategy, 이하 NZS)’, 2022년 4월, ‘에너지안보 전략(Energy Security Strategy)’ 등 2050년까지 탄소중립 목표를 이행하기 위한 일련의 계획들이 연달아 발표
- 2023년 3월, 기존 기업에너지산업전략부를 분할하여 에너지안보·넷제로부(Department for Energy Security and Net Zero, DESNZ)를 신설하고 ‘파워링업 영국(Powering up Britain)’을 발표



[그림 4-7] 영국 에너지안보·넷제로부 홈페이지 화면

※ 출처: <https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-energy-security-and-net-zero>

31) UK Legislation(2008). "Climate Change Act 2008". (<https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/contents.>), 2024년 1월 8일 접속

3. 탄소중립 관련 주요 법률 및 제도

- (기후변화법) 온실가스 배출량을 줄이고 기후변화에 적응하기 위한 영국 접근 방식의 토대를 규정한 기본 법령으로 2008년부터 시행하였고, 2019년 동 법을 개정하여 탄소중립 목표를 법제화
- 기후변화법은 △ 온실가스 배출량 감축목표, △ 탄소예산 제도, △ 기후변화위원회 (Committee on Climate Change, CCC) 설립, △ 온실가스 감축 및 제거 활동 장려를 위한 거래제, △ 기후변화 적응 등의 내용을 포함³²⁾

〈표 4-16〉 EU 혁신기금 주요 내용

분야	주요사업
법적 구속력 있는 온실가스 배출 감축목표	<ul style="list-style-type: none"> • 장기 감축목표 <ul style="list-style-type: none"> - 2050년까지 1990년 대비 최소 100% 이상 감축할 의무(제1조)
	<ul style="list-style-type: none"> • 중간 감축목표 <ul style="list-style-type: none"> - 2008~2012년의 기간부터 시작해서 매 5년의 기간(예산기간)에 대해 순 탄소 계정(탄소예산)을 설정하고, 예산기간에 대한 순 탄소계정이 탄소예산을 초과하지 않도록 할 의무(제4조제1항) - 지속가능한 개발에 기여할 수 있는 탄소 예산 제안 및 정책 작성의무(제13조) - 탄소예산에 부합하는 정책과 제안을 제시한 보고서를 의회로 제출할 의무(제14조)
'기후변화위원회' 설치	<ul style="list-style-type: none"> • '기후변화위원회' 설치(제32조)
	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 업무 <ul style="list-style-type: none"> - 2050년 목표 수준에 대한 자문(제33조) - 탄소예산과 관련된 자문(제34조) - 국제항공 및 국제선박의 배출가스에 대한 자문(제35조) - 의회 및 각 입법기관에 보고서 제출 의무(제36조) 등
거래제도	<ul style="list-style-type: none"> • 법규에 의해 온실가스 배출량 관련 거래 제도에 대한 규정 제정 권한을 행정청에 부여(제44조)
기후변화 적응	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화의 영향으로 인하여 현존하는 또는 예상되는 위험을 평가한 보고서를 의회에 제출할 의무(제56조)
	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화 적응에 관한 정부의 목표, 그 목표를 달성하기 위한 정부의 제안 및 정책에 관한 계획을 의회에 제출할 의무(제58조)

※ 출처: 국회도서관(2023), "탄소중립 한눈에 보기"

32) 영국 기후변화 협의회(Climate Change Committee, CCC), "What is climate change? / A legal duty to act", (<https://www.theccc.org.uk/what-is-climate-change/a-legal-duty-to-act/>), 2024년 1월 8일 접속

■ (에너지법안) 2022년 7월 6일, 정부 제출안 ‘에너지법안(Energy Bill 2022-23)’이 의회에 제출

- ‘에너지법안’은 코로나19 팬데믹 회복에 따른 글로벌 에너지 수요 증가 추세가 러시아의 우크라이나 침공으로 악화되는 상황에서 장기적으로 에너지 시스템의 청정성·안전성·가격적정성을 증진하는 것을 목표로 설정³³⁾
- 해당 법안은 △ 청정기술에 대한 투자 및 국산에너지 시스템 구축, △ 소비자 보호를 위한 에너지 시스템 개혁, △ 규제 간소화, △ 에너지 시스템의 안전성 및 복원력 공고화 등의 내용을 포함

〈표 4-17〉 영국 ‘에너지법안’의 주요 내용

분야	주요사업
청정기술에 대한 민간 투자 활용 및 국산 에너지 시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 영국의 신산업에 1,000억 파운드의 민간부문 투자를 촉진하고 약 48만 개의 청정 일자리를 지원하겠다는 약속을 이행하기 위하여, <ul style="list-style-type: none"> - 저탄소 기술의 성장 가속화 - 이산화탄소 및 수소의 운송·저장 네트워크 구축 및 확장 - CCUS 업계의 지식 공유 지원 - 가정과 직장의 난방에너지원으로서 수소 연구 및 열펌프의 제조 설치 - 신규 원자력 발전소 공급 촉진 - 교통 부문 탈탄소화 가속화 등
소비자 보호를 위한 에너지 시스템 개혁	<ul style="list-style-type: none"> • 넷제로를 목표로 혁신 지원 및 시스템 구축 • 건물의 에너지 성능에 대해 EU에 부여된 통제권 회수 • Energy Savings Opportunity Scheme(주) 제도 강화 • 해상풍력 배치 가속화
에너지 시스템의 안전성 및 복원력 공고화	<ul style="list-style-type: none"> • 악의적 행위(노동쟁의, 국가안보)로부터 연료 복원력 보호 • 투자 장벽을 제거하여 원자력 발전 가속화 • 원전 부지 관련 규제 프레임워크 간소화

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

33) Department for Energy Security and Net Zero and Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2022.7.6.), “Energy Security Bill overarching factsheet”, (<https://www.gov.uk/government/publications/energy-security-bill-factsheets>), 2024년 1월 8일 접속

■ (파워링업 영국, Powering up Britain) 2023년 3월, 리시 수낙 총리가 ‘파워링업 영국(Powering up Britain)’ 전략을 발표³⁴⁾

- ‘파워링업 영국’ 전략은 에너지안보를 정부의 가장 큰 우선 과제로 인식하고 2023년 2월 ‘에너지안보·넷제로부(Department for Energy Security and Net Zero)’를 신설한 후 이 부서가 수행할 에너지안보 및 탄소중립 정책 방향을 포함
- 동 전략은 넷제로성장플랜(Powering up Britain: Net Zero Growth Plan), 에너지안보플랜(Powering up Britain: Energy Security Plan) 등 2개 플랜으로 구성

〈표 4-18〉 영국 ‘에너지법안’의 주요 내용

분야	주요 내용	세부 내용
넷제로 성장플랜	혁신	• 42억 파운드 넷제로 R&I(Research & Innovation) 포트폴리오를 통해 자금 및 프로젝트 지원 및 홍보
	녹색금융 및 투자	• 영국 녹색 분류체계(UK Green Taxonomy) 논의 • 그린워싱(Greenwashing) 방지책 논의 등
	넷제로 인력	• 녹색 일자리의 지리적 분포, 지역에 미치는 경제적 영향 등의 정보를 포함하는 녹색 일자리 데이터 구축 지원
	정부 넷제로	• 공공기관 건축물에 적용되는 탈탄소화 지침(Decarbonisation guidance) 발간 • 공공부문 저탄소기술기금제공
	지방 넷제로	• 지방 넷제로허브프로그램(Local Net Zero Hubs Programme)에 대해 5백만 파운드 자금 지원 • ‘투자지역프로그램(Investment Zone programme)’에 따라 자금 지원받은 지역이 정부 탄소중립 &환경 목표에 기여 여부 입증 필요
에너지 안보플랜	원자력	• 2050년까지 상업원자력 배치를 최대 24GW까지 확대 • 소형모듈원자로(SMR), 모듈원자로 등에 투자
	태양광	• 2035년까지 최대 70GW의 태양광 발전
	풍력 및 바이오매스	• 2030년까지 5GW의 부유식 풍력 발전 포함, 최대 50GW의 풍력&바이오매스 생산 확대
	수소	• 2030년까지 최대 10GW의 저탄소 수소 생산, 이 중 절반 이상은 수전해 수소로 생산 • 2025년까지 최대 1GW의 수전해 생산, 수소인증제도(Hydrogen Certification Scheme) 마련
	CCUS	• 2020년대 중반까지 2개의 산업 클러스터 및 최소 1개 이상의 전력 CCUS 플랜트 설치 • 2030년까지 20~30mtCO ₂ 포집

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

34) Department for Energy Security and Net Zero(2023.3.30.), “Powering Up Britain.”, (<https://www.gov.uk/government/publications/powering-up-britain>), 2024년 1월 8일 접속

4. 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향

- 2020년 11월 18일 영국 존슨 총리는 2050 탄소중립 목표 달성과 COVID-19로 인한 경기 침체를 극복하기 위한 방안으로 '녹색산업혁신을 위한 10대 중점계획'을 발표
 - 2030년까지 정부 투자금 50억 파운드와 민간 투자금 등 총 120억 파운드의 기금을 녹색산업 분야에 투자하고 이를 통하여 최대 25만개의 녹색일자리를 창출하는 것을 목표로 설정
 - 10대 중점계획 분야에는 1) 해상풍력 확대, 2) 저탄소 수소의 성장 주도, 3) 차세대 원자력 기술개발, 4) 탈탄소자동차 전환, 5) 친환경 대중교통, 6) 친환경 항공 및 선박, 7) 그린빌딩 효율화, 8) CCUS 투자, 9) 자연환경 보호, 10) 녹색금융 및 혁신 등이 포함

〈표 4-19〉 영국 녹색산업혁신을 위한 10대 중점계획의 분야별 주요 내용

중점 분야	세부 내용
해상풍력	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 10GW 수준의 해상풍력 설비를 2030년까지 40GW까지 4배 확대(1GW 부유식 해상풍력 포함) • 풍력 터빈 산업 지원을 위하여 현대식 항구 및 생산 인프라에 1억 6천만 파운드 투자 • 2023~2032년간 21MtCO₂e 또는 2018년 영국 배출량의 5% 감축 효과
저탄소 수소	<ul style="list-style-type: none"> • 2억 4천만 파운드의 탄소중립 수소펀드 조성을 통해 2030년 저탄소 수소생산 용량을 5GW까지 확대 • 가정-2023~2032년간 21MtCO₂e 또는 영국 총 배출량의 5% 감축에서 사용하던 천연가스를 수소 및 수소혼합물로 대체하고 전기히트펌프 시장 확대 추진 • 2023~2032년간 41MtCO₂e 또는 2018년 영국 배출량의 9% 감축 효과
원자력	<ul style="list-style-type: none"> • 3억 8,500만 파운드 규모의 차세대 원자력 펀드를 조성하고 원자력 발전을 확대 • 소형원자로 부문에 최대 2억 1,500만 파운드를 투자하고 민간으로부터 3억 파운드 매칭 펀드 조성 • 차세대 모듈 원자로 부문에 최대 1억 7,000만 파운드를 투자하고 2030년대 초까지 실증설비 구축
전기자동차	<ul style="list-style-type: none"> • 내연기관차 판매금지 연도를 2035년에서 2030년으로 앞당기고 전기차 산업 장려 • 전국 충전 인프라 확대를 가속화하기 위하여 13억 파운드 투자 예정 • 2032년까지 약 5MtCO₂e, 2050년까지 300MtCO₂e 감축 효과
친환경 대중교통	<ul style="list-style-type: none"> • 최소 4,000대 이상의 전기버스 도입을 위하여 2021년 1억 2천만 파운드 투자 • 친환경 대중교통 장려를 위하여 자전거도로 건설 및 철도 노선 확대·투자 • 2023~2032년간 친환경 대중교통, 자전거 타기 및 걷기 등을 통해 2MtCO₂e 감축 효과
친환경 항공 및 선박	<ul style="list-style-type: none"> • 지속가능한 친환경 연료 기반의 항공 및 선박 도입을 위한 연구개발 투자 확대 • 청정 선박 실증 프로그램 운영을 위하여 2천만 파운드 투자 • 2032년까지 청정 선박으로 1MtCO₂e, 2050년까지 SAF(Sustainable Aviation Fuel)로 약15MtCO₂e 감축 효과
그린빌딩	<ul style="list-style-type: none"> • 2028년까지 60만개의 히트펌프를 설치하여 난방 에너지 효율 개선 및 온실가스 배출 감축 • 2023~2032년간 71MtCO₂e 또는 2018년 영국 배출량의 16% 감축 효과
CCUS	<ul style="list-style-type: none"> • 10억 파운드의 CCUS 인프라 펀드 조성 • 2030년 이산화탄소 천만 톤 포집능력을 갖추기 위한 CCUS 클러스터 6개 구축 • 2023~2032년간 약 40MtCO₂e 또는 2018년 영국 배출량의 9% 감축 효과
자연환경	<ul style="list-style-type: none"> • 4천만 파운드 자연경관 복구 펀드를 활용하여 장기적인 탄소포집 효과 개선 및 일자리 창출 • 기후변화적응 능력 향상을 위하여 홍수 위험 및 해안 지역에 약 52억 파운드 투자
녹색금융	<ul style="list-style-type: none"> • 런던을 녹색금융과 탄소시장의 중심으로 육성하기 위하여 탄소감축 기술개발 투자를 장려 • 탄소중립 혁신에 10억 파운드의 정부자금, 10억 파운드의 매칭펀드와 잠재적으로 25억 파운드의 후속 펀드를 민간으로부터 투자

※ 출처: 전은진 외(2021), "탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석"

제5절

독일

1. 온실가스 배출량 및 저감목표

- (배출 현황) 2021년 기준, 독일의 온실가스 총배출량은 7억 6,036만 톤 CO₂eq이며, 이 중 이산화탄소가 6억 7,880만 톤으로 89.2%를 차지³⁵⁾
 - 2021년 이산화탄소 배출량은 1990년 대비 약 35.6% 감소하였지만, 2020년 대비 약 4.9% 증가한 것으로 나타났으며, 2020년은 코로나19 팬데믹의 영향으로 2019년 대비 약 8.5% 감소
- (감축 목표) 영국과 마찬가지로 일찍이 온실가스 배출량 정점(1979년)을 기록했으며, 2030년 온실가스 배출량을 1990년 대비 65% 감축하고 2045년까지 '넷제로'를 달성하겠다는 목표를 선언



[그림 4-8] 독일 온실가스 배출량 추이 및 전망

※ 출처: Potsdam Institute for Climate Impact Research, Climate Watch, Climate Action Tracker

35) <https://di.unfccc.int>, 2024년 1월 9일 접속

2. 탄소중립 정책 추진 경과

- 독일 연방정부는 온실가스 감축을 위해 1998년부터 ‘에너지전환(Ener-giewende)’ 정책을 시행

 - 에너지전환 정책은 ‘핵에너지의 전면적 포기(Atomusstieg)’, ‘재생에너지 공급 확대’ 및 ‘화석연료 에너지의 감축’을 골자로 함
- 독일의 앙겔라 메르켈 총리는 2019년 5월 14일 ‘10차 피터스버그 기후대화(10th Petersberg Climate Dialog)’의 기조연설에서 독일의 2050년 탄소중립 목표를 선언³⁶⁾
- 독일연방정부는 2019년 10월 9일 2030년 기후 패키지(German government coalition’s 2030 climate package)로 「기후 행동 프로그램(Klimaschutzprogramm 2030)」 수립 및 「기후보호법(Klimaschutzgesetz)」 제정 계획 발표

 - 2019년 12월 16일 2030년 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 구체적인 이행계획으로서 「기후행동 프로그램(Climate Action Programme 2030)」을 수립³⁷⁾
 - 2019년 12월 17일 독일 최초의 기후변화대응 관련 법안으로서 「기후보호법(Klimaschutzgesetz)」이 발효되었으며, 2030년까지 온실가스 목표를 법제화
- 2021년 총선을 통해 출범한 제20대 의회는 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 65%, 2040년까지는 88% 감축하고 2045년까지 온실가스 중립을 달성한다는 목표를 설정
- 2021년 12월 취임한 녹색당 출신 로베르트 하베크 연방경제기후보호부 장관은 독일의 기후보호 중간 결산 결과, 전 분야에서 기후보호 조치가 불충분하며, 기존 속도보다 3배가량 빠르게 배출량을 줄이는 것을 목표로 새로운 재생에너지 정책패키지를 발표

 - 재생에너지 정책패키지는 독일이 2030년까지 총전력 수요의 80%까지 재생에너지로 충당하고 2035년까지 전력수요를 완전히 재생에너지로 전환하는 것을 골자로 함
- 2035년부터는 재생에너지로 독일 전력수요 전체를 충당한다는 목표로, 기존의 「재생에너지법(EEG)」, 「해상풍력에너지법(WindSeeG)」 및 「에너지생산기업규제법(EnWG)」, 「연방수요계획법(BBPIG)」 등도 개정될 예정³⁸⁾

36) 이구용·이민아(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(II): 기후정상회의 이후 G7 국가 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언”, p.12

37) Clean Energy Wire. “Germany’s 2030 climate action package”, (<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-2030-climate-action-package>), 2024년 1월 9일 접속

38) KOTRA(2022.4.20.). “독일, 재생에너지로의 ‘완전한 전환’ 위해 주요 에너지정책 개정 예정”, (https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=80&CONTENTS_NO=2&bbsGbn=242&bbsSn=242&pNttSn=193977), 2024년 1월 9일 접속

3. 탄소중립 관련 주요 법률 및 제도

- (기후보호법, Klimaschutzgesetz) 독일은 2015년 채택된 파리협정에 따라 2050년까지 탄소 중립을 실천하기 위해 2019년 12월 「기후보호법(Klimaschutzgesetz)」을 제정하고, 2021년 8월 개정

 - 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 65%(제정 당시의 목표는 55%), 2040년까지는 88% 감축하고, 2045년까지 온실가스 중립 달성이라는 목표를 설정
 - 2019년 12월에 제정된 「기후보호법(Klimaschutzgesetz)」에 대한 청소년기후행동 단체인 ‘미래를 위한 금요일’ 등이 제기한 위헌 소송에 2021년 4월 29일 독일 연방헌법재판소는 기후보호법이 일부 조항이 위헌이라고 결정하였으며, 이에 따른 개정명령 요청³⁹⁾
 - 헌법재판소의 기후보호법 개정명령에 따라 '21년 5월 12일 독일연방정부는 2045년 탄소중립 및 2030년까지 1990년 대비 65% 온실가스 감축에 대한 목표를 담은 기후보호법 개정안을 발표하고 '21년 6월 23일 채택⁴⁰⁾
 - 해당 목표 달성을 위해 △ 에너지효율 증가, △ 에너지소비량 감축, △ 재생에너지 확충이라는 세부 계획 수립
 - 2020년까지 1차 에너지소비량을 2008년 대비 20%, 2050년까지 50% 감축
 - 2030년까지 총전력 수요의 80%를 재생에너지로 충당하고, 2035년에는 전력수요를 완전히 재생에너지로 전환
- (재생에너지법, EEG) 2000년, 독일 연방정부는 기후변화를 막기 위해 재생에너지 사용을 확대하는 내용을 담은 「EEG 2000」을 제정⁴¹⁾

 - 제정 이후 에너지전환 정책, 일본 후쿠시마 원전 사고 이후 발표한 에너지패키지 등 여러 정부 정책과 시행사항에 맞춰 7차례 개정 진행
 - 2021년 총선 이후 새로운 정부가 시행한 기후보호 중간 평가 결과, 기존의 온실가스 감축 속도로는 2030년 기후목표 달성이 불가능하다고 판단하였으며, 이에 따라 재생에너지 보급 확대를 골자로 하는 새로운 재생에너지 정책이 명시된 「EEG 2023」 제정
 - 파리협정에 따라 온도 상승을 1.5°C로 제한하는 내용이 「EEG 2023」에 명문화

39) 국회사무처(2021.5.14.), “독일연방헌법재판소 연방기후보호법 일부 위헌 결정 및 향후”

40) https://www.gesetze-im-internet.de/englisch_ksg/englisch_ksg.pdf, 2024년 1월 9일 접속

41) <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/eeg.html>, 2024년 1월 9일 접속

〈표 4-20〉 독일 재생에너지법(EEG) 주요 내용

분류	세부 내용
EEG 2012	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년 재생에너지 보급목표를 기존(2009년 개정 당시)의 30%에서 35%로 상향 조정하고, 재생에너지 보급률을 2030년 50%, 2040년 60%, 2050년 80%로 설정 • 재생에너지원별 연방정부의 보상가 상향 조정 • 재생에너지원에 의해 생산되는 전력이 kWh(킬로와트시)당 확정가격이 보장되어 일반전기의 시장가를 훨씬 웃돌아 추가 비용이 소비자에게 전가되는 문제가 발생 • 정부가 이러한 소비자의 부담을 경감시키기 위해 대규모 설비 시설에 대한 지원을 소규모 설비 시설보다 더욱 확대하는 방침을 수립
EEG 2014	<ul style="list-style-type: none"> • 「EEG 2012」에 근거한 재생에너지 관련 정부 지원정책이 EU 내 공정한 경쟁을 저해한다는 이유로 EU에서 2013년 조사에 착수 • 이에 독일 정부는 EU 규정에 따른 수정안을 EU 집행위원회에 제출하였고, 개정된 「EEG 2014」는 EU 지침과 양립할 수 있다는 승인을 받음 • 「EEG 2014」는 평균 발전차액지원 기준가격을 인하하고 재생에너지 확대 속도를 조정하기 위한 재생에너지 신규설비 설치용량 상한을 규정 • 일정 규모 이상의 재생사업자는 발전차액지원제도가 아닌 도매 전력시장 직접판매 의무를 부과 • 발전차액지원제도를 점차 축소하고, 2017년부터 공개입찰제도를 도입해 재생에너지 부문에서 시장경쟁을 유도
EEG 2017	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지 시장 내 시장경쟁체계 도입과 더불어 전력공급망 구성의 합리화 등 패러다임의 전환을 추구 • 공공 입찰 모델과 관련해 3대 목표를 설정 <ol style="list-style-type: none"> ① 재생에너지 확충 기조는 유지하되 향후 입찰을 통해 사업 관리 ② 에너지발전시설 운영자 간 경쟁을 장려하고, 이를 통해 재생에너지 확충에 소요되는 비용 절감 ③ 소기업에서 대기업에 이르기까지 발전설비 운영기업의 다양성 유지 및 공정한 입찰 기회 부여
EEG 2021	<ul style="list-style-type: none"> • 온실가스 중립을 달성하기 위한 중간목표 명시 • 기후보호프로그램에 따라 2021년부터 열(난방)과 교통 부문에 이산화탄소 배출에 대한 부담금 부과 • 100kW 이하 태양광 발전설비에 대해 제공되는 보조금 지급 대상을 임차인에게까지 확대 • 재생에너지 발전비중 목표가 상향(50% → 65%)됨에 따라 전력망 확충계획도 추가적으로 수립 • 재생에너지 발전설비를 기존의 재정지원에서 시장원리에 의한 확대 방식으로 전환을 꾀하기 위해 연방정부의 주기적인 보고서 발행 및 진행사항 조사

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

4. 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향

□ 「기후행동프로그램 2030」 내 연구개발 및 혁신에 대한 24개 분야 중점기술 제시⁴²⁾

- 「기후행동프로그램 2030」은 연구개발 및 혁신에 대한 기본원칙은 목표를 달성하기 위한 모든 기술의 옵션을 열어두고, 포괄적이고 체계적인 접근 방식을 추구하며, 새로운 기술은 초기 연구개발 시부터 기후행동, 경제적 영향 및 사회적 수용을 고려해야 하는 것을 포함

〈표 4-21〉 독일 기후행동프로그램의 24개 중점 연구개발 분야

구분	프로그램명	시행시기	세부 내용
1	산업분야 온실가스 감축량 저감	- '20년부터 5년간 - '25년부터 5년간	<ul style="list-style-type: none"> 독일 총 온실가스 배출량의 8%가 산업의 생산 공정에서 발생함 철강, 시멘트 및 석회, 화학물질 등 주요 산업분야에서 온실가스를 직접적으로 감축하는데 기여하는 공정 및 공정의 조합을 연구개발함
2	에너지 효율화 및 기후행동에 대한 중소기업 혁신연구 자금	'19년 8월	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 및 에너지 효율성과 관련된 신제품 및 프로세스를 통해 시장에서 성공적인 발판을 마련할 수 있는 기회를 중소기업(SME)에게 제공하는 자금지원 프로그램 자금지원지침의 새버전은 기후행동계획 2050에 대한 구체적인 언급을 포함해야 함
3	에너지 연구 강화	'20~'30년	<ul style="list-style-type: none"> 특정기술에 얽매이지 않는 체계적인 접근방식을 사용 2050년을 목표로 하여 연구개발부터 보급까지 리드타임이 길기 때문에 응용 중심의 에너지 연구를 강화함 에너지소비부문(에너지 효율화 및 재생에너지원 사용), 에너지생산(특히 풍력 및 PV), 시스템통합(그리드, 에너지저장, 분야 간 결합), 에너지전환(디지탈화 및 자원 효율성) 등을 다룸
4	기초·응용연구개발 단계의 에너지지전환 연구	- (1단계) '20~'22 - (2단계) '22~'24 - (3단계) '24~'26	<ul style="list-style-type: none"> 1단계에서는 에너지 전환을 위한 4개의 프로젝트 그리드 (Kopernikus ENSUREprojects), 에너지저장(Power-to-X projects), 산업공정(SynErgie projects), 시스템통합(Enavi projects)에서 에너지 시스템을 재구성하기 위한 기술 및 경제적 솔루션을 개발 2, 3단계에서는 기초·응용연구개발단계에서의 전원공급장치에 생산프로세스를 적용하고, 새로운 그리드 구조를 개발하는 것을 목표로 함. PtX 프로젝트는 장기적으로 경제적으로 실행 가능한 녹색수소를 생산하는 것을 초점으로 둠
5	합성연료 연구 이니셔티브	'20~'24년	<ul style="list-style-type: none"> 그을음 없이 연소하고 CO₂ 배출을 줄이는 합성연료인 옥시메 탈렌에테르(OME)를 사용하는 미래 모빌리티의 합성연료의 도입 및 대규모 생산
6	CO ₂ 활용에 대한 연구혁신	'20~'24년	<ul style="list-style-type: none"> 산업에서 배출되는 CO₂를 활용하는 연구개발을 통해 산업 및 제품의 탄소발자국을 줄이고, 자원순환경제로의 전환에 기여
7	에너지연구에 대한 스타트업 참여 확대	'19년부터 진행 중	<ul style="list-style-type: none"> 스타트업의 혁신적인 아이디어와 솔루션을 활용하기 위하여 스타트업-과학-학계-비즈니스파트너와 공동프로젝트를 시작하여 에너지 연구에 새로운 자극을 추가

