제2차「탄소중립 산업전환 추진위원회」

탄소중립 산업·에너지 R&D 전략

2021. 11. 17.

산업통상자원부

목 차

Ⅰ. 추진 배경 ····· 1

Ⅱ. 글로벌 탄소중립 기술 동향 및 시사점 ····· 3

Ⅲ. 국내 탄소중립 여건 및 기술 역량 ····· 5

Ⅳ. 탄소중립 핵심기술 도출 체계 ····· 8

1. 탄소중립 시나리오 감축목표 및 감축수단 ····· 8

2. 탄소중립 R&D 중점분야 선정 및 핵심기술 도출 ·· 10

Ⅴ. 탄소중립 핵심기술 개발 추진방안 ····· 16

1. 비전 및 추진전략 ····· 16

2. 2030 NDC 달성 핵심기술 개발 ····· 17

3. 2050 탄소중립 실현 핵심기술 개발 ····· 34

Ⅵ. 탄소중립 R&D 지원체계 구축 및 기반 확충 ····· 45

1. 탄소중립형 R&D 지원체계 구축 ····· 45

2. 탄소중립형 R&D 기반 확충 ····· 53

Ⅶ. 기대효과 ····· 60

[별첨] 탄소중립 산업·에너지 R&D 로드맵 ····· 61

Ⅰ. 추진 배경

◇ 글로벌 脫탄소화는 건강한 지구의 새로운 성장 패러다임

□ 세계 각 국은 **2050 탄소중립을 선언**하고 투자 확대와 규제 도입 중

탄소중립 선언		대규모 재정 투입		탄소규제 도입
o 136개국 선언('21.10) o 美, EU 등 주요국 탄소중립 이행계획 수립	▷	o 그린딜(EU, 1조유로) o 기후위기대응 (美, 1.7조달러) o 그린 성장전략(日, 2조엔)	+	o 탄소국경세 o 플라스틱세 o 내연기관차 규제

□ 우리 정부도 탄소중립을 선언하고('20.10.28), **본격적인 이행에 돌입**

√ **(2020.10.28)** 2050년 탄소중립 선언(대통령 국회 시정연설)
√ **(2020.12.07)** 관계부처 합동『2050 탄소중립 추진전략』발표
√ **(2021. 3.31)** 관계부처 합동『탄소중립 기술혁신 추진전략』발표
√ **(2021. 9.14)** 탄소중립·녹색성장 기본법 공포 (세계 14번째)
√ **(2021.10.27)** 2050 탄소중립 시나리오 발표

◇ 탄소중립 실현의 핵심 감축수단은 기술혁신

□ 탄소중립은 **화석 연·원료 기반 산업·에너지 구조**의 **근본적인 전환**을 요구

○ 기존의 생산 방식과 효율을 넘어서는 **한계돌파형 기술개발 필요**

□ 특히, **국가 탄소 배출량의 절대량**('18년 86%)을 차지하는 **산업(수송)·에너지 부문의 저탄소 기술혁신 시급**

○ 감축분야별 탄소 배출 현황 및 배출 경로를 분석하여 **탄소 감축에 실질적으로 기여**할 수 있는 **현장 기반의 핵심기술 개발** 추진

◈ **2030년 NDC 달성, 2050년 탄소중립 실현**을 위한 핵심 기술개발과제, 개발일정, 지원방안 등을 담은 「**탄소중립 산업·에너지 R&D 전략**」 **수립 → 범부처 「탄소중립 기술혁신 전략로드맵」에 반영('21.12)**

[참고] 정부 탄소중립 기술대책 추진 현황

1 범부처 탄소중립 연구개발 투자전략(´21.3, 과학기술관계장관회의)

○ 탄소중립 정부 R&D 투자 분야 및 중장기 투자 확대 방향 제시

○ **각 부처**는 부문별 R&D 사업 기획·추진

< 부처별 역점 분야 >

부처	부처별 탄소중립 R&D 역점 분야
과기정통부	■ 탄소중립 핵심분야 원천기술 확보, ICT를 활용한 에너지 고효율화
산업부	■ 탄소 多배출업종 대상 온실가스 저감을 위한 산업공정 개선 ■ 재생에너지·수소경제 활성화, 계통 안정화, 소비 효율화를 위한 기술개발
국토부	■ 제로에너지 건물, 친환경 교통, 수소 인프라 기술개발 강화
환경부	■ 탈 플라스틱 기술 등 자원순환 기술, 탄소흡수, 기후적응 기술 강화
해수부	■ 해양에너지, 해양생태계 기반 탄소 흡수·저장 강화

2 범부처 탄소중립 기술혁신 추진전략(´21.3, 과학기술관계장관회의)

○ 탄소중립에 핵심적 기여가 가능한 10대 핵심기술 전략적 개발 추진

탄소중립 10대 핵심기술분야

① 태양광·풍력	② 수소	③ 바이오에너지	④ 철강·시멘트	⑤ 석유화학
⑥ 산업공정 고도화	⑦ 수송효율	⑧ 건물효율	⑨ 디지털화	⑩ CCUS

3 산업부 탄소중립 산업 · 에너지 R&D 전략(´21.11)

○ 탄소중립 연구개발 투자전략 및 기술혁신 추진전략 소관분야 구체화

○ 탄소중립 시나리오에 제시된 감축목표 이행을 위한 기술 구현

4 범부처 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(´21.12 예정)

○ 탄소중립 시나리오와 연계하여 부문별/부처별 기술 전반을 포괄

Ⅱ. 글로벌 탄소중립 기술 동향 및 시사점

◇ 선도국은 탄소중립 기술 선점을 위해 과감히 투자

□ 선도국은 탄소중립 **핵심기술을 선정**하고 **집중 개발**

○ **(미국)** 기후위기 대응 과학기술혁신계획('21.2)에서 **10대 기후혁신 기술***을 선정하고 저탄소 기술 투자계획 제시

* 철강, 화학공정 무탄소화, 온실가스 효과 없는 냉매/공조/히트펌프, 무탄소 배출 수소, 1/10 비용저감한 ESS, 최첨단 에너지관리시스템 관리기술 등

○ **(EU) 그린 딜**(Green Deal, '19.12)을 통해 청정에너지, 순환경제, 지속가능한 수송 등 탄소중립 실현을 위한 **정책 패키지** 제시

* 지속가능한 산업 전환, 재활용 가능 물질 및 제품 개발, 스마트 수송 등

○ **(일본) 녹색성장전략을 수립**('20.12)하고 **14개 중점분야*** 선정

* 해상풍력, 연료 암모니아, 수소, 이차전지, 탄소 리사이클 등

□ 정부의 **선도적인 기술개발 투자**로 민간의 투자 견인

○ 탄소중립 **R&D 예산을 대폭 확대**하여 전방위 지원

< 주요국 기술개발 투자 >

주요국	기술개발 분야	투자계획
 미국	· 바이든 新정부, 10대 기후혁신기술 선정('21.2) * 철강, 석유화학의 공정 저탄소화, 低 GWP 냉매, 공조, 히트펌프 등 산업분야 탄소중립과 에너지저장시스템, CCUS 개발투자 확대	4년간 청정에너지 R&D 3천억불 등
 EU	· 그린 딜 채택, 분야별 정책패키지 및 실행 로드맵 제시('19.12) * 청정에너지, 순환경제, 자원효율적 건축, 지속가능한 수송 등	10년간 기후·환경 사업에 5,030억 유로 배정 등
 일본	· 2050년 탄소중립에 따른 녹색성장 전략 수립('20.12) * 해상풍력, 연료암모니아 등 14개 중점분야 선정	10년간 2조엔 기금 조성

◇ 민간 차원에서도 탄소중립 기술혁신 가속화

□ 글로벌 기업도 탄소중립을 선언*하고 **저탄소 기술경영전략 추진 중**

* UN 나즈카(Nazca) 플랫폼 탄소중립 동참 선언기업: 7,370개사('21.11. 기준)

○ 탄소중립 경쟁력 확보를 위해 **저탄소 기술 투자** 및 **친환경 생산 확대**

업 종	탄소중립 기술경영전략	대표기업
제조 에너지	· 전력원을 100% 신재생발전으로 사용(RE 100) · R&D의 50%를 저탄소 신공정 기술개발에 투자 · 사내 탄소가격 부과, 탄소중립 R&D 기금으로 활용 · 에너지효율, 저탄소 제품, CCS 투자 3대 전략 추진 · 자사 생산차종을 전기차로 100% 전환 추진	341개사('21.11 기준) 바스프 지멘스 쉘 볼보
IT	· 데이터센터 등 ICT 인프라의 탈탄소화 추진	구글 등
소매	· 매장 및 유통센터 냉난방시설을 에너지 고효율시설로 교체 추진	월마트 등

○ 자사 내 저탄소화를 넘어 **공급망 전체의 탈탄소화 추진**

* 글로벌 완성차 A사는 부품 공급기업 B사에 '30년 탄소저감 계획 제출 요구
→ 미달성 시 거래 단절 예정

□ 특히, **친환경 시장 선점**을 위한 게임체인저(Game Changer)형 **탄소중립 기술개발 적극 추진**

○ **수소환원제철** 개발에 **韓, 日, 獨, 스웨덴** 등 글로벌 기업 간 경쟁과 협력

○ 수소 수전해 및 생산비용 절감기술(美, 日 등), 부유식 해상풍력 기술(英 등), 첨단 바이오연료 개발(獨 등) 등 선도기술 투자 확대

시사점

◈ **(분야)** 친환경 에너지부터 산업공정, 탄소포집 및 재활용까지 광범위한 기술 개발

◈ **(방식)** 민간의 선도적 기술개발과 정부의 지원 등 민관 협력체계 구축

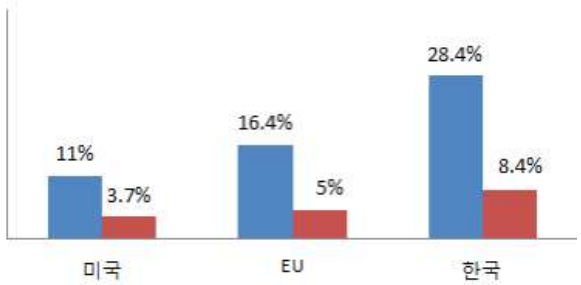
◈ **(투자)** 탄소중립 기술혁신에 대규모 R&D 예산 투입

Ⅲ. 국내 탄소중립 여건 및 기술 역량

◇ 탄소중립은 現 산업·에너지 구조에서는 도전적인 과제

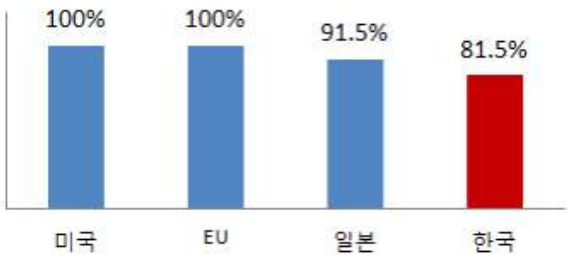
□ 에너지 다소비 중심의 제조업 구조, 화석연료 중심의 발전과 낮은 재생에너지 비중 ↔ 탄소중립 기술은 선도국 대비 80% 수준

GDP대비 제조업 및 에너지 다소비업종('19)



- (좌) 제조업 / (우) 에너지 다소비업종

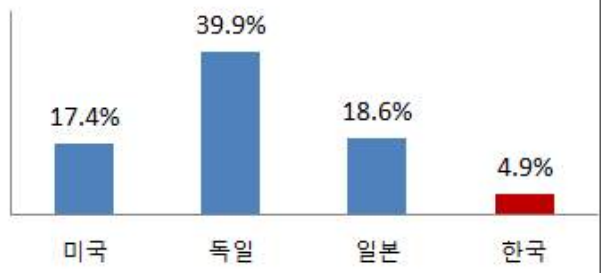
산업효율화 기술수준('20)



- 산업효율화 : 공정신기술, 원료대체 등

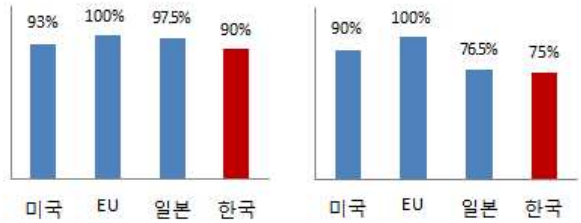
출처: 녹색기술센터('20.12)

재생에너지 발전비중('19)



- OECD 국가별 재생에너지 발전량

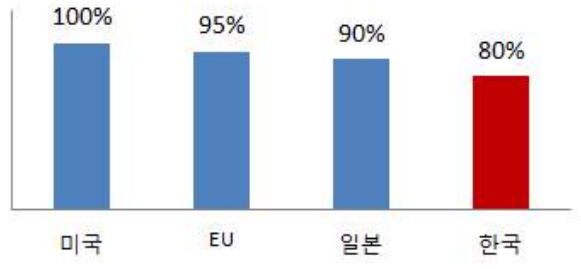
재생에너지 기술 수준('20)



태양광 풍력

출처: KISTEP 2020 기술수준평가('21.4)

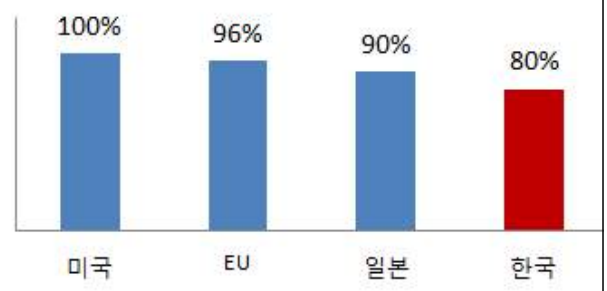
CCUS 기술 수준('20)



- CCUS : CO_2 포집, CO_2 수송·저장, CO_2 전환·활용

출처: KISTEP 2020 기술수준평가('21.4)

탄소중립 관련 기술 평균 수준('20)



- 기술격차 : 미국 대비 한국(3년)

출처: 녹색기술센터('20.12)

◇ 그러나, 우리의 역량을 결집하면 탄소중립 달성 가능

□ (기술력) 세계 최초/최고 수준의 저탄소 선도기술 보유

○ 우리의 강점인 **디지털 인프라**와 **제조업 기술력, 우수한 인력** 등이 접목되면 기술개발 기간 단축 및 조기 상용화 가능

구분	주요 기술
산업	ㅇ (철강) 세계 최초 완전 밀폐형 전기로 합금철 제조 공정개발 ㅇ (배터리) 세계 최고 배터리 에너지 밀도 실현 ㅇ (수송) 세계 최고 수소차용 수소탱크 개발
에너지	ㅇ (태양광) 페로브스카이트 셀 세계 최고 효율 달성('21.2, 美 국립 신재생硏 등재) ㅇ (풍력) 4.3MW 풍력 발전 시스템 개발 및 사업화 ㅇ (계통) 세계 최초 나노 소재 500kV급 HVDC 케이블 개발

□ (혁신역량) 글로벌 혁신 지수*('21.9) 세계 5위, 아시아 1위 국가

* 세계지식재산기구(UN산하) 국가별 혁신역량 : 韓 ('19) 11위 → ('20) 10위 → ('21) 5위

○ 특히, 인적 자본·연구 분야 3년 연속 1위, 혁신활동 성과 산출부문 5위

□ (추진력) 정부의 강력한 추진의지와 민간의 동참 확산

정 부		민 간
ㅇ 정부 탄소중립 예산 : ('21) 7.3조원→('22) 11.9조억원 ㅇ 탄소중립 R&D투자/기술혁신 전략 발표('21.3) ㅇ 탄소중립 R&D 대형 예타 추진('21.9)	+	ㅇ 산업별 탄소중립委 활동 ㅇ 기업 탄소중립 자발 선언, 수소기업 협의체 등 자생적 민간협의체 발족 ㅇ 수소환원제철 국제포럼(HyIS) 주도

◈ **민간** 주도의 **선도적 기술개발**과 **정부**의 **대규모 재정 지원** 등 **민관의 역량을 총결집**하여 탄소중립 이행

◈ **속도+도전+축적**의 기술개발로 **탈탄소 우수기술을 선점**하고 **확산**
→ **탄소중립형 산업·에너지 구조로 전환 + 新산업·일자리 창출**

[참고] 그간의 주요 R&D 성과



세계 최초 밀폐형 전기로 합금철 제조기술 개발

- (내용) 전기로의 완전 밀폐화를 통해 기존 세계 최고 Fe-Mn 합금철(프랑스 에라메트社) 대비 전력 소모 12%, CO_2 발생량 19% 저감
- (성과) 세계 최고수준의 친환경 설비 및 엔지니어링 기술을 바탕으로 합금철 플랜트 건설 수주 등 700억원 이상의 매출 달성