42) 독일연방정부, "Climate Action Programme 2030", (<https://www.bundesregierung.de/breg-en/issues/climate-action>), 2024년 1월 9일 접속

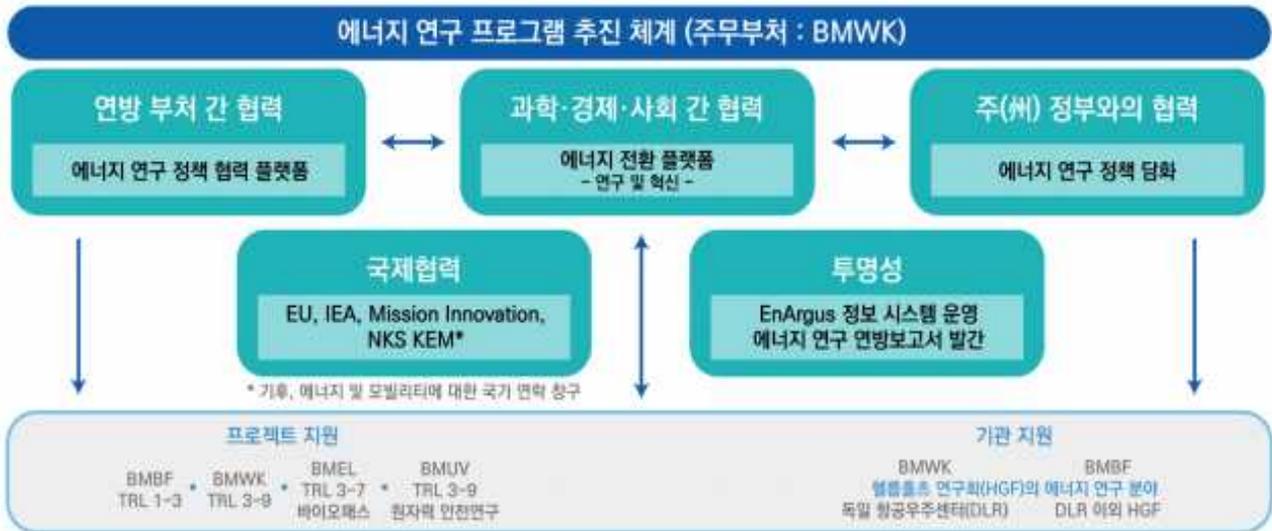
구분	프로그램명	시행시기	세부 내용
8	포괄적 개념의 배터리 연구	'20년부터 10년간	<ul style="list-style-type: none"> • 셀-배터리-활용까지 전체 배터리공급체인에서 역량을 구축하고 기술을 확장하는 것 • 배터리연구에 대한 모든 프로그램을 한 지붕 아래 통합하여, 액체 전해질을 사용하는 현재개념과 고체 배터리 또는 포스트 리튬시대를 위한 개념을 모두 사용하여 배터리 셀 제조의 기반을 마련하기 위한 지속가능한 구조를 만들
9	국가수소전략에 기여	'20년~	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지를 활용한 녹색수소의 생산은 기후행동의 핵심수단 • 그린연료로 수소를 생산하고 운송 및 활용까지 새로운 연구 및 실행조치를 개발하는 것이 목표
10	응용연구개발단계의 수소 연구개발	'20년 진행 중	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지를 통한 지속가능한 수소 생산 • 수소 저장 및 운송 • 연료생산을 위한 대기 중 CO₂ 분리 • 전해조에서 수소를 생산하고, 수소를 다른 화학에너지원으로 변환하여 전체 변환체인에서 효율성을 향상 • 고가의 원자재 대체, 표준화 또는 산업적 규모의 생산 공정사용을 통한 비용 절감 • 재생에너지 비중이 높은 에너지시스템과 통합 • 메탄을 수소와 elementary 탄소를 분리하는 메탄 열분해 • 에너지시스템의 장기적 안정성과 보안에 기여하는 분산형 접근법
11	수송부문 에너지전환 연구	'18년 진행 중	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 지향적 접근법으로 육상, 해상, 항공을 포함한 모든 수송분야에 혁신적인 기술개발을 하는 것
12	2개의 주요 이동수단	- (A) '22년~ - (B) (1단계) '22년~ (2단계) '25년	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템적 관점을 기반으로 한 사회와 혁신기술이 결합된 지속가능하고 효과적인 이동수단의 개발 - (A) 도시 내 개인적 이동 - (B) National Platform Future of Mobility(NPM)가 파악한 결과에 따른 기후행동에 대한 체계적 혁신의 장벽
13	에너지 전환과 사회	'19년 진행 중	<ul style="list-style-type: none"> • 교차 시스템 및 교차 기술기반의 에너지 전환 연구 • 예를 들어 에너지 전환의 사회적 프레임워크에 관한 교차 부문 분석, 변환 프로세스의 수용 및 참여에 대한 연구, 구조적 변화를 초래하는 결과에 대한 사회-경제적 연구
14	지속가능발전교육	'20~'22년	<ul style="list-style-type: none"> • 지속가능발전교육의 국가행동계획(NAP, National Action Plan)에 대한 다양한 조치를 지원 • 지속가능한 발전을 위한 교육을 교육 구조에 포함시키는 것이 성공적일 수 있는지 나타냄
15	지속가능한 개발을 위한 직업교육 및 훈련	'20~'24년	<ul style="list-style-type: none"> • 학생, 연수생, 사업주 및 경영진의 지속가능성 관련 기술개발 및 기술변화를 거친 업무 프로세스를 지속가능하게 만들기 위한 국가 지속 교육 전략에 따른 전문가에 의한 핵심 기술이전과 관련 있음
16	청소년 정책으로서 기후행동	'20~'25년	<ul style="list-style-type: none"> • 청소년 정책으로서 기후행동을 목표로 하는 핵심기금을 설립하여 청소년을 위한 기후교육 및 참여에 관한 프로젝트와 이니셔티브에 소액자금을 제공
17	기후디지털혁신허브	'20년 진행 중	<ul style="list-style-type: none"> • 비즈니스, 과학, 학계, 정치 사이의 네트워킹에 초점을 맞춘 기후디지털혁신 허브의 시작 및 자금을 조달 • 디지털 혁신에 대한 경험과 아이디어를 공유하고, 기후변화 완화를 위한 디지털 기술을 활용하고, 비즈니스 모델을 개발함으로써 기후행동분야에서 애플리케이션 중심의 연구개발을 강화

구분	프로그램명	시행시기	세부 내용
18	디지털기술의 탄소발자국 감축 연구	'20년부터	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털기술에 대한 CO₂를 줄이기 위한 기술적 해결책 개발 • 프로세서 또는 클라우드와 관련된 ICT와 같은 데이터 처리 및 스토리지 구성요소가 소비하는 에너지를 감축하는 기술을 개발
19	에너지전환의 디지털화	'19년 진행 중	<ul style="list-style-type: none"> • 유연하고 효율적인 에너지분산발전을 위해서는 디지털화가 필요하며, 동시에 디지털화는 더 큰 복잡성으로 이어지며 추가적인 의존성을 발생시킴 • 디지털화와 자동화가 계속 진행됨에 따른 에너지 시스템의 신뢰성과 보안성을 강화하기 위한 기술개발
20	금융과 기후행동	'19/'20/'22/'25년	<ul style="list-style-type: none"> • 독일의 강력하고 유능한 연구 커뮤니티가 금융분야와 기후행동의 주제 영역을 다룰 수 있도록 역량을 구축
21	농림업의 기후행동연구	'20년부터	<ul style="list-style-type: none"> • 토양과 숲의 싱크(sink)기능을 강화하고, 토양이용 전략과 기후친화적 농장, 투입 및 생산체인을 개발하는 것
22	신바이오경제 전략	'19년 3분기부터	<ul style="list-style-type: none"> • 화석기반 제품의 부분대체와 소비재의 재활용/재처리를 통해 지속가능하게 생산된 바이오 기반 제품과 바이오 기반 생산공정을 개발
23	미래건축연구	'20년부터 10년간	<ul style="list-style-type: none"> • 미래지향적이고 비용효율적인 건설을 위한 기술적, 조직적 혁신을 실제로 시험하며, 따라서 실무로의 보급을 지원
24	에어로졸, 클라우드 및 미량가스 연구	'20년부터	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽 16개국의 연구기관은 에어로졸, 클라우드 및 미량가스 연구 인프라 (ACTRIS)를 결정하였으며, 독일은 현재 옅저버 역할을 하는 유일한 국가 • 기후행동과 대기오염통제에 대한 미래 정책 결정을 위한 과학적 기초를 제공하는 매우 중요한 연구

※ 출처: 이구용·이민아(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(II): 기후정상회의 이후 G7 국가 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언”

■ 에너지 전환 및 온실가스 감축 분야 기술혁신을 담당하는 대표적인 연구혁신 이니셔티브로 ‘에너지 연구 프로그램(Energieforschungsprogramm)’ 운영

- 현재 「제7차 에너지 연구 프로그램」(2018~2022) 실시 기간에 해당하며, 제7차 에너지 연구 프로그램은 “에너지 전환을 위한 혁신(Innovationen für die Energiewende)”을 가치로 하고 있으며, 지속적인 에너지 전환 목표를 반영하여 추진⁴³⁾
 - 에너지 공급 시스템 가치 사슬 전반에 걸친 에너지 전환을 위한 기후 친화적 혁신 R&D를 지원하는 동시에 연구성과가 시장에 바로 적용될 수 있도록 지원
 - 연방경제기후보호부(이하 BMWK), 연방교육연구부(이하 BMBF), 연방식량농업부(이하 BMEL), 연방원자력 안전·소비자보호부(이하 BMUV)* 등 4대 부처의 연계·협력 형태로 추진
- 에너지 연구 프로그램은 BMWK를 주무부처로 하며, 프로젝트 지원 및 기관 지원 부문에서는 부처별 역할(연구개발단계/소관 분야 등)을 고려하여 분담하여 운영
 - (프로젝트 지원) TRL 시스템(TRL 1~9)을 기반으로 기초연구 소관 부처인 BMBF와 상용화를 담당하는 BMWK가 역할을 분담하되, 농업/원자력 소관 부처인 BMEL/BMUV의 부처 고유 임무 영역과 밀접한 분야(바이오매스 활용 에너지, 원자력 안전 연구)는 해당 부처의 관할로 별도 관리
 - (기관 지원 영역) 헬름홀츠 연구회(HGF) 에너지 연구 분야에서 BMWK가 독일 항공우주센터 (DLR) 지원을, BMBF가 DLR을 제외한 HGF의 기관 지원을 담당하는 형식으로 역할 분담



[그림 4-9] 독일 에너지 연구 프로그램 추진 체계

※ 출처: 조민선·전은진·손지희(2023), “독일의 에너지 연구 프로그램 최신 투자 동향”

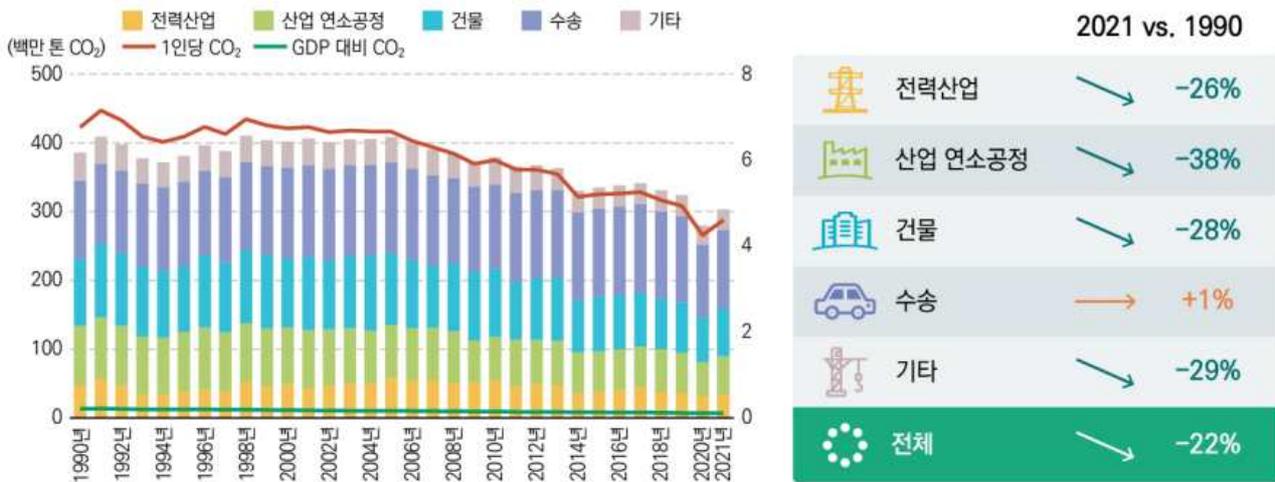
43) 조민선·전은진·손지희(2023), “독일의 에너지 연구 프로그램 최신 투자 동향”

제6절

프랑스

1. 온실가스 배출량 및 저감목표

- (배출 현황) 2021년 기준, 프랑스의 온실가스 총배출량은 4억 2,006만 톤 CO₂eq이며, 이 중 이산화탄소가 3억 2,091만 톤으로 76.4%를 차지⁴⁴⁾
 - 2021년 이산화탄소 배출량은 1990년 대비 약 19.6% 감소하였지만, 2020년 대비 약 8.3% 증가한 것으로 나타났으며, 2020년은 코로나19 팬데믹의 영향으로 2019년 대비 약 10.7% 감소
- (감축 목표) 프랑스는 2050년까지 탄소중립 달성을 목표로 2019년 11월 「에너지기후법」을 제정하였으며, 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 39.5% 감축할 것으로 목표로 설정⁴⁵⁾
 - 1990년 대비 수송 분야에서 배출량이 1% 증가한 것을 제외하고, 전력 산업 26%, 산업 연소공정 38% 등 모든 분야에서 감소하는 추세



[그림 4-10] 프랑스의 분야별 온실가스 배출량(1990~2021년)

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

44) <https://di.unfccc.int>, 2024년 1월 11일 접속

45) 세계법제정보센터(2022.4.21.), “세계 각국의 온실가스 감축 목표 및 관련 법령”, (https://world.moleg.go.kr/web/dta/lgsITrendReadPage.do?CTS_SEQ=50035&AST_SEQ=3891&ETC=4), 2024년 1월 11일 접속

2. 탄소중립 정책 추진 경과

- 프랑스는 2015년 8월, 「LTECV」를 제정하여 파리협정에서 정한 2050년까지 탄소중립을 실천하고, 전 세계적 에너지전환 움직임에 동참할 것을 약속⁴⁶⁾
 - 「LTECV」에 근거하여 SNBC가 도입됨. SNBC는 2050년까지 탄소중립 달성을 목표로, 전 부문에서 저탄소 순환 경제로의 전환을 이행하기 위한 지침을 제시
- 2019년 11월, 프랑스 정부는 2050년 탄소중립 목표를 법제화하는 ‘에너지·기후법(à l’énergie et au climat)’을 제정⁴⁷⁾
 - 2050년 탄소중립 목표에 찬성하여 온실가스 배출량은 1990년의 1/4 수준으로 감축
 - 원자력 비중에 대한 현재 75%에서 50%로 줄이는 목표를 2025년에서 2035년으로 연기
 - 2030년까지 화석연료 에너지 비율을 40%에서 30%로 감축
- 2020년 9월 3일 프랑스 경제를 회복시키고 “미래의 프랑스”를 만들기 위해 향후 2년간(‘21~’22년) 1,000억 유로 규모의 단기적 경기회복 계획으로 「프랑스 재개(Plan de Relance)」을 수립
 - “생태(Écologie)”, “경쟁력(Compétitivité)”, “응집력(Cohésion)”으로 구분하여 정책 수립하고, 1,000억 유로 중 300억 유로는 “생태(Écologie)”의 녹색 경기회복을 위한 자금으로 활용

〈표 4-22〉 프랑스 재개의 3대 분야 및 분야별 세부 분야

생태(Écologie)	경쟁력(Compétitivité)	응집력(Cohésion)
① 건물 에너지 혁신 ② 산업 탈탄소화 ③ 녹색 교통 ④ 녹색 수소 ⑤ 생물다양성 및 인공화	① 기업세금 ② 기업자금 ③ 기술권	① 건강 보장자 ② 청년 ③ 직업교육 ④ 고용보장 ⑤ 극빈층을 위한 예외적 지원 ⑥ 영토

※ 출처: 이구용·이민아(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(Ⅱ: 기후정상회의 이후 G7 국가 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언)”

- 2023년 10월, 미 IRA 대응과 일자리 창출, 탄소배출량 감축 등을 목표로 ‘녹색산업법(Projet de loi sur l’industrie verte)’을 공표
 - 녹색산업 관련 세액 공제 및 신축 공장 허가 기간 단축, 민간자금 동원, 인력 양성 등과 함께 탄소발자국을 반영한 전기차 보조금 산정기준을 제시

46) 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”, p.118

47) 이구용·이민아(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(Ⅱ: 기후정상회의 이후 G7 국가 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언”, p.18

3. 탄소중립 관련 주요 법률 및 제도

- ▣ (녹색성장을 위한 에너지전환에 관한 법률(LTECV)) 2015년 8월 17일 발표, 「LTECV」는 기후변화 대응 강화, 에너지 믹스(Energy mix) 등 탄소 감축을 위한 활동과 이를 통한 경제성장 등의 내용을 포함

〈표 4-23〉 프랑스「LTECV」의 주요 내용

분류	세부 내용
감축목표	<ul style="list-style-type: none"> • 장기 기후목표로, 2050년 온실가스 배출량을 1990년 대비 75% 감축이 목표 - 2050년까지 최종에너지 소비량을 2012년 대비 50% 감축 - 2030년까지 화석연료에너지 소비량을 2012년 대비 30% 감축 - 2025년까지 전력 생산에서 원자력 발전 비중을 50%로 감축
국가에너지·기후 틀(frame) 도입	<ul style="list-style-type: none"> • 다년도에너지계획(Programmations Pluriannuelles de l'Energie, PPE) 도입 • 저탄소국가전략(Stratégie Nationale Bas-Carbone, SNBC) 도입 • 그 외 PPE, SNBC를 보완할 에너지·기후 계획 수단 마련
감축조치 부문	<ul style="list-style-type: none"> • 구건물 리모델링 • 신축건물 에너지 효율화 • 청정교통 개발 • 폐기물 감축 및 순환경제 • 재생에너지 개발 • 원자력에너지 안정성

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

- ▣ (에너지·기후법) 「에너지·기후법」은 환경·기후 문제에 대응하고 2050년까지 탄소중립을 실현하기 위해 2019년 제정되었으며, 국가 차원의 기후정책에 대한 범위, 달성목표 등을 규정

- 「에너지·기후법」에서 정한 재생에너지 및 탄소중립 주요 정책은 다음의 표와 같음.

〈표 4-24〉 프랑스 「에너지·기후법」상의 재생에너지 및 탄소중립 관련 정책

주제	세부 내용
화석에너지로부터의 점진적 탈 의존화 및 재생에너지 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 2022년까지 석탄을 사용한 전기 생산 중단 • 신규 건설되는 물류창고, 슈퍼마켓, 주차장 그늘막에 태양광 패널 설치 의무화 • 지열에너지 사용 또는 태양광 설치가 용이하도록 관련 계획(프로젝트)의 환경 평가에 대한 법적 기반 구축 • 수소 생산 라인 지원
에너지낭비주택 퇴출	<ul style="list-style-type: none"> • 프랑스의 모든 에너지낭비주택(passoire thermique)에 대해 2030년까지 리노베이션 공사를 진행 • 에너지낭비주택 퇴출을 위해, 2021~2028년에 걸쳐 3단계 액션 플랜 수립 - 2021년부터 에너지낭비주택 소유자는 리노베이션 공사를 하지 않고 새로운 세입자를 들일 경우 임대료를 인상할 수 없음 - 2022년부터 에너지낭비주택의 판매 또는 임대 시 에너지 성능진단서(diagnostic de performance énergétique, DPE)에 에너지 감사(audit énergétique) 항목을 추가해야 함 - 2023년부터 극도로 비효율적인 에너지낭비주택에 대해서는 ‘부적절 주택’으로 분류하여, 주택 소유주가 의무적으로 리노베이션 공사를 진행하도록 하거나 더 이상 임대하지 못하도록 함

주제	세부 내용
기후정책 평가, 거버넌스, 운영을 위한 새로운 도구 수립	<ul style="list-style-type: none"> 고등기후위원회의 독자적인 기후 전략 및 정책 평가 2023년부터 5개년 계획법(Loi de programmation quinquennale)이 제정되어 재생에너지, 에너지소비, 화석에너지 사용 중단 등에 관한 에너지 목표 수립 정부의 '녹색 예산(재정 법안의 환경 영향에 대한 연례 보고서)' 작성 의무

※ 출처: 국회도서관(2023), "탄소중립 한눈에 보기"

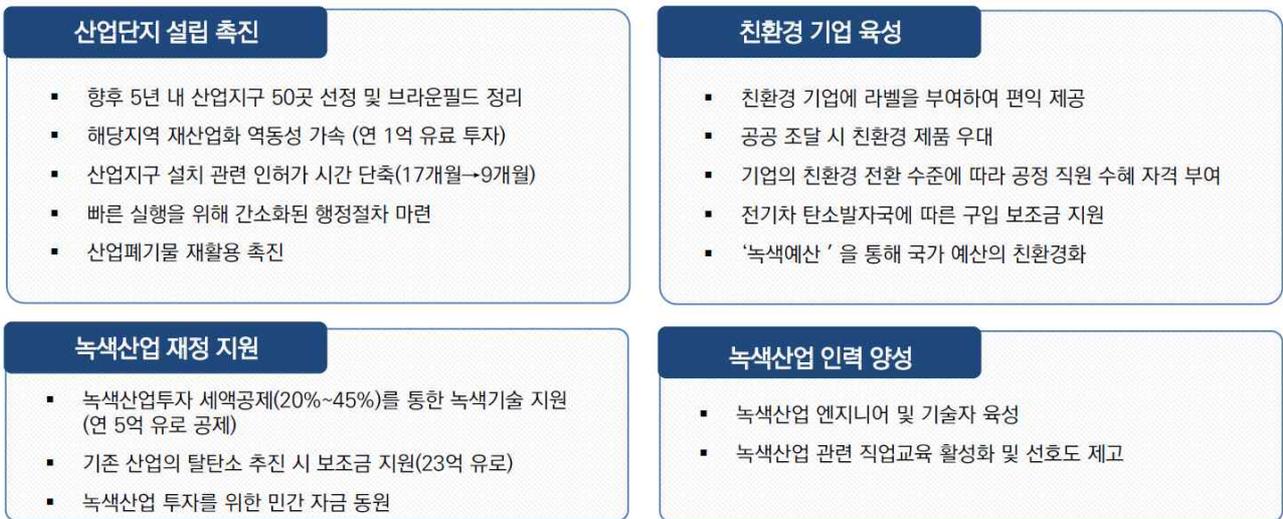
- (저탄소국가전략, SNBC) SNBC는 2050년 탄소중립 달성을 위해 국가의 공공정책이 나아가야 할 방향을 제시하고 있으며, 5년마다 갱신⁴⁸⁾
 - (건물 부문) 2015년 대비 2030년까지 49% 감축, 2050년 완전 탈탄소화
 - (농업 부문) 2015년 대비 2030년까지 19% 감축, 2050년 46% 감축
 - (수송 부문) 2015년 대비 2030년까지 28% 감축, 2050년 완전 탈탄소화
 - (건물 부문) 2050년까지 탄소흡수원 극대화
 - 2050년경에도 여전히 비에너지 부문(농업, 산업공정)에서 탄소 배출이 불가피하게 발생할 수 있어, 탄소중립을 달성하기 위해서는 자연적 탄소저장고(puits de carbone naturels: 삼림, 목재, 농지 등)를 확대하고 탄소포집기술을 개발해야 함
- (기후와 회복법, Climat et Résilienc) 2021년 8월에 제정되었으며, 2030년까지 온실가스를 1990년 대비 55%이상 감축하기 위한 5가지 주제(소비패턴과 식단, 경제생산모델, 여행, 주택 및 토지 인공화, 환경)에 대한 100가지 조항이 포함
 - 구체적으로 노후차량 금지, 2시간 30분 이내 국내선 금지, 에너지효율개선 보조금 지원, 지속 가능한 개발에 대한 수업 동비, 포장지에 탄소점수 표시 등 일상생활에서 온실가스 감축에서 지켜야 할 수칙이 있음

48) 국회도서관(2023), "탄소중립 한눈에 보기", p.122

■ (녹색산업법, Projet de loi sur l'industrie verte) 2023년 10월 제정, 녹색산업 관련 세액 공제 및 신축 공장 허가 기간 단축, 민간자금 동원, 인력 양성 등과 함께 탄소발자국을 반영한 전기차 보조금 산정기준을 제시

● 산업단지 설립 촉진, 녹색산업 재정지원, 친환경기업 육성, 녹색산업 인력 양성의 4가지의 중점 과제와 15개의 세부 이행방안으로 구성

- 산업단지 설립 촉진을 위해 산업부지 2,000헥타르의 토지를 수용, 2023년부터 매년 1억 유로의 예산 투자, 환경승인 절차 간소화 등 포함
- 녹색산업투자 시 20~45% 세액공제 및 R&D 보조금 등 지원
- 친환경 기업에 라벨 부여 및 편의 제공, 전기차 탄소발자국에 따른 보조금 등
- 녹색산업 인력 양성을 위한 학교 증설, 교육자금 조달 등



[그림 4-11] 프랑스 녹색산업법의 주요 내용

※ 자료: 프랑스 경제, 재무 산업 및 디지털 주권 부처 홈페이지(<https://www.economie.gouv.fr/industrie-verte-presentation-projet-loi>)를 토대로 저자 작성. 신동원 외(2023)에서 인용

● 산업단지 설립 촉진

- 프랑스는 인프라 개발, 환경 연구, 공해 제거 등을 위한 산업부지 개발비용을 위한 'France 2030' 투자 계획⁴⁹⁾을 발표하고, 정부는 지자체와 협력하여 산업부지 2,000헥타르의 토지를 수용하며, 해당 지역의 산업 투자 지원을 위해 2023년부터 매년 1억 유로의 예산을 투자
- 환경승인 절차를 간소화하여 승인 취득 기간을 평균 17개월에서 9개월로 단축하도록 규정

49) France 2030: 프랑스의 미래산업 육성을 위한 국가투자계획(340억 유로)으로 5년에 걸쳐 300억 유로의 보조금과 40억 유로의 자금조달계획이 포함되어 있으며, 2022년에는 할당된 35억 유로 중 28억 4천만 유로는 보조금으로, 6억 6천만 유로는 지분투자로 배정(출처: 국회도서관, 최신 외국입법정보)

● 녹색산업 재정 지원

- 녹색산업투자(Investissements Industries Vertes) 세액공제는 차세대 배터리, 태양광 패널, 풍력터빈 및 열펌프 생산에 필요한 유형 및 무형의 투자를 하는 기업을 대상으로 2024년부터 도입
- 세액공제 기준은 투자비용에 비례해서 20~45% 범위로 적용되며, 그 외에 세액공제가 적용되지 않는 부문은 R&D 투자와 관련 추가 보조금을 지급
- 기존 산업의 탈탄소화와 기업의 친환경 전환을 지원하기 위해 기업규모나 분야에 상관없이 5백만~1천만 유로의 녹색 대출과 보증, 중소기업을 위한 탈탄소화 보조금 등이 지원
- 프랑스 공적부문 투자은행(BpiFrance)⁵⁰⁾을 통해 에너지와 환경, 글로벌 기후기금에 4억 5천만 유로 지원

● 친환경 기업 육성(전기차 보조금 개편안)

- 친환경 전환 공적 지원 대상 기업들을 식별하기 위해 환경영향 진단을 시행하여 친환경 선도 기업에는 'Triple E' 라벨을 부여하고 '녹색예산'을 통해 국가 지출의 환경영향을 공개
- 탄소발자국을 반영한 전기차 보조금 개편에 따라 프랑스는 차량 생산에서 운송까지의 전 과정에서 온실가스 배출을 고려함으로써 환경적으로 가장 유익한 차량을 지원

● 녹색산업 인력 양성

- 2027년까지 50,000명의 엔지니어를 양성, 엔지니어 학교 22% 증설, 200개의 녹색산업 학교 설립 등이 명시되어 있으며, 교육자금 조달을 위해 'France 2030'에서 7억 유로 지원 등이 규정

50) 각 개발 단계에서 대출, 보증, 혁신 및 형평성 지원을 통해 기업에 자금을 지원함으로써 국가와 레지옹에서 시행하는 공공 정책을 지원하는 은행

4. 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향

- 2020년 9월, 프랑스 정부는 COVID-19로 인한 경기회복의 일환으로 에너지 분야를 포함한 단기 대책(「프랑스재개(Plan de relance)」) 수립
 - 「프랑스재개(Plan de relance)」에서 탄소중립 관련 기술개발은 “생태(Ecologie)” 부분에 해당되며, “경쟁력(Competitivite)”, “응집력(Cohesion)”으로 구분하여 정책 수립하고, 1,000억 유로 중 300억 유로는 “생태(Ecologie)”의 녹색 경기회복을 위한 자금으로 활용

〈표 4-25〉 프랑스 프랑스재개 내 탄소중립 관련 내용

구분	주요 내용
건물 에너지혁신	• 주택, 학교 등 공공건물 등 건물의 에너지혁신에 총 67억 유로 투자
산업 탈탄소화	• 산업공정의 전기화 및 에너지효율 개선, 저탄소 에너지원으로 전환에서 발생하는 비용을 보상 등에 산업 탈탄소화 12억 유로 투자
녹색 교통	• 저탄소 철도 기술개발을 위해 47억 유로 투자
녹색 수소	• 지역 기업 프로젝트 지원, 수전해 수소 기술개발, 유럽 공동이익 주요 프로젝트 전략포럼(IPCIE·Important Projects of Common European Interest) 등 수소개발을 위하여 '21~'22년 20억 유로를 포함하여 '30년까지 70억 유로 투자

※ 출처: 이구용·이민아(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(II): 기후정상회의 이후 G7 국가 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언”

- 2021년 10월, 프랑스 정부는 ‘프랑스 2030(France 2030)’ 대규모 투자계획을 발표하여 향후 5년간 에너지/산업, 수송 등의 여러 분야에 300억 유로 투자를 발표하였으며, 달성해야 할 10개 목표 중 6개를 탄소중립과 연계⁵¹⁾
 - 프랑스는 원전에 대한 점진적 축소계획을 추진해왔으나, 이번 계획을 통해 소형 모듈형 원자로 (SMR)과 폐기물 관리개선에 10억 유로를 투입하겠다는 계획
 - 또한 2030년까지 원자력, 재생에너지를 활용한 그린 수소·연료전지 등을 생산하는 GW급 발전소를 건설하고, 이와 함께 풍력, 태양광 등에 5억 유로 투자계획 발표
 - 철강, 시멘트, 화학공정 상 배출되는 CO₂ 감축에 디지털 및 로봇기술 등을 산업 탈탄소화에 활용
 - 2030년까지 200만대의 전기 및 하이브리드 차량 및 최초의 저탄소 항공기를 생산
 - 디지털, 로봇, 유전 기술을 활용하여 식품에서 배출할 수 있는 이산화탄소를 저장

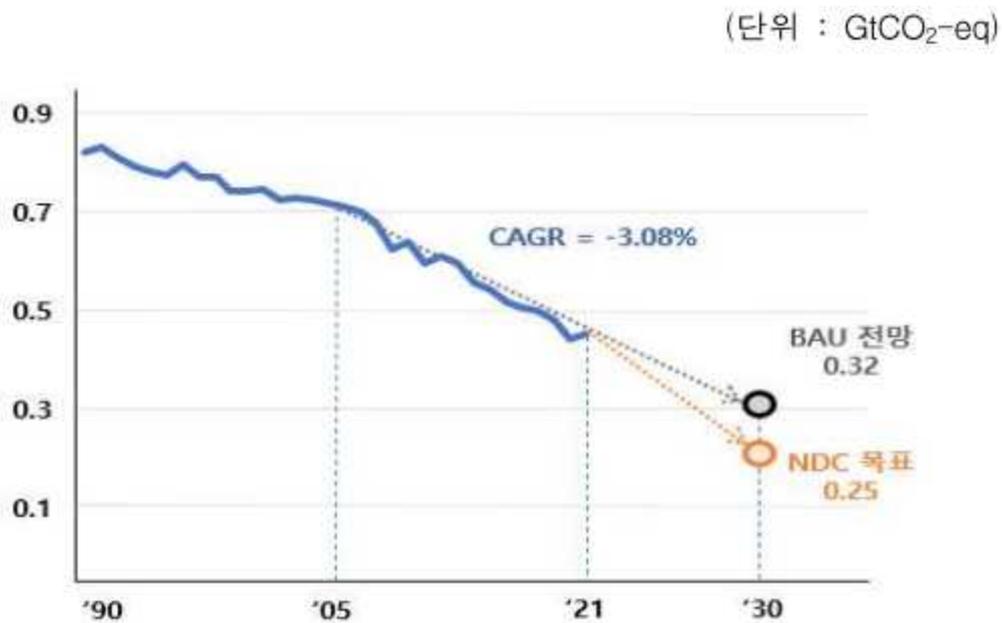
51) 이구용·이민아(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(II): 기후정상회의 이후 G7 국가 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언”, p.19, p.29

제7절

일본

1. 온실가스 배출량 및 저감목표

- (배출 현황) 2021년 기준, EU의 온실가스 총배출량은 11억 6,899만 톤 CO₂eq이며, 이 중 이산화탄소가 10억 6,213만 톤으로 90.1%를 차지⁵²⁾
 - 2021년 이산화탄소 배출량은 1990년 대비 약 8.2% 감소하였지만, 2020년 대비 약 2.1% 증가한 것으로 나타났으며, 2020년은 코로나19 팬데믹의 영향으로 2019년 대비 약 5.9% 감소
- (감축 목표) 일본 정부는 2050년까지 온실가스 배출을 제로로 하는 탄소중립을 선언하였으며, 2030년까지 온실가스를 2013년 대비 42% 감축하겠다는 목표를 제시
 - 일본은 G20 국가 중에서 5번째로 가장 많은 온실가스 배출을 하는 국가로 나타남⁵³⁾



[그림 4-12] 일본 온실가스 배출량 추이 및 전망

※ 출처: Potsdam Institute for Climate Impact Research, Climate Watch, Climate Action Tracker

52) <https://di.unfccc.int>, 2024년 1월 13일 접속

53) 한국경제인협회(2023), “주요 탄소 배출국 2030 NDC 목표 달성 전망”

2. 탄소중립 정책 추진 경과

- 일본은 1998년 「지구온난화대책 추진에 관한 법률(地球温暖化対策の推進に関する法律)」을 제정하고 이를 근거로 관련 정책들을 마련하여 실시
- 일본은 2020년 10월 26일 스가 요시히데 일본총리에 의해 “환경과 경제 선순환”을 근간으로 하는 2050 탄소중립을 선언
- 2021년 4월, 기후정상회의 ‘기후변화 대응목표 상향(Raising Our Climate Ambition)’ 세션에서 2030년까지 온실가스 배출량을 2013년 대비 종전의 26%에서 46%로의 감축에 대한 상향 목표 제시
- 상기 상향목표를 고려하여, 2021년 4월, ‘지구온난화대책 계획’을 개정하여 2030년까지 온실가스를 2013년 대비 46%(최대 50%) 감축하겠다는 목표를 표명
 - 같은 법 제2조 제2항 기본이념에 ‘2050년까지 탈탄소사회의 실현을 목표로 국민, 국가, 지자체, 사업자, 민간단체가 연계해서 실시해야 한다.’라고 명시
- 2021년 6월, 일본 경제산업성은 ‘2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략’을 수립
 - 산업정책·에너지정책의 두 가지 측면에서 2050년까지 성장이 기대되는 14개 중점분야(262)에 대한 국가의 구체적인 전망을 실행계획으로 수립하고, 예산·세제·금융 등을 활용하여 10년간 2조 엔의 그린이노베이션 기금을 조성하고 지원
- 2021년 6월, 2021년 6월, ‘2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략’에 근거한 ‘전국 지역 탈탄소 로드맵’을 수립
 - 내각관방, 경제산업성, 내각부 등 관련 부처의 정책 프로그램과 연계해 탈탄소사회 실현을 위해 현재 활용 가능한 최대한의 기술을 이용할 수 있도록 도모하는 것이 목적임
- 2021년 10월, 일본의 에너지 정책의 기본적인 방향성을 보여주는 제6차 ‘에너지 기본계획’이 각의(閣議)에서 결정
- 2022년 4월, 「전기사업법」, 「재생에너지특별조치법」, 「JOGMEC법」 등 3개 법률 중 에너지 보급과 관련된 부분만을 개정하여 별도로 명명한 「에너지 공급강인화법(エネルギー供給強靱化法)」을 시행

3. 탄소중립 관련 주요 법률 및 제도

- (지구온난화대책 추진에 관한 법률) 「지구온난화대책 추진에 관한 법률(地球温暖化対策の推進に関する法律)」은 온실가스 배출량 감축을 위해 국가, 지자체, 기업, 국민의 책임과 대책에 관한 기본 방침을 명시한 기후변화 관련 기본법
 - △ 지구온난화 대책을 위한 국가, 지자체, 사업자, 국민의 역할 및 규정 사항, △ 온실가스 산정·보고·공표제도, △ 지구온난화대책계획, △ 지구온난화대책추진본부의 설치, △ 온실가스 배출 억제를 위한 시책, △ 할당량계좌부 등을 규정
 - 2021년 5월, 「지구온난화대책 추진에 관한 법률」을 개정
 - 2022년 6월, 동법을 다시 개정하여 탈탄소 사업에 민간자금 출자제도, 정부의 지자체 재정상 지원 조치를 법적으로 정비
- (재생에너지특별조치법) 2050년 탄소중립을 목표로 재생에너지를 일본의 주력 전원으로 도입하는 등 재생에너지 보급을 위한 제도 강화 등의 내용을 포함
 - 「에너지공급강인화법(エネルギー供給強化法)」에 포함된 법으로서, 기존의 FIT 제도(고정가격매입제도)와 병행하여 전력수요 피크 시 축전지를 사용하는 등 공급량을 늘려 판매할 수 있는 FIP제도(Feed-In Premium)를 도입

〈표 4-26〉 일본 「재생에너지특별조치법」의 주요 내용

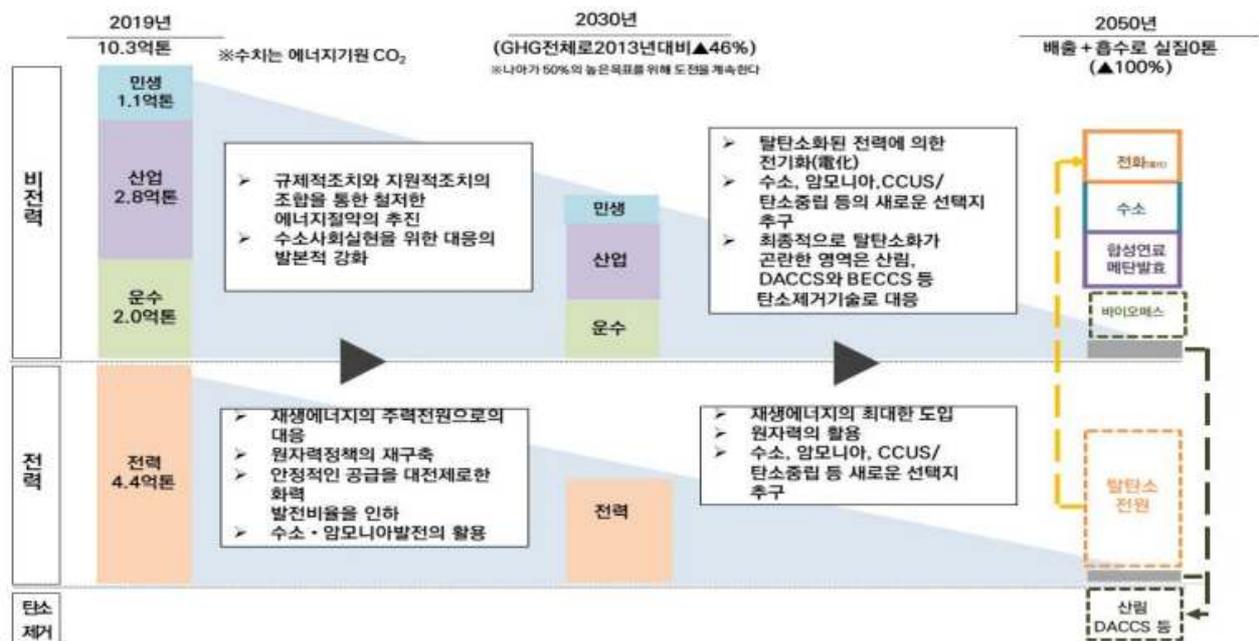
구분	주요 내용
FIP(Feed-In Premium) 제도 설치	• 고정가격매입제도(FIT)뿐만 아니라 전력시장 상황에 연동하여 전기 공급량을 늘려 전기를 팔 수 있는 FIP제도의 신설
재생에너지 설비의 송배전망 강화 및 이를 위한 재생에너지 부과금 신설	• 재생에너지 설비의 보급으로 잉여 전력이 늘어날 가능성도 있으므로 다양한 지역에서 재생에너지 전력을 소비할 수 있도록 송배전망의 강화를 법률에 포함 • 송배전망의 강화는 재생에너지 부과금으로 부담
재생에너지 발전설비 폐기에 관한 제도 신설	• 태양광 패널이나 태양광 발전설비의 적절한 폐기에 관한 규정 명기 • 폐기 비용 적립 의무화

※ 출처: 국회도서관(2023), “탄소중립 한눈에 보기”

- (탈탄소성장형 경제구조로의 원활한 이행 추진에 관한 법률) 2023년 5월, 일본은 탈탄소사회 실현을 위한 정책 지원을 강화하기 위해 「탈탄소성장형 경제구조로의 원활한 이행 추진에 관한 법률(脱炭素成長型 経済構造への円滑な移行の推進に関する法律, GX추진법)」을 제정

 - 일본 정부는 이 법에 근거하여 2023년부터 향후 10년간 약 20조 엔 규모의 자금을 출자하고 정부와 민간사업자금으로부터 150조 엔이 넘는 GX투자를 받을 계획
- (2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략) 2020년 12월, 일본은 경제산업성이 중심이 되어 ‘2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략’을 수립하고, 성장이 기대되는 14개 중점분야에 대하여 실행계획을 책정하고 구체적인 전망을 제시

 - 이후 2021년 6월 18일 2030년 온실가스 감축 목표 상향 계획에 따라 전략을 구체화하여 재공표
 - 2050년 전력분야 탈탄소화를 위해 재생에너지, 원자력, 수소·암모니아, CCUS 활용하는 탄소중립 실현 로드맵을 제시
 - 2050년 전력수요가 30~50% 증가할 것으로 가정할 때, 재생에너지 50~60%/원자력 및 CCUS/ 탄소리사이클을 활용한 화석연료 30~40%/수소·암모니아를 10%로 에너지믹스를 개선
 - 그리고 최종적으로 탈탄소화가 어려운 영역은 산림, 대기 중 직접 탄소포집장(DACCS), 바이오에너지 탄소포집장기술(BECCS) 등 CO₂ 제거기술로 대응하고자 함



[그림 4-13] 일본 2050년 탄소중립 실현 로드맵

※ 출처: 이규용·이민아(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(II): 기후정상회의 이후 G7 국가 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언”

〈표 4-27〉 일본 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략 주요 내용

14대 분야	주요 내용
1. 해양 풍력·태양광	<ul style="list-style-type: none"> • 해양 풍력: 도입 목표를 명시하고 국내외 투자 유치, 규제 총점검을 통한 사업 환경 개선 • 태양광: 2030년을 목표로 차세대형 태양전지 연구개발
2. 수소·연료 암모니아	<ul style="list-style-type: none"> • 수소: 2050년까지 2,000만 톤 도입 목표 설정, 수소발전 터빈 등의 실증실험 지원 • 연료 암모니아: 2050년까지 석탄 화력 50%를 목표로 기술개발 추진
3. 차세대 에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 2050년에 도시가스를 완전 탄소중립 도시가스(LNG → CNL) ※ '탄소중립 도시가스'는 천연가스 추출부터 연소까지 과정에서 발생하는 온실가스를 이산화탄소 배출권(탄소 상쇄)으로 상쇄하는 LNG(CNL)를 사용
4. 원자력	<ul style="list-style-type: none"> • 고속로(高速炉), 소형모듈기술, 고온가스로(炉)에서 수소 제조, 핵융합 연구개발 추진
5. 자동차·축전지	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차의 전동화 목표 설정(2035년 신차 판매 전동차 100% 실현), 축전지 목표 설정, 충전인프라 목표 설정
6. 반도체·정보통신	<ul style="list-style-type: none"> • 차세대파워 반도체 및 녹색 데이터센터 등의 연구개발 지원에 의한 2040년 탄소중립 실현
7. 선박	<ul style="list-style-type: none"> • 제로 에미션(zero emission, 폐기물 제로) 선박 기술개발, 에너지절약·저감 이산화탄소 배출량 선박 도입·보급 • LNG연료 선박의 고효율화
8. 물류·인류·토목 인프라	<ul style="list-style-type: none"> • 고속도로 이용 시 전동차 보급 추진, 드론 물류, 항만의 탄소중립화, 공항의 탈탄소화 추진
9. 식료·농림수산업	<ul style="list-style-type: none"> • 네거티브 에미션(Negative emission, 온실가스 농도 감소 기술)을 목표로 한 삼림, 목재, 해양의 활용
10. 항공업	<ul style="list-style-type: none"> • 항공기의 전동화 기술 확립, 수소 항공기 개발 및 항공기 경량화 등에 이바지할 새로운 재료의 도입 추진
11. 탄소 리사이클	<ul style="list-style-type: none"> • 이산화탄소 흡수형 콘크리트, 이산화탄소 회수형 시멘트, 합성연료, 배기가스에서 이산화탄소 회수 기술 등을 개발
12. 주택·건축물·차세대 전력 매니지먼트	<ul style="list-style-type: none"> • 주택의 에너지절약 향상을 위한 규제 조치 도입, 분산형 에너지를 활용한 에너지 절약형 주택 추진 • 재생에너지의 대량 도입에 따른 전력계통의 혼잡 완화를 해소하는 차세대전력 구축
13. 자원환경 관련	<ul style="list-style-type: none"> • 기술의 고도화, 저비용화 추진
14. 라이프스타일 관련	<ul style="list-style-type: none"> • 지구환경 빅데이터 활용 추진, 지역의 탈탄소화 추진

※ 출처: 국회도서관(2023), "탄소중립 한눈에 보기"

□ (Green Transformation) 2023년 7월 **그간의 탄소중립 정책을 총망라하는 'GX(Green Transformation) 추진전략 발표**

- 안정적인 에너지 확보, 성장지향형 탄소가격제, 국제협력 강화, 사회 전반에 걸친 GX 추진으로 구성
 - 안정적인 에너지 확보를 위해 제조업 구조 전환, 재생에너지, 원자력, 수소·암모니아, 이차전지, CCS 등 14개 분야에 대한 전략 수립
 - 10년간 20조엔 규모의 'GX 경제이행체'를 발행하고 탄소가격제 강화, 새로운 금융수단 활용
 - 아시아 에너지 전환 이니셔티브를 통한 국제 협력 등
 - 사회 전반에서의 공정 전환, 수요 창출, 중소·중견 기업 지원정책 마련

〈표 4-28〉 일본 GX 추진전략 '안정적인 에너지 확보' 주요 내용

에너지 효율화 제조업 구조 전환	에너지다소비업종에 에너지 전환기준 제시 및 기술개발 지원, 기업 대상 에너지 효율화 보조금 도입, 가정의 주택에너지 효율화 및 에너지 절약설비 도입 지원
재생에너지	2030년까지 재생에너지 비율 36~38%목표. 단기적으로 태양광 도입 확대, 육·해상풍력 경쟁력 강화
원자력	원전 재가동을 위해 연구개발, 국제제휴, 안전보안 정책 추진
수소·암모니아	수소·암모니아 공급망 구축을 위해 '수소기본전략' 아래 제도 구축과 인프라 정비를 진행
전력·가스 시장 정비	전력시장의 탈탄소화 실현을 위해 용량시장, 예비 전원제도, 장기 탈탄소전원육성을 도입·운영하고, 가스시장에 대해서는 천연가스로 전환, 발전설비 고효율화, 수소·암모니아 혼소·전소 추진, 양수 유지·강화, 이차전지 도입 촉진, CCS/카본리사이클기술 지원, 잉여 LNG 비축 등의 조치를 실시
자원외교	LNG 확보 지원, 국제 상호협력체제 구축
이차전지	2030년 이차전지 국내제조기반 150GWh 확립 목표 지원, CO ₂ 배출량 공개제도 시행, 전고체전지와 같은 차세대 전지 연구개발 지원
자원순환	자원순환시장 창출 지원, 플라스틱·금속 등 자원순환 기여설비 도입 지원, 디지털 기술을 활용한 CO ₂ 배출량 측정·정보공개 촉구조치 시행
운송	자동차, 항공기, 철도, 물류·인류(人流) 부문
디지털 투자	에너지효율화반도체, 데이터센터의 에너지효율화 환경 구축
주택건축물	2025년 모든 건축물 대상으로 '에너지효율화기준적합의무화' 실시 등
인프라	다양한 인프라를 활용한 재생에너지 도입 촉진 등
카본리사이클CCS	카본리사이클연료, 바이오 제조, CO ₂ 삭감 콘크리트, CCS 정책 실시
식량·농림수산업	'녹색식량시스템전략', 「녹색식량시스템법」에근거해 농림수산업 탈탄소화 투자 촉진

※ 자료: 신동원 외(2023)에서 인용

- (성장지향형 탄소가격제) 일본 정부는 ① GX 경제이행채를 활용한 선행투자 지원 ② 탄소가격제 강화 ③ 새로운 금융수단 활용을 위해 2023년부터 10년간 20조엔 규모의 GX 경제이행채를 발행하며, 조달 자금은 에너지대책 특별회계로 관리하여 2050년까지 상환할 계획