세계 최고 수준 수소차용 수소탱크 개발

- (내용) 기존 고가의 고기능성 탄소섬유 대신 범용 탄소섬유와 고기능성 에폭시를 적용해 세계최고 수준의 저가형 수소탱크 개발 성공
- (성과) 개발 기술을 국내 수소차(현대차 넥쏘)에 적용하였으며, 글로벌 해외 완성차 업체에도 관심이 높아 해외 시장진출 기대



세계 최초 수소 청소차 보급을 통한 친환경 선도국가 경쟁력 확보

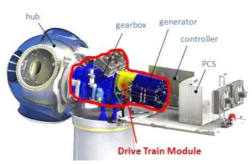
- (내용) 적재량 4~5톤급 상용차용 연료전지 냉각시스템 및 수소트럭 개발
- (성과) 세계 최초 쓰레기 수거용 수소화물차 개발을 통해 미세먼지 감축효과*, 한 번 수소 충전(25kg) 시 약 340km 운행 가능

* 트럭 등 중대형 상용차는 승용차 대비 미세먼지 배출량이 60배



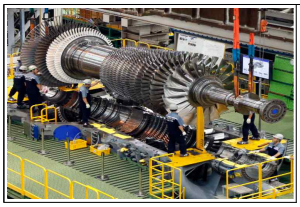
수상태양광 상용화 기술 확보를 통한 사업화 성공

- (내용) 수상태양광 모듈 및 부유체의 상용화 제품 개발
- (성과) 국내 최대(73MW급) 수상태양광발전소 사업 수주(매출액 약 300억원)



4.3MW 풍력발전 시스템 개발 및 사업화 성공

- (내용) 국내 최초 4.3MW 육상용 모듈식 드라이브 트레인을 개발
- (성과) 개발기술의 사업화에 성공하여 '20년 1,500억 규모 사업 수주



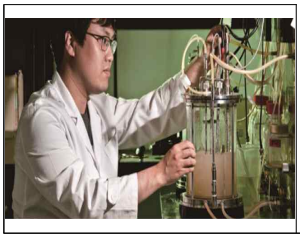
세계 5번째 발전용 고효율 대형 가스터빈 국산화 성공

- (내용) 세계 5번째 고효율·대형 발전용 가스터빈 국산 독자모델 개발성공
- (성과) 수입에 의존하던 가스터빈 국산화를 통한 수입대체·시장개척 가능



세계 최초 나노소재 500kV급 HVDC 케이블 기술 확보

- (내용) 세계 최초 ±500kV HVDC 전류형 XLPE 케이블 및 접속함 개발
- (성과) 국내뿐만 아니라 유럽의 신재생전력 전송을 위한 시장 선점 및 장기적으로 동북아 슈퍼그리드 전력 전송 활용 기대



국내 기술로 세계 일류 폐수 처리기술 개발

- (내용) 고농도 독성 및 고염도 폐수처리를 위해 미생물을 이용한 생물학적 폐수 처리시스템의 국산화 성공
- (성과) 기존에 부담해야 했던 폐수 처리비용과 열교환기 운용에 따른 전력 및 에너지 소모를 크게 절감할 것으로 기대

Ⅳ. 탄소중립 핵심기술 도출 체계

1 탄소중립 시나리오 감축목표 및 감축수단

□ **(감축목표)** '18년 배출량(727.6백만톤) 대비 **'30년 436.6백만톤**(△**291.0백만톤,** △**40.0%),** '50년 넷제로(순배출량 0 : 총배출량-흡수·제거량) 달성

○ **'30년** 목표 달성을 위해 **산업(수송)·에너지** 부문에서 **194.7백만톤** 감축

* **전환**(119.7백만톤, △44.4%), **산업**(37.9백만톤, △14.5%), **수송**(37.1백만톤, △37.8%)

○ **'50년 산업(수송)·에너지** 부문에서 **A안 574.3백만톤, B안 547.2백만톤** 감축

* **전환**(A안 269.6 △100% B안 248.9 △92.3%), **산업**(209.4 △80.4%), **수송**(A안 95.3 △97.1%, B안 88.9 △90.6%) 등

□ **(감축수단) 친환경 발전 확대, 산업공정 혁신**, 친환경 수송 확산, 설비 전환, 고효율화 등을 추진하고 이**를 뒷받침 할 기술개발** 등을 제시

○ **(전환)** '30년 석탄발전 축소 및 재생에너지 확대 등 **친환경 전원믹스**
→ '50년 화력발전 대폭 축소 및 **재생에너지·수소기반 발전 확대**

○ **(산업)** '30년 친환경 원·연료 전환, 효율 개선, 저탄소 설비로 대체
→ '50년 수소환원제철 등 저탄소공정으로 근본적 전환

○ **(수송)** '30년 수요관리 및 친환경차 보급, 수송수단 운영효율 개선
→ '50년 도로부문 전기·수소화 및 친환경 철도·해운·항공 전환

○ **(CCUS) 이산화탄소 포집 및 활용·저장**(CCUS) R&D 및 투자를 통해 배출량 흡수(('30) 10.3백만톤 → ('50) 84.6백만톤)

[참고] 탄소중립 시나리오 감축목표 및 감축수단

단위 : 백만톤

구분	부문 ('18년)	'30년	'50년	
			A안	B안
감축목표	727.6	436.6 (291.0, △40.0%)	0	0
감축목표	전환 (269.6)	· 배출량: 149.9 · 감축량: 119.7(△ 44.4%)	· 배출량: 0 · 감축량: 269.6 (△100%)	· 배출량: 20.7 · 감축량: 248.9 (△92.3%)
감축목표	산업 (260.5)	· 배출량: 222.6 · 감축량: 37.9(△ 14.5%)	· 배출량: 51.1 · 감축량: 209.4(△ 80.4%)	
감축목표	수송 (98.1)	· 배출량: 61.0 · 감축량: 37.1(△ 37.8%)	· 배출량: 2.8 · 감축량: 95.3 (△97.1%)	· 배출량: 9.2 · 감축량: 88.9 (△90.6%)
감축수단	전환	석탄발전축소 및 신재생에너지 확대 등 친환경 전원믹스	화력발전 대폭 축소 및 재생에너지 · 수소 기반 발전 확대	
감축수단	산업	친환경 연 · 원료 전환 및 효율개선 등 저탄소 설비로 대체	수소환원제철 등 저탄소 공정 근본적 전환	
감축수단	수송	수요관리 및 친환경차 보급 등 수송수단 운영효율 개선	도로부문 전기 · 수소화 및 친환경 철도 · 해운 · 항공 전환	
감축수단	CCUS	이산화탄소 포집	이산화탄소 포집 및 활용 · 저장	

※ 탄소중립 시나리오 재구성

2 탄소중립 R&D 중점분야 선정 및 핵심기술 도출

□ **탄소중립 R&D 중점분야** : 에너지, 산업(수송), 공통 등 17대 분야

○ **산업·에너지 부문을 중심**으로 **탄소중립 시나리오**에서 중점 제시한 탄소 감축 분야 포함 (**산업**: 철강, 석유화학, 시멘트 등, **에너지**: 재생에너지, 수소 등)

○ 탄소중립 이행이 필요한 업종**(산업일반**: 섬유, 제지 등**)**, 탄소중립 기반 설비(보일러 등 **산업공통설비**) 등도 포함하여 기술개발 지원

< 탄소중립 R&D 17대 중점분야 >



□ 17대 탄소중립 중점분야 **핵심기술 도출**

❶ **기술 조사** : 산업계 **현장 수요**와 **전문가 중심의 전략기술** 발굴 병행

○ **(상향식)** 부문별·업종별 수요 조사, 탄소중립 R&D 홈페이지**(NetZeroTech)** 등

○ **(하향식)** 부문별·업종별 **R&D 기획위원회**를 구성하여 전략기술 발굴

* 글로벌 탄소중립 유망기술보고서(IEA, IRENA, REN21), 주요국 탄소중립 발표기술(美·日·中·獨·英), 국가 R&D 로드맵 중점기술 등 검토

❷ **기술 유형화** : **탄소 배출경로 및 감축수단**을 고려하여 기술을 분류

< 에너지 부문 기술 유형화 >

구분	생산	전달	수요
감축수단	무탄소화 기술	수급 최적화 기술	이용 효율화 기술

< 산업 부문 기술 유형화 >

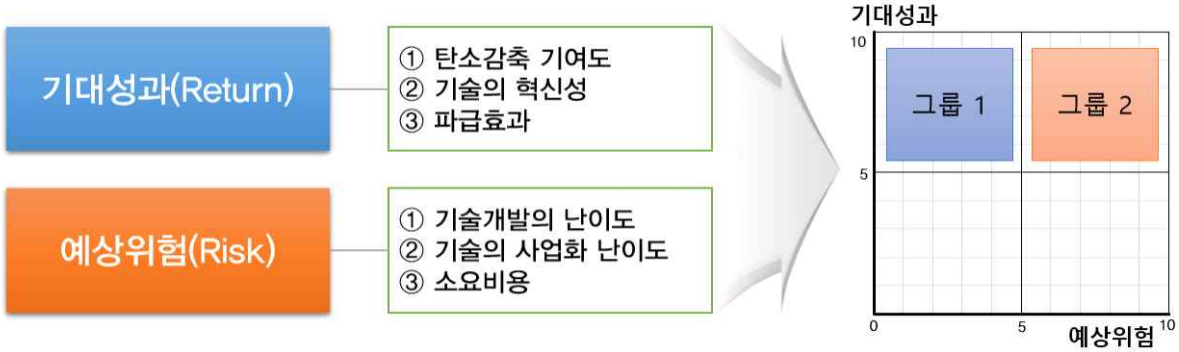
구분	투입	공정	부산물
감축수단	원·연료 대체 기술	저탄소 공정 혁신 기술 다배출 설비 전환 기술	재자원화 기술

❸ **기술분석** : 기술 수준, 특허, 시장성, **현장 적용 가능성 등을 분석**

❹ **우선순위 선정** : **기대성과(Return)와 예상위험(Risk)** 고려하여 선정

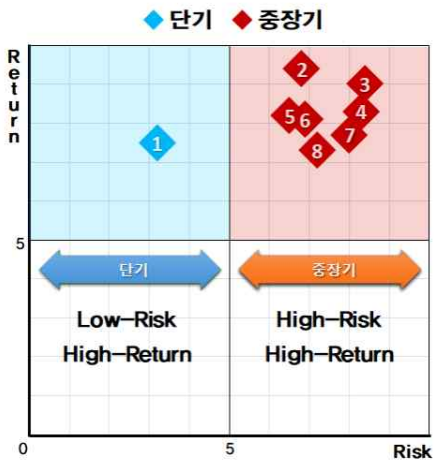
○ **(그룹1)** 기대성과가 높으나 예상위험이 낮아 **'30년까지 개발**이 가능한 기술

○ **(그룹2)** 기대성과가 높으나 예상위험도 높아 **중장기 개발**이 필요한 기술



[참고] 탄소중립 기술개발 우선순위 도출 결과 대표사례

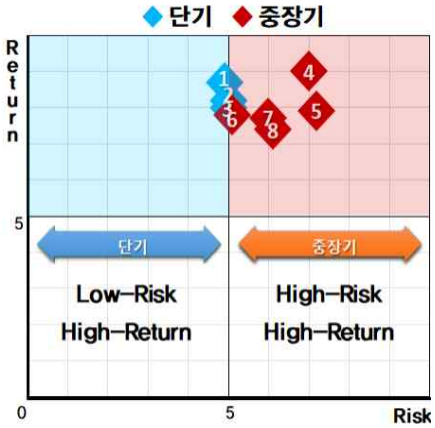
에너지 생산 (재생에너지)



< 우선순위 선정 핵심기술(8개) >

순위	핵심기술	기대성과	예상위험
단기	① 대면적 고출력(600W+) 모듈 시스템 기술	7.5	3.2
중장기	② GW급 해상풍력단지 전력망 통합 기술	9.4	6.8
	③ 건물그린 모빌리티 적용 태양광 모듈 기술	9.0	8.4
	④ 실규모 부유식 해상풍력 발전시스템	8.3	8.3
	⑤ ICT 기반 해상풍력 단지 운영 및 유지보수 최적화 기술	8.2	6.5
	⑥ 20MW급 해상풍력발전기 기술	8.1	6.9
	⑦ 결정질 실리콘 기반 탠덤 태양광 모듈 상용화 기술	7.7	8.0
	⑧ 맞춤형 영농형 태양광 시스템 기술 표준화	7.3	7.2

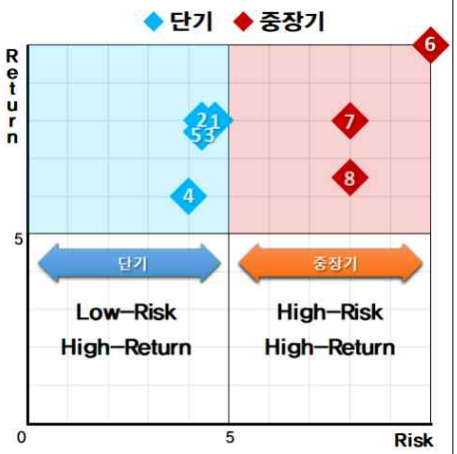
에너지 전달 (수소화)



< 우선순위 선정 핵심기술(8개) >

순위	핵심기술	기대성과	예상위험
단기	① 고분자전해질막 (PEM) 그린수소 생산 시스템	8.7	4.9
	② 고효율 저에너지 암모니아-수소 생산 요소기술 개발 및 통합공정 개발	8.2	5.0
	③ 알칼라인 그린수소 생산 시스템	8.0	5.0
중장기	④ 재생에너지 연계 대규모 그린수소 생산 기술	9.0	7.0
	⑤ 액체수소 운송선(160k급) 기술	7.9	7.2
	⑥ 저에너지 암모니아 생산을 위한 합성 요소 기술 및 통합공정	7.8	5.1
	⑦ 수소 액화 기술	7.7	6.0
	⑧ 액체수소 인수기지 국산화 및 실증	7.4	6.1

산업·수송 (철강)



< 우선순위 선정 핵심기술(8개) >

순위	핵심기술	기대성과	예상위험
단기	① 상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술	8.0	4.7
	② 초고속 전기로 기술	8.0	4.3
	③ 대체연료 활용 저탄소 기술 및 실증	7.7	4.3
	④ 폐자원 활용 탄재 대체 전기로 기술	6.0	4.0
	⑤ 철강 부생가스 재활용 기술 및 실증	7.7	4.3
중장기	⑥ 수소환원제철	10.0	10.0
	⑦ 탄소저감형 하이퍼 고로 기술	8.0	8.0
	⑧ 고체 부산물 재활용 및 전환 기술	6.5	8

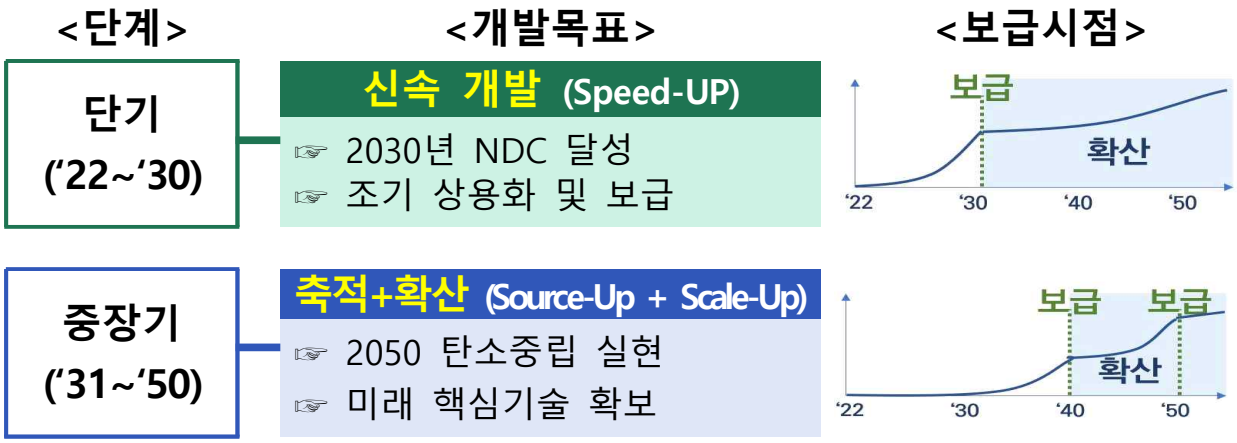
※ 단 기 : 핵심기술 中 예상위험이 낮고 기대성과가 높은 기술 (Low-Risk, High-Return)
※ 중장기 : 핵심기술 中 예상위험이 높고 기대성과가 높은 기술 (High-Risk, High-Return)

□ 핵심기술별 단계별 **개발일정** 및 **기술확보 방안** 제시

❶ **단계별 개발 일정** : 단기(~'30), 중장기(~'50)로 구분

○ **(단기, ~'30) 조기 상용화가 가능**하고, **2030 NDC 달성**을 위해 **시급한 기술** → **신속 개발 (Speed-Up)**

○ **(중장기, ~'50)** 공정 등 생산방식을 **근본적으로 혁신**하는 원천기술로 **2050 탄소중립 실현에 필수**적인 기술 → **축적과 확산 (Source-Up+Scale-Up)**



❷ **기술 확보방안** : 국내 자체 개발과 해외 기술 협력을 전략적으로 추진

○ **(자체 개발) 초기 단계** 기술로서 국내 개발 역량이 우수하여 **기술 선점이 가능**한 기술

○ **(기술 도입) 해외 원천기술**을 **도입**하여 조기 **상용화가 가능한 기술**

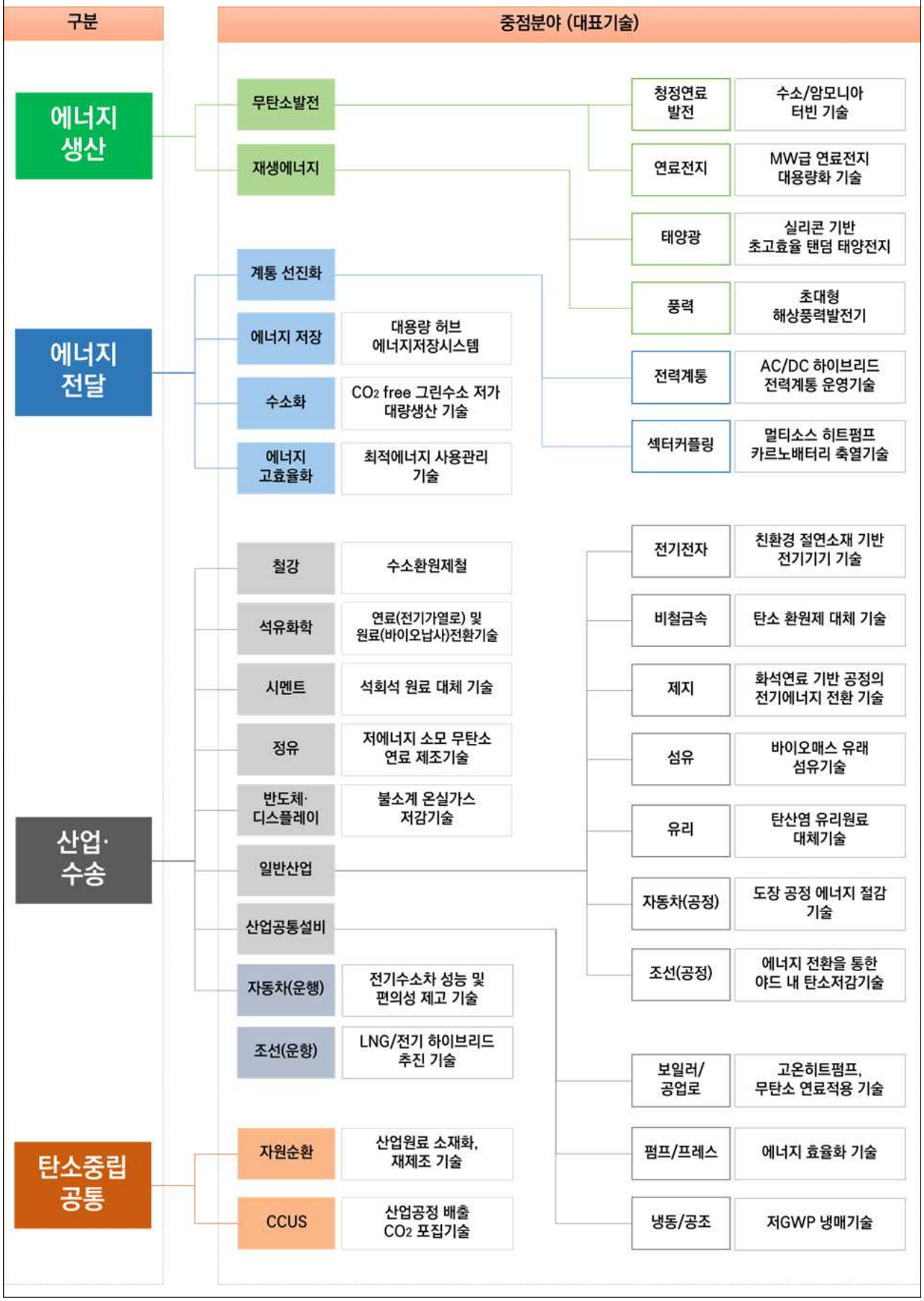
○ **(국제 공동연구)** 자체 개발에 따른 **예상위험이 큰 기술**로 **개방형 혁신**(Open Innovation)을 통한 Win-Win 효과가 큰 기술

구분	기술현황 및 여건	대상기술(예시)
자체 개발	국내외 초기 단계 기술 + 국내기업 역량 우수	· 시멘트 저온 소성 가능 원료 대체기술 · 재생에너지 단주기 출력 조절용 ESS
기술도입 →후속연구	해외 원천기술 + 국내 조기 상용화 필요	· 폐플라스틱 열분해 오일 생산 및 활용 · 전기가열로 플랫폼 기술
국제 공동연구	고위험성 탄소중립 기술 + 해외 협력 시너지 기대	· 수소환원제철 · 대규모 재생E 연계 그린수소 생산 시스템

[참고] 탄소중립 R&D 전략 추진 경과

일자	추진사항	세부내용
2021.02.	산업·에너지 분야 탄소중립 R&D 전략회의	R&D 전략 수립 계획 마련 및 Kick-Off 회의
2021.02.~06.	부문별 · 업종별 기술 수요조사	부문별·업종별 탄소중립 기술 수요 조사 진행
2021.03.	부문별 · 업종별 탄소중립 R&D 전략 초안 마련	부문별·업종별 핵심기술 조사
2021.04.	통합예타 기획위원회	통합예타 기획방향성 공론화
2021.04.~09.	부문별 · 업종별 분과 회의 운영	기술 로드맵 분과회의 운영
2021.05.	기업간담회 개최	업종별 산업현장 의견 수렴
2021.06.	탄소중립 R&D 사업 예타 총괄위원회(1차)	통합예타 사업 기본방향 및 사업 범주 검토, 의견 수렴
2021.07.	부문별 · 업종별 탄소중립 R&D 전략보고서 (안) 마련	부문별·업종별 R&D 전략 도출 - 업종별 분과위원회
2021.07.	부문별 · 업종별 탄소중립 R&D 전략(총괄)(안) 마련	산업·에너지 탄소중립 R&D 전략 총괄 방향성 수립 및 전략 도출 - 산업통상자원부, KETEP, KEIT 등
2021.08.	부문별 · 업종별 탄소중립 R&D 전략 보완	산·학·연 의견 추가 수렴
2021.08	탄소중립 R&D 사업 예타 총괄위원회(2차)	통합예타 기획 내용 점검
2021.09.~10.	탄소중립 R&D 전략(총괄) 회의	산업·에너지 탄소중립 R&D 총괄 전략보고서 종합 검토

[참고] 탄소중립 R&D 중점분야별 대표기술



Ⅴ. 탄소중립 핵심기술 개발 추진방안

1 비전 및 추진전략



2 2030 NDC 달성 핵심기술 개발

1 2030 NDC 달성 핵심기술

기본 방향

◈ 에너지 전환을 위한 기술과 산업공정 저탄소화를 위한 기술 개발

❶ 2030 국가 온실가스 감축목표 상향안에 제시된 기술은 필수 개발

부 문		감축목표(백만톤)	대표 감축기술
전 환 (에너지)		('18)269.6 → ('30)149.9(△44.4%)	· 수소/암모니아 등 무탄소 전원 기술 · 신재생에너지 발전 확대 관련 기술
산업	全 업종 : ('18)260.5 → ('30)222.6(△14.5%)		· 원·연료 대체 기술 · 에너지 절감 및 설비 효율화 기술
	철강		· 전로 철스크랩 다량 투입 기술 · 코크스 소비열량 저감 기술
	석유화학		· 원료 전환(납사→ 바이오 납사) 기술 · 폐플라스틱 원료 활용률 제고 기술
	시멘트		· 폐합성수지 활용 연료 전환 기술 · 석회석 대체 및 혼합재 원료 확대 기술
	기타(반도체·디스플레이 등)		· 불소계 온실가스 친환경 냉매 대체 기술 · 에너지 전력화 효율화 기술
수 송		('18)98.1 → ('30)61.0(△37.8%)	· 친환경차 확산 위한 성능 향상 기술 · 수송수단 연료효율 개선 기술
CCUS		('18) 0 → ('30)-10.3	· 이산화탄소 포집, 활용, 저장 상용화 기술

* 자원순환도 핵심 감축기술로 제시

❷ 2030 NDC 달성에 기여할 수 있는 **추가 감축기술을 개발**하고, **2050 탄소중립 실현**을 위한 **선행기술 개발도 착수**

◈ 속도감 있는 기술개발로 기술의 조기 상용화와 현장 적용 촉진

○ 기술개발 → 실증 → 사업화 등 全주기 탄소중립 R&D 지원

◈ 기술개발 초기 단계임을 감안, 정부의 마중물 투자 대폭 확대

○ R&D 예산의 전략적 배분 및 대형 사업(예비타당성 조사) 적극 추진

에너지 생산 청정연료 기반 무탄소 발전 및 재생에너지 대형화·효율화

❶ (무탄소발전) 청정연료(수소, 암모니아 등) 활용 무탄소발전 확대

○ 발전용 수소 혼소(50%) 및 분산전원용 수소 전소(100%) 가스터빈기술 개발

<발전용 LNG 가스터빈 수소혼소 단계별 기술개발 >

기간	~´24	~´28	~´30
기술	· 가스터빈 50% 혼소 연소기 기술개발	· 150MW 운영중/270MW 표준 가스터빈 50% 혼소 실증	· 250MW 운영중/380MW 표준 가스터빈 50% 혼소 실증

○ **석탄발전 보일러** 연료를 **암모니아와 20% 혼소** 및 단계적 혼소 확대 전환기술 개발

○ 산업단지나 지역난방에 고품질의 스팀(8bar 180℃) 또는 열(120℃) 공급이 가능한 **청정수소 기반 고효율 연료전지 열병합 시스템 개발**

< 연료전지 열병합 시스템 단계별 기술개발 >

기간	~´25	~´27	~´30
기술	· 고출력 시스템, 고압 스팀 발생 시스템 개발	· 청정수소 기반 고효율 열병합 시스템 재설계 및 최적화	· 고품질 스팀생산이 가능한 열병합 시스템 실증

* (`40) 스팀 : 8bar 180℃, 난방 : 45℃ 유입, 120℃ 제공

❷ (재생에너지) 태양광 발전효율 향상 및 풍력발전 대형화

○ 결정질 실리콘 태양전지에 차세대 태양전지(페로브스카이트)를 접목하여 **양산효율 한계를 넘는 28%급 태양광 모듈 상용화**기술 개발

< 결정질 실리콘 기반 탠덤 모듈 단계별 기술개발 >

기간	~´27	~´29	~´30
기술	· 저온공정 및 열압착 공정/설비 개발 및 최적화	· 광/열/습도 등 장기 출력 안정성 인증 및 신뢰성 확보	· 결정질 실리콘 기반 탠덤 모듈 상용기술 확보

* (~`50) 모듈효율 36%를 갖는 결정질 실리콘 기반 탠덤 모듈 상용화

○ **대면적 고출력**(現 600W 이하 → '30년 1000W+) 태양광 모듈 시스템 기술 및 100% 재생 가능한 **친환경 태양광 모듈**기술 개발('30년 모듈 재활용률 85%)

○ 급속/일괄 설치가 가능한 대규모 풍력단지 설치 시공기술 개발

○ 15MW급 풍력터빈 기술 및 **8MW급 부유식 해상풍력 상용화**기술 개발

< 초대형 풍력터빈 단계별 기술개발 >

기간	~´23	~´28	~´30
기술	· 8MW급 초대형 풍력터빈 핵심 부품 기술 개발	· 15MW급 블레이드, 전기부품, 기계부품 국산화 기술 확보	· 15MW급 풍력터빈 개발

* (~`40) 20MW급 초대형 블레이드 등 핵심부품 상용기술 확보

에너지 전달 수소화 · 유연화 · 고효율화

❸ (수소화) 블루 수소 생산기술 고도화 및 그린 수소 생산기술 개발

○ 천연가스 SMR(Steam Methane Reforming) 추출 대비 60%이상 CO_2 저감이 가능한 규모 **2톤/일 블루 수소 생산기술** 개발

○ 시간당 20,000 ~ 50,000 Nm^3 수소 생산이 가능한 **고효율**(現 효율 70% → '30년 85% LHV) **암모니아-수소생산 통합공정** 개발

< 암모니아-수소생산 통합 공정 단계별 기술개발 >

기간	~´25	~´26	~´30
기술	· 촉매 및 반응기 기술 (효율향상), · 저에너지 분리/정제 (순도향상)	· 에너지 통합 및 공정 최적화 (1,000 Nm^3/hr)	· 수소생산 규모 향상 (20,000~50,000 Nm^3/hr)

* (~`40) 암모니아-통합공정 100,000 Nm^3/hr 상용화 기술 확보

○ 수소생산 전력량을 現 55kWh/kg에서 48kWh/kg까지 저감하는 **고효율 그린 수소 생산기술** 개발

❹ (에너지 저장) 재생에너지 대응 출력 안정화 및 ESS 통합 운영

○ 재생에너지 발전 출력변동율을 분당 5% 이내로 완화하는 **단주기 출력 안정화용 고출력 ESS** 기술 개발

❺ (계통 선진화) 계통 안정성 강화 및 전력-非전력 연계 전력 유연화

○ 대규모 신재생에너지 수용성 향상을 위한 **AC/DC 하이브리드 전력계통 운영기술** 개발 (개발 후 배전급(20MW급) 변전 선로 대상 실증)

○ 전력 ↔ 非전력 유연 자원화를 위한 전기차배터리 ↔ 전력망 통합(충방전) 제어(V2G)기술 개발

< 전기차-전력망 통합 제어(VGI) 단계별 기술개발 >

기간	~´23	~´25	~´30
기술	· VGI 충방전 제어기술 개발	· V1G 스마트 충전집합 유연자원화(100MW)	· V2G 양방향 충방전집합 유연자원화(600MW)

○ 재생에너지 연계 재전력화(X2P)를 위한 **MW급 카르노(carnot) 배터리*** **축열발전 기술**(폐지 기력발전소 활용)

* 신재생에너지의 잉여 잉여전력을 히트 펌프로 이용해 열에너지 형태로 저장하는 배터리

< 카르노 배터리 축열발전 단계별 기술개발 >

기간	~´27	~´28	~´30
기술	· 500℃급 히트펌프, 히트엔진(Power Cycle) 개발	· (초)고온(산업공정, 재생열 등) 열저장, 카르노 배터리 개발	· 폐지 기력발전소 연계 250MW(아임계압 증기조건) 실증

* (~`50) 폐지 기력발전소 연계 500MW급(초임계압 증기조건) 상용화

❻ (고효율화) 에너지소비 효율 개선 및 최적 에너지관리시스템 개발

○ 쾌적·고성능 **스마트 외피(벽체·창호·차양) 및 고효율 냉난방 패키지** 기술 개발로 노후건물 에너지 절감률 現 20%에서 30%로 향상

○ 디지털 기반 실시간 운전효율 개선 등 **에너지관리시스템 고도화**

* 에너지 절감률(신축 기준) : 건물 現 7% → '30년 15%, 산단 現 3% → '30년 10%

○ 도시·산단 등 **커뮤니티 단위 에너지 수요 예측 기술 고도화*** 및 에너지 공유 등 **에너지 통합 네트워크** 개발

* 수요 예측 오차율 : 現 20%(RMS 기준) → '30년 10% 이하 → '40년 3% 이하

< 에너지 수요예측 기술 단계별 기술개발 >

기간	~´22	~´25	~´30
기술	· 산단·건물의 업종별/유형별/규모별 예측모델 연구	· 커뮤니티, 다소비기기, 공장/건물 레벨 수요예측 기술 개발	· 커뮤니티 에너지 수요예측 기술 확보(오차율 10% 이하)