※ 일본은 「GX 추진법」 수립으로 인해 탄소가격제를 본격적으로 도입하고 세계 최초로 이행채권의 국채 버전인 'GX 경제이행채'를 발행 가능

- 일본 정부는 GX 경제이행채의 재원을 마련하기 위해 ① 배출권거래제(2026년 예정) 및 유상할당(2033년 예정) 제도 추진 ② 탄소부과금(2028년 예정) 도입 ③ 배출권거래제와 탄소부과금 제도의 조정·관리를 위한 GX 추진기구 설립 추진 예정
- 새로운 금융수단 활용을 위해 녹색금융 및 이행금융 확대를 위한 기준 명확화, 기술 로드맵 확충, 평가방법 확립, 혼합금융(공적자금+민간자금) 확대 방안을 마련할 예정
- 아시아 에너지 전환 이니셔티브를 통한 국제 협력 등 사회 전반에서의 공정 전환, 수요 창출, 중소·중견 기업 지원정책 마련 예정

4. 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향

- (그린이노베이션 기금) 경제산업성은 2020년 12월 발표한 그린성장전략에서 제시하고 있는 14개 중점분야를 지원하기 위해 2021년 3월 2조 엔 규모의 그린이노베이션 기금을 NEDO에 설치
 - 일본 정부는 상기 2조 엔의 기금(예산)이 민간기업의 연구개발과 설비투자 15조 엔을 유발하는 마중물 역할과 동시에 3,000조 엔의 전 세계 ESG 자금을 일본으로 끌어들이는 데 지대한 역할을 수행할 것으로 기대

〈표 4-29〉 일본의 그린이노베이션기금 사업 개요

14대 분야	주요 내용
지원 대상 분야	그린성장전략상 실행계획을 책정한 중점분야에서 야심적인 2030년 목표(성능, 비용, 생산성, 도입량, CO ₂ 감축량 등)에 도전하는 프로젝트
대상 사업자	상용화까지를 시야에 둔 기업 등이 대상. 중소·벤처기업, 대학·연구기관의 참여도 독려
프로젝트 기간	최장 10년. 연구개발·실증에서 상용화까지 장기에 걸친 지속적인 지원이 필요한 프로젝트를 지원. 단기간의 지원으로 충분한 프로젝트는 대상에서 제외
추진체계	경제산업성 → 사무국 기능. 기본방침 수립, 프로젝트 기획 등. 분야별 워킹그룹 → 프로젝트 내용·규모 등 심의, 프로젝트 진척 상황 체크. NEDO → 자금 관리·운용, 공모·심사·검사·지불 등 사무업무, 기술·사업에 대한 조언 등

※ 출처: 대외경제정책연구원(2022), “주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로”

- 2022년 9월 기준, 공모를 통해 진행 중인 그린이노베이션 기금 프로젝트는 총 19건이고, 1조 6,000억 엔을 예산을 책정한 상태
 - 전반적으로 수소공급망 구축, 수소제조기술 개발, 산업에서의 수소 및 CO₂ 활용 등 수소관련 사업이 많이 수행되는 중임
 - 산업에서의 저탄소화 및 에너지효율화 관련 기술 개발 과 해상풍력발전과 차세대 태양광전지 개발 등 재생에너지 관련 기술개발에 역점을 두고 있는 것으로 파악됨

〈표 4-30〉 일본의 그린이노베이션기금 프로젝트 현황(2022년 9월 기준)

분야	프로젝트 명	채택 건 수	예산: 억 엔
워킹그룹 1 (재생에너지)	해상풍력발전의 비용절감	1	1,195
	차세대형 태양광전비 개발	12	498
워킹그룹 2 (수소·암모니아, 산업에서의 CO ₂ 활용)	대규모 수소공급망 구축	8	3,000
	재생에너지 분야의 전력을 활용한 수전해에 의한 수소제조	8	700
	제철프로세스에서의 수소활용	1	1,985
	연료 암모니아 공급망 구축	1	688
	CO ₂ 등을 활용한 플라스틱 원료제조기술 개발	2	1,262
	CO ₂ 등을 활용한 연료 제조기술 개발	4	1152.8
	CO ₂ 등을 활용한 콘크리트 등 제조기술 개발	1	567.8
	CO ₂ 의 분리회수 등 기술개발	5	382.3
	폐기물·자원순환 분야에서의 탄소중립 실현	미정	-
	워킹그룹 3 (산업 부문의 저탄소화·에너지 효율화 기술 개발)	차세대 축전지·차세대 모터 개발	4
전동차 등 에너지효율화를 위한 차량용 컴퓨팅·시뮬레이션 기술 개발		7	420
스마트 모빌리티 사회의 구축		7	1,130
차세대 디지털인프라 구축		2	1,410
차세대 항공기 개발		11	210.8
차세대 선박 개발		10	350
식품·농림수산업의 CO ₂ 등 감축·흡수기술 개발		미정	159.2
바이오제조기술에 의한 카본리사이클 추진		미정	-

※ 출처: 대외경제정책연구원(2022), “주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로”

제8절

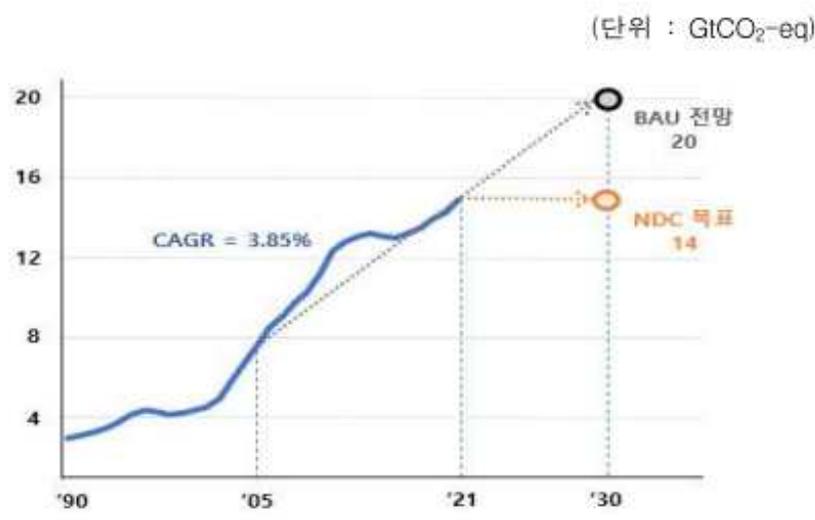
중국

1. 온실가스 배출량 및 저감목표

- (배출 현황) 2021년 기준, 중국이 배출하는 온실가스 중 이산화탄소의 배출량은 124.7억톤 CO₂eq이며, 전 세계 국가 중 가장 많은 배출량을 기록 중⁵⁴⁾

 - 2021년 이산화탄소 배출량은 1990년 대비 약 413.9% 증가하였으며, 전년(2020년) 대비 약 4.3% 증가한 것으로 나타남
 - GDP 구매력평가지수(Purchasing power parity, PPP)를 기반으로 중국의 온실가스 배출량 역시 세계 1위에 위치
- (감축 목표) 중국 정부는 2030년 이전에 온실가스 배출량 정점에 도달하고, 이후 2060년까지 넷제로(Net-zero)를 달성하겠다는 목표를 선언⁵⁵⁾

 - 그럼에도 불구하고 중국은 경제성장에 따른 전력수요 증가에 대응하기 위해 2023년 상반기에만 신규 석탄발전소 건설 개시(37GW) 및 허가(52GW)를 진행해 2030년 이전까지 실질적인 온실가스 감축은 어려울 전망⁵⁶⁾



[그림 4-14] 중국 온실가스 배출량 추이 및 전망

※ 출처: 한국경제인협회(2023), “주요 탄소 배출국 2030 NDC 목표 달성 전망”

54) European Commission(2022), “JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT CO₂ emissions of all world countries”

55) 한국경제인협회(2023), “주요 탄소 배출국 2030 NDC 목표 달성 전망”

56) Centre for Research on Energy and Clean Air(2023.8), “China’s new coal power spree continues as more provinces jump on the bandwagon”

2. 탄소중립 정책 추진 경과

- 중국 정부는 국가 경제발전 5개년 계획인 「5개년 계획(中华人民共和国国民经济和社会发展五年规划纲要)」에 의거하여 국가 녹색성장 및 기후변화 관련 정책 방향을 제시
- (5개년 계획) 중국 정부가 5년 단위로 발표 및 운영하는 국가경제 운영계획으로 1949년 중화인민공화국 설립 후 구소련의 5개년 계획을 벤치마킹하여 5년 단위의 중앙경제계획을 수립하였으며, 11차(2006~2010) 부터는 ‘계획(計劃)’ 대신 ‘규획(規劃)’이라 명명하여 시행⁵⁷⁾

 - (9차 5개년 계획, 1996-2000년) ‘지속가능한 성장’, ‘생태문명’, ‘에너지 절약’, ‘저탄소 경제 추진’ 등의 녹색성장과 관련된 개념이 등장
 - (10차 5개년 계획, 2001-2005년) 환경보호의 개념화 및 초기모델을 제시하였으며, 관련된 법률로 「환경영향평가법」(2002년), 「청정생산 촉진법」(2003년) 및 「재생에너지법」(2005년)이 제정
 - (11차 5개년 계획, 2006-2010년) 자원 절약, 환경친화형 사회 개념이 추가되었으며, 처음으로 에너지 절약과 온실가스 배출 감소 내용이 포함
 - (12차 5개년 계획, 2011-2015년) 생태문명 건설 개념을 추가하고, 처음으로 단위 GDP 당 탄소배출 감축을 의무 이행사항으로 포함
 - (13차 5개년 계획, 2015-2020년) 전차산업육성이 본격화되고, 「환경보호세법」(2016년) 발표, 「석탄법」 개정(2016년), 「핵안전법」(2017년) 발표, 「에너지법」 개정 관련 의견 수렴(2020년)을 진행
 - (14차 5개년 계획, 2021-2025년) 탄소중립이 핵심개념으로 자리 잡았으며, 에너지 구조 전환 및 탄소저감 기술개발에 대한 내용을 명시

57) 이원석·전보희(2021), “‘위기’를 넘어 ‘자립’으로: 중국 14차 5개년 계획으로 본 경제통상정책 전망과 시사점”

〈표 4-31〉 중국의 시기별 녹색성장 정책 방향 및 특징

시기	9차 5개년	10차 5개년	11차 5개년	12차 5개년	13차 5개년	14차 5개년
	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025
핵심개념	지속가능한 성장	녹색성장모델	자원 절약, 환경친화사회	생태문명 건설	녹색발전	탄소중립
정책방향	환경보호 개념 제시	환경보호 초기모델	성장 방식 전환, 자원 이용 효율 향상	감축목표 제시, 기후변화대응, 전략적 신산업 육성	강제적 감축, 전기차 등 녹색산업 육성	에너지 구조 전환, 탄소저감 기술 개발
주요 환경정책/ 법률	「고체폐기물방지법」(1996), 「에너지절약법」(1997), 「대기오염방지법」개정(2000)	「환경영향평가법」(2002), 「청정생산촉진법」(2003), 「재생에너지법」(2005)	「수자원오염방지법」개정(2008), 「순환경제촉진법」(2009)	환경장비12.5규획(2012), 대기오염개선규획(2013), 「환경보호법」개정(2015)	「환경보호세법」(2016), 「석탄법」개정(2016), 「핵안전법」(2017), 「에너지법」 개정 의견수렴(2020)	탄소중립 업무의견(2021), 탄소배출권 거래조례(2021), 수소산업 발전 규획(2021)

※ 출처: 대외경제정책연구원(2022), “주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로”

3. 탄소중립 관련 주요 정책 및 제도

- (제14차 5개년 계획) 중국은 2021년 3월 양회(兩會, 전국인민대표회의, 중국인민정치협상회의) 종료 후, ‘중화인민공화국 국민경제 및 사회발전 제14차 5개년 계획 및 2035년 장기목표 개요(이하 5개년 계획 또는 14·5 계획)’을 발표하였으며, 처음으로 탄소중립을 정책 우선순위에 반영⁵⁸⁾
 - 2025년까지 단위 GDP당 에너지 소모율과 단위 GDP당 탄소배출량을 각각 13.5%, 18% 감축하는 것을 의무지표로 제시
 - 2035년 중장기 발전 목표로서 녹색 생산·생활 방식 구축, 탄소 배출 정점 도달 후 안정적 감소, 생태환경 개선 등을 제시
 - 사회 발전의 주요 목표에는 생산·생활 방식의 녹색 전환에 대한 성과를 낼 것을 명시하고, 에너지 자원합리적 배치 및 효율성 제고라는 방향성을 제시
 - 그 외에도 청정에너지 체계 구축, 저탄소 건설 도시 추진, 2030년 기후변화 NDC 이행, 2030년 이전 탄소 배출 정점 행동방안 제정 등을 내용에 포함

〈표 4-32〉 「제14차 5개년 계획」 내 탄소중립 정책 관련 주요 내용

분야	주요사업
제3장-제1절 2035년 중장기 목표	<ul style="list-style-type: none"> • 녹색 생산·생활 방식 구축 • 탄소 배출 정점 도달 후 안정적 감소 • 생태 자연환경 개선, 아름다운 중국 건설
제2절 사회 발전 주요 목표	<ul style="list-style-type: none"> • 생산·생활 방식의 녹색 전환성과, 에너지 자원 합리적 배치 및 효율 제고, 단위 GDP당 에너지 소비 및 탄소배출량 각각 13.5%, 18% 감축
제11장-제3절 현대적 에너지 체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 청정 저탄소·안전·효율적 에너지 체계 구축 • 풍력, 태양광 발전 규모 대폭 상향, 동·중부 분산형 에너지 발전 가속화, 해상 풍력 발전 추진 • 에너지 소비에서 비화석 에너지 비중 20%로 제고 • 특고압 송전망 이용률 제고, 스마트 그리드 건설 가속화 등
제29장-제2절 신형 도시화 건설 추진	<ul style="list-style-type: none"> • 저탄소 건설 도시 추진, 친환경 건설 강화(청정 에너지 도입 확대, 운송차량 전기차 도입, 충전기 설치, 탄소배출권 거래 등)
제38장-제4절 기후변화 적극 대응	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화 대응 NDC 이행, 2030년 이전 탄소 배출 정점 행동방안 제정 • 에너지 소비 총량 및 강도 이중 규제보완, 화석 에너지 소비 중점적 규제, 에너지의 청정·저탄소·안전·고효율 이용 촉진 • 공업·건축·교통 등 분야의 저탄소 전환 추진 • 메탄, 수소불화탄소 등 온실가스 규제 강화 • 2060년 이전 탄소중립 실현 노력, 더욱 강력한 정책과 조치 실시 • 기후변화 대응 국제협력 참여, 기후변화 남남협력(南南合作) 전개 등
제5절 현대적 환경 거버넌스 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소배출권 시장화 거래 추진 • 환경보호, 에너지 절약 및 배출 감축에 관한 규제성 지표 관리 개선 등

※ 출처: 대외경제정책연구원(2022), “주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로”

58) 中华人民共和国中央人民政府(2021.3.13.), “中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要”, (https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm), 2024년 1월 20일 접속

■ (탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견) 중국 정부는 2021년 10월 24일 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」을 발표⁵⁹⁾

- 2025년까지 탄소중립 정책 기반 조성, 2030년 이전 탄소 배출 정점, 2060년 이전 탄소중립 달성이라는 정책 로드맵을 제시

〈표 4-33〉 중국의 2060년 탄소중립 정책 로드맵

시기별 목표	2025년	2030년	2060년
	탄소중립 정책 기반 조성	탄소 배출 정점	탄소중립 달성
GDP 단위당 에너지 소모 감축량	(2020년 대비) 13.5%	대폭 감소	-
GDP 단위당 탄소 배출 감축량	(2020년 대비) 18%	(2005년 대비) 65% 이상	-
비화석에너지 소비 비중	20% 내외	25% 내외	80% 이상
삼림피복률	24.1%	25% 내외	-
삼림축적량	180억 m ³	190억 m ³	-
풍력, 태양광 발전설비량	-	1,200GW 이상	-

※ 출처: 오종혁·이효진(2022), “‘위기’를 넘어 ‘자립’으로: 중국 14차 5개년 계획으로 본 경제통상정책 전망과 시사점”

- 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」은 중국 내 탄소 배출이 많은 △ 에너지 △ 산업 △ 교통·운송 △ 건설 분야의 추진 방향과 더불어 이를 실현하기 위한 과학기술 기반, 생태 자연환경의 탄소 흡수능력 강화, 국제협력 및 관련 법제도 개정 등을 망라하고 있음
 - (에너지 분야) 에너지 분야에서는 △ 에너지 효율 및 총량 관리 △ 이용 효율 개선 △ 화석에너지 소비 관리 △ 비화석에너지 발전 △ 에너지 체제 개혁 등을 중심으로 한 탄소중립 방안을 제시

〈표 4-34〉 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」 내 에너지 분야 주요 추진 방향

분야	주요사업
에너지 효율 및 총량 관리	• 에너지 절약을 최우선으로 하는 에너지 발전전략 추진, 에너지 소모 및 이산화탄소 배출 수준 통제, 에너지 소비총량의 합리적 통제, 에너지 사용량 저감 수준이 부진한 지역에 대한 규제 실시, 메탄 등 비이산화탄소 온실가스 통제 강화
에너지 이용 효율 개선	• 공업, 건축, 운수, 공공기관 등의 영역에서 에너지 절약 실시, IT 인프라 관련 에너지 효율 제고, 에너지 관리 시스템 개선 등
화석에너지 소비 관리	• 2025년까지 화석에너지 소비량 증가 통제 및 2030년까지 소비량 감축 추진, 석유 소비량 2030년까지 정점 기록, 화력발전소 규모 통제, 셰일가스·석탄총가스 등 유류자원 개발, 리스크 관리 통한 에너지의 안정적 공급 확보 등
비화석에너지 발전	• 풍력·태양광·바이오·해양에너지·지열에너지 등 소비 비중 확대, 태양광 우선 발전, 지역 상황에 맞게 수력·원자력 등 발전 추진, 바이오에너지 이용, 수소에너지 밸류체인 발전, 신에너지 위주의 신형전력 시스템 구축 등
에너지 체제 개혁	• 전력분야 시장화 개혁 추진: 송전·판매 단계 시장주체 육성, 중장기·현물시장 및 보조서비스 시장 간 연계 메커니즘 개선, 전력망 개선 추진: 재생에너지 중심 배전망 확대, 마이크로그리드 및 분포식 전원의 시장주체 지위 명확화, 에너지 저장 및 조절능력의 기초하에 새로운 전력발전기 발전 메커니즘 형성, 전기가격 시장화 등

※ 출처: 오종혁·이효진(2022), “‘위기’를 넘어 ‘자립’으로: 중국 14차 5개년 계획으로 본 경제통상정책 전망과 시사점”

59) 中华人民共和国中央人民政府(2021.10.24.), “中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见”, (https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm), 2024년 1월 20일 접속

- (산업 분야) 산업 부문에서는 △ 산업구조 조정 △ 에너지 다소비 업종 관리 △ 녹색 저탄소 산업 발전을 중심으로 추진

〈표 4-35〉 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」 내 산업 분야 주요 추진 방향

분야	주요사업
산업구조 조정	• 농업 녹색발전 추진, 에너지·철강·비철금속·화학·건축재료·운송·건설 업종의 탄소 배출 정점 실시방안 제정, 산업구조 조정 지도목록 개정 등
에너지 다소비 업종 관리	• 철강·시멘트·판유리·전해 알루미늄 등의 생산량 관리, 화력발전·화학(석유·석탄)등 생산통제 정책 수립, 석탄·석유 생산규모 합리적 조절 등
철강	• [생산량 관리] 설비 신규 증설 금지, 낙후 분야 퇴출 등 • 산업구조 조정, 청결 에너지 대체 추진, 비(非)고로 제철기술 시범 추진, 이산화탄소 포집(CCUS) 시범사업 추진 등
비철금속	• [생산량 관리] 전해알루미늄 과잉생산 문제 해결 노력, 신규 증설 금지 • 수력·풍력 등 재생에너지 적용비중 확대 등
건축재료	• [생산량 관리] 판유리, 시멘트 생산능력 확대 제한 • 수력·풍력 등 재생에너지 적용 비중 확대, 친환경 건축재료에 대한 R&D 확대 등
화학	• [생산량 관리] 석탄화학 증설 통제 • 에너지 사용방식 전환 유도, 2025년까지 중국 내 원유 1차 가공능력 10억 톤 이내 등
녹색 저탄소 산업 발전	• 차세대 IT·바이오·신에너지·신소재·첨단장비·신에너지 자동차·환경보호·항공우주·해양장비 등 전략적 신흥산업 발전, 녹색제조 체계 건설 • 인터넷·빅데이터·인공지능·5G 통신망 등과의 융합을 통한 효율 개선 추진 등

※ 출처: 오종혁·이효진(2022), “‘위기’를 넘어 ‘자립’으로: 중국 14차 5개년 계획으로 본 경제통상정책 전망과 시사점”

- (교통운송 분야) 교통운송 분야는 △ 운송구조 최적화 △ 친환경 교통수단 보급 △ 저탄소 교통수단 유도를 중심으로 추진

〈표 4-36〉 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」 내 교통운송 분야 주요 추진 방향

분야	주요사업
운송구조 최적화	• 종합 교통망 건설 가속화, 철도 비중 재고, 자원 집약화 추진 등
친환경 교통수단 보급	• 신에너지 및 청정에너지 차량·선박 확대, 철도 전기화 개조, 수소충전소 건설 추진, 충전·교체 네트워크 확대 등
저탄소 교통수단 유도	• 지하철, 버스전용노선 등 공공교통 인프라 건설, 자전거 전용도로 및 보도 구축 가속화 등

※ 출처: 오종혁·이효진(2022), “‘위기’를 넘어 ‘자립’으로: 중국 14차 5개년 계획으로 본 경제통상정책 전망과 시사점”

- (건설 분야) △ 도·농지역 건물 저탄소화 추진 △ 건축물 에너지 효율 제고 △ 건물 내 재생에너지 사용 확대 중심의 정책을 추진할 방침

〈표 4-37〉 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」 내 건설 분야 주요 추진 방향

분야	주요사업
도·농 지역 건물 저탄소화 추진	• 도시 녹화율 수준 제고, 에너지 다소비 공공건축물 건설 관리강화, 농촌지역 녹색 저탄소 발전 등 추진
건축물 에너지 효율 제고	• 신축 건물의 에너지 절약 기준 상향, 건물 에너지 효율 평가 표시, 저탄소 발전성과 평가 실시 등
재생에너지 사용 확대	• 건물 옥상에 태양광 패널 설치 캠페인 전개, 건물 난방·온수 등의 전기화율 제고, 북방지역 도시 열병합 난방 추진, 각 지역별로 가스, 바이오매스, 지열에너지 활용 등

※ 출처: 오종혁·이효진(2022), “‘위기’를 넘어 ‘자립’으로: 중국 14차 5개년 계획으로 본 경제통상정책 전망과 시사점”

4. 탄소중립 기술·산업 투자 정책 동향

□ 2018-2020년을 기준으로 중국은 ‘국가자연과학기금위원회’를 통하여 기초·응용 단계에서의 R&D 프로그램을 운영하고 있으며, 이 중 탄소중립과 관련된 ‘연합기금 프로그램’에 가장 많은 R&D 예산을 투입

〈표 4-38〉 2018-2020년 탄소중립 관련 중국 국가자연과학기금위원회 프로그램 리스트

구분	프로그램 종류	탄소중립 관련 세부 프로그램명	연도별 투입 예산 합계(단위: 만 위안)			
			2018년	2019년	2020년	
1	중대 프로그램	저탄소 에너지 전환 시 핵심반응에 대한 2차원 촉매 설계 및 응용(2018)	2,000	-	프로그램 정보 미공개	
		고효율 에너지/물질전환을 위한 신형 전기화학 인터페이스 기초연구(2019)	-	1,998		
2	중대연구계획 프로그램	탄소 기반 에너지의 전환 이용의 촉매과학(2018-2020)	2,100	3,100	4,300	
3	국가 우수 청년 과학기금 프로그램	전기자동차용 신형 플렉스 전환 모터 시스템 기초이론 연구(2018)	예산 정보 미공개	-	프로그램 정보 미공개	
		녹색 건축 환경 조성 및 에너지 절약(2018)				
		태양에너지 구동 광촉매 재료(2018)				
4	혁신연구단체 프로그램	에너지 전달 전환 및 고효율 동력 시스템(2018)	1,050	-	프로그램 정보 미공개	
		신에너지 발전 및 고효율 에너지 절약 시스템 최적화 제어 이론, 기술, 응용(2018)	1,050			
		전기 수력 시스템 기초연구(2018)	525			
		고전압 및 친환경 기술(2019)	-			1,000
		이동 동력 장비의 고효율, 저탄소 배출 이용 공정의 열 물성 문제(2019)	-			1,000
5	연합기금 프로그램	NSFC - 산시 석탄 저탄소 연합기금(2018-2019)	4,120	4,120	-	
		스마트 그리드 연합기금(2018-2020)	6,720	6,720	6,720	
		원자력 과학기술 혁신 연합기금 (2018~2020)	5,880	5,880	5,880	
6	국가 중대과학연구 기기제조 프로그램	고감도 원자 자력계에 기반한 낮은 범위의 핵자기 공명 스펙트럼 제작(2019)	-	606.68	프로그램 정보 미공개	
		자기밀폐 핵융합이 일어나는 극단적 환경 속 액상 금속의 유동 및 열전도 측정기 제작(2019)		775		
7	기초과학센터 프로그램	에너지의 체계적 전환(2018)	18,750	-	프로그램 정보 미공개	

※ 출처: 전은진 외(2021), “탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석”

- 또한 중국은 ‘국가중점연구개발계획’을 통해 상용화 관련 R&D 프로그램을 운영하고 있으며, 2021년을 기준으로 약 30.94억 위안(전체 투자 대비 약 15.7%)의 예산이 투입

〈표 4-39〉 2019-2021년 탄소중립 관련 중국 국가중점연구개발계획 전문 프로그램 리스트

구분	전문 프로그램명	연도별 투입 예산 합계(단위: 만 위안)		
		2018년	2019년	2020년
1	국가 자기 감금 핵융합에너지 발전 연구	1.3	-	4.02
2	임업 종자 자원 배양 및 품질 개선	-	-	3.4
3	신에너지 자동차	-	-	8.75
4	에너지 저장 및 스마트그리드	-	-	6.77
5	수소 에너지 기술	-	-	8
6	석탄의 청정 고효율 이용과 에너지 절약 기술	-	0.68	-
7	고체 폐기물 자원화	7	2	-
8	재생에너지 및 수소 기술	4.38	6.06	-
9	원자력 안전 및 첨단 원자력 기술	1.59	1.46	-
합 계(단위: 억 위안)		14.27	10.2	30.94

※ 출처: 전은진 외(2021), “탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석”

제9절

소결

- 해외 주요국의 기후변화정책은 기후변화를 완화하고 탈탄소 경제로의 전환을 목적으로 중장기 전략을 포함하는 대규모 투자를 진행 중

 - 탄소중립 달성을 위해 재생에너지를 저렴하게 활용하는 것을 목표로 설정하고 있으며, 이를 위해 기술 혁신 및 투자, 공급망 안정화를 위한 대내 역량 및 국제 협력 강화, 탄소중립 관련 산업의 경쟁력 강화 계획을 발표
 - 탄소중립을 위한 기술 혁신에 대규모 투자를 추진하며, 기술 및 섹터를 구체화하여 더욱 명확한 목표를 설정하려 노력
 - 기술의 경우 크게 에너지 효율성, 저탄소 연료·원료·에너지원(LCFFES), 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 등으로 분류하며 다양한 R&D 투자를 기획 중
 - 섹터 구체화는 대체로 산업, 수송, 가정, 상업용으로 구분되며, 산업 및 수송 분야에 있어 탄소 다배출 업종을 선택하여 탄소배출 감축 기술개발 및 실증을 지원
- 새로운 시장을 창출·선점하고 공급생태계를 안정화하기 위해 탄소중립 관련 산업 생태계에 일관된 방향성을 제공하는 패키지 형태의 정책 필요성이 커짐

 - 글로벌 기후변화 정책은 공통적으로 탄소중립과 관련하여 자국의 신산업을 창출하고 활성화하기 위해 국가 전략을 패키지(Package) 형태로 마련하고 보조금 및 세액 공제 등 국가의 재정적 지원을 주요 수단으로 활용
 - 미국의 IRA, 유럽의 NZIA, 일본의 GX, 프랑스의 녹색산업법 모두 탄소중립을 이행하고 탈탄소 경제로의 전환을 위해 육성하고자 하는 기술 및 산업에 대한 세제 및 보조금 혜택, 규제환경 개선, 인력 양성 및 국제 협력 강화라는 구체적인 전략을 패키지 형태로 제시
- 해외 주요국의 신산업정책에 직접적으로 대응하기 위해 우리나라 또한 종합적인 정책 패키지를 마련할 필요

 - 우리나라의 경우 산업 구조상 탄소 집약적 업종 비중이 높으며, 이에 대응하기 위해 더욱 세밀한 계획과 혁신적 투자가 필요
 - 국내 탄소중립 산업에 대한 투자 및 세액공제 등을 포함한 재정적 지원방안, 기술개발 사업 확대, 탄소시장 활성화, 사회적 녹색 생태계 조성, 인력 양성 및 국제협력 계획 등을 포함하는 범부처 녹색산업 활성화 전략 마련을 검토해야 할 시점

- 탄소중립 투자 촉진을 위해 기술·산업별 구체적인 지원 계획(지원 규모, 대상, 기간 등)과 함께 지속적인 재정적 지원(보조금 혹은 세액공제)을 보장할 필요
- 탄소중립 및 친환경 기술에 대한 조기 투자 및 개발을 지원하는 다양한 형태의 녹색 금융 상품 개발(신용대출, 채권, 펀드, 투자·융자 등) 필요
- 해외 주요국의 R&D 지원 규모에 비해 국내 탄소중립 핵심기술개발 사업의 R&D 지원 규모가 상대적으로 작아 충분한 개발역량 구축과 시장형성의 어려움이 예상되어 각 산업에 대한 체계적인 기술개발 지원 필요
- 안정적인 시장 마련을 위하여 시장 창출 및 활성화 방안으로서 신기술 시장의 초기 수요 창출을 위한 공공조달 확대 등 녹색제품 수요 확대 방안 마련 필요

제 5 장

탄소중립 정책 중요도-만족도 조사

제1절 개요

제2절 분석 결과

제3절 소결 및 제언

제1절

개요

▣ 추진 개요

- (목적) 탄소중립과 관련된 국내 이해관계자들의 과학기술혁신정책 만족도와 중요도에 대한 인식 조사를 통해 정책에 대한 상세 수요를 파악
 - 파악한 정책 수요는 향후 탄소중립 관련 정책 기획 시 정책 간 우선순위, 정책 만족도-중요도 간 차이 등을 파악하기 위한 기초자료로 활용 가능
- (내용) 탄소중립과 관련된 국내 이해관계자들의 과학기술혁신정책 만족도와 중요도 조사 및 IPA 분석을 통한 향후 탄소중립 유관부처의 정책과제 발굴
 - IPA 분석을 통해 탄소중립 관련 혁신 정책에 대한 8개 정책영역 및 28개 정책수단이라는 평가속성의 위치를 4개의 사분면을 통해 확인한 후 한정된 자원 중 선택과 집중이 필요한 평가속성을 중심으로 정책 기획 방향을 도출

〈표 5-1〉 과학기술혁신정책 영역 및 수단

정책영역	정책수단	
연구개발	<ul style="list-style-type: none"> • 기초연구 투자 • 응용연구 투자 	<ul style="list-style-type: none"> • 개발연구 투자
실증/사업화	<ul style="list-style-type: none"> • 실증 지원 • 창업 지원 • 기술사업화·기술이전 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 제품화·생산 지원 • 시범사업
시장	<ul style="list-style-type: none"> • 공공조달 • 우선구매 추천, 우수제품 지정 	<ul style="list-style-type: none"> • 해외시장진출
인프라	<ul style="list-style-type: none"> • 시험·인증 등 시설 구축 • 기업인증·제품인증 제도 • 클러스터 조성 	<ul style="list-style-type: none"> • 표준 마련 • 정보서비스 지원
규제	<ul style="list-style-type: none"> • 규제개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 법·제도개선
세제/금융	<ul style="list-style-type: none"> • 투·융자 • 보증 	<ul style="list-style-type: none"> • 조세공제 및 감면
인력	<ul style="list-style-type: none"> • 대학(원) 인력 양성 • 채용·고용 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 재직자 재·전환 교육 • 해외인력 유지·활용
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 국제 협력 • 산학연 협력 	<ul style="list-style-type: none"> • 특허 전략

※ 출처: 김선교, 조길수 (2022)

▣ 추진 방법

- 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정 및 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 수립에 참여한 산·학·연 전문가를 대상으로 온라인 회의를 통해 정책 중요도-만족도에 대한 의견을 청취
- 전문가 의견에 대한 기본적 통계 특성을 파악하기 위하여 기술통계분석을 시행
 - 정책 만족도(28개 항목), 전반적 만족도(1개 항목), 정책 중요도(28개 항목), 정책 중요도 비율(8개 항목), 정책 우선순위(8개 항목) 등 총 73개 항목의 기술통계분석 결과를 통해 정규분포의 가정에 문제가 없는지 확인
- 전통적 방식의 중요도-만족도 분석(Importance Performance Analysis, 이하 IPA)⁶⁰에 의해 만들어진 포지셔닝 맵을 통해 8개의 정책영역과 28개의 정책수단을 평가
 - Likert 5점 척도로 조사된 28개 정책수단의 만족도 항목과 중요도 항목 간 평균 차이를 대응표본 t-검정 실시
 - 정책수단(28개)과 정책영역(8개)의 중요도 값(평균)과 만족도 값(평균)을 교차하여 Importance-Performance 매트릭스(이하 IP 매트릭스)를 도출
 - 정책영역(8개)의 경우 Likert 5점 척도에 의한 중요도와 만족도 간 IP 매트릭스와 비율척도에 의한 중요도와 Likert 5점 척도에 의한 만족도 간 IP 매트릭스를 비교
- 통계적 방법(편상관분석)에 의해 상대적 중요도를 도출하여 수정된 중요도 만족도 분석(Revised Importance Performance Analysis, 이하 RIPA)을 실시
 - 전통적 방식의 IPA와 동일하게 정책수단(28개)과 정책영역(8개)의 중요도 값(평균)과 만족도 값(평균)을 교차하여 IP 매트릭스를 도출
 - 전통적 방식의 IPA에 의한 IP 매트릭스와 편상관계수를 활용한 RIPA에 의한 IP 매트릭스를 비교하여 4개의 사분면의 속성(정책수단: 28개, 정책영역: 8개)의 위치를 확인
- 정책영역에 대한 중요도 비율과 우선순위에 대한 응답을 비교하기 위해 다양한 분석방법(예: 기술통계분석, 이변량 상관분석, 선호분석, 다중회귀분석)을 적용하고, 관련 그래프(예: 산점도)로 시각화
 - 8가지 정책영역에 대한 중요도 비율(0~100%)과 우선순위(1~8순위)에 대한 응답의 평균을 확인하기 위해 기술통계분석을 실시
 - 중요도 비율(높을수록 중요도 높음)과 우선순위(낮을수록 순위 높음)에 해당하는 응답의 일관성 여부를 파악하고자 이변량 상관분석을 하고, 산점도를 통해 이상값 여부를 확인

60) 전통적 방식의 IPA는 해당 속성의 만족 정도(즉, 만족도)와 중요 정도(즉, 중요도)에 대한 응답을 교차시켜 속성의 위치를 파악하는 것으로, Martilla & James(1977)에 의해 최초로 제안된 방식

- 우선순위 응답을 활용하여 선호분석(Multi Dimensional PReference, 이하 MDPREF)을 하였고, MDPREF에 의해 도출된 좌표점과 우선순위 응답 간 다중회귀분석을 통해 전체 응답자가 선호하는 객관적인 이상점(Ideal Point, 이하 IP)을 도출
- 정책영역이 전반적 만족도(Overall Satisfaction, OS)에 미치는 영향관계를 다중회귀분석을 통해 검토
 - Likert 5점 척도에 의해 조사된 정책수단의 평균값을 활용하여 도출된 정책영역의 만족도와 중요도, 그리고 비율척도에 의해 조사된 정책영역의 중요도를 독립변수, 전반적 만족도를 종속변수로 하는 다중회귀분석을 진행
 - 정책영역의 중요도(Likert 5점 척도에 의한 평균, 비율척도에 의한 평균)가 전반적 만족도에 미치는 영향관계에서 회귀계수의 차이 여부를 Z-검정을 통해 검토

제2절

분석 결과

1. 측정 항목의 기본적 특성

- 본 연구에 활용된 73개 문항에 대한 왜도(skewness) 값과 첨도(kurtosis) 값을 통해 정규분포의 기울기와 뾰족함에 대한 충족 여부를 확인
 - 정책 만족도(28개 문항), 전반적 만족도(1개 문항), 정책 중요도(28개 문항), 정책 중요도 비율(8개 문항), 그리고 정책 우선순위(8개 문항)에 대한 왜도 값은 -2.397~.1415로 나타났고, 첨도 값은 -1.273~4.827
 - 왜도 절댓값 3 미만, 첨도 절댓값 8 또는 10 미만의 기준에 부합하는 것으로 나타났기 때문에(Hair et al., 2006) 정규분포의 기울기와 뾰족함을 보이고 있음
 - 정규분포성 파악을 위해 왜도 값과 첨도 값의 Z값 평균의 유의확률에 대한 유의수준을 공식(61)에 대입하여 확인
 - 분석결과 73개 문항에 대한 왜도(정규분포에 해당하는 기울기) 값의 Z값은 -.229로 나타났고, 첨도(정규분포에 해당하는 뾰족함) 값의 Z값은 -.075로 나타났으며, 이는 유의수준 1%($Z < \pm 2.58$)에서 통계적으로 유의한 것으로 나타나 정규분포를 이룬다는 가정을 충족(Hair et al., 2006)
 - 결과적으로 본 연구에 활용된 측정 항목들을 여러 실증분석에 활용하는 것에는 특별히 문제가 없다고 판단

〈표 5-2〉 측정 항목에 대한 정규분포 특성

구분	항목 수	왜도			첨도		
		최소	최대	Z값	최소	최대	Z값
정책 만족도	28	-.371	.325	-.229**	-1.123	.309	-.075**
전반적 만족도	1	.085			-.928		
정책 중요도	28	-1.161	.331		-1.273	1.400	
정책 중요도 비율	8	.380	1.415		-.482	3.489	
정책 우선순위	8	-2.397	1.286		-1.229	4.827	

※ 주: * $p < .05$, ** $p < .01$

$$61) \text{ [왜도]} Z_{skewness} = \frac{skewness}{\sqrt{\frac{6}{N}}}$$

$$\text{ [첨도]} Z_{kurtosis} = \frac{kurtosis}{\sqrt{\frac{24}{N}}}$$

※ skewness(왜도), kurtosis(첨도), N(데이터 수)

2. 전통적 방식에 의한 IPA 결과

- 정책수단 28개 항목에 대한 만족도와 중요도 간 평균 차이가 존재하는지를 대응표본 t-검정을 통해 확인

 - 분석결과 28개 정책수단 항목 모두 0.1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났고, 28개 항목 모두 만족도 평균과 중요도 평균 간 차이가 음(-)으로 나타남
 - 탄소중립 정책수단에 대한 중요도에 비해 만족도가 낮은 것을 알 수 있는 가운데, 정책수단 28개 항목의 중요도에 대한 평균은 3점대 초반~4점대 초·중반으로 나타난 반면에 정책수단 28개 항목의 만족도에 대한 평균은 2점대 초반부터 3점대 초반으로 나타남
 - 특히 법·제도개선(평균 차이: -1.84점)과 규제개선(평균 차이: -1.81점)은 중요도와 만족도 차이가 가장 크게 나타난 정책수단

- 정책영역의 만족도와 중요도에 대한 산술평균값을 적용하여 도출한 8개 정책영역에 대한 만족도와 중요도 간 평균 차이를 대응표본 t-검정을 통해 확인

 - 분석결과 8개 정책영역 모두 0.1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났고, 정책수단과 마찬가지로 8개 정책영역 모두 만족도와 중요도의 평균 차이가 음(-)으로 나타남
 - 탄소중립 정책영역에 대한 중요도에 비해 만족도가 낮은 것을 의미하는 것으로, 정책영역 8개의 중요도 평균은 3점대 중반~4점대 초·중반으로 나타난 반면에 정책영역 8개의 만족도 평균은 2점대 중·후반으로 나타남
 - 특히 법·제도개선과 규제개선이 포함된 정책영역인 “규제”의 평균 차이가 -1.82점으로 나타난 평균 차이가 가장 큰 정책영역임을 알 수 있음

- X축에 정책수단 28개 항목과 정책영역 8개의 만족도 평균값, Y축에 정책수단 28개 항목과 정책영역 8개의 중요도 평균값을 교차하여 위치를 도출한 후 만족도와 중요도의 전체 평균값을 격자로 활용하여 4개(I~IV)의 사분면에 놓인 28개의 정책수단 항목과 정책영역 8개를 평가

〈참고〉 IPA 분석결과 해석 방법

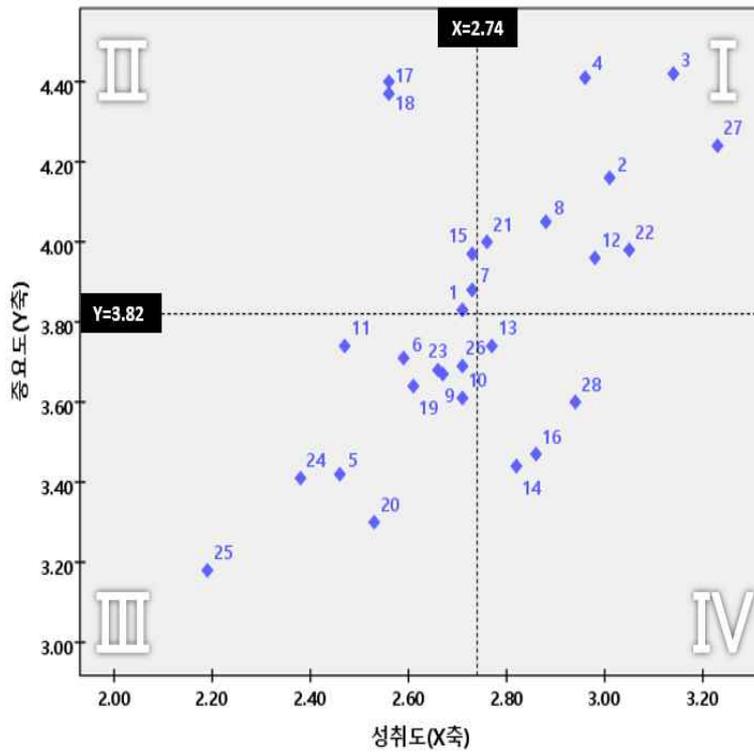
- ▶ 4개의 사분면 중 높은 중요도와 높은 만족도에 해당하는 I 사분면(유지강화 영역/Keep Up the Good Work)과 높은 중요도와 낮은 만족도에 해당하는 II 사분면(중점투자 영역/Concentrate Here)을 중심으로 시사점을 도출할 필요
- ▶ 반면에 낮은 중요도와 낮은 만족도에 해당하는 III 사분면(저순위 영역/Low Priority)과 낮은 중요도와 높은 만족도에 해당하는 IV 사분면(현상유지 영역/Possible Overkill)은 한정된 자원 속 의사결정의 우선순위가 아니라는 점에서 관심의 노력을 없애거나 줄일 필요

- **I사분면(8개 정책수단):** 응용연구 투자(◆2), 개발연구 투자(◆3), 실증 지원(◆4), 시범사업(◆8), 시험/인증 등 시설 구축(◆12), 조세공제 및 감면(◆21), 대학(원) 인력 양성(◆22), 산학연 협력(◆27)은 중요도 값과 만족도 값 모두 전체 평균보다 높다는 점에서 지속적인 노력을 기울여 현재 상태를 유지할 수 있도록 관심을 기울일 필요
 - **II사분면(5개 정책수단):** 기초연구 투자(◆1), 제품화·생산 지원(◆7), 표준 마련(◆15), 규제개선(◆17), 법·제도개선(◆18)은 높은 중요도 값에 비해 만족도 값이 낮다는 점에서 시급하게 개선의 노력을 기울이는 것이 필요
 - **III사분면(11개 정책수단):** 창업 지원(◆5), 기술사업화/기술이전 지원(◆6), 공공조달(◆9), 우선구매 추천/우수제품 지정(◆10), 해외시장진출(◆11), 투융자(◆19), 보증(◆20), 채용·고용 지원(◆23), 재직자 재·전환 교육(◆24), 해외인력 유치·활용(◆25), 국제 협력(◆26)은 중요도 값과 만족도 값 모두 전체 평균보다 낮다는 점에서 우선순위와 가장 거리가 멀다고 볼 수 있으며, 현재 이상의 노력을 기울이는 것은 불필요
 - **IV사분면(4개 정책수단):** 기업인증/제품인증 제도(◆13), 클러스터 조성(◆14), 기술/시장 정보서비스 지원(◆16), 특허 전략(◆28)은 낮은 중요도 값에 비해 만족도 값이 크다는 점에서 과잉 노력을 피하는 것이 중요하기 때문에 개선의 노력을 점차 줄여나가는 것도 고려할 필요
- 탄소중립 정책영역의 산술평균값에 의해 만들어진 정책영역 8개에 대한 전통적 방식의 IPA 주요 결과는 아래와 같음
- **I사분면(1개 정책영역):** 연구개발(■1)은 지속해서 노력이 필요한 정책영역으로 나타나, 현재 상태를 유지할 수 있도록 하는 것이 중요
 - **II사분면(2개 정책영역):** 실증/사업화(■2)와 규제(■5)는 개선이 시급한 정책영역으로 나타나 최우선으로 개선의 노력이 필요
 - **III사분면(3개 정책영역):** 시장(■3), 세제/금융(■6), 그리고 인력(■7)은 중요도와 성취도가 평균보다 모두 낮은 정책영역으로 우선순위와는 가장 거리가 멀다는 점에서 자원의 투입을 제한적으로 할 필요
 - **IV사분면(2개 정책영역):** 인프라(■4)와 기타(■8)는 낮은 중요도에 비해 만족도가 상대적으로 높다는 점에서 개선에 대한 노력을 줄여도 무방한 정책영역

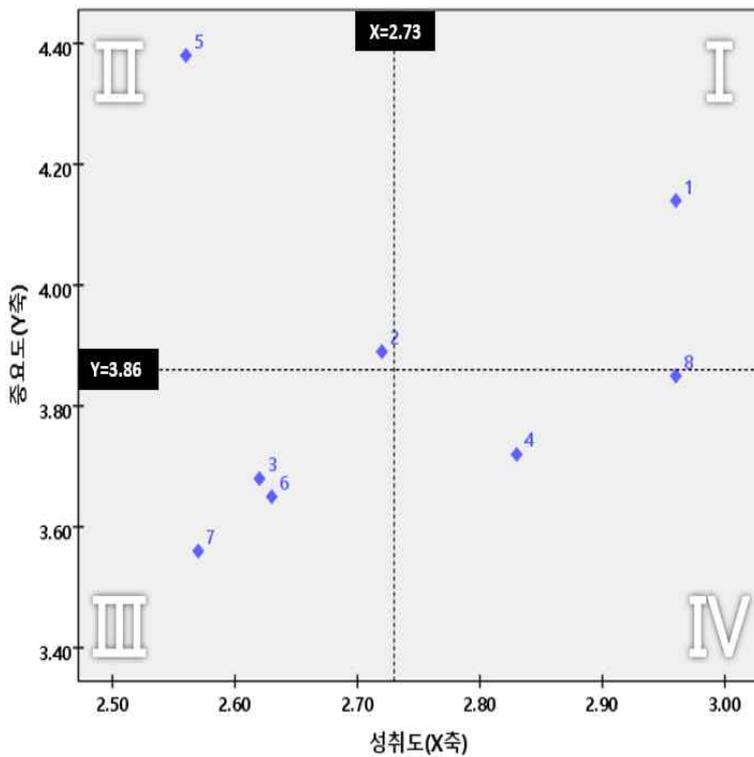
〈표 5-3〉 탄소중립 정책(영역/수단)에 대한 전통적 방식의 IPA 결과

정책영역 및 정책수단	만족도(X축)	중요도(Y축)	차이(X-Y)	t값	영역
정책영역1(■1): 연구개발	2.96	4.14	-1.18	-12.296***	I
◆1: 기초연구 투자	2.71	3.83	-1.12	-8.474***	II
◆2: 응용연구 투자	3.01	4.16	-1.15	-10.233**	I
◆3: 개발연구 투자	3.14	4.42	-1.28	-11.470***	I
정책영역2(■2): 실증/사업화	2.72	3.89	-1.17	-13.131***	II
◆4: 실증 지원	2.96	4.41	-1.45	-11.603***	I
◆5: 창업 지원	2.46	3.42	-.96	-7.640***	III
◆6: 기술사업화/기술이전 지원	2.59	3.71	-1.12	-9.366***	III
◆7: 제품화·생산 지원	2.73	3.88	-1.15	-10.624***	II
◆8: 시범사업	2.88	4.05	-1.17	-10.713***	I
정책영역3(■3): 시장	2.62	3.68	-1.06	-9.853***	III
◆9: 공공조달	2.67	3.67	-1.00	-7.567***	III
◆10: 우선구매 추천/우수제품 지정	2.71	3.61	-.90	-6.696***	III
◆11: 해외시장진출	2.47	3.74	-1.27	-10.102***	III
정책영역4(■4): 인프라	2.83	3.72	-.89	-8.866***	IV
◆12: 시험/인증 등 시설 구축	2.98	3.96	-.98	-7.004***	I
◆13: 기업인증/제품인증 제도	2.77	3.74	-.97	-7.505***	IV
◆14: 클러스터 조성	2.82	3.44	-.62	-5.039***	IV
◆15: 표준 마련	2.73	3.97	-1.24	-10.189***	II
◆16: 기술/시장 정보서비스 지원	2.86	3.47	-.61	-4.362***	IV
정책영역5(■5): 규제	2.56	4.38	-1.82	-14.398***	II
◆17: 규제개선	2.56	4.37	-1.81	-12.936***	II
◆18: 법·제도개선	2.56	4.40	-1.84	-14.459***	II
정책영역6(■6): 세제/금융	2.63	3.65	-1.02	-9.540***	III
◆19: 투융자	2.61	3.64	-1.03	-8.782***	III
◆20: 보증	2.53	3.30	-.77	-5.834***	III
◆21: 조세공제 및 감면	2.76	4.00	-1.24	-10.181***	I
정책영역7(■7): 인력	2.57	3.56	-.99	-9.577***	III
◆22: 대학(원) 인력 양성	3.05	3.98	-.93	-6.182***	I
◆23: 채용·고용 지원	2.66	3.68	-1.02	-8.235***	III
◆24: 재직자 재·전환 교육	2.38	3.41	-1.03	-8.526***	III
◆25: 해외인력 유치·활용	2.19	3.18	-.99	-7.906***	III
정책영역8(■8): 기타	2.96	3.85	-.89	-9.625***	IV
◆26: 국제 협력	2.71	3.69	-.98	-8.794***	III
◆27: 산학연 협력	3.23	4.24	-1.01	-7.811***	I
◆28: 특허 전략	2.94	3.60	-.66	-6.345***	IV
정책수단 평균(28개)	2.74	3.82			
정책영역 평균(8개)	2.73	3.86			