* (~`40) 예측 오차율 3% 이내

산 업 저탄소 공정기술 확보 및 탄소 다배출설비 전환

❼ (철강) 現 설비조건에 최적화된 연·원료 전환 등 저탄소기술 개발

○ 코크스 소비열량 저감을 위해 **가열로 화석연료**(LNG 등)를 수소 등 **무탄소 연료**(現 수소원료 혼합비 55%→'30년 100%)**로 전환**기술 개발

<무탄소 연료 단계별 기술개발>

기간	~'25	~'27	~'30
기술	· 무탄소 연료기반 연소기 용량 확대(300만 kcal/h) 등 가열로 및 연소설비 개발	· 가열로 조업 운영 최적화 등 100% 무탄소 연료전환 기술 확보	· 무탄소 연료전환 실증

○ **철스크랩 다량 투입**(現 15% → '30년 30%)이 가능한 신개념 전로 개발

<신개념 전로 단계별 기술개발>

기간	~'25	~'27	~'30
기술	· 스크랩 고도화를 위한 이차연소 극대화 기술 개발	· 전로에서 최대 30%까지 스크랩 사용량 증대기술 개발	· 300톤급 상저취 전로 실증평가 → 조업기술 확보

○ 現 400kWh/ton 전기로 에너지 사용량을 **250kWh/ton로 절감**하는 **저전력 초고속 전기로 개발**

<초고속 전기로 단계별 기술개발>

기간	~'25	~'30
기술	· 1톤급 전기로 모사 설비 활용 엔지니어링 등 초고속 전기로 기반기술 개발	· 250kWh/ton급 저전력 초고속 전기로 실증 → 100톤 이상 전기로 적용기술 확보

❽ (석유화학) 탄소 主배출원인 **나프타 열분해공정**의 **저탄소화**

○ **폐플라스틱의 원료 재활용**(現 0% → '30년 18%)을 위한 전처리기술 개발

<폐플라스틱의 원료 재활용 단계별 기술개발>

기간	~'25	~'27	~'30
기술	· 폐플라스틱(폴리스타이렌, 폴리우레탄, PET) 해중합 기반기술 개발	· 폐플라스틱 해중합 공정 스케일업 및 최적화 (300톤/년 이상 규모)	· 폐플라스틱 해중합 플랜트 시운전

○ 친환경 원료로 전환하기 위한 **바이오 납사 및 소재 제조기술** 개발

<바이오매스 유래 원료 대체기술 단계별 기술개발>

기간	~'25	~'28	~'30
기술	· 플라스틱 원료대체 바이오화학 기초원료·소재 공정기술 개발	· 바이오 납사(1톤/일) 및 바이오 올레핀(100kg/일) 생산기술 개발	· 바이오 납사 및 바이오 올레핀 상용급 실증 공정 기초 설계

○ 나프타 열분해 기반 에너지 다소비 공정을 고에너지 효율 **촉매 반응 공정으로 대체 위한 선행기술** 개발(現 에너지소비 절감 0% → '30년 5%)

❾ (시멘트) 소성공정의 **화석연료(유연탄) 대체** 및 **非석회석 원료** 도입

○ 고농도 CO_2 활용이 가능한 **CO_2 반응경화 시멘트 제조기술** 개발

○ 유연탄 대체를 위한 **폐합성수지** 사용량 증대 **고효율 버너시스템** 소성기술 개발 및 수소연료를 활용한 **신열원기술** 개발

* 유연탄 대체율 : 現 20% → '30년 30%

<시멘트 연료대체 기술 단계별 기술개발>

기간	~´28	~´30
기술	· 순환자원(폐합성수지) 및 친환경 신열원(수소, 바이오매스) 사용량 증대기술 및 제조시스템 등 기반기술 확보	· 100만톤급 시멘트 킬른용 친환경 신열원 통합공정 설계 및 실증

○ **석회석을 비탄산염(슬래그 등)으로 전환**하는 원료 대체기술 및 소성로 온도를 50℃ 이상 저감하는 석회석 대체 **저온 소성 원료 개발**

○ 클링커 사용량 절감(15%이상) **시멘트 혼합재 함량 증대**기술 개발

<시멘트 원료대체 기술 단계별 기술개발>

기간	~´25	~´27	~´30
기술	· 비탄산염 원료제조 기반 기술 개발	· 소성온도 50℃ 이상 저감 및 시멘트 혼합재 함량 증대(15%이상) 기반기술 확보	· 시멘트 원료대체 기술 실증

❿ (정유) 합성원유 제조기술 개발 및 **공정·에너지 효율** 개선

○ 가열로 배출가스 열원 회수, 세라믹 단열 기술, 열교환기 구조 변경 등 **가열로/열교환기 효율 고도화**기술 개발

* 가열로 열효율 : 現 90% → '25년 95%, 열교환기 열전달계수 : 現 1 → '25년 1.5

○ 폐비닐, 폐플라스틱 등 유기성 폐자원 열분해를 통한 합성원유 제조기술 개발(現 불순물제거율 90% → '30년 95%)

<합성원유 제조기술 단계별 기술개발>

기간	~´24	~´25	~´30
기술	· 폐플라스틱 열분해 및 업그레이딩 (생산공정 수율 60%,규모 25만 톤/년)	· 불순물 제거율 95% 달성	· 스케일업(대용량 처리)

⓫ (반도체·디스플레이) 불소계 온실가스 저감 및 新공정가스 개발

○ 지구온난화지수(GWP)가 낮은 공정가스 후보 물질 발굴 및 평가를 통해 친환경 **新공정가스 10종** 선행 개발

공정가스	주요 기술	기대효과
식각용 가스	· (반) PFC/HFC계 공정가스 대체용 가스 활용 원천/공정 기술개발 · (디) SF_6 등 불화가스 대체용 원천/공정 기술개발	GWP: 6,500~23,900→ 1,500이하
증착용 가스	· (디) NF_3, N_2O 대체용 가스를 통한 공정 기술 개발	GWP: 17,200→ 1,500이하
세정용 가스	· (반) NF_3 대체용 가스 등을 활용한 원천/공정기술	GWP: 17,200 → 1,500이하

○ 반도체 공정가스 분해 처리기술 및 촉매제 개발, 디스플레이 공정가스 배출 제어기술 등 **불소계 온실가스**(F-gas) **고효율 처리기술 및 저감장치 개발**

* 처리효율 : 現 90% 이하 → '30년 95% 이상

<반도체·디스플레이 분야 단계별 기술개발>

기간	~´25	~´30
기술	· 저GWP 공정가스 후보물질 발굴 및 기초 검증 · 배출제어 지능화 기술 발굴 및 시범 평가	· GWP 1,500 이하 가스 10종 선행기술 개발 · 플라즈마, 촉매, 연소방식 스크러버 처리효율 개선

⓬ (일반산업) 업종별 공정 특성에 따른 저탄소 공정기술 개발

○ **(섬유)** 물을 사용하지 않는 **비수계 염색 가공***(DTP: Digital Textile Printing 등) 및 석유계 원료 대체 **바이오매스 유래 섬유**(Bio-PET 등) 제조기술 개발

* 물의 가열이나 건조에서 사용하는 에너지 절감 및 폐수 발생 최소화 가능

<섬유 분야 단계별 기술개발>

기간	~´26	~´30
기술	· 비수계 염색가공 기반기술 개발 · 바이오매스 유래 원료 및 섬유제조 기반기술 개발	· 비수계 염색가공 기술 실증(에너지 절감 약30%) · 바이오매스 섬유 제조기술 실증(합성섬유 3%이상 대체)

○ **(제지) 건조공정*** 탈수시스템 효율 개선, 전기가열 건조기 실린더 및 열전달 기술 선행 개발 등 **고효율 건조기술** 개발

* 스팀에너지의 90% 이상이 건조공정에서 소요, 탈수효율 1% 개선시 에너지 4% 절감

<제지 분야 단계별 기술개발>

기간	~´25	~´30
기술	· 종이 구조개선에 의한 경량화 기술 개발	· 종이 구조개선에 의한 20% 이상 경량화 기술 실증 · 전기가열 건조기 등 에너지효율화 10% 이상 건조기술 개발

○ **(비철금속)** 화석연료 기반 열원 및 환원제를 대체하는 **친환경 신용융 기술**, 전해공정 금속전극의 전력저감형 **신전해기술** 개발

<비철금속 분야 단계별 기술개발>

기간	~´26	~´30
기술	· 비철제련 신용융 기반기술 개발 · 전력저감형 신전해 기반기술 개발	· 수소 열원 기반(20%이상) 안전한 일괄 제련공정 기술 실증 · 아연제련소 대상 전력저감(12%) 전해기술 실증

○ **(전기전자)** 육불화황(SF_6) 대체 **친환경 절연 소재** 및 전기기기 개발, 전지 전극공정의 **고효율·탄소저감형 건식기술** 개발

<전기전자 분야 단계별 기술개발>

기간	~´25	~´30
기술	· 고효율 전극 건조공정 기술개발 · 친환경 절연소재 기반 전기기기 설계 및 제조기술 개발	· 고효율(에너지절감율 50%) 전극 건조공정 기술 실증 · 345kV급 이하 적용 친환경(GWP 300이하) 절연소재 및 전기기기 실증

⓭ (산업 공통설비) 탄소다배출 설비를 저탄소 설비로 전환

○ **(보일러/공업로) 무탄소** 연료 전환기술, **산업현장용** 중저온(120℃ 이하) 증기 생산 보일러 대체용 **고온**(170℃ 이상) **전기 히트펌프** 개발

<보일러/공업로 단계별 기술개발>

기간	~´25	~´30
기술	· 무탄소 연료 전환 기술개발 · 보일러 대체 고온 히트펌프 기술개발	· 무탄소 연료 전환(수소사용율 100%) 기술 실증 · 보일러 대체 고온(170℃ 이상) 히트펌프 기술 실증

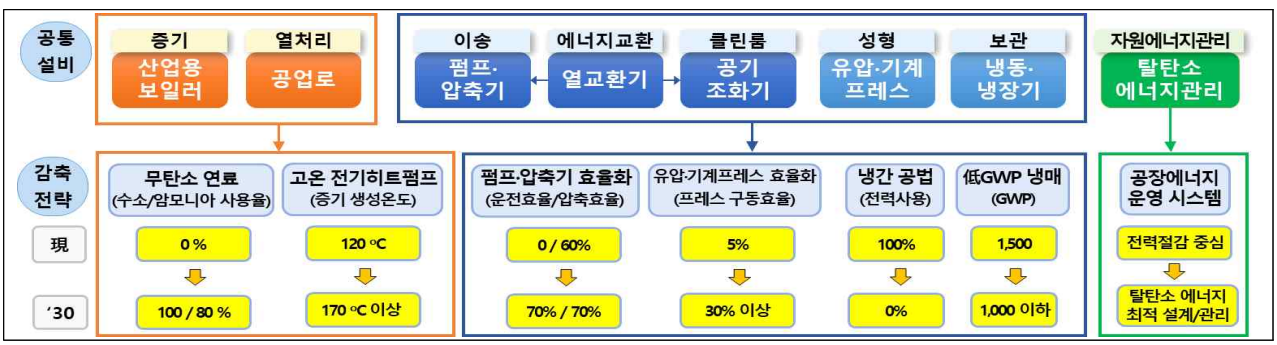
○ **(펌프/프레스)** 운전 효율 70%(펌프), 구동 효율 30% 이상(프레스) 성능을 갖는 설비·시스템기술 개발, 열처리 공정 대체를 위한 냉간 공법기술

<펌프/프레스 단계별 기술개발>

기간	~´26	~´30
기술	· 펌프·압축기, 유압·프레스 효율화 기술개발 · 열간성형 대체를 위한 냉간성형 기술개발	· 효율화 기술 실증(압축효율 70%, 프레스 구동효율 30%) · 차체부품 냉간 공법기술 실증(전력사용 0%)

○ **(냉동/공조)** 불소계 온실가스 대체 **低GWP**(1,000 이하) **냉매기술 개발**

<산업공통설비 분야 저탄소 핵심기술>



수 송 친환경 수송수단 보급 확산을 위한 성능 향상

⓮ (친환경차) 전기·수소차 성능 및 편의성 향상

○ 전기·수소차 **주행거리 50% 향상 및 충전시간 80% 단축**기술 개발

○ 엔진 열효율 10%이상 향상된 **초고효율 하이브리드 시스템** 개발

<친환경차 분야 단계별 기술개발>

기간	~´25	~´30
기술	· xEV 주행거리 확대(600km), 충전시간 단축(10분) 기술개발 · 엔진열효율 45% 이상 초고효율 하이브리드 시스템 개발	· xEV 성능 및 편의성 증진 기술 실증 · 하이브리드 전용 동력 시스템 실증

○ **산업용 이동기기**(건설·농기계 등)의 **경유엔진 대체 친환경 동력원*** 기술, 친환경 핵심부품 및 1000V 이동형 급속 충전기술** 등 개발

* 수소연료전지·배터리 등 배출제로 및 하이브리드·수소엔진 등 저·무탄소 동력원

** 유압부품 전기구동화, 연료전지·배터리·PMS 등 핵심부품 공용화로 원가 절감, 비도로 환경 ·장비에 적합한 이동형·대용량·고속 충전·저장 기술 개발 및 실증

⓯ (친환경 선박) 무탄소 연료 추진선 개발

○ 수소 등 **무탄소연료 추진 시스템 및** 10MW급 **전기 추진기술** 개발

○ 중유를 LNG·전기로 대체한 **초고효율 하이브리드기술 개발**

<친환경 선박 분야 단계별 기술개발>

기간	~´27	~´30
기술	· 선박용 하이브리드 전기추진 시스템, 대용량 에너지 공급 시스템 등 기반기술 개발 · 선상 CO_2 포집처리 기술 개발 · 수소/암모니아 연료공급시스템 설계, 10MW급 이상 고출력화 기술 등 기반기술 개발	· LNG/전기 하이브리드 추진기술 실증 · 수소/암모니아 연료전지 추진기술 실증

◈ 수송부문 감축기술과 별도로 **자동차·조선 공정의 저탄소 기술개발**도 추진

○ **(자동차)** 단조, 열처리 공정 개선, 에너지 혁신형 초공강도 프레스 기술 등

○ **(조 선)** VOCs 처리기술, CO_2용접 대체기술, 야드내 에너지 사용 최적화 및 탄소저감 기술, 시운전시 온실가스 처리 기술 등

탄소중립 공통 자원순환 기술 고도화 및 CCUS 기술 본격 개발

⓰ (자원순환) 재생자원의 산업원료·소재화 및 재제조기술 고도화

○ 금속계(범용/희소금속), 무기계(철강부산물, 폐유리 등), 석유화학계(폐타이어 등) **재생자원의 산업원료·소재화 기술 고도화** (재자원화율: 現 83% → '30년 92%)

< 금속계 재생자원 금속회수 단계별 기술개발 >

기간	~'25	~'29	~'30
기술	· 범용금속 재생자원의 원료 소재화 기술개발 및 실증	· 희소금속 재생자원의 원료 소재화 기술개발 및 실증	· 금속 재생자원으로부터 92% 이상 금속회수 공정 기술 확보

○ **수송기기, 산업기계 재제조기술** 개발 및 성능평가·품질인증시스템 구축

<산업특화 재제조 기술 단계별 기술개발 >

기간	~'28	~'30
기술	· 산업기계 리트로핏 기술개발 · 수송기기/공정설비 재제조 기술개발	· 산업 특화된 첨단기술 융합 탄소저감 재제조 기술 고도화

⓱ (CCUS) CCU 기술 상용화 및 중·대규모 CCS 실증

○ **(포집)** LNG 발전 및 탄소 다배출 업종 **파일럿 실증**(업종별 상용규모)

< CO_2 포집 단계별 기술개발 및 실증 >

기간	~'25	~'28	~'30
기술	· 주요 다배출 업종(LNG발전, 석유화학, 정유,철강,시멘트 등) 중소규모 실증	· 주요 다배출 업종 데모급 실증 및 상용화 기술 확보	· 기술 상용화 및 보급 확산