※ 주: *p<.05, **p<.01, ***p<.001



[그림 5-1] 정책수단(28개)의 IP 매트릭스(전통적 방식)



[그림 5-2] 정책영역(8개)의 IP 매트릭스(전통적 방식)

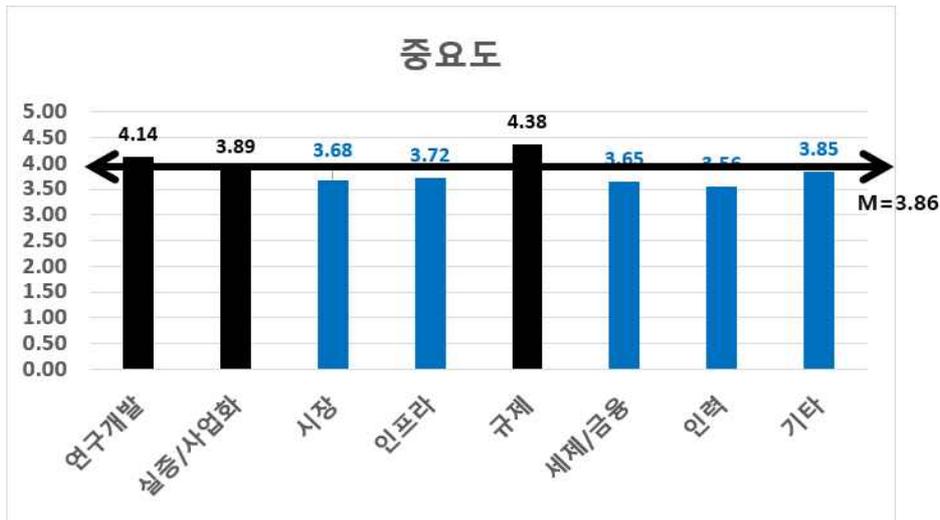
- 탄소중립 정책(8가지 영역, 28가지 수단)에 대한 중요도와 만족도 값은 앞서 살펴본 대응표본 t-검정 결과에서 언급했던 것처럼, 탄소중립 정책에 대한 8가지 영역의 만족도 평균은 중요도 평균에 비해 모두 현저히 낮음
- 특히 8가지 정책영역 중 연구개발(2.96점), 기타(2.96점), 인프라(2.83점)는 전체 만족도 평균(2.73점)보다 높았지만 모든 정책영역의 만족도가 보통(3점)보다는 낮은 것이 특징인 가운데, 중요도 평균(전체 3.86점)에서는 규제(4.38점)와 연구개발(4.14점)이 높은 수준의 중요도 영역으로 나타남



[그림 5-3] 탄소중립 정책영역(8가지)에 대한 중요도와 만족도 평균값 비교

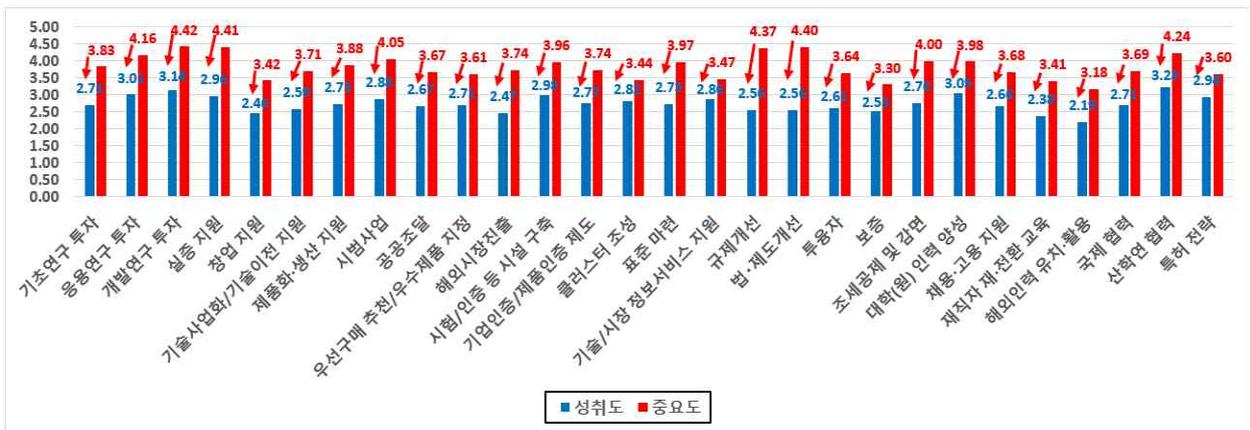


[그림 5-4] 정책영역(8가지)의 만족도 평균 비교

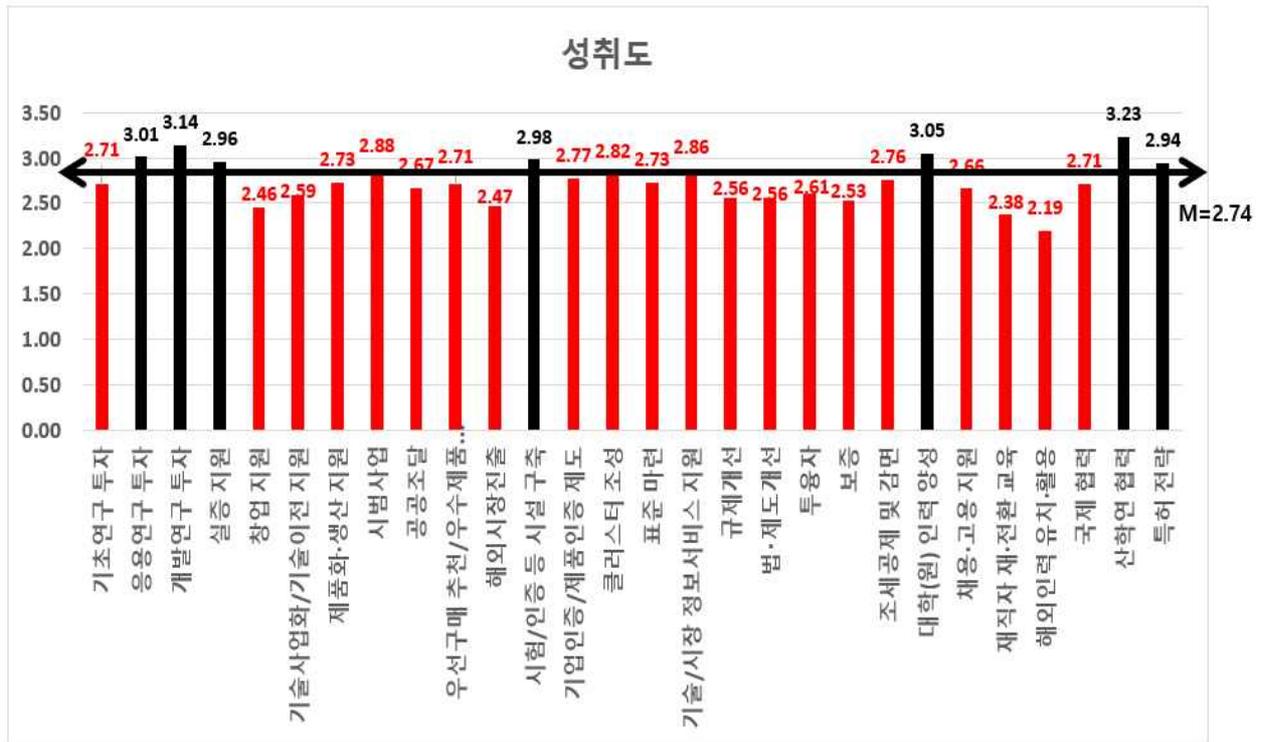


[그림 5-5] 정책영역(8가지)의 중요도 평균 비교

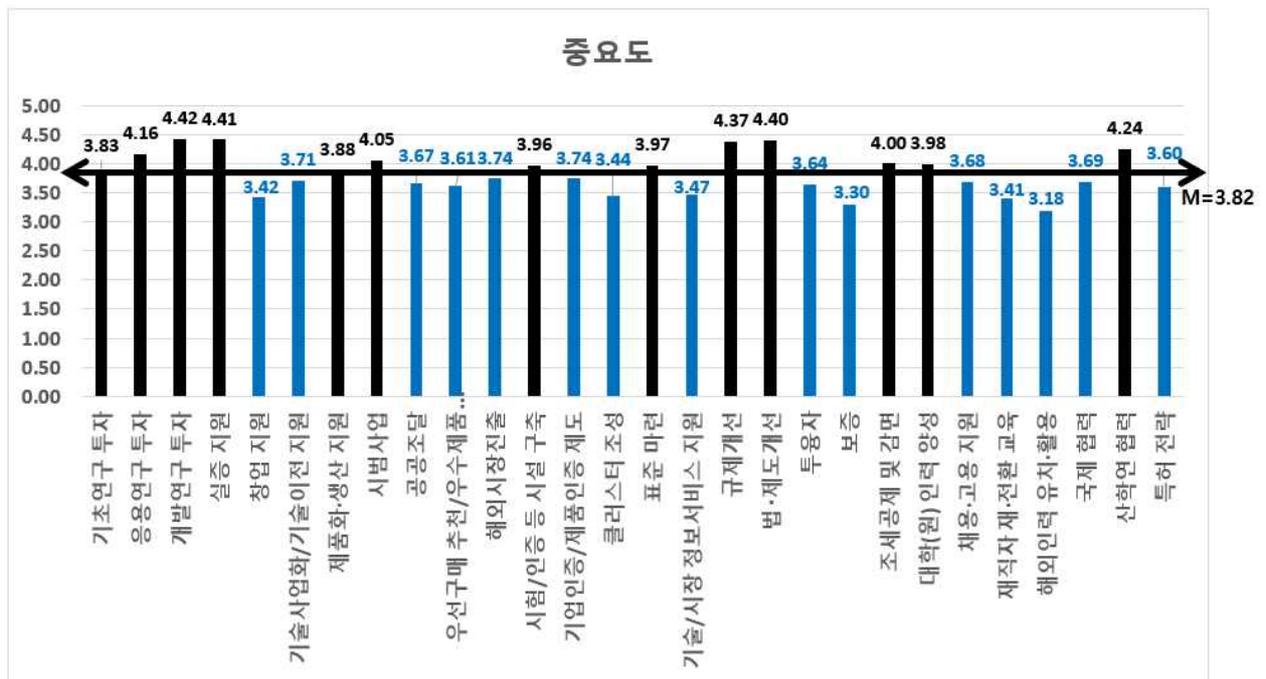
- 탄소중립 정책수단 28개 항목에 대한 만족도가 중요도에 비해 모두 낮은 것으로 나타남
 - 만족도의 경우 4개 항목(산학연 협력: 3.23점 > 개발연구 투자: 3.14점 > 대학(원) 인력 양성: 3.05점 > 응용연구 투자: 3.01점)만이 보통(3점) 수준으로 나타났고, 그 외 속성은 모두 보통(3점)보다 낮은 정책수단으로 확인
 - 중요도의 경우 모든 정책수단이 보통(3점)보다 높은 평균값을 보인 가운데, 8개 항목(개발연구 투자: 4.42점 > 실증 지원: 4.41점 > 법·제도개선: 4.40점 > 규제개선: 4.37점 > 산학연 협력: 4.24점 > 응용연구 투자: 4.16점 > 시범사업: 4.05점 > 조세공제 및 감면: 4.00점)은 높음(4점) 정도의 평균값을 보임



[그림 5-6] 탄소중립 정책수단(28가지)에 대한 중요도와 만족도 평균값 비교



[그림 5-7] 탄소중립 정책수단(28가지)에 대한 만족도 평균값 비교



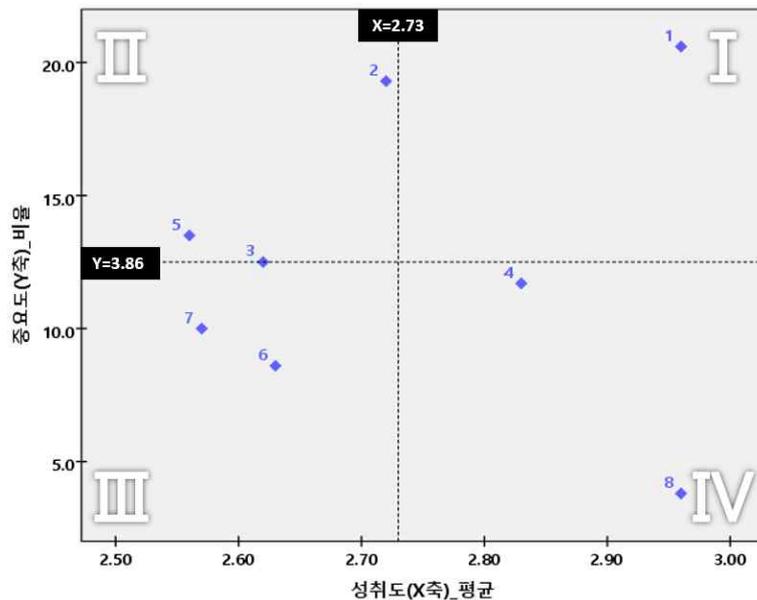
[그림 5-8] 탄소중립 정책수단(28가지)에 대한 중요도 평균값 비교

■ 탄소중립 정책영역 8가지에 대한 전통적 방식의 IPA 결과와 정책 중요도 비율의 평균-중요도 기반 분석 결과를 비교

- 비교 결과 8가지 정책영역 중 시장(■3)만이 위치가 불일치하고, 나머지 7가지 정책영역은 같은 영역에 속한 것을 알 수 있음
 - RIPA에 대한 시장(■3)의 결과가 격자(Y축)와 겹쳤다는 점에서 해석이 불가

〈표 5-4〉 탄소중립 정책영역에 대한 전통적 방식의 IPA 결과 비교

정책영역	만족도(평균)-중요도(평균)			만족도(평균)-중요도(비율)			비교 결과
	만족도(X축)	중요도(Y축)	영역	만족도(X축)	중요도(Y축)	영역	
연구개발(■1)	2.96	4.14	I	2.96	20.6	I	일치
실증/사업화(■2)	2.72	3.89	II	2.72	19.3	II	일치
시장(■3)	2.62	3.68	III	2.62	12.5	-	불일치
인프라(■4)	2.83	3.72	IV	2.83	11.7	IV	일치
규제(■5)	2.56	4.38	II	2.56	13.5	II	일치
세제/금융(■6)	2.63	3.65	III	2.63	8.6	III	일치
인력(■7)	2.57	3.56	III	2.57	10.0	III	일치
기타(■8)	2.96	3.85	IV	2.96	3.8	IV	일치
평균	2.73	3.86		2.73	12.5		



[그림 5-9] 정책영역(8개)에 IP 매트릭스(전통적 방식: 중요도 비율 적용)

3. 상대적 중요도를 활용한 RIPA 결과

▣ 탄소중립 정책수단 28개 항목의 편상관계수를 활용한 RIPA 분석을 시행

- I사분면(5개 정책수단): 개발연구 투자(◆3), 실증 지원(◆4), 조세공제 및 감면(◆21), 산학연 협력(◆27), 특히 전략(◆28)은 중요도 값과 만족도 값 모두 전체 평균보다 높기 때문에 현재 상태를 유지할 수 있도록 지속적인 노력과 관심을 기울일 필요
- II사분면(8개 정책수단): 기초연구 투자(◆1), 창업 지원(◆5), 제품화·생산 지원(◆7), 공공조달(◆9), 규제개선(◆17), 법·제도개선(◆18), 재직자 재·전환 교육(◆24), 국제 협력(◆26)은 중요도 값이 큰 것에 비해 낮은 만족도로 인해 가장 시급하게 개선할 필요가 있는 속성
- III사분면(8개 정책수단): 기술사업화/기술이전 지원(◆6), 우선구매 추천/우수제품 지정(◆10), 해외시장진출(◆11), 표준 마련(◆15), 투융자(◆19), 보증(◆20), 채용·고용 지원(◆23), 해외인력 유치·활용(◆25)은 전체 평균에 비해 중요도 값과 만족도 값 모두 낮기 때문에 현재 이상의 노력을 기울이는 것은 의미가 없다는 저에서 우선순위와 가장 낮음
- IV사분면(7개 정책수단): 응용연구 투자(◆2), 시범사업(◆8), 시험/인증 등 시설 구축(◆12), 기업 인증/제품인증 제도(◆13), 클러스터 조성(◆14), 기술/시장 정보서비스 지원(◆16), 대학(원) 인력 양성(◆22)은 중요도 값이 낮은 것에 비해 오히려 높은 만족도 값으로 인해 과잉적 노력을 피해야 할 영역으로, 개선의 노력을 차츰 줄일 필요가 있는 속성

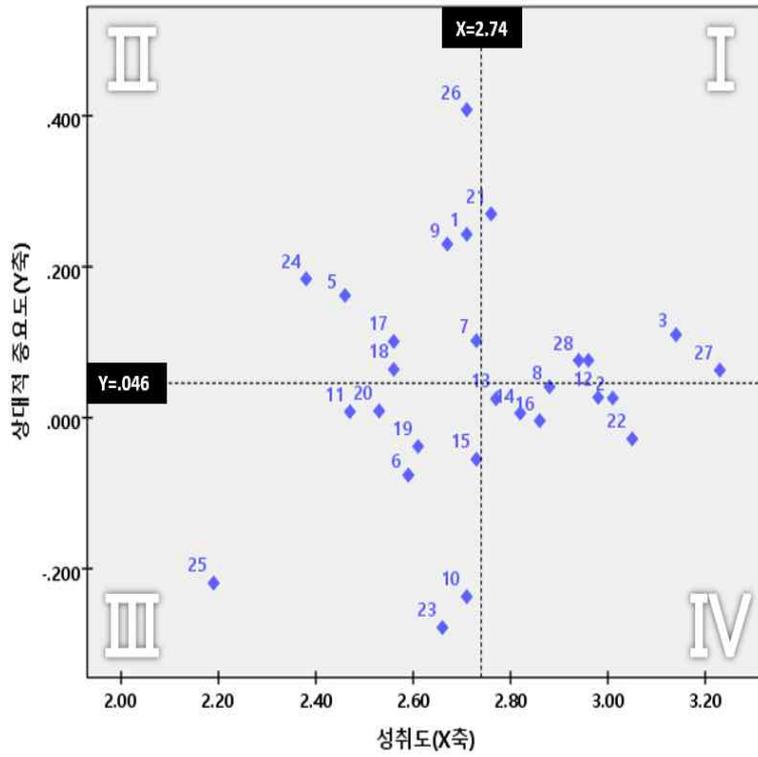
▣ 탄소중립 정책영역 8개를 활용한 RIPA 분석을 시행

- I사분면(2개 정책영역): 연구개발(■1)과 기타(■8)는 지속적인 노력이 요구되는 정책영역으로 나타났기 때문에 현재 상태를 유지하는 것이 무엇보다 중요
- II사분면(3개 정책영역): 실증/사업화(■2), 규제(■5), 그리고 세제/금융(■6)은 시급하게 개선이 요구되는 정책영역으로 나타났기 때문에 개선을 위해 최우선의 노력이 요구
- III사분면(2개 정책영역): 시장(■3)과 인력(■7)은 전체 평균에 비해 중요도와 만족도가 낮은 정책영역으로 나타났기 때문에 자원의 투입을 제한적으로 할 필요가 있는 우선순위 영역
- IV사분면(1개 정책영역): 인프라(■4)는 중요도가 낮은 것에 비해 높은 만족도가 특징인 영역으로, 개선을 위해 개선을 위한 노력을 줄여나갈 필요

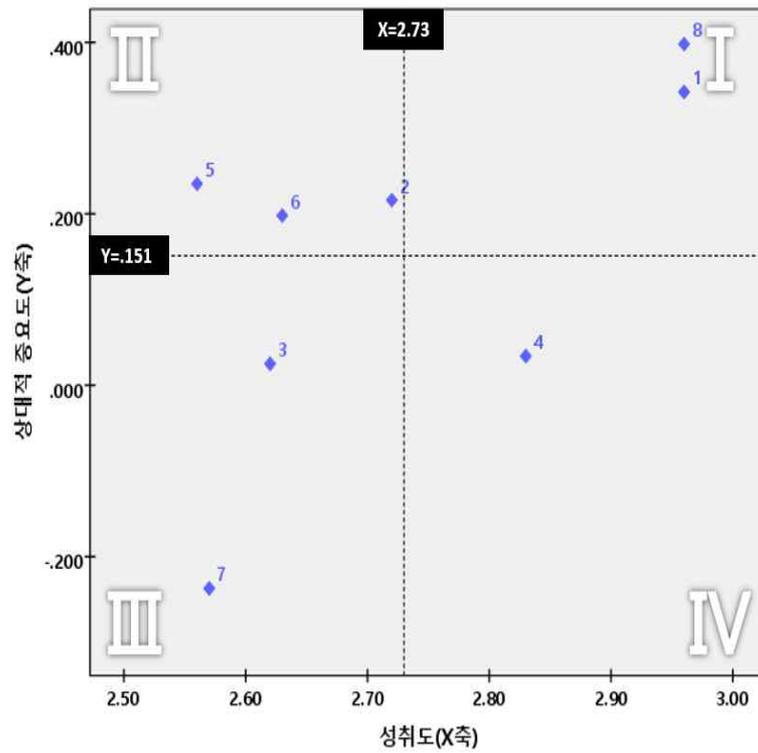
〈표 5-5〉 탄소중립 정책(영역/수단)에 대한 RIPA 결과

정책영역 및 정책수단	만족도(X축)	상대적 중요도(Y축)	영역
정책영역1(■1): 연구개발	2.96	.342**	I
◆1: 기초연구 투자	2.71	.243*	II
◆2: 응용연구 투자	3.01	.026	IV
◆3: 개발연구 투자	3.14	.110	I
정책영역2(■2): 실증/사업화	2.72	.216*	II
◆4: 실증 지원	2.96	.076	I
◆5: 창업 지원	2.46	.162	II
◆6: 기술사업화/기술이전 지원	2.59	-.076	III
◆7: 제품화·생산 지원	2.73	.102	II
◆8: 시범사업	2.88	.041	IV
정책영역3(■3): 시장	2.62	.025	III
◆9: 공공조달	2.67	.230	II
◆10: 우선구매 추천/우수제품 지정	2.71	-.237	III
◆11: 해외시장진출	2.47	.008	III
정책영역4(■4): 인프라	2.83	.034	IV
◆12: 시험/인증 등 시설 구축	2.98	.027	IV
◆13: 기업인증/제품인증 제도	2.77	.025	IV
◆14: 클러스터 조성	2.82	.006	IV
◆15: 표준 마련	2.73	-.055	III
◆16: 기술/시장 정보서비스 지원	2.86	-.004	IV
정책영역5(■5): 규제	2.56	.235*	II
◆17: 규제개선	2.56	.101	II
◆18: 법·제도개선	2.56	.064	II
정책영역6(■6): 세제/금융	2.63	.198	II
◆19: 투융자	2.61	-.038	III
◆20: 보증	2.53	.009	III
◆21: 조세공제 및 감면	2.76	.270*	I
정책영역7(■7): 인력	2.57	-.237*	III
◆22: 대학(원) 인력 양성	3.05	-.028	IV
◆23: 채용·고용 지원	2.66	-.278*	III
◆24: 재직자 재·전환 교육	2.38	.184	II
◆25: 해외인력 유치·활용	2.19	-.219	III
정책영역8(■8): 기타	2.96	.398**	I
◆26: 국제 협력	2.71	.408**	II
◆27: 산학연 협력	3.23	.063	I
◆28: 특허 전략	2.94	.076	I
정책수단 평균(28개)	2.74	.046	
정책영역 평균(8개)	2.73	.151	

※ 주: *p<.05, **p<.01, ***p<.001



[그림 5-10] 정책수단(28개)의 IP 매트릭스(편상관계수 활용 RIPA)



[그림 5-11] 정책영역(8개)의 IP 매트릭스(편상관계수 활용 RIPA)

4. 전통적 방식에 의한 IPA와 상대적 중요도를 활용한 RIPA 결과 비교

- 전통적 방식에 의한 IPA 결과와 상대적 중요도(편상관계수)를 활용한 RIPA 결과를 비교한 결과 일부 정책수단과 정책영역의 포지셔닝이 상이하게 도출
- 사분면의 위와 아래에 대한 위치 변화(■: I↔IV, II↔III)가 일부 정책수단(10개)과 정책영역(2개)에서 발생
- 정책수단의 경우 28개 속성(◆1~28) 중 18개 속성(◆1, ◆3, ◆4, ◆6, ◆7, ◆10, ◆11, ◆13, ◆14, ◆16, ◆17, ◆18, ◆19, ◆20, ◆21, ◆23, ◆25, ◆27)은 전통적 방식의 IPA와 RIPA 결과가 일치(일치율: 64.3%)
- 나머지 10개 정책수단(◆2, ◆5, ◆8, ◆9, ◆12, ◆15, ◆22, ◆24, ◆26, ◆28)은 두 방식 간 결과가 불일치
- 정책영역의 경우 해당 정책수단의 산술평균값을 도출하여 적용하였기 때문에 전통적 방식의 IPA와 RIPA의 결과 간 차이가 크지 않은 가운데, 세제/금융(■6)과 기타(■8)만이 불일치한 결과(일치율: 75.0%)가 도출

〈표 5-6〉 IPA와 RIPA 분석의 사분면 위치 비교

구분	정책영역(■)		정책수단(◆)	
	I 사분면	III 사분면	I 사분면	III 사분면
전통적 방식의 IPA	1	2	8	5
RIPA	2	3	5	8

〈표 5-7〉 정책수단(28개 항목)과 정책영역(8가지)에 대한 IPA와 RIPA의 결과 비교

구분		I 사분면	II 사분면	III 사분면	IV 사분면	합계
정책수단 (◆)	IPA	8	5	11	4	28
	RIPA	5	8	8	7	28
	차이	3	-3	3	-3	0
정책영역 (■)	IPA	1	2	3	2	8
	RIPA	2	3	2	1	8
	차이	-1	-1	1	1	0