○ **(활용)** 14대 CCU 전략제품 조기 상용화를 위한 기술개발과 실증 및 기술 보급 확산

< CO_2 활용 단계별 기술개발 및 실증 >

기간	~'25	~'28	~'30
기술	· 플랫폼 화합물, 광물화 등 주요 선도제품 기술개발 및 실증	· 14대 전략제품 상용화 기술 확보 · 차세대 핵심기술 개발	· 기술 상용화 및 보급 확산

○ **(저장)** 年 40만톤 중규모 통합 실증 후 年 **400만톤 주입실증으로 확산**

< CO_2 저장 단계별 기술개발 및 실증 >

기간	~'25	~'28	~'30
기술	· 운영관리, 주입 효율 향상 등 기술 개발 및 실증 · 年 CO_2 40만톤급 저장 실증	· 주입시설, 저장층, 해저지반 등 안전관리 기술 고도화 · 年 CO_2 100만톤급 저장 실증	· 저장 주입 실증 및 실적 확보 · 年 CO_2 400만톤급 저장 실증

2 산업부 R&D 투자방향

□ ‘30년까지는 기술개발 **1단계**로 **정부의 선제적인 마중물 투자** 확대

❶ **‘22년** 탄소중립 R&D 예산을 전년 0.8조원에서 **1.2조원으로 대폭 확대**

○ 특히, 그간 투자가 소홀했던 **저탄소 산업공정혁신** 투자 본격화

* ‘22년 신규로 철강, 석유화학, 시멘트 등 산업공정 탄소 저감에 651억원 투자

< 산업부 탄소중립 R&D 예산 (정부안 기준) >

구분	‘21년 예산(A)	‘22년 정부안(B)
산 업	2,130억원	4,197억원
에너지	6,118억원	7,814억원
합 계	**8,248억원**	**1조 2,011억원**

❷ ‘30년까지 예산 구조조정 등을 통해 **산업부 R&D의 30% 이상**을 탄소중립에 **전략적 투자**

○ 탄소중립 R&D는 기존 **사업 확대 및 비예타 신규사업**으로 우선 반영

❸ **대규모 기술개발**이 필요한 분야는 **대형 예비타당성 조사** 추진

○ **산업부 주관 및 다부처 공동 대형 예타**를 통해 R&D예산 확충

* 6.7조원 규모 탄소중립 산업핵심기술개발사업 예타 심의 중(‘21.9월 신청 → ‘21.10월 기술성 평가 통과 → ~ ‘22.5월 본예타)

* 동해가스전 CCS 실증(산업부, 총사업비안 0.95조원) 등 신규 예타사업 기획 중

❹ **기후대응기금·산촉기금 활용** 및 탄소중립 R&D **투자방식 다양화**

○ 기후대응기금을 활용한 산업・에너지 탄소중립 R&D 사업 확대

○ **산업기술 R&D 기술료**를 재원으로 조성된 **산업기술 진흥 및 사업화 촉진기금**(산촉기금)을 활용해 탄소중립 R&D에 재투자

○ **「탄소중립 기술혁신 펀드」를** 조성하여 민간의 탄소중립 투자 촉진

[참고] 탄소중립 대형 예타 추진 현황

1 탄소중립 산업핵심기술개발사업('21.9, 旣신청 → 10월 기술성 평가 통과)

○ (사업목표) 산업 저탄소 핵심기술개발을 통해 **산업현장의 공정/설비 혁신 달성 및 탈탄소 산업구조로의 대전환** 촉진

○ (기간/총사업비 안) **'23년 ~ '30년**(8년) / **6.7조원**

○ (주요내용) 철강, 시멘트, 석유화학 등 **13개 분야**의 기술개발

* **업종별로 탄소 배출 경로**를 조사, 고탄소 연·원료 **대체 기술**, 생산공정 탄소 **저감 기술**, 탄소 다배출설비 **전환** 기술, 탄소 재자원화 **순환** 기술 등 **공정 전반 탄소중립 기술 포함**

2 동해가스전 CCS 실증('21.12월 신청 예정)

○ (사업목표) **CCS 전주기(포집·수송·저장) 기술 고도화**

○ (사업기간/총사업비 안) **'23~'30**(8년) / **9,500억원**

○ (주요내용) **동해고갈가스전 활용 CCS 통합 실증사업**을 통해 **CCS 전주기 기술 고도화** 및 CO_2 年 **40만톤 규모(총 1,200만톤) 저장**

3 범부처 CCU 조기 상용화('22년 신청 예정)

○ (사업목표) **CCU 전략제품 조기 상용화** 및 **차세대 혁신 기술 개발**

○ (주요내용) **NDC 이행 기반 마련**을 위한 **CCU 14대 전략제품 기술개발 및 실증** (관계부처 합동 'CCU 기술혁신 추진전략'('21.5) 후속조치)

4 그린 수소 개발('22년 신청 예정)

○ (사업목표) 탄소중립의 핵심 연료인 **저탄소 수소 공급망 구축**을 위해 **국내 기술경쟁력을 제고**하고 수요기반 **수소가격 경제성 확보**

* **「수소 기술개발 로드맵」** 상 **생산, 저장·운송** 분야 **기술개발 목표 달성**

○ (주요내용) **①수전해 수소, ②해외 생산 수소, ③폐자원·바이오매스 수소** 분야 활용 공급망 구축의 **3개 분야 9개 프로젝트 구성**

5 탄소중립 대학거점센터('22년 신청 예정)

○ (사업목표) **탄소중립 실현**을 위해 **중소·중견기업**이 중장기적으로 활용할 수 있는 (HW)**공동활용장비** 및 (SW)**인력양성** 체계 등의 기반을 **대학 내** 마련

○ (주요내용) **① 탄소중립 업종별 컨소시엄(UIC)** 구성 및 업종별 필요 **장비 구축** 및 **②개인·기업**을 대상으로 **장비 활용 교육 운영**

참고 (2030) NDC 달성 대표 기술

□ 에너지

구분	대표기술	기대효과
무탄소 발전	운영 중 가스터빈 수소 혼소 리트로핏 기술	(現) 수소혼소율 0% ('30) 150/250MW 가스터빈 50% 혼소 실증
	표준 가스터빈 수소 혼소 기술	(現) 수소혼소율 0% ('30) 270/380MW 가스터빈 50% 혼소 실증
	5MW 수소전소 가스터빈 최적화 및 복합발전 기술	(現) 천연가스용 가스터빈 기술 보유 ('28) 수소전소 5MW급 가스터빈 실증
	석탄발전 보일러 암모니아 혼소 전환 기술	(現) 암모니아 혼소율 0% ('30) 20% 혼소 실증
	청정수소 기반 고효율 열병합 시스템 기술 (지역난방 열 및 스팀 공급)	(現) PAFC만 난방열(110℃) 생산 가능 ('30) 모든 연료전지 스팀(8bar) 및 난방열 생산
	무탄소 연료를 적용한 ZERO 배출 연료전지 시스템 기술	(現) 시스템 개발 사례 없음 ('30) 암모니아 기반 수십~백kW급 스택모듈 개발
재생 에너지	결정질 실리콘 기반 탠덤 태양광 기술	(現) 셀효율 26.7%(0.2cm^2), 모듈효율 없음 ('30) 셀효율 35%(약 16.6x16.6cm^2), 모듈효율 28%
	대면적 고출력(1000W+) 모듈 시스템 기술	(現)< 600W (M2-M6 size) ('30) 1000W+ (M10-M12 size)
	100% 재활용 가능한 친환경 모듈 기술	(現) 친환경/신개념 모듈 연구단계 ('30) 모듈 재활용률 85%
	대규모 풍력단지 설치 시공 기술	(現) 전용설치선박 없음 ('30) 급속/일괄 설치 기술 개발
	15MW급 해상풍력발전기	(現) 8~10MW급 개발 중 ('30) 15MW급 상용화
	실규모 부유식 해상풍력 발전시스템	(現) 실증 부재 ('30) 8MW급 상용화
	디지털 기반 태양광 O&M 기술	(現) 기술개발 단계 ('25) 발전량 예측정확도 ≥ 95%
	풍력 기자재 리사이클링 기술	(現) 기본기술 연구 ('30) 재활용 핵심기술 확보
수소화	천연가스 개질 블루수소 생산 기술	(現) 0.5~0.64톤/day ('30) 2톤/day
	암모니아-수소생산 통합공정 시스템 기술	(現) 70%(LHV), 20 Nm^3/h ('30) 85%(LHV), 20,000~50,000 Nm^3/h
	고효율 그린수소 생산 기술	(現) 55kWh/kg.H_2 (효율 60%, LHV) ('30) 48kWh/kg.H_2 (효율 69%, LHV)
에너지 저장	재생에너지 연계용 에너지저장시스템	(現) 출력변동율 10%/min ('30) 5%/min

구분	대표기술	기대효과
	가상(Virtual) 에너지저장시스템 통합 운영기술	(現) 다수·다종 ESS 가상화·통합화 기술 부재 ('30) 가상화 통합 운영용량 400MW 및 효율적 운영
계통 선진화	AC/DC 하이브리드 전력계통 운영 기술	(現) 컨버터스테이션 요소기기 개발 중 ('35) 20MW급(배전급 변전선로) 대상 실증
	전기차-전력망 통합 제어(VGI) 기술	(現) V1G 스마트 충전제어 및 소규모 실증 ('30) V2G 양방향 충방전집합 유연자원화(600MW)
	카르노 배터리 축열발전 기술	(現) 개념연구 진행 중 ('30) 250MW 기력발전소 대상 실증
에너지 고효율화	고효율 다목적 건물 설비 패키지 기술	(現) 에너지소비량 저감률(노후건물 기준) 20% → ('30) 30%
	건물·산단 에너지관리 효율개선 기술	(現) 에너지절감률(신축기준) 건물 7%, 산단 3% →('30) 건물 15%, 산단 10%
	커뮤니티 에너지 수요예측 기술	(現) 예측오차율 20%(RMS기준) ('30) 예측오차율 10% 이내

□ 산업

구분	대표기술	기대효과
철강	코크스 소비열량 저감을 위한 대체원료 활용 저탄소 기술	(現) 수소연료 혼합 비율 55% ('30) 100%
	상저취 전로 활용 철스크랩 다량 사용 기술	(現) 전로 철스크랩량 15% ('30) 30%
	저전력 초고속 전기로 기술	(現) 400kWh/톤 ('30) 250kWh/톤
	탄소저감형 하이퍼 고로 기술	(現) 고로 함수소가스 취입량 0% ('30) 10%
	폐자원 활용 탄재 대체 전기로 기술	(現) 폐자원활용 전무 ('30) 탄화계원료 대비 폐자원 비율 40%
	고체 부산물 재활용 및 전환 기술	(現) 시멘트 대체재로 전로슬래그 재활용 전무 ('30) 110만톤/년
	철강 부생가스 재활용 기술	(現) 용광로 CO_2 취입량 0 ('30) 180만톤/년
석유화학	플라스틱 원료 대체 바이오 납사 원료 및 소재 제조 기술	(現) 실험실 수준 ('30) 파일럿 검증
	석유화학 부생가스 메탄 전환 기술	(現) 실험실 수준 ('30) 파일럿 검증
	폐플라스틱 원료 활용률 제고 기술	(現) 폐플라스틱 재활용 비율 0% ('30) 18%
	저에너지 촉매 반응 공정 대체 기술	(現) 에너지소비 절감율 0% ('30) 5%
	석유화학 부생가스 이산화탄소 포집 및 활용기술	(現) 실험실 수준 ('30) 파일럿 검증

구분	대표기술	기대효과
시멘트	석회석 원료의 비탄산염 원료(슬래그 등)로 대체 기술	(現) 비탄산염 원료 대체율 0% ('30) 2% 이상
	시멘트 혼합재 종류 및 함량 증대 기술	(現) 혼합재 함량 10% ('30) 혼합재 햠량 15%
	석회석 대체 시멘트 저온소성 가능 원료대체 기술	(現) 소성온도 1,450℃ ('30) 1,400℃ 이하
	폐열발전 및 클링커 소성로의 디지털 기반 인공지능 운전시스템 효율향상 기술	(現) 현수준 기준(750~800 kcal/kg.cl) ('30) 5 kcal/kg.cl 추가 감축
	유연탄 감소 및 폐합성수지 사용량 증대기술, 수소/바이오매스 연료를 이용한 신열원 기술	(現) 유연탄 대체율 20% ('30) 30%
	이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술	(現) CO_2 반응경화 제품 대체율 0% ('30) 30%
정유	가열로, 열교환기 등 정유 설비 효율향상 기술	(現) 가열로 열효율 향상 90% ('30) 95%
		(現) 열교환기의 열전달계수(효율) 1 ('30) 1.5
	폐플라스틱 활용 합성원유 제조 기술	(現) 불순물 제거율 90% ('25) 95%
		(現) 공정 스케일 50kg/일 ('24) 25만톤/yr (처리량 기준)
반도체·디스플레이	신규 低 GWP(지구온난화지수) 공정가스 선행 기술	('30) 식각,증착용 新공정가스 10종 발굴 (GWP 1,500 이하)
	불소계 온실가스 배출저감 기술	(現) 배출가스 저감 42% 이하 ('30) 59% 이상
		(現) 처리효율 향상 90% 이하 ('30) 95% 이상
섬유	탄소배출 감축형 고효율 염색가공기술	(現) 반응성염료 고착률 70% ('30) 90% 이상
	비수계 섬유공정 기술	('30) 水계 염색가공 공정을 非水계 공정으로 전환
	바이오매스 활용 섬유 및 부직포 제조기술	('30) 석유기반 화학섬유에서 바이오매스 유래 섬유로 3% 이상 대체
	열에너지 사용량 저감 신공정기술	(現) 탄소섬유 제조 에너지소비 70MJ/kg ('30) 35MJ/kg 이하
	폐자원 재활용 섬유 및 복합재 제조 기술	(現) 복합재 제조 재생섬유 회수율 50% ('30) 90% 이상
제지	전기가열 건조기 실린더 및 열전달 기술	('30) 에너지 효율화 10% 이상
	종이 구조개선에 의한 경량화 기술	('30) 현재 대비 경량화 20% 이상
	탄소저감형 공정최적화 플랫폼 기술	('30) 현재 대비 생산성 5%p 향상
	제지부산물 활용 탄소자원화 기술	('30) 탄소광물화 시제품 생산
	제지공정 폐자원 및 부산물 에너지화 기술	(現) 1톤 폐기물당 수소 생산량 無 ('30) 20 kg

구분	대표기술	기대효과
비철금속	친환경 비철제련 신용융 기술	(現) 수소대체율 0% ('30) 20% 이상
	전력 저감형 신전해 기술	(現) 전력저감율 0% ('30) 12%
	비철금속 제조공정 효율 향상기술	(現) 에너지 효율 향상 0% ('30) 30%
전기전자	탄소저감형 고성능 리튬황전지 기술	(現) 에너지밀도 300Wh/kg ('30) 400Wh/kg
	대용량 리튬이차전지 재활용 및 탄소저감형 이차전지 전극건조공정 기술	('30) 에너지 절감율 50% 이상
	친환경 절연소재 기반 전기기기 기술	(現) GWP 23,500 ('30) 300 미만
유리	탄산염 유리원료 대체기술	(現) 파유리 사용율 70% ('30) 75%
	저탄소 유리 용융 및 공정 기술	(現) C-중유/LNG 혼합 용융 ('30) 저탄소 연료(LNG, LPG) 용융기술 확보
	탄소저감형 유리 경량화 제조 기술	('30) 기존대비 판유리 두께 20% 감소, 건축용 판유리 경량화 제품 적용률 50%
산업공통설비	보일러·공업로 무탄소 연료 적용 기술	(現) 수소/암모니아 사용율 0% ('30) 100%/80%
	보일러 대체용 고온 증기생산 전기 히트펌프 기술	(現) 증기 생성온도 120℃ ('30) 170℃ 이상
	펌프·압축기·열교환기 효율화 기술	(現) 운전효율/압축효율 0%/60% ('30) 70%/70%
	유압·기계프레스 효율화 기술	(現) 프레스 구동효율 5% ('30) 30% 이상
	열처리공정 대체를 위한 냉간 공법기술	('30) 해당공법 전력사용 0% 달성
	친환경 低 GWP(1000 이하) 냉매기술	(現) GWP 1,500 ('30) 1,000 이하
	IE5급 에너지효율을 갖는 초고효율 전동기 기술	(現) IE3 ('30) IE5
	히트펌프 공급 온도 범위 확대 기술	(現) 고온 160℃, 저온 –80℃, 냉매 GWP 2,088 ('30) 고온 250℃, 저온 –150℃, 냉매 GWP150
	공장 에너지 탈탄소화 운영 시스템	(現) 전력중심 에너지효율화 ('30) 에너지 공급혁신, 탄소배출 설비, CCUS까지 포함한 전과정 운영 시스템