〈표 5-8〉 정책영역과 정책수단에 대한 RIPA 결과 비교

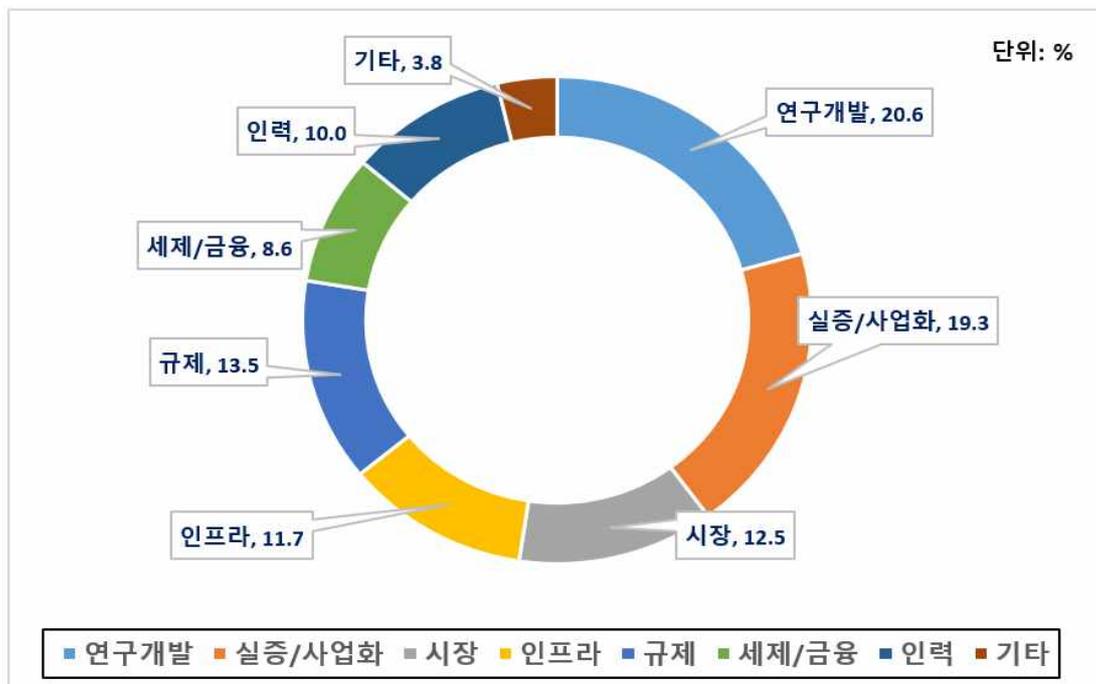
정책영역 및 정책수단	전통적 IPA	RIPA	결과
정책영역1(■1): 연구개발	I	I	일치
◆1: 기초연구 투자	II	II	일치
◆2: 응용연구 투자	I	IV	불일치
◆3: 개발연구 투자	I	I	일치
정책영역2(■2): 실증/사업화	II	II	일치
◆4: 실증 지원	I	I	일치
◆5: 창업 지원	III	II	불일치
◆6: 기술사업화/기술이전 지원	III	III	일치
◆7: 제품화·생산 지원	II	II	일치
◆8: 시범사업	I	IV	불일치
정책영역3(■3): 시장	III	III	일치
◆9: 공공조달	III	II	불일치
◆10: 우선구매 추천/우수제품 지정	III	III	일치
◆11: 해외시장진출	III	III	일치
정책영역4(■4): 인프라	IV	IV	일치
◆12: 시험/인증 등 시설 구축	I	IV	불일치
◆13: 기업인증/제품인증 제도	IV	IV	일치
◆14: 클러스터 조성	IV	IV	일치
◆15: 표준 마련	II	III	불일치
◆16: 기술/시장 정보서비스 지원	IV	IV	일치
정책영역5(■5): 규제	II	II	일치
◆17: 규제개선	II	II	일치
◆18: 법·제도개선	II	II	일치
정책영역6(■6): 세제/금융	III	II	불일치
◆19: 투융자	III	III	일치
◆20: 보증	III	III	일치
◆21: 조세공제 및 감면	I	I	일치
정책영역7(■7): 인력	III	III	일치
◆22: 대학(원) 인력 양성	I	IV	불일치
◆23: 채용·고용 지원	III	III	일치
◆24: 재직자 재·전환 교육	III	II	불일치
◆25: 해외인력 유치·활용	III	III	일치
정책영역8(■8): 기타	IV	I	불일치
◆26: 국제 협력	III	II	불일치
◆27: 산학연 협력	I	I	일치
◆28: 특허 전략	IV	I	불일치

5. 정책영역에 대한 중요도 비율과 우선순위 응답 비교

- 8가지 정책영역(연구개발, 실증/사업화, 시장, 인프라, 규제, 세제/금융, 인력, 기타)에 대한 중요도 비율(합계 100%)과 우선순위(1~8위/중복 순위 없음)의 응답을 검토

※ 정책수단의 경우 28개 항목(속성)으로 구성되어 있기 때문에 이에 대한 중요도 비율과 우선순위를 응답자를 통해 확보하는 것이 불가능

- 탄소중립의 정책영역에 대한 중요도 비율의 평균값을 기술통계분석을 통해 확인한 결과 연구개발(20.6%)과 실증/사업화(19.3%)의 중요도 비율이 상대적으로 큰 것으로 나타난 가운데, 규제(13.5%), 시장(12.5%), 인프라(11.7%), 인력(10.0%), 세제/금융(8.6%) 순으로 나타났으며, 기타는 3.8%로 중요도 비율이 가장 낮음



[그림 5-12] 탄소중립 정책(8개 영역)에 대한 중요도 비율 평균 분포도

■ 탄소중립의 정책영역에 대한 우선순위의 평균값을 기술통계분석을 통해 살펴본 결과 연구개발이 2.122순위로 우선순위가 가장 높은 것으로 나타난 가운데, 두 번째는 실증/사업화(2.673순위)로 나타났고, 평균 1순위 영역은 없음

● 평균 3순위 영역은 1개(규제: 3.959순위), 평균 4순위 영역은 2개(시장: 4.388순위, 인프라: 4.449순위), 평균 5순위 2개(인력: 5.194순위, 세제/금융: 5.694순위), 그리고 평균 7순위 1개(기타: 7.439순위)로 순위가 구분



[그림 5-13] 탄소중립 정책(8개 영역)에 대한 우선순위 평균 분포도

■ 정책 중요도에 대한 비율과 우선순위의 응답에 대한 일관성 여부를 확인하기 위해 이변량 상관 분석을 시행

● 분석결과 정책영역의 8가지 영역(연구개발, 실증/사업화, 시장, 인프라, 규제, 세제/금융, 인력, 기타) 모두 유의수준 1%에서 통계적으로 유의

- 상관계수의 부호가 모두 음(-)으로 도출되었으며, 우선순위(1~8순위)는 낮을수록 높은 순위를 의미하는 반면에 중요도 비율(0~100%)은 높을수록 높은 비중을 의미한다고 볼 수 있음

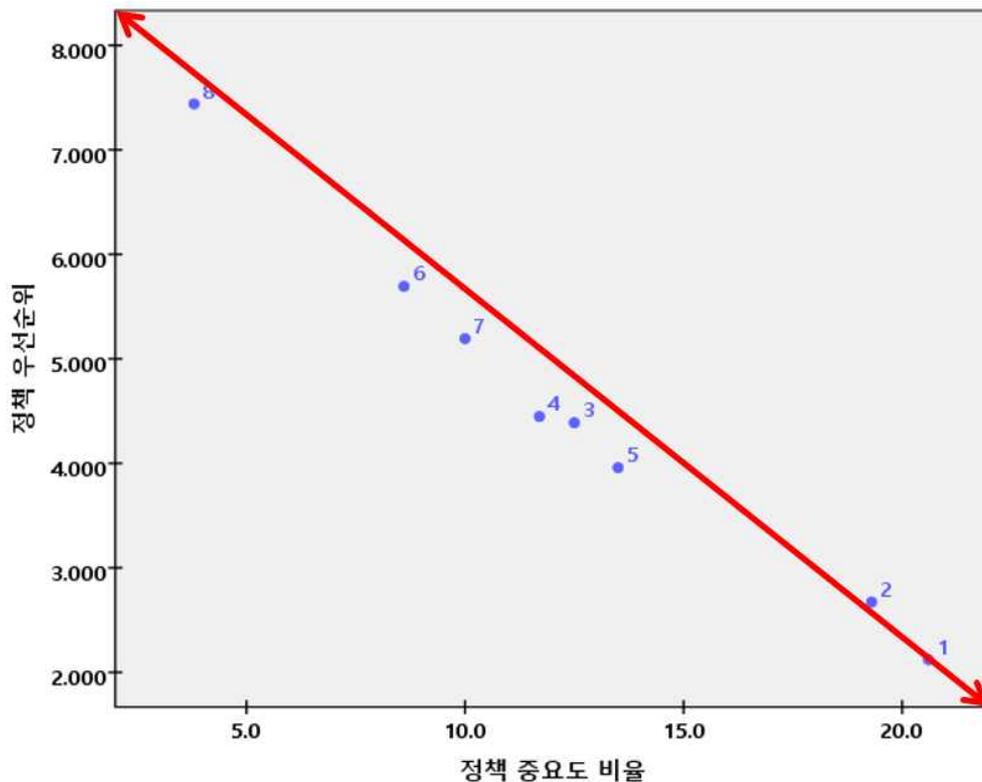
- 정책영역에 대한 중요도 비율을 높게 응답한 사람이 정책영역에 대한 우선순위는 어느 정도 높은 순위로 응답한 것으로 볼 수 있어 중요도 비율과 우선순위에 대한 응답의 일관성을 확보한 것으로 판단

〈표 5-9〉 정책(8개 영역)에 대한 중요도 비율과 우선순위의 평균 간 상관분석 결과

구분	연구개발	실증/사업화	시장	인프라	규제	세제/금융	인력	기타
비율(단위: %)	20.6	19.3	12.5	11.7	13.5	8.6	10.0	3.8
우선순위(단위: 순위)	2.122	2.673	4.388	4.449	3.959	5.694	5.194	7.439
상관계수	-0.606**	-0.582**	-0.717**	-0.669**	-0.822**	-0.621**	-0.708**	-0.715**

※ 주: *p<.05, **p<.01

- 정책영역(8가지)에 대한 중요도 비율(X축)과 우선순위(Y축)를 교차하는 산점도를 그려본 결과 정책 영역 8가지가 선에서 크게 벗어나지 않고, 음(-)의 관계로 분포하고 있는 것을 확인
 - 해당 정책영역에 대한 중요도 비율을 높게 입력한 응답자는 우선순위를 높게 생각하여 낮은 수치를 입력하였음을 의미하며, 선에서 크게 벗어나지 않는다는 것은 이상값에는 문제가 없는 것을 의미



[그림 5-14] 탄소중립 정책(8개 영역) 중요도 비율과 우선순위 간 산점도 결과

■ 탄소중립의 정책(8개 영역)에 대한 우선순위를 활용하여 MDPREF 분석을 시행

- MDPREF의 해석에 앞서 모형에 대한 적합도를 STRESS값과 설명력(RSQ, 즉, R^2)을 통해 살펴보았고, STRESS값은 .146, RSQ는 .979(97.9%)로 나타나 탄소중립 정책(8가지 영역)에 대한 우선순위 응답을 활용한 모형 설명력은 보통 이상으로 안정적
- 탄소중립 정책영역 8가지를 「영역1(■1)~영역8(■8)」로 좌표점을 명명하였고, 개별 응답자의 이상적 위치를 「◆_n」으로 표시
 - 개별 응답자의 정보와 탄소중립 정책(8개 영역)의 정보를 혼합하여 2차원의 포지셔닝 맵에 표시한 만큼 인지 속성에 대한 객관적인 선호 정도를 IP(좌표점: ●, 이하 IP)를 통해 확인

- 개별 응답의 전체 IP는 독립변수(X축, Y축, X^2+Y^2)와 종속변수(선호순위에 대한 평균값) 간 다중회귀 분석을 통해 도출 가능
 - 다중회귀분석을 통해 비표준화 회귀계수의 수치($X=-.205, Y=-.004, X^2+Y^2=.349$)를 IP 도출을 위한 공식(62)에 대입하였고, 그 결과 전체 IP는 X는 .036, Y는 .001로 나타남
 - 선호순위(종속변수)는 낮을수록 높은 순위를 의미하기 때문에 b_{r+1} 값(X^2+Y^2)이 양(+)이면 최고로 선호되는 IP를 의미하는 반면에 음(-)이면 최저로 선호되는 이상점을 의미하는데, 본 연구에서는 b_{r+1} 값(X^2+Y^2)이 .349로 양(+)에 해당하는 수치가 도출되었기 때문에 본 연구에서 도출된 IP는 최고 선호도에 해당
 - IP($X=.036, Y=.001$)와의 거리(d)가 가장 짧은 속성이 가장 선호되는 탄소중립 정책영역이라고 볼 수 있으며, 연구개발(영역1: ■1)의 거리($d=.766$)가 IP와 가장 짧아 가장 선호되는 탄소중립 정책영역임을 확인
 - 실제 개별 응답자 전체(◆1~◆98)와 탄소중립 정책영역(영역1: ■1~영역8: ■8)을 겹쳐보았을 때도 영역1(■1: 연구개발) 주변으로 많은 응답자가 분포하고 있는 것을 알 수 있음
- 〈표 5-10〉 속성(정책영역)의 중요도별 선호 포지션/응답자 개별과 전체 IP 좌표

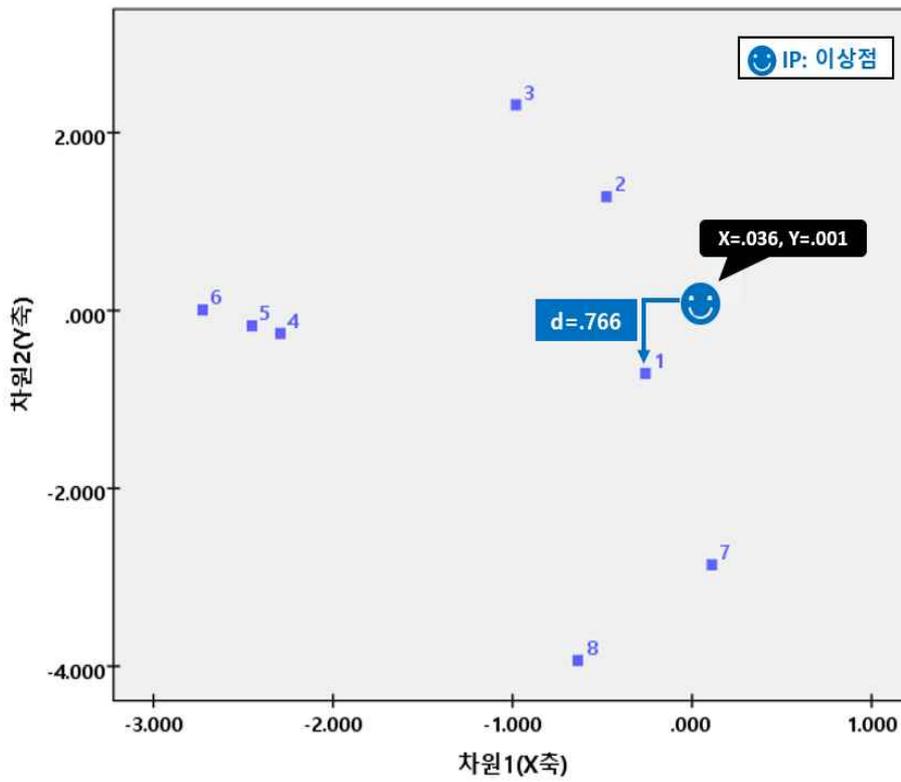
좌표점	변수명 (정책영역)	독립변수			종속변수	IP와의 거리(d)
		X	Y	X^2+Y^2	선호순위	
영역1(■1)	연구개발	-0.259	-0.707	.567	2.122	.766
영역2(■2)	실증/사업화	-0.476	1.279	1.861	2.673	1.377
영역3(■3)	시장	-0.981	2.313	6.310	4.388	2.526
영역4(■4)	인프라	-2.293	-0.257	5.323	4.449	2.343
영역5(■5)	규제	-2.451	-0.173	6.035	3.959	2.492
영역6(■6)	세제/금융	-2.726	.006	7.428	5.694	2.761
영역7(■7)	인력	.110	-2.858	8.179	5.194	2.859
영역8(■8)	기타	-0.636	-3.934	15.881	7.439	3.992

STRESS=.146, RSQ=.979

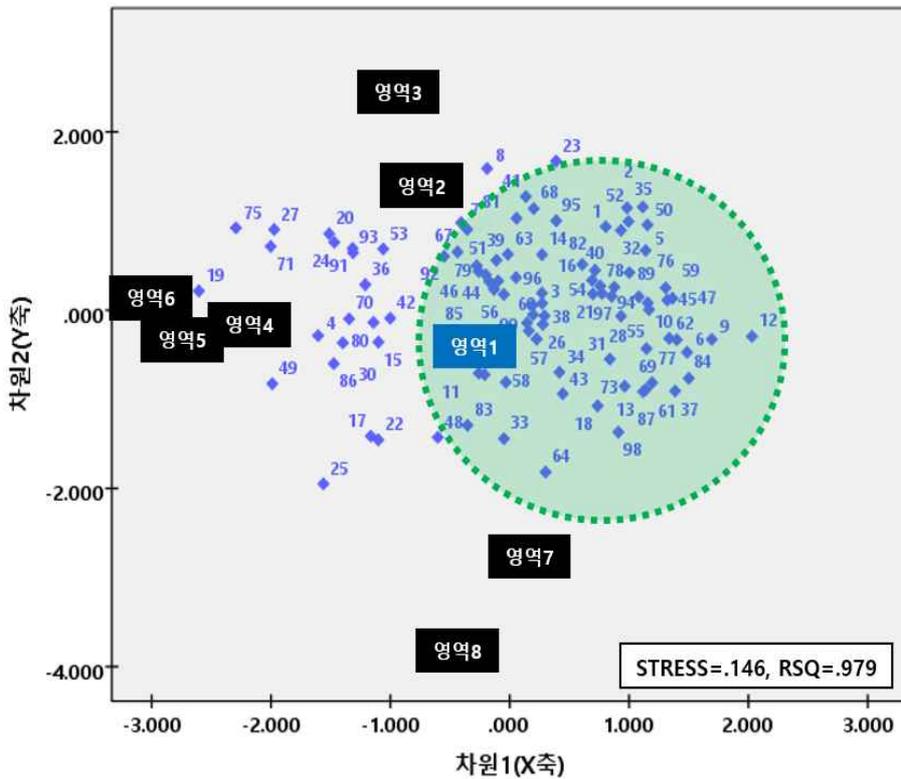
회귀분석				IP	
R^2	.953	$X(q_a)$	-0.205	X좌표값	Y좌표값
F값	26.864	$Y(b_a)$	-0.004		
p값	.004**	$X^2+Y^2(b_{r+1})$.349	.036	.001

※ 주: * $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

62) $q_a = \frac{-b_a}{2b_{r+1}}$ q_a 는 이상점의 좌표값, b_a 는 X좌표와 Y좌표의 비표준화 회귀계수, b_{r+1} 은 자승합(X^2+Y^2) 좌표의 비표준화 회귀계수를 의미함(박광배, 2000)



[그림 5-15] 우선순위에 대한 전체 IP 결과



[그림 5-16] 우선순위에 대한 개별 IP 결과

6. 정책영역이 전반적 만족도에 미치는 영향관계 비교

- ▣ 탄소중립 정책영역 8가지의 만족도 값과 탄소중립 정책에 대한 전반적 만족도 간 영향관계를 확인해보고자 다중회귀분석을 실시
 - 8개의 정책영역을 독립변수(x)로 하고, 전반적 만족도를 종속변수(y)로 하는 회귀식 1개가 도출되었고, 회귀식의 설명력(R^2)은 74.5%(수정된 설명력: 72.2%)로 나타남
 - 설명력의 유의성과 회귀선의 유의성($\beta \neq 0$)에 대한 분산분석 결과에서 F값은 32.512로 나타나 0.1% 유의수준에서 통계적으로 유의
- ▣ 다중회귀분석 결과 8가지 정책영역의 만족도 값 중 연구개발(영역1), 실증/사업화(영역2), 인력(영역7), 그리고 기타(영역8)가 전반적 만족도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타남
 - 연구개발(영역1, $\beta=.295$)은 전반적 만족도에 정(+)의 영향을 미치고, 이는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 결과
 - 실증/사업화(영역2, $\beta=.224$)는 전반적 만족도에 정(+)의 영향을 미치고, 이는 5% 유의수준에서 통계적으로 유의한 결과
 - 인력(영역7, $\beta=-.241$)은 전반적 만족도에 부(-)의 영향을 미치고, 이는 5% 유의수준에서 통계적으로 유의한 결과
 - 기타(영역8, $\beta=.380$)는 전반적 만족도에 정(+)의 영향을 미치고, 이는 0.1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 결과

〈표 5-11〉 정책영역(만족도)과 전반적 만족도 간 다중회귀분석 결과

종속변수	독립변수	B	S.E.	β	t값	p값
전반적 만족도	(상수)	-.505	.211		-2.395	.019
	영역1: 연구개발	.325	.094	.295	3.459	.001**
	영역2: 실증/사업화	.264	.110	.224	2.394	.019*
	영역3: 시장	.050	.090	.045	.551	.583
	영역4: 인프라	.072	.097	.068	.747	.457
	영역5: 규제	.113	.064	.126	1.782	.078
	영역6: 세제/금융	.174	.090	.156	1.949	.054
	영역7: 인력	-.271	.106	-.241	-2.558	.012*
	영역8: 기타	.403	.092	.380	4.371	.000***
$R^2=.745$, adj. $R^2=.722$, $F=32.512^{***}$						

※ 주: * $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

■ 8가지 정책영역에 대한 중요도와 전반적 만족도 간 영향관계에서 Likert 5점 척도에 의한 중요도 값을 활용한 다중회귀분석 결과와 비율척도에 의한 중요도 값을 활용한 다중회귀분석 결과 간 차이를 Z-검정을 통해 검토

※ 집단 간 회귀계수의 차이를 규명할 수 있는 효과적 분석방법으로 알려진 Z-검정은 공식⁶³⁾에 대입하여 도출된 Z 값의 통계적 유의성(기준: >±1.96, p<.05)을 통해 두 집단 간 회귀계수의 차이 유무를 확인 가능

- Z-검정을 통해 두 회귀모델에 의해 도출된 회귀계수 간 차이를 살펴본 결과 본 연구에 활용된 두 가지 버전(① Likert 5점 척도, ② 비율척도)에 의한 탄소중립 정책(8개 영역)이 전반적 만족도에 미치는 영향력 차이는 통계적으로 유의하지 않음

〈표 5-12〉 정책영역(중요도)과 전반적 만족도 간 영향관계 비교

종속변수	독립변수	중요도(Likert 5점 척도 활용)					중요도(비율척도 활용)					Z값
		b ₁	SE ₁	β ₁	t값	p값	b ₂	SE ₂	β ₂	t값	p값	
전반적 만족도	(상수)	1.088	1.020		1.067	.289	3.245	5.372		.604	.547	-.394
	연구개발	.248	.198	.150	1.252	.214	.012	.056	.115	.211	.833	1.148
	실증/사업화	.158	.212	.100	.745	.458	-.006	.052	-.063	-.120	.904	.752
	시장	.064	.141	.058	.457	.649	-.009	.054	-.063	-.157	.875	.483
	인프라	.037	.206	.025	.180	.857	.007	.057	.047	.127	.899	.140
	규제	.000	.143	.000	-.003	.998	-.021	.055	-.164	-.389	.699	.137
	세제/금융	-.145	.166	-.113	-.873	.385	-.008	.059	-.044	-.136	.892	-.778
	인력	-.107	.182	-.078	-.586	.559	-.017	.056	-.113	-.299	.766	-.473
	기타	.146	.163	.104	.896	.373	-.017	.053	-.086	-.313	.755	.949
<i>R</i> ² =.061, adj. <i>R</i> ² =-.023, F=.672						<i>R</i> ² =.061, adj. <i>R</i> ² =-.024, F=.675						

※ 주: *p<.05, **p<.01, ***p<.001

63)
$$Z = \frac{b_1 - b_2}{\sqrt{SEb_1 + SEb_2}}$$

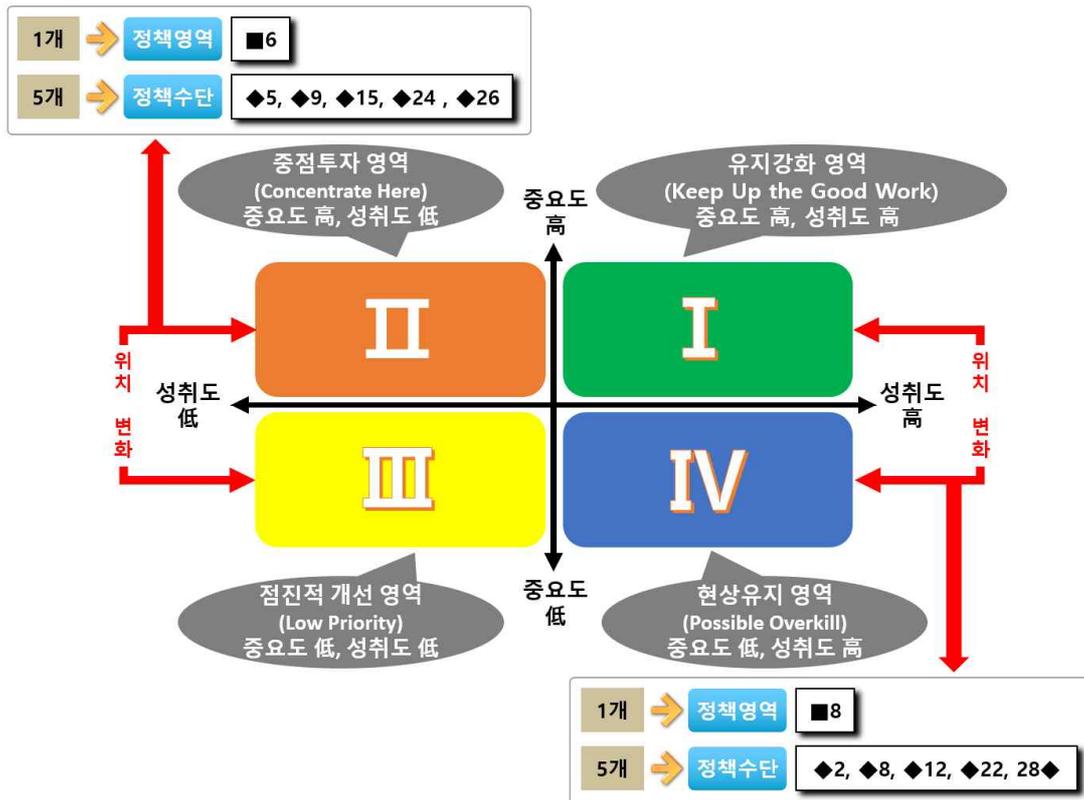
 ※ 근거: Paternoster et al.(1998)

b₁: Likert 5점 척도에 의한 중요도 값을 활용한 회귀분석 내 비표준화 회귀계수(B)
 b₂: 비율척도에 의한 중요도 값을 활용한 회귀분석 내 비표준화 회귀계수(B)
 SEb₁: Likert 5점 척도에 의한 중요도 값을 활용한 회귀분석 내 표준편차(S.E.)
 SEb₂: 비율척도에 의한 중요도 값을 활용한 회귀분석 내 표준편차(S.E.)