□ 수송

구분	대표기술	기대효과
친환경 자동차	전기·수소차 성능 향상 기술	(現) 충전 50분 / 주행 400km ('30) 10분 / 600km
	초고효율 하이브리드 시스템 기술	(現) 엔진 열효율 40% ('30) 45% 이상
	수소·전기 등 친환경 산업용 이동기기(건설·농기계) 상용화 기술	(現) 건설기계 온실가스배출량 24백만톤/년 3.5톤 이하 소형전기굴착기 상용화 ('30) 연간 온실가스배출량 10% 이상 절감 5~14톤급 전기·수소굴착기 상용화
	친환경 산업용 이동기기 핵심부품 상용화 및 대용량·이동형 충전 시스템 기술	(現) 충전 1시간/ 연속가동 4시간 ('30) 충전 15분/ 연속가동 8시간
친환경 선박	수소, 암모니아 등 무탄소 연료 추진 시스템 및 전기추진 시스템 기술	(現) 무탄소 연료 추진 선박 기술 없음 ('30) 무탄소 연료(암모니아) 적용 ('30) 저탄소 연료사용 선박 10% 이상 탄소 배출 감축 추가
	LNG/전기 하이브리드 추진 기술	(現) LNG를 비롯한 저탄소 가스연료 적용, 에너지효율화 기술 적용 중 ('30) HFO 대비 40% 이상 CO_2 감축
	선상 CO_2 포집처리 기술	(現) 연소가스 내 CO_2 배출 (연료사용량의 최소 3배 이상) ('30) 30% 이상 감축(포집 및 처리)
	폐열 이용 및 자연에너지 이용 선박추진/발전 기술	(現) 일부 해외 업체 선박 적용 ('30) 중대형선 10% 이상 탄소배출 감축 추가

□ 탄소중립 공통

구분	대표기술	기대효과
자원순환	금속계, 무기계 및 석유화학계 재생자원의 산업원료·소재화 기술	(現) 재자원화율 82.6% ('30) 92% 이상
	수송기기 산업기계 공정설비 등 산업특화 재제조 확산기술	(現) 산업특화 재제조 기술 개발 미미 ('30) 재제조율 10% 이상
CCUS	발전 및 연소 배가스 중 CO_2 포집기술	(現) 포집량 7만톤/년(단위설비 기준) ('30) 40~100만t-CO_2/년
	CO_2 활용 플랫폼화합물 제조 기술	(現) 파일럿 및 실증단계 ('30) 기술 상용화 및 국산기술 보급 확대
	CO_2 활용 무기탄산계 화합물 제조 기술	(現) CO_2 광물화 반응 파일럿 플랜트 실증 추진 ('30) 기술 실증 및 상용화 기반 마련
	CCS 통합 실증	(現) 소규모(100톤) 주입성공 ('30) 대규모(年 400만톤) CCS 통합실증

2 2050 탄소중립 실현 핵심기술 개발

1 2050 탄소중립 핵심기술

기본 방향

◈ 무탄소 발전 및 전달 보편화, 산업공정을 탈탄소 공정으로 근본적 전환

❶ 2050 탄소중립 시나리오안에 제시된 기술 중점 개발 및 상용화

부 문		감축목표(백만톤)	대표 감축기술
전 환 (에너지)		('18)269.6 → ('50)20.7(△92.3%)	· 재생에너지 효율화 관련 차세대 기술 · 수소터빈 등 신규 발전원 상용화 기술 · 재생에너지 중심 전력체계 안정성 확보 기술
산업	全 업종 : ('18)260.5 → ('50)51.1(△80.4%)		· 저탄소 산업구조로 대전환 - 탈탄소 공정 · 핵심 감축기술 실증화 및 상용화
	철강		· 탄소계공정, 수소환원제철로 100% 대체 · 철스크랩 전기로 조강 확대 기술
	석유화학(정유)		· 연료(전기 가열로) 및 원료(바이오 납사) 전환기술 고도화
	시멘트		· 100% 친환경 연료 전환 기술 · 석회석 대체 및 혼합재 원료 확대 고도화
	기타(반도체·디스플레이 등)		· 불소계 온실가스 저감 기술 · 전력 다소비업종 에너지 효율화 기술
수 송		('18)98.1 → ('50)9.2(△90.6%)	· 친환경 교통 전환 및 도로부문 전기·수소화 · 대체연료(e-fuel) 기술 상용화
CCUS		('18) 0 → ('50)-84.6	· 이산화탄소 포집, 활용, 저장 상용화 기술

* 자원순환도 핵심 감축기술로 제시

❷ 2030년까지 1단계로 착수한 선행기술의 **실증프로젝트 본격화**

◈ 개발 기술의 사업화 및 현장 적용을 위한 R&D 후속 지원 강화

◈ 대형 실증형 R&D를 중심으로 2단계 통합 예타 전면 추진

에너지 생산 무탄소 발전으로 탄소중립 이행

❶ (무탄소발전) 무탄소발전 **보편화** 및 **시스템 효율 최적화**

○ 발전용 가스터빈 연료를 무탄소 연료인 **수소 및 암모니아로 100% 전환**

○ 발전효율 65% 이상을 갖는 **연료전지 기반 MW급 복합발전** 상용 시스템(가압형 SOFC 모듈과 터보제너레이터 연계) 개발

○ 재생에너지 연계 연료전지 가동율을 극대화(90% 이상)하는 **전력변동 대응형 연료전지**(수소 기반 삼중열병합 시스템) 및 **차세대 전력망 대응기술 개발**

< 수소 기반 삼중열병합 시스템 단계별 기술개발 >

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 셀/스택/부품양산 및 자동화 기술(효율 65%↑,수명 5만 시간)	· 전력/열 부하 대응형 시스템 설계 및 운전 최적화 기술	· 재생에너지 연계 가동 90% 이상 삼중열병합* 시스템 개발

* 청정수소 기반 전기/온열/냉열 활용 시스템 개발(종합효율 95% 이상, 가동률 90 이상)

❷ (재생에너지) 차세대 기술 개발을 통한 **태양광· 풍력 대규모 보급**

○ **태양광 입지 혁신기술 개발로 태양광 설치환경 다변화**(수상, 해상, 영농, 건물 적용 등) 및 보급 잠재량 확대

< 입지 혁신(다변화) 기술 단계별 기술개발 >

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 건물형 태양광 기술 (내화성능 준불연 2등급) 개발	· 맞춤형 영농형 태양광 시스템 (작물 수확량 90%↑, 품질 100%)	· 입지 다변화 기술 태양광 설비 이용률 향상

○ 장수명(50년) 풍력터빈 상용화 기술개발, **GW급 해상풍력 전력망 통합기술 및 풍력발전 연계 P2G기술 개발**

< 해상 풍력단지 전력망 통합기술 단계별 기술개발 >

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 해상 풍력단지 내부망 및 해상변전소 최적 설계 기술	· 해상풍력단지 전력망 안정화 기술(사고전류 지원 등)	· GW급 해상풍력단지 전력망 통합 및 에너지변환 기술개발

에너지 전달 에너지 전달 최적화 및 전력계통 인프라 혁신

❸ (수소화) 그린 수소 생산기술 및 장거리·대용량 운송기술 확보

○ 재생에너지 연계 **100MW급 그린 수소 생산**(43kWh/kg, 효율 77%,LHV) 및 **대규모 장주기 수소 저장기술 확보**

○ 장거리·대용량 운송이 가능한 **수소 액화 시스템 기술** 및 日 50톤급 수소 액화플랜트 상용화하고 **16만m³(160k)급 액체수소 운송선 개발**

< 액체수소 운송선 단계별 기술개발 >

기간	~´25	~´30	~´50
기술	· 화물창, BOG, 처리시스템, CHS 시스템 등 핵심기자재 설계완료	· 20k급 액체수소 운송선 실증, 선급승인 완료	· 160k급 액체수소 운송선 실증 및 상용화(BOR 0.1%/day)

❹ (에너지저장) 안정적 전력공급원으로서의 **대용량·장주기·장수명 ESS 실현**

○ 전력공급 120시간이 가능한 대용량 허브 ESS 및 **720시간 에너지 시간이전**(time shift)**이 가능한** 주·계간 변동성 대응 **초장주기 ESS 기술 개발**

* 국가 전력망 안정화를 위한 발전소 규모 ESS

○ 별도 전력망 추가 증설 없이 **충전시간 5분**(SOC 80% 기준) 및 **내용년수 10년**이 가능한 초고속, 장수명 EV 충전용 ESS기술 개발

< EV 충전용 ESS 단계별 기술개발 >

기간	~´27	~´30	~´50
기술	· EV 충전용 ESS 기술 개발	· KFS412, UL9540A 안전성 기준 만족(충전시간 30min, 내용연수 6년)	· 고안전성 초고속·장수명 ESS (충전시간 5min, 내용연수 10년)

❺ (계통 선진화) 재생에너지/분산형 자원 중심 전력계통 구축

○ DSO(배전계통운영자, Distribution System Operator) 기반 유연자원 연계(P2X+X2P) 통합 배전망 운영 시스템 개발과 **변전소급(200MW) 배전계통 연계 운전**

<DSO 기반 유연자원 통합 운영기술 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´35	~´40
기술	· 유연자원 통합 배전계통 연계 실증(10MW)	· 변전소 뱅크 단위 배전계통연계 실증(40MW)	· 변전소 단위 배전계통연계 운전 (200MW)

○ AI 기반 전력망 보안 관제방어 기술 확보, 차세대 전력거래 플랫폼 통합 및 **전기·가스·열 등 통합형 가상 에너지시장** 운영

○ 해상 풍력발전단지와 연계한 **50MW급 수중에너지저장 장치개발**

○ 전력회수 효율 70% 이상을 달성할 수 있는 차세대 Fuel-Emissions Free **압축공기 에너지저장시스템 개발** 및 50MW/150MWh 실증

<압축공기 에너지저장시스템 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 5MW/15MWh급 차세대 압축공기저장시스템 실증	· 재생에너지연계형 압축공기저장 실증플랜트 구축	· 50MW/150MWh급 차세대 압축공기저장시스템 실증

○ 재생에너지 보급확대에 따른 분산자원 연계 활용을 위한 100MW급 해수 양수발전기술 실증·상용화

❻ (고효율화) 설비 효율 지능화, **양방향 에너지 네트워크** 및 **수요자원 확대**

○ **AI 기반 EMS 기술, 직류배전 플랫폼 표준화**를 통해 20% 이상 효율 향상

○ 스마트산단·건물 기반 **전기·열 양방향 에너지 네트워크 구축** 및 부하 예측, 최적설계와 실시간 제어기술 확보(운영비용 30% 저감)

< 분산전원 연계 산업단지 직류 배전 플랫폼 기술 단계별 기술개발 >

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 직류 배전 스마트 EMS 기술 확보 (직류 에너지 모니터링 99%확보)	· 직류 배전용 그리드 컨트롤러 기술개발 및 산업단지 보급(50%이상)	· 직류배전 플랫폼*을 이용한 산업단지 20% 이상 효율성 향상

* 직류 기반 자율 산업단지 운용 플랫폼 기술 적용

○ 데이터 기반 실시간 운전효율 기술 고도화로 가격 및 인센티브 기반 에너지 소비자 참여 확대를 촉진, **최대 전력 30% 수준의 전력 수요자원 확보**

산 업 한계돌파형 기술로 공정을 근본적으로 전환

❼ (철강) 탄소계 공정(고로+전로)을 수소환원제철로 100% 대체

○ 분광 수소 유동환원, 수소환원용 전기로 기술 등 코크스를 100% 대체하는 **非고로방식 수소환원제철기술 상용화**

<수소환원제철 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 수소환원철용 용해 기초기술 · 공정 검증·시험 설비 구축	· 수소환원철용 고속 용해 기술 · 100만톤/y 처리용량급 실증 → 300만톤급 상용화설비 기술 확보	· 수소환원철 기반 고급강 생산기술 · 기존 고로·전로 시설 단계적 대체

❽ (석유화학) 나프타 분해로를 전기가열 분해 공정으로 전환

○ 화석연료 기반 나프타 분해센터(NCC)를 **전기가열로 방식**으로 **전환**

<나프타 전기가열 분해공정 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 전기가열 분해 원천기술 개발	· 230kg/hr 처리용량급 실증	· 전기가열 분해로 상용화 → 신규 플랜트의 65%에 적용

❾ (시멘트) 소성 공정을 친환경 신열원 기반으로 전환

○ 유연탄 기반의 **소성 공정의 열원**을 **수소 및 순환자원·바이오연료 버너**로 완전 대체

<소성공정 대체열원 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 수소 버너·관련 소재 · 폐수지 등 순환자원 버너 공정	· 수소 버너 기술고도화 · 폐수지 등 순환자원 버너 공정 확대	· 100MW급 수소 버너 실증 및 상용화

❿ (정유) 무탄소 열원을 통한 친환경 정유 분해 공정으로 전환

○ 보일러, 가열로, 연소로 등에서 사용되는 정유 분해 열원을 **무탄소 열원**(수소, 암모니아 등)**으로 전환**

< 친환경 정유 분해 열원 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 암모니아/수소 가열로 초기 기술	· 파일롯 규모 실증	· 양산형 규모 실증 및 상용화

⓫ **(반도체·디스플레이)** 新**공정가스 적용** 및 F-gas 배출 저감 극대화

○ (超)低GWP **新공정가스 현장 도입 확산** 및 F-gas 배출 처리 효율 99% 이상 **고효율 스크러버기술 개발**

<新공정가스 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 저GWP공정가스 개발 · 저GWP인증시스템 구축	· 국제 표준화 및 현장 도입 · 초저GWP 공정가스 개발 실증	· 현장 도입 확산 · 국제 표준화 및 현장 도입

⓬ **(일반산업)** 업종별 핵심 공정을 저탄소 공정으로 전면 전환

○ **(섬유) 4단계**(원사→원단→염색→後가공) 생산 공정을 3D 프린팅 등 디지털 기술을 적용하여 **일체형 섬유 생산 공정**으로 전환

○ **(제지)** 전기가열 건조기 실린더 및 열전달 기술 상용화로 **건조 공정**을 **고효율 전기에너지 공정으로 전환**

○ **(비철금속)** 수소환원 신용융기술 및 공정배출 CO_2 재자원화 기술 상용화

○ **(전기전자)** 가전 생산에 투입되는 냉매를 저탄소 냉매로 90% 이상 대체

⓭ **(산업 공통설비) 설비 효율 고도화**를 통해 보급 확산 추진

○ **(보일러/공업로)** 화석연료와 동등 효율의 전기 보일러·공업로 개발

○ **(전동기)** 초고효율 차세대 **울트라 프리미엄급 전동기(IE6)** 개발

<산업용 전동기/모터구동 인버터 효율 향상 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 울트라 프리미엄급 전동기 (IE5) 개발 · 인버터효율 IE2 달성	· 초고효율 차세대 울트라 프리미엄급 전동기(IE6) 개발 · 인버터효율 IE3~IE4 달성	· 전동기 효율 향상을 통한 시스템 에너지 절감율 20% 이상 확보

○ **(히트펌프)** 기존 공급온도 한계를 극복한 **차세대 히트펌프 개발**

<히트펌프 공급온도 광대역화 기술 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´40	~´50
기술	· 고온 공급온도 250℃ · 저온 공급온도 -150℃ · 냉매 GWP 150	· 고온 공급온도 300℃ · 저온 공급온도 -200℃ · 냉매 GWP 10	· 히트펌프 응용범위(적용처) 확대

수 송 탄소중립 대체 연료 확산 및 무탄소 수송선 상용화

⓮ (친환경차) 탄소중립 대체연료(e-fuel) 활용기술 상용화 및 적용 확대

○ **탄소중립 대체연료**(e-fuel)* **적용 기술개발 및** 차량 적용 **실증 확대**

* 수소와 포집된 CO_2를 반응시켜 합성한 연료로 e-메탄·에탄올·가솔린·디젤 등 존재

⓯ (친환경 선박) 수소·암모니아 추진 무탄소 선박 상용화 및 저탄소 선박의 에너지효율* 극대화

* 선박용 풍력추진 기술, 경량화 소재기술, 폐열 활용 기술, 선상 CO_2 포집처리 기술 등

탄소중립 공통 탄소자원 재자원화 및 CCUS 활용기술 확대

⓰ (자원순환) 저탄소 순환경제를 위한 자원순환 혁신기술 고도화

○ **미래산업 제품**(전기차, 재생에너지, 로봇, 드론 등) **재자원화**('30, 92% → '50, 94%), **재제조**('30, 10% → '50, 30%) **기술 고도화**로 저탄소 순환경제 구축

<미래산업 순환경제 체제 구축 혁신기술 단계별 기술개발>

기간	~'30	~'50
기술	· 전기차 사용후 고전압 부품 및 폐배터리 재생에너지 소재부품, 로봇, 드론 등 재제조율>10%, 재자원화율>92%	· 전기차 사용후 고전압 부품 및 폐배터리, 재생에너지 소재부품 로봇, 드론 등 재제조율>30%, 재자원화율>94%

○ **순환경제형 LCI* DB 구축**('30, 1천개 → '50, 5천개) 및 **사업모델** 발굴('30, 100개 → '50, 500개)

* LCI(life cycle index) : 제품 제조 전 과정 탄소저감효과 산출지표

⓱ (CCUS) 핵심기술, 공정 실증을 통한 기술 최적화 및 상용화

○ **(포집) 배출원별 저비용 포집기술** 확보(現, \$45/t-CO_2 → '50, \$20/t-CO_2) 및 대형 실증·보급

< 발전 및 산업부문 배출 CO_2 포집 단계별 기술개발>

기간	~´30	~´35	~´50
기술	· (단위설비 기준) 연간 1백만톤급 포집	· 연간 3백만톤급 포집	· 연간 4백만톤급 포집 · 포집비용 $20/t-$CO_2$ 달성

○ **(활용)** CCU 제품군(플랫폼 화합물, 연료 등) 생산기술 실증 확대로 경제성을 확보하고 대량 CO_2 감축 구현('50년)

○ **(저장)** 年 400만톤('30년)에서 年 **1,500만톤**('50년) **규모**로 **CO_2 주입** 실증규모 확대 및 **저장소 구축 핵심기술 자립화**

< CO_2 저장소 구축 단계별 기술개발 >

기간	~´25	~´30	~´50
기술	· CO_2 저장소 효율 향상 기술, 주입설비 구축 기술 등 확보	· 연간 400만톤 규모 저장부지 구축	· 저장소 구축 핵심기술 자립화 · 해양플랫폼(저장시설) 운영/관리

2 산업부 R&D 투자방향

□ '30년까지 1단계 선행 기술개발 투자에 이어 '50년까지 탄소중립 산업·에너지 R&D 투자 지속 확대

○ **실증형 R&D, 상용화 R&D 중심**으로 민간의 투자를 점진적으로 확대하고 **정부 R&D는 민간 투자를 뒷받침**

□ 산업부 R&D를 **탄소중립 R&D 중심으로 전면 개편**

○ 첨단 안보 기술 등 필수적 R&D를 제외하고 원점에서 재검토하여 탄소중립 중심의 R&D 사업구조 마련

□ **대형 실증**이 필요한 탄소중립 기술과제는 **2-3단계 대형 예타** 추진

* 수소환원제철, 전기가열 분해, CCUS 실증 등을 위해 **대형 실증형 예타** 기획

참고 **(2050) 탄소중립 실현 핵심기술**

□ 에너지

구분	대표기술	기대효과
무탄소 발전	수소터빈 복합발전 효율향상 기술	('30) 수소혼소율 50%, 복합효율 63% 실증 ('40) 수소전소, 복합효율 65%↑실증
	암모니아 터빈 기술	('30) 용량 5MW, 혼소 50% 실증 ('50) 혼소/전소 100MW 이상 상용화
	연료전지 기반 MW급 이상 복합발전 상용 시스템 기술	('30) 발전효율 60% ('40) 발전효율 65% 이상
	재생에너지 연계 연료전지시스템 가동률 극대화 기술	('30) 가동률 70%↑, 응답부하 용량비 30% 이상 ('50) 가동률 90%↑, 응답부하 용량비 50% 이상
재생 에너지	입지혁신을 통한 태양광 보급확산 기술	('30) 이용률 영농/수상 17.5%, BIPV 14.5% ('50) 영농/수상 20%, BIPV 17%
	기존 결정질 실리콘 모듈 대비 중량이 가벼운 경량 모듈 기술	('30) 5 kg/m^2 ('50) 2 kg/m^2
	장수명 풍력터빈 기술	('30) 30년 수명→ ('50) 50년 수명
	GW급 해상풍력단지 전력망 통합 및 에너지 변환 기술	('30) 12GW 해상풍력 발전 단지 건설 ('50) 전력망 통합 및 풍력연계 P2G
	미래형 풍력발전기술	('30) 2MW급 시제품개발 ('40) 100MW 발전단지 실증사업화
수소화	재생에너지 연계 대규모 그린수소 생산	('30) 100MW급 시스템 기반 10MW급 스택 개발 ('50) 100MW급 시스템 기반 대규모 수소 생산
	장거리·대용량 운송이 가능한 수소 액화 시스템 기술	('30) 30톤/일급 상용화, 액화효율 10kWh/kg ('50) 50톤/일급 상용화, 액화효율 6kWh/kg
	대용량 액체수소 운송선박 / 인수기지 기술	('30) 20k급 액체수소 운송선 실증 / BOR 0.1%/day ('50) 160k급 액체수소 운송선 실증, / BOR 0.08%/day
에너지 저장	대용량 허브 에너지저장시스템	('30) ESS 전력공급시간 12hr ('50) ESS 전력공급시간 120hr
	주·계간 변동성 대응 초장주기 에너지저장시스템	('30) 시간 이동(Time Shift) 72hr↑ ('50) 시간 이동(Time Shift) 720hr↑
	초고속·장수명 EV 충전용 에너지저장시스템	('30) 내용년수 6년, 충전시간 30분(SOC 80%) ('50) 내용년수 10년, 충전시간 5분(SOC 80%)
계통 선진화	DSO 기반 유연자원 통합운영 기술	('30) 배전계통연계 실증 10MW ('40) 배전계통연계 운전 200MW
	지능형 전력거래 및 전력망 보안 인프라 기술	('30) 소규모 전력중개 거래 인프라 확보(GW이상) ('40) 차세대 전력거래 플랫폼 도입
	거래형 통합에너지(열-가스-전기)자원 확보	('30) 시스템구축, 전환 및 저장 자원 0.5TWh ('50) 전환 및 저장 유연화 자원 55TWh
	해상 풍력발전단지와 연계한 수중에너지 저장 장치	('30) 10MW급 ('50) 50MW급
	차세대 Fuel-Emissions Free CAES(Compressed Air Energy Storage) 시스템	('30) 5MW/15MWh ('50) 50MW/150MWh
	해수양수발전 기술	('30) 100MW 실증 ('50) 100MW 상용화

에너지 고효율화	분산전원 연계 산업단지 직류 배전 플랫폼 기술	('30) 에너지효율 15% 향상 ('50) 에너지효율 20% 이상 향상
	인터랙티브 에너지 커뮤니티 기술	('30) 최적설계 및 운영기술 개발 ('50) 에너지효율화 25%, 운영비용 30% 저감
	데이터 기반 실시간 운전효율 향상 기술	('30) 전력·비전력 AMI 보급완료 ('50) 전체 소비 기기의 30%를 수요자원화

□ 산업

구분	대표기술	기대효과
철강	수소환원제철 기술	('30) 코크스 대신 수소대체율 2% ('50) 100%
석유화학	전기가열 납사 분해 공정(NCC) 기술	('40) 전기가열로 채택개시 ('50) 신규 플랜트 중 65% 채택율 달성
	전기가열로 채택에 따른 잉여 부생가스 → 고부가화학제품 전환 기술	('30) 파일롯 실증 개시 ('50) 본격 상용화
	바이오 납사 생산 및 응용 기술	('30) 파일럿 실증 ('50) MEG/FDCA 응용 원료 제조기술 10만톤/년급 플랜트 대규모 실증
시멘트	100% 친환경 연료 전환기술	('30) 유연탄 대체율 30% ('50) 100%
	시멘트 제조 공정단계별 석회석 원료 대체 기술	('30) 비탄산염원료 대체율 2% ('50) 12% 이상
	시멘트 혼합재 종류 및 함량 확대 고도화 기술	('30) 혼합재 함량 15% ('50) 20%
	폐열발전 및 클링커 소성로의 디지털 기반 운영을 위한 AI 운전시스템 효율향상 기술	('30) 5 kcal/kg.cl 추가 감축 ('50) 20 kcal/kg.cl 추가 감축
정유	무탄소 열원(수소 등) 대체 기술	('30) 무탄소연료(수소, 암모니아) 혼소율 20% ('50) 100%
	차세대 바이오원유 제조 기술	('30) 100t/day 바이오원유 제조 상용화 ('50) 100t/day 정유공정 연계기술 확보
반도체·디스플레이	탈탄소 新공정가스 기술 및 공정평가·인증 기술	('30) GWP수준 1,500 이하 ('50) 150 이하
		('30) 국내표준 마련 ('50) 국제표준 반영
	불소계 온실가스 저감 설비 확충 및 신공정 기술	('30) 배출가스저감 59% ('50) 74% 이상
		('30) 처리효율 향상 95% ('50) 99% 이상
섬유	단일공정 전환을 위한 일체형 섬유생산 기술	('30) 일체형 섬유 구조체 성형 50% 이상 ('50) 100%
제지	화석연료 기반 공정의 전기에너지 전환 기술	('30) 에너지 효율화 10% 이상 ('40) 30% 이상
비철금속	탄소 환원제 대체 수소환원 신용융 공정 실증 기술	(現) 화석연료 환원제 ('40) 수소 환원제

	비철 제련 건식공정 CO_2 저감 및 재자원화 실증 기술	('30) CO_2 재생율 90%, 제조원가 절감 10% ('40) CO_2 재생율 95%, 제조원가 절감 15%
전기전자	가전 생산용 저탄소 냉매 대체기술	('40) 저탄소 냉매 대체 90% 이상
	탄소저감형 고성능 리튬공기전지 기술	('30) 에너지밀도 400Wh/kg(리튬황전지) ('50) 500Wh/kg
유리	화석연료 대체 유리 용융 기술	(現) 화석연료 ('40) 완전전기 및 수소 혼합연료 기반 용융기술 확보
산업 공통 설비	화석연료 기반 산업설비(보일러/공업로) 전기화 기술	('30) 화석연료 대비 에너지 이용효율 80% ('40) 100% 달성
	산업용 전동기 및 모터구동 인버터 효율향상 기술(IE4-IE6)	('30) 전동기효율 IE5, 인버터효율 IE2 ('40) 전동기효율 IE6, 인버터효율 IE3~IE4
	히트펌프 공급 온도 범위 확대	('30) 고온 250℃, 저온 –150℃, 냉매 GWP 150 ('40) 고온 300℃, 저온 –200℃, 냉매 GWP 10

□ 수송

구분	대표기술	기대효과
친환경 자동차	탄소중립 대체연료(e-fuel) 적용기술	('30) e-fuel 적용기술 확보 ('40) e-fuel 엔진 기반 차량 적용 실증 및 확산
	승용차용 고효율 연료전지 시스템 기술	('30) 시스템 효율 70%(LHV) 내구 50만km ('40) 시스템 효율 75%(LHV)
	상용차용 고출력 연료전지 시스템 기술	('30) 200kW/모듈 효율 60%(LHV) ('50) 효율 70%(LHV) (상용화)
친환경 선박	무탄소 및 탄소중립 연료 추진 및 발전 기술	('30) 소형선 실증 ('40) 중대형선 실증
	무탄소연료 운송선박 기술	('30) 소형선 실증 ('40) 중대형선 실증
	선박용 대용량 수소 저장기술	('30) LH_2 tank size: 50m^3(0.35 ton) ('50) LH_2 tank size: 1,000m^3(70 ton)
	전기추진 (전동화) 패키지 및 국산화 기반 기술	('30) 추진효율: 90%, 국산화율 50% ('50) 추진효율: 96%, 국산화율 100%

□ 탄소중립 공통

구분	대표기술	기대효과
자원순환	미래산업제품 재제조/산업원료화 기술 *(미래산업제품) 전기차, 재생에너지, 로봇, 드론, 3D프린터, 폐플렉서블 디스플레이 등	('30) 재제조율>10%, 재자원화율>92% ('50) 재제조율>30%, 재자원화율>94%
	자원순환 경제활동의 탄소저감 지표 정량화를 위한 LCI DB 구축 기술 *LCI(Life cycle index) : 제품 제조 전 과정 탄소저감효과 산출지표	('30) LCI DB 1천개, 순환경제모델 100개 구축 ('50) LCI DB 5천개, 순환경제모델 500개 구축
CCUS	발전, 산업부문 배출 CO_2 포집기술	('30) 단위설비 포집량 100만t-CO_2/y ('50) 단위설비 포집량 400만t-CO_2/y 포집비용 \$20/t-CO_2 이하
	CO_2 해양 지중저장소 구축 및 운영 기술	('30) 400만톤(年) 규모 처리 해양플랫폼 구축 ('50) 1,500만톤(年) 규모 지중저장소 구축 및 통합운영관리

Ⅵ. 탄소중립 R&D 지원체계 구축 및 기반 확충

1 탄소중립형 R&D 지원체계 구축

1 성과 중심의 대형 통합형 R&D 지원

◇ 탄소 감축 임무 중심의 대형 통합형 R&D 추진

□ **기술별 탄소중립 목표**를 설정하고 **요소기술을 통합**한 대형 R&D 기획

○ 수요기업 등을 총괄 주관기관으로, **산학연 최고 전문가(Top-tier)**가 모두 참여하는 **R&D 컨소시엄** 구성·운영

<(예) 탄소 감축을 위한 초고속 전기로 공정 기술 >



◆ 대형통합형 과제로 추진 (총괄1 + 세부4)

총괄과제		
탄소저감을 위한 초고속 전기로 공정 기술	세부1	초고속 전기로 설계 기술
	세부2	전력에너지 효율향상 기술
	세부3	전기로 화학에너지 활용기술
	세부4	전기로 원료(스크랩) 다변화 연계 고급강 생산기술

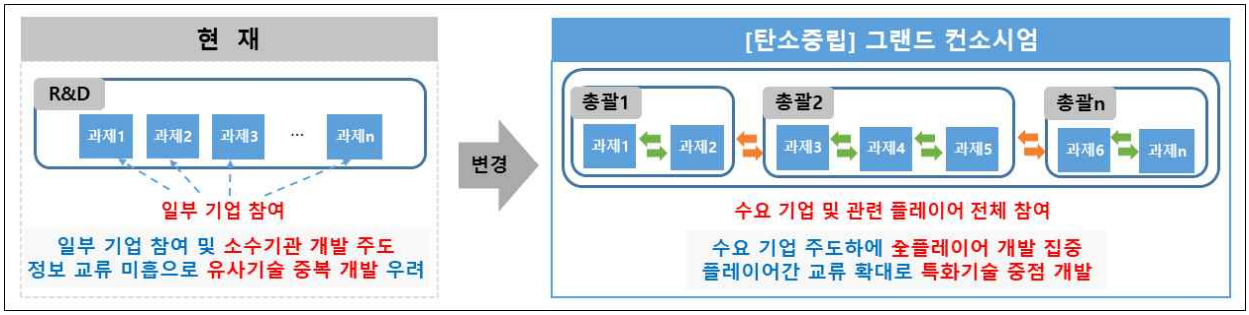
◇ 업종 탄소중립 R&D를 통합 연계하는 업종별 그랜드 컨소시엄 도입

□ 업종별 탄소중립 공동 목표 달성을 위한 단일의 **R&D 추진체계 마련**

○ 업종 內 대형 통합형 **R&D 수행기관(컨소시엄)**를 통합 연계한 **업종별 그랜드 컨소시엄** 도입

○ 그랜드 컨소시엄은 **업종별 대표기관(협·단체 등)**이 중심이 되어 업종 內·업종 간 **기술 교류와 상호 협력**을 촉진하는 구심체 역할 수행