제3절

소결 및 제언

- 탄소중립 관련 이해관계자들이 해당 정책의 중요도를 높게 인식하고 있음에도 불구하고, 모든 정책영역과 수단의 만족도를 충족시키지 못할 만큼 만족도가 상대적으로 낮게 인식되는 중
 - 전통적 방식의 IPA 분석 결과 8개 정책영역과 28개 정책수단 간 중요도에 비해 만족도가 모두 낮게 도출
 - 다중회귀분석 결과 8개 정책영역에 대한 중요도가 전반적 만족도에 어떠한 영향도 미치지 못하고 있음
 - 탄소중립 정책에 대한 중요도와 만족도 간 격차를 줄이기 위한 전방위적 노력 필요
- 전통적 방식의 IPA와 편상관계수를 활용한 RIPA 간 결과에는 다소 차이가 발생
 - 전통적 방식의 IPA와 편상관계수를 활용한 RIPA 간 결과에서 선형적 관계 변화(I↔Ⅲ, II↔IV)는 없으나 사분면의 위와 아래로의 속성의 위치 변화(I↔IV, II↔Ⅲ)가 발생



[그림 5-17] 전통적 방식의 IPA와 RIPA 비교 시 발생한 문제점과 속성

- (I↔IV 이동) 현재의 상태를 유지해야 하는 상황(I사분면)임에도 더 이상 노력할 필요가 없는 상황(IV사분면)으로 판단하거나 반대로 더 이상의 노력할 필요가 없는 상황(IV사분면)을 지금의 노력을 통해 현재의 상태를 유지해야 하는 상황(I사분면)으로 판단할 수 있음

- (II↔III 이동) 해당 속성이 시급하게 개선이 필요한 상황(II사분면)임에도 우선순위가 가장 낮아 현재 이상의 노력이 불필요하다고 판단하는 상황(III사분면)이 발생할 수 있거나 반대로 해석될 수 있다는 점에서 IPA와 RIPA 결과에 대한 해석상 신중함이 필요

● 두 가지 분석 방법의 결과에 차이가 있는 경우 전통적 방식의 IPA 분석이 지닌 응답자 편의 또는 통계적 오류 관련 문제점을 최소화할 수 있는 RIPA의 결과를 토대로 시사점을 도출

- 여러 선행연구(예: 윤설민 외, 2022; 윤설민·홍민정, 2022; 2023)에서는 편상관계수를 상대적 중요도로 도출하여 사용하는 것처럼 통계적 방법에 따른 RIPA를 활용하는 것이 합리적 전략 수립에 도움이 된다는 것을 제시

- 편상관계수를 상대적 중요도 값으로 활용하는 RIPA는 연구설계, 설문조사, 실증분석 등에서 적용이 쉽다는 점에서 다른 상대적 중요도 값을 도출하는 통계적 방법보다 실무자가 응용하는 것에서 제약이 적은 편

■ 탄소중립 정책 관련 가장 큰 강점인 연구개발을 개발연구 투자를 중심으로 지속적으로 유지할 필요

● 정책영역1에 해당하는 연구개발과 연구개발에 포함된 2개의 정책수단(개발연구 투자)은 강점에 해당하는 I사분면에 포함

- 연구개발에 포함된 정책수단인 기초연구 투자는 II사분면에 위치하여 현재 수준을 유지하는 것이 아닌 시급하게 개선할 필요

● 연구개발은 정책 중요도 비율에서도 가장 높고, 정책 우선순위에서도 가장 선호되는 정책

● 만족도와 전반적 만족도 간 다중회귀분석 결과에서도 연구개발은 전반적 만족도에 긍정적 영향을 미치는 정책영역으로 나타나 연구개발은 가장 큰 강점에 해당하는 정책영역

■ 탄소중립 정책 관련 가장 시급하게 개선이 요구되는 것은 규제개선

● 정책영역5에 해당하는 규제와 규제에 포함된 2개의 정책수단(규제개선, 법·제도개선) 모두 약점에 해당하는 II사분면에 포함

● 정책영역만을 가지고 전통적 방식의 IPA를 적용하였을 때도 규제는 II사분면에 포함

● 만족도와 전반적 만족도 간 다중회귀분석에서는 규제는 전반적 만족도에 어떠한 영향도 주지 못하는 정책영역으로 나타났다는 점에서 규제는 가장 큰 약점에 해당하는 정책영역

■ 실증/사업화는 중요하다고 판단되는 영역임에도 약점 영역에 포함되었다는 점에서 시급하게 개선이 필요한 정책영역 중 하나로 창업 지원, 제품화·생산 지원을 중심으로 개선사항을 발굴하여 보완 하려는 노력 필요

● 정책영역2에 해당하는 실증/사업화와 실증/사업화에 포함된 2개의 정책수단(창업 지원, 제품화·생산 지원)은 약점에 해당하는 II사분면에 포함

- 실증/사업화(정책영역2)에 포함된 정책수단인 실증 지원은 I사분면에 위치하여 시급하게 개선하기 보다는 현재의 수준을 유지하는 것이 필요

● 실증/사업화는 정책 중요도 비율에서도 연구개발 다음으로 높았고, 정책 우선순위 또한 연구 개발 다음으로 선호

● 만족도와 전반적 만족도 간 다중회귀분석 결과에서도 실증/사업화는 전반적 만족도에 긍정적 영향을 미치는 정책영역

■ 정책영역-정책수단 간 불일치를 보이는 일부 정책수단에 대한 추가 검증 필요

● (재직자 재·전환 교육) 인력(정책영역7)은 III사분면에 속하지만, 인력에 포함된 정책수단인 재직자 재·전환 교육은 II사분면에 위치하여 현재 수준을 유지하는 것이 아닌 시급하게 개선할 필요

● (국제 협력) 기타(정책영역8)는 I사분면에 속하지만, 기타에 포함된 정책수단인 국제 협력은 II사분면에 위치하여 현재 수준을 유지하는 것이 아닌 개선이 필요한 속성

- 다만 기타(정책영역8)는 전반적 만족도에 긍정적인 영향을 미치지만, 정책에 대한 중요도 비율이나 우선순위가 가장 낮다는 점에서 기타에 포함된 정책수단인 국제 협력 또한 최우선 개선사항이라고 보기는 어렵다는 점에 의사결정에 주의가 필요함

● (공공조달) 시장(정책영역3)은 III사분면에 속하지만, 시장에 포함된 정책수단인 공공조달은 II사분면에 위치하여 현재 수준을 유지하는 것이 아닌 개선이 필요한 속성

● (조세 공제 및 감면) 세제/금융(정책영역6)은 II사분면에 속하지만, 세제/금융에 포함된 정책수단인 조세 공제 및 감면은 I사분면에 위치하여 시급한 개선보다는 현재 수준의 유지 필요

- 다만 세제/금융(정책영역6)이 전반적 만족도에 어떠한 영향도 미치지 않고, 정책 중요도 비율과 우선순위 또한 낮은 편이라는 점을 고려했을 때 조세 공제 및 감면은 최우선으로 개선이 필요한 사항이라고는 보기 어렵기 때문에 현재 재원 범위를 고려한 접근이 요구

제 6 장

탄소중립을 위한 기술혁신 포럼

제1절 개요

제2절 포럼 주요내용

제1절

개요

□ 추진 개요

- (목적) 탄소중립 R&D 정책 추진 성과에 대한 대국민 인식 제고 및 산·학·연 의견 청취를 통한 정책 기반 조성
 - 탄소중립 실현 과정에서 기술의 중요성을 강조하고, 기술개발을 위한 단·중·장기 로드맵에 대한 민간 의견을 청취
- (내용) 2030 NDC 및 2050 탄소중립 실현을 위한 우리나라의 노력들을 짚어보고, 혁신기술 개발을 통한 탄소중립 실현을 위하여 우리나라 탄소중립 R&D 정책이 나아가야 할 방향에 대해 논의
 - 2050년 넷제로 실현에 필수적인 혁신기술을 확보하기 위해 산·학·연·관은 어떻게 준비해야 할지, 2050년까지의 단기·장기 탄소중립 R&D 정책 방향은 어떻게 수립 방법 논의
- (일시 및 장소) 2023년 12월 13일(수), 14:00~17:00, 서울대학교 교수회관

〈표 6-1〉 주요 참석자 상세

구분	상세사항
개회사	<ul style="list-style-type: none"> • 서울대학교 국가미래전략원 김준기 원장 • 한국과학기술기획평가원 정병선 원장
축사	<ul style="list-style-type: none"> • 과학기술정보통신부 주영창 과학기술혁신본부장 • 서울대학교 유홍림 총장 • 보다는은미래를위한반기문재단 반기문 이사장
발제자	<ul style="list-style-type: none"> • (KISTEP 황지호 본부장) 정부의 탄소중립 기술혁신 전략과 향후 과제 • (GGGI 전덕우 섹터리드) 탄소중립 실현을 위한 과학기술 국제협력 • (서울대학교 남기태 교수) 탄소중립을 위한 과학기술의 역할
토론자 및 좌장	<ul style="list-style-type: none"> • (산) 효성 권기영 전무, 삼성물산 정기석 상무 • (학) 서울대학교 구윤모 교수, 서울대학교 성영은 교수, 서울대학교 윤제용 교수 • (연) KIST 민병권 본부장

제2절

포럼 주요내용

□ 주요 발표내용

- 과기부, 산업부, 환경부 등 주요 부처에서 탄소중립과 관련된 R&D, 에너지, 산업 전략 등을 개별적으로 수립 중으로 부처별로 탄소중립 실현을 위한 정책·전략 수립 시, 최상위 계획과 부처별 전략의 정합성 제고 필요
 - 단일 부처 중심 R&D에서 기술실현까지 고려한 범부처 협업 지원체계 강화 및 임무 중심의 탄소중립 기술 타겟-개발-적용하는 전주기 체계 마련
 - 과학기술자문회의는 R&D 컨트롤 타워로서, 핵심기술 선정, 기술로드맵 수립, 범부처 R&D 조정 등을 담당
 - 탄소중립녹색성장위원회는 탄소중립 정책 컨트롤 타워로서, 국가 탄소중립 최상위 정책과 유관정책들간의 정합성 제고, 정책 수립, 이행, 감독 등 담당
- 탄소중립 혁신 기술의 상용화가 필요하지만 현재 개발된 혁신 기술 중 75%가 상용화 되지 못하는 실정
 - 현재 보유한 기술로 감축할 수 있는 탄소배출량은 2050년 글로벌 총 예상 배출량 60Gton 중 26Gton에 불과
 - 탄소 저감에 기여할 수 있는 신속한 시장 대응 능력과 파괴적 혁신 실현 역량을 갖춘 스타트업 활성화할 필요
 - 정부는 기후테크 스타트업 대상 기술실증 확대, 제품/서비스 대상 공공조달 확대 등 정책적 담보 제공 고려
- 국내 탄소중립 분야별 기술 수준은 대부분 선도국 대비 65~82%로 3년 이상의 기술격차 존재하지만 국내 역량만으로는 탄소중립 대응에 한계 존재
 - 수소·연료전지(3년), 풍력(5년), CCUS(5년) 등 탄소중립 실현을 위한 핵심기술의 기술격차가 상당한 수준
 - 국내 여건(산업구조, 기술력, 인적자원 등)만 가지고는 탄소중립 대응에 한계 존재, 글로벌 협력을 통한 양자-다자간 대응이 필요
 - 선도국 중심의 탄소중립 분야별 기술경쟁 우위 분석을 통한 전략적 기술 협력국 발굴 및 협력 추진

- 개도국의 기후과학기술 로드맵 마련에 적극적으로 기여하고 한국 기술의 우수성을 소개하며
우호적 파트너십 형성 필요



[그림 6-2] 발제자 발표 모습

▣ 토론 및 제언사항

- 탄소중립 실현을 위해 반드시 에너지 전환이 필요하며 에너지 전환을 위해서는 우리 사회의 생산·소비와 관련된 모든 인프라를 전환하고 새로운 연·원료 기술을 도입해야 가능
 - 태양광, 풍력 등 재생에너지와 수소로 시작하는 에너지 시스템 전환이 우리 사회 전반에 영향을 미친다는 점을 감안하였을 때 탄소중립 관련 R&D 투자 확대가 필요
 - 에너지 전환으로도 온실가스 배출·감축이 불가피한 영역은 CCUS를 비롯한 새로운 기술의 적용이 필요하며, CCUS 기술은 원천기술 선제적 확보와 동시에 신뢰성 입증을 위한 국제 공조가 필요
 - 에너지 생산 및 탄소 포집 이외에도 새로운 전력망 인프라 구축, 수소공급 및 이송망, 에너지 전주기의 디지털화를 위한 기술 개발 필요
- 과학기술 발전을 통해 탄소중립과 경제성장을 동시에 도모해야 하며, 이를 위한 정부 정책의 뒷받침이 중요
 - 정부의 기후변화 정책과 지속적으로 변화하는 탄소가격 변동성을 낮춰 민간의 투자를 유인하기 위하여 탄소차액계약제도(Carbon Contract for Difference; Ccfd), 저탄소 기술 공공구매 확대, R&D 세제혜택 등 제도적 유인책 마련 필요
 - 정부 주도의 R&D만을 생각할 것이 아니라 정부-민간의 균형잡힌 기후기술 투자·개발이 이뤄질 수 있도록 민간 기술 실증 지원, 혁신기술 상용화를 위한 규제 개선 등을 통한 연구개발 촉진 방안이 필요
 - 글로벌 기후기술 시장 선점을 위해 글로벌 경쟁력 있는 기술에 대한 선별적 투자 및 육성·지원이 필요



[그림 6-3] 패널토론 모습

제 7 장

결 론

제1절 결론

제1절

결론

- 저탄소 사회로의 대전환을 뒷받침하기 위하여 2030NDC 및 2050탄소중립 실현에 핵심적인 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안) 마련 및 10대 분야 탄소중립 핵심기술에 대한 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵을 수립

 - 좁은 국토면적, 제조업 중심 산업구조 등 국내 여건을 고려하고 ①탄소 감축 기여도, ②탄소 감축 비용·효과, ③실현가능성을 검토하여 탄소중립 실현을 위한 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)을 마련
 - 명확한 임무 및 국가 목표 달성 관점 등을 고려하여 우선순위를 범부처 차원에서 검토하여, 100대 핵심 기술 관련 사업에 R&D 예산이 우선 투자될 수 있도록 지원
 - '22.11월 발표한 수소공급, CCUS, 무탄소신전원, 친환경자동차 분야 기술혁신 전략 로드맵에 추가로 석유화학·정유, 철강, 시멘트, 탄소중립 선박, 제로에너지빌딩, 태양광 분야에 대한 기술혁신 전략로드맵 수립을 완료
 - 현재 국내 기술 수준 및 상용화 기간 등을 고려하여 목표 및 달성 수단을 시나리오 방식으로 제시하고 향후 탄소중립 R&D 배분·조정과 연계하여 단계적으로 지원
 - 탄소중립 녹색성장 기본계획 등 타 탄소중립 정책과의 정합성에 맞춰 해당 기술의 개발-실증-상용화-보급-확산 목표 시점 제시
 - 풍력, 전력저장, 전력망 등 향후 미수립 분야는 소관 부처를 중심으로 전략로드맵 수립·이행할 수 있도록 지원
 - 수립된 로드맵은 대내외 환경 변화, 기술 수준 등을 고려하여 2~3년 주기로 재검토 예정

※ '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'(23.5.19, 제7회 탄소중립기술특별위원회) 재검토 및 재설계와 연계하여 추진
- 향후 탄소중립 R&D 정책 기획 시 R&D 지원 이외에도 다양한 정책 수단을 통합적으로 고려한 패키지 형태의 정책을 마련할 필요

 - 주요국들은 기술 및 산업에 대한 세제 지원과 보조금 혜택, 규제 개선, 인력 양성 등 다양한 정책 수단을 패키지 형태로 제시하는 중
 - 특히 국내에서는 규제 개선과 실증/사업화에 대해 중요도는 높으나 만족도가 떨어지는 상황으로 R&D 정책 기획 시 규제 개선 및 실증/사업화도 함께 고려할 필요

- 정부 주도의 R&D와 함께 정부-민간의 균형잡힌 기후기술 투자·개발이 이뤄질 수 있도록 민간 기술 실증 지원, 혁신기술 상용화를 위한 규제 개선 등을 통한 연구개발 촉진 방안을 함께 제시할 필요

■ 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안) 및 탄소중립 기술혁신 전략로드맵을 포함한 금년 연구 결과는 향후 탄소중립 실현을 정책 과제 발굴에 활용 가능

- 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안) 및 탄소중립 기술혁신 전략로드맵의 주기적 보완에 대한 사전 대응으로 100대 핵심기술의 범위를 기후 적응 기술로 확대해보는 선행 연구를 고려할 필요
 - 한국형 탄소중립 100대 핵심기술(안)은 탄소 감축 기술 위주로 선정되어, 핵심기술(안) 재검토 시 기후 변화 대응 관점에서 기후 적응 기술을 추가하는 방안을 함께 검토 필요
- 17대 탄소중립 분야별 전략로드맵이 마련됨에 따라 분야 간 로드맵의 정합성을 검토하여, 분야 간 R&D 실현시기를 조정하는 작업을 검토할 필요
 - COP28 등 탄소중립 관련 최근 국제회의의 논의사항을 반영하여 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵을 재검토하고 필요 시 수정
- 탄소중립 관련 해외 R&D 정책 동향을 현장 방문 등을 통해 심층 탐색하고 국내 도입이 필요한 정책·제도를 발굴
 - 본 연구의 정책 만족도-중요도 분석을 통해 개선 수요를 확인한 실증·사업화·규제 개선 관련정책 현황, 특히 규제와 지원 정책 믹스의 구조도 함께 탐색 필요
 - 이스라엘, 호주 등 OECD 가입국 중 탄소중립을 선언하지 않은 나라의 탄소중립 대응 정책도 함께 검토해볼 필요(Transparency Report, BTR) 대응과 관련해 과학기술 관점의 대응 방안을 탐색

참고문헌

- 관계부처합동(2023), 석유화학 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵
- 관계부처합동(2023), 시멘트 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵
- 관계부처합동(2023), 철강 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵
- 관계부처합동(2023), 탄소중립 기술혁신 전략로드맵
- 관계부처합동(2023), 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정(안)
- 국가녹색기술연구소(2021), 독일의 에너지 연구 프로그램 최신 투자 동향
- 국가녹색기술연구소(2021), 주요국 탄소중립 기술정책 동향
- 국가녹색기술연구소(2021), 주요국 탄소중립 기술정책 동향(II)
- 국가녹색기술연구소(2023), 유럽연합의 친환경 산업육성 정책
- 국가녹색기술연구소(2023), EU 탄소국경조정제도(CBAM)의 주요 내용과 전망
- 국가무역통상연구원(2021), '위기를 넘어 '지립'으로 중국 14차 5개년 계획으로 본 경제통상정책 전망과 시사점
- 국가법령정보센터(2023), 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법
- 국회도서관(2023), 탄소중립 한눈에 보기
- 국회사무처(2021), 독일연방헌법재판소 연방기후보호법 일부 위헌 결정 및 향후
- 기상청(2021), 기후변화 2021 과학적 근거: 정책결정자를 위한 요약본
- 김태진(2023), 바이든 행정부의 기후행동: 임기 전반부 종료에 따른 평가
- 대외경제정책연구원(2023), 일본 'GX 추진전략'의 주요 내용과 시사점
- 대외경제정책연구원(2022), 주요국의 탄소중립과 그린성장전략에 관한 연구
- 대한무역투자진흥공사(2022), 주요국 탄소중립 추진동향과 한국 기후기술 산업의 해외진출 기회분석
- 박광배(2000), 『다차원척도법』
- 에너지경제연구원(2021), 세계 에너지시장 인사이트(제21-22호)
- 윤설민(2018), 전통적 IPA와 수정된 IPA 적용에 의한 서울의 고궁 체험요소 비교
- 윤설민·민보영(2017), 체험경제 관점에 의한 중요도-만족도 분석의 방법론적 비교
- 윤설민·염인섭·김동한(2022), 수정된 중요도 만족도 분석을 활용한 지역주민 관점의 지역 이미지 인식 연구
- 윤설민·홍민정(2022), 지역주민 관점의 도시 브랜드 개성에 대한 평가 연구
- 윤설민·홍민정(2023), 편상관계수와 회귀계수를 활용한 시티투어버스의 선택속성에 대한 평가
- 이학식·임지훈(2005), 『SPSS 12.0 매뉴얼: 통계분석방법 및 해설』
- 일본 경제산업성(2023), 탈탄소 성장형 경제구조 이행 추진전략
- 퍼블릭뉴스(2023.5.21.), “윤 대통령, K라이스벨트 지속 확대, 기후 대응 적극 참여할 것”
- 프랑스(2023), 재무 산업 및 디지털 주권부처

한겨레(2023.11.15.), “온실가스 농도 ‘역대 최고’ 찍었다, 산업화 이전보다 1.5배”
한국경제인협회(2023), 주요 탄소 배출국 2030 NDC 목표 달성 전망
한국과학기술기획평가원(2022), 에너지전환 시장 활성화를 위한 정책 연구
한국과학기술기획평가원(2021), 탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석
한국무역협회(2023), 제28차 유엔기후변화 당사국총회(COP28) 주요 성과 및 시사점
한국법제연구원(2022), 일본 2050년 탄소중립에 수반되는 녹색성장전략
한국환경연구원(2023), 미국 인플레이션감축법과 EU 그린딜 산업계획에 대응하는 기후정책 방안
환경부(2022), 2050 탄소중립 교육 참고자료집

Barnes, Noah(2023), After One Year, the Inflation Reduction Act is Spurring Private Investments in the Electric Vehicle Industry
CRS(2023), IRA of 2022: Provisions Related to Climate Change
Centre for Research on Energy and Clean Air(2023), China’s new coal power spree continues as more provinces jump on the bandwagon
CRS(2023), U.S. Greenhouse Gas Emissions Trends and Projections from the Inflation Reduction Act
Deng, W.(2007), Using a Revised Importance-Performance Analysis Approach: The Case of Taiwanese Hot Springs Tourism
EC(2023), A Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age
EC(2021), Horizon Europe, budget
EC(2021), Horizon Europe Strategic Plan (2021-2024)
EC(2022), JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT CO2 emissions of all world countries
EC(2021), The EU Research & Innovation Programme
EC(2023), Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
EC(2023.), REGULATION (EU) 2023/956 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006), 『*Multivariate data analysis*』
IPCC(2023), Climate Change 2023 Synthesis Report
IEA(2022), How Governments Support Clean Energy Start-up
IEA(2021), Net Zero by 2050
IEA(2023), Net Zero Roadmap A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach.

- IPCC(2022), Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.
- Martilla, J. A., & James, J. C. (1977), "Importance-Performance Analysis" *Journal of Marketing*
- OJEU(2021.6.30.), REGULATION (EU) 2021/1119 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
- Paternoster R., Brame, R., Mazerolle, P., & Piquero, A.(1998), Using the Correct Statistical Test for the Equality of Regression Coefficients *Criminology*
- Senate Democrats(2022), THE INFLATION REDUCTION ACT OF 2022
- The White House (2023), Building a clean energy economy
- UNFCCC(2021), In the United States: A 2030 Emissions Target
- UN News(2023.7.27.), "Hottest July ever signals 'era of global boiling has arrived' says UN chief"
- US DOE (2020), Department of Energy Hydrogen Program Plan
- US DOE (2022), Industrial Decarbonization Roadmap
- US DOE (2022b), Industrial Heat Shot Fact Sheet
- US DOE (2023), U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap
- WMO(2023.11.30.), "2023 shatters climate records, with major impacts"

주 의

1. 이 최종보고서는 과학기술정보통신부의 수탁을 받아 한국과학기술기획평가원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 과학기술정보통신부 및 한국과학기술기획평가원에서 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.