< 탄소중립 R&D 추진체계 : 업종별 그랜드 컨소시엄 >



* '23년 탄소중립 산업핵심기술개발사업(예타 중)부터 적용

◇ 그랜드 컨소시엄을 통해 업종 전반으로 기술개발 성과물 공유

□ 탄소중립 기술 개발기업 간 **지식재산권(IP) 실시권 공동 활용**

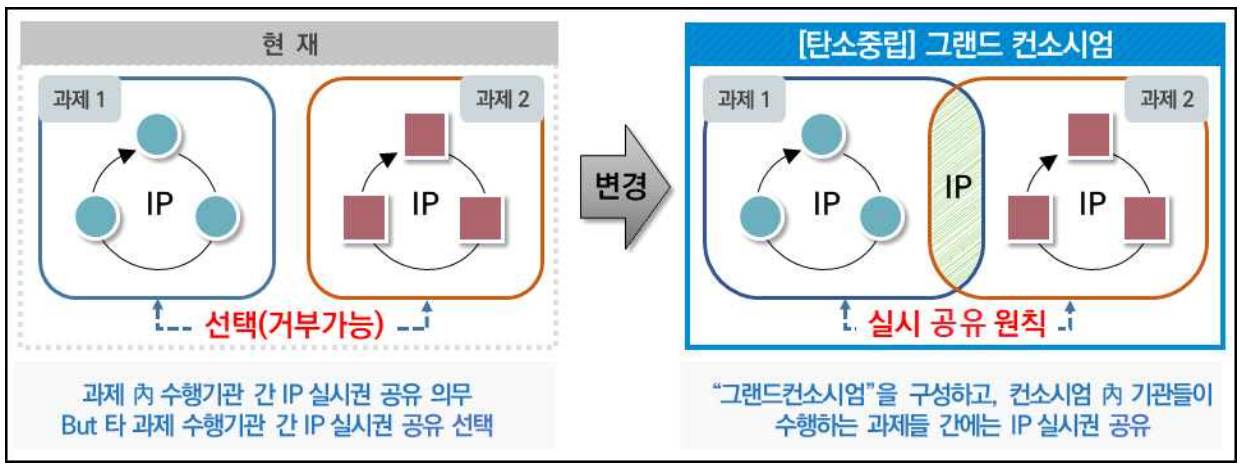
○ **그랜드컨소시엄 참여기업** 간에는 IP **실시권을 상호 개방**

* (현행) 동일과제 참여기업 간에만 해당 → (개선) 他과제 참여기업 간에도 가능

○ 그랜드컨소시엄이 **未참여기업**에게 **실시권 제공時 기술료 감경** 등 인센티브 제공

* (현행) 실시권 제공에 대한 기술료 감경 無 → (개선) 실시권 제공 금액/빈도에 따라 기술료 감경

< 그랜드 컨소시엄 중심의 기술개발 성과 공유 >



◇ 전산업 확산 : 탄소중립 제조혁신 협력 플랫폼 구축

□ 탄소중립 **기술 성과 및 감축 효과** 등을 공유하는 **개방형 정보 플랫폼 구축**

○ 공정별 전환 데이터, 설비 실증 데이터, 에너지 소비 절감 데이터 등 **기술의 현장 적용과정에서 생산**되는 **탄소중립 정보를 공개**

○ **탄소중립 전환 수요기업**이 정보를 확인하여 자사의 탄소중립 전환에 활용할 수 있도록 **AI 기반 맞춤형 서비스** 제공

○ 탄소중립 기술 개발기업은 **후속 R&D 연구 데이터**로 활용하여 기술개발 **기간 단축**

[참고] 탄소중립 R&D 추진 체계(그랜드 컨소시엄)



2 현장 중심의 실증형 R&D 지원

◇ 기술개발과 실증형 R&D를 패키지 지원

□ **(산업)** 철강, 석유화학 등 **탄소다배출 업종** 중심으로 개발기술 실증

○ 공정 혁신 실수요 기업과 연계하여 대규모 **실증 플랜트** 구축

- **(철강)** 수소환원제철 기반 연간 100만ton급* 실증 플랜트 구축

* 現 세계최고 수준인 HYBRIT 실증 설비 규모는 시간당 1 ton 수준('20, SSAB社)

- **(석유화학)** 시간당 230kg급 전기가열 분해로 Pilot 규모 실증

* 실증규모 : 납사 처리량 시간당 230kg이상, 기존 공정 대비 80%이상 CO_2 저감 가능

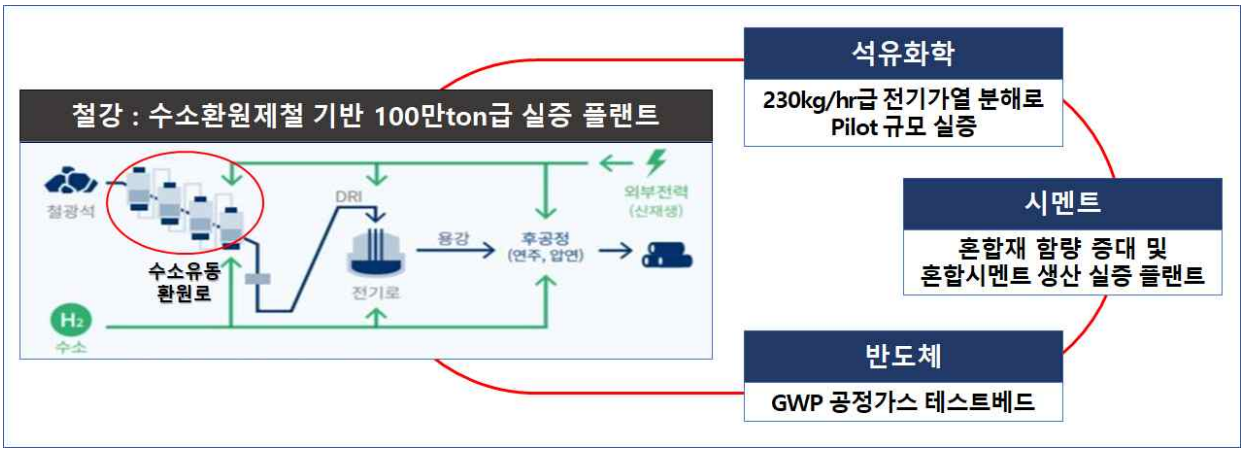
- **(시멘트)** 혼합재 함량 증대 및 혼합시멘트 생산 실증 플랜트 구축

* 실증규모 : 연간 100만ton급 킬른(Kiln)을 활용한 혼합 시멘트 생산

- **(반도체·디스플레이)** 반·디 분야 低GWP 공정가스 테스트베드 구축

* 테스트규모 : 10종 대체가스(GWP 150 이하 가스), 200mm 웨이퍼 이상 활용공정(기보유시설 활용)

< 실증형 R&D 주요 사례 >



○ **실증 부지**는 그랜드 컨소시엄 기업 간의 협의 등을 통해 실증 효과를 극대화할 수 있는 최적지로 선정

○ 탄소 감축효과 등 **실증 결과 데이터**를 데이터 플랫폼을 통해 **업종 전반에 공유**하고 자사 탄소 감축투자에 활용할 수 있도록 지원

□ (에너지) 지역 에너지 인프라 등과 연계한 탄소중립 R&D 실증

○ 지역 **에너지 특화기업*** 및 에너지 공기업, 에너지 공급 시설 등 지역 내 기존 인프라 및 자원을 최대한 활용한 실증 추진

* 총 매출액 중 에너지 부문 매출액 비중이 50% 이상인 기업 등 (에너지융복합단지법 제14조)

<탄소중립 에너지 실증 R&D 유형 및 대상 기술>

구분	주요 내용	실증 대상(예시)
재생에너지 단지 연계형	• (개념) 대규모 재생에너지 개발 단지 인근에 연관 기업 및 실증·시험 설비 집적 • (효과) R&D-실증-생산-납품을 연계함으로써 연관 기업의 성장기회로 활용	해상풍력 시스템·부품 복합 실증단지 / 태양광 집적화단지 실증 등
에너지 인프라 연계형	• (개념) 에너지 인프라가 밀집한 지역(에너지 공기업 혁신도시 등)을 중심으로 산·학·연 집적 • (효과) 공기업 보유 등 기존 인프라를 활용하여 지역 에너지산업 혁신역량 강화 지원	액체수소 인수기지 실증 / 대용량 CCS 통합 실증 등
新에너지 서비스 실증형	• (개념) 단지내 규제특례를 적용하여 P2P 에너지거래, 동적 요금제, 수요반응 등 新서비스 실증 • (효과) 새로운 융복합 서비스 모델 검증 및 주민 체험기회 제공	V2G 충방전 집합 유연자원화 실증

◇ 탄소중립 기술규제 정비 및 규제 샌드박스와 연계 강화

□ 기술의 **현장 적용과정**에서 발생할 수 있는 **규제사항**을 개발 단계부터 발굴하여 「**탄소중립 기술규제 보고서**」를 발간, 관계부처와 사전 정비

□ 신속히 처리해야 할 규제사항은 **규제 샌드박스** 등을 적극 활용

○ 탄소중립 기술개발 전문기관(산기평, 에기평)과 규제 샌드박스 전문기관(산업기술진흥원) 간 정례 협의체 운영

* 탄소중립 관련 산업융합규제특례 승인 건수 ('19년) 8 → ('20년) 10 → ('21.9월) 26

3 연대와 협력의 탄소중립 국제 공동 R&D 및 협력기반 강화

◇ 선진국 탄소중립 투자계획과 연계한 정부 간 R&D 협력 확대

□ 美, 英, 獨 등 주요 기술 선도국과 탄소중립 **공동 펀딩형 R&D 확대**

○ 旣구축한 양자 협력채널*(14개국)을 통해 **양국 협력분야**를 발굴·지원

* '01년(이스라엘)-'13년(중국)-'14년(프랑스,독일)-'15년(스페인,스위스)-'16년(체코)-'17년(캐나다, 네덜란드)-'18년(영국,덴마크)-'19년(싱가포르,러시아,인도)

** 탄소중립 협력강화를 위한 장관급 한-미 에너지정책대화(EPD) 출범('21.11)

< 주요 국가별 탄소중립 기술협력가능 분야(예시) >

국 가	중점 협력 가능분야
미국	① LNG발전 포집기술 ② 이차전지 재활용 기술
영국	① 부유식 해상풍력 기술 ② 수전해 기술 등

국 가	중점 협력 가능분야
독일	① 나프타 전기가열로 기술 ② 펌프 등 기계설비 고효율화
네덜란드	① 해상풍력단지 전력망 통합 ② 공정배출가스 저감

□ 호주 등 **수소 생산 유망국과 공급 全주기 공동 협력프로젝트** 추진

* G20 계기 한-호주 탄소중립 기술 파트너십 체결('21.10)

○ 수소 **생산·저장·운송 기술을 적용한 공동 프로젝트** 발굴·수행

< 수소 공급망 공동 협력프로젝트(예시) >

협력과제	협력대상	주요 내용
재생에너지 이용 그린수소 추출·운송	호주, 유럽 등	· 그린 암모니아로부터의 대용량 고순도 그린수소 추출 기술개발 후 국내 수소배관망 등에 공급하여 활용
유전 잔유가스 이용 블루수소 생산	사우디, UAE 등	· 잔유가스 활용한 수증기 개질 수소생산 및 회수된 잔유오일을 활용한 CO_2 포집 기술개발

○ LNG 생산 또는 LNG를 활용한 청정 수소 생산시 발생하는 CO_2를 해외에 저장하는 등 **수소 연계 CCUS 협력** 추진(해외 감축활동 지원)

◇ 저탄소 新산업 GVC 창출을 위한 기업 간 국제 공동 R&D 지원

□ **우리 기업과 해외 우수 연구소·기업** 간의 탄소중립 R&D 협력 촉진

○ **세계 최대 R&D 협력 플랫폼**인 유레카(EUREKA), 유로스타(EUROSTAR) 등을 활용하여 우리 기업의 국제 공동 R&D 프로젝트 참여 지원

< 다자 기술협력 플랫폼별 탄소중립 참여 프로젝트(예시) >

R&D 플랫폼	프로젝트명	참여국가
eureka innovation beyond borders	Eurogia클러스터 Sustainability CCUS 개발	영국, 프랑스, 스위스 등
eurostars™	그래핀 기술 기반 에너지 저장용 고효율 시스템 개발	스페인, 이탈리아, 그리스, 영국, 터키 등
Horizon Europe	Climate, Energy and Mobility 이산화탄소 포집공정 개발	벨기에, 노르웨이 등

○ 국내 기업과 우수한 기술력을 보유한 해외 연구기관과의 **일대일 매칭**을 통해 **중장기 공동 R&D** 지원

* (예) 산업공정고도화(독일 프라운호퍼), 수송효율(스웨덴 RISE) 등

□ 해외 우수 기술 도입 및 후속 상용화 개발을 위한 **'Buy R&D'** 지원

* 도입 기술을 바탕으로 해외기업과의 공동연구, 인력교류 등을 통해 신속한 상용화 도모

○ 기업의 해외기술 확보 지원을 위해 **'글로벌 기술펀드'** 旣조성('21년 600억원)

* 해외유망기술(또는 IP) 이전, M&A 등 국내기업이 해외기술 도입 관련 투자

□ **글로벌 기업의 저탄소 소재·부품·장비 수요에 기반**한 기술협력 지원

○ 국내 기업의 **글로벌 탄소중립 공급망 진입** 및 신시장 창출을 위한 **글로벌 수요 연계형 R&D** 지원

◇ 개도국과 탄소중립 기술 협력을 통해 원-윈형 탄소감축 추진

□ **해외 감축 프로젝트**와 연계 가능한 **그린 ODA** 확대 추진

○ 개도국 수요 기반의 탄소중립 기술을 중심으로 **ODA와 그린 에너지 감축 프로젝트를 결합**한 융복합 ODA 추진

* (예시) 스마트팜 + 태양광·ESS 시스템, 스마트양식 + 해양에너지 시스템 등

< 개도국 맞춤형 융복합 ODA(예시) >

개도국 유형	유형별 특성	ODA 추진방향
도서지역·경제력(저) (미얀마, 모잠비크, 에티오피아 등)	‣ 낮은 전력보급률, 도서지역특성 등으로 독립계통형 전력망 구축 수요↑	‣ **【그린에너지 보급】** 신재생(태양광, 해양에너지 등)+ESS 분산전원 시스템 중심
경제력(상) (태국, 콜롬비아, 에콰도르 등)	‣ 석탄 등 現 노후 화석연료 발전소의 친환경 현대화 협력 수요↑	‣ **【그린에너지 전환】** 발전원을 現 화석연료 → 그린 에너지로 교체

○ 개도국에 **ODA 후속 감축 프로젝트**로 지원하여 탄소중립 기술을 전수하는 한편 감축실적은 개도국과 협의하여 양국이 활용

□ **개도국 진출 유망 기술분야 중점 G2G 협력 강화**

○ **한-아세안 산업혁신기구*** 및 **표준화연구센터**** 등 정부 간 기술협력 플랫폼 강화로 **개도국 수요와 우리 기술을 결합한** 협력 확대

* 공동R&D, 기술이전·사업화, ** 표준체계 보급지원, 기술규제 네트워크 구축

○ **기업 특허보유 산업기술**과 **개도국 그린기술 협력수요** 간 매칭 지원

□ **탄소 감축 신기술 테스트베드** 협력 확대

○ **개도국內 실시 프로젝트 경제성이 높은** 에너지효율, 수소, CCUS 등 테스트베드 협력사업을 통해 **탄소 감축 신기술 적용**

○ **가상전력발전, 신에너지융복합발전**(소수력+태양광+ESS) 등 **에너지 실증사업** 등으로 지속 확대

2 탄소중립 R&D 기반 확충

1 민간의 탄소중립 R&D 투자 촉진

◇ 탄소중립 R&D 및 사업화 전용펀드 설립

□ 「**탄소중립 기술혁신펀드**」를 **조성**하여 민간의 탄소중립 투자 촉진

○ 탄소중립 **스타트업, 중소·중견기업에 우선 투자**하고, 기술 및 투자전문가와 기술투자 컨설팅 매칭

◇ 탄소중립 기술가치 평가 모델 개발 및 민간 금융과 연계

□ 기술의 **탄소 감축효과를 가치로 계량화**한 기술가치 평가 모델 개발

* 탄소중립 기술가치 평가모델 개발('22.9) → 개발 기술에 시범 적용('22.12)

○ 탄소중립 기술가치 평가 전문인력 양성 및 **평가 전문기관** 지정

○ **기술거래 전용 플랫폼**(국가기술은행, NTB)에 탄소중립 기술거래 전용 프로그램 개설

□ 가치평가 결과가 민간의 투자로 이어질 수 있도록 **금융프로그램**과 연계

○ 탄소 감축효과 → 가치평가 → 투자 → 사업화 → 재투자로 이어지는 선순환 탄소중립 금융구조 촉진

◇ 탄소중립 기술투자 세제 지원

□ 탄소 감축효과가 큰 기술에 대한 **세액공제** 추진

○ 기술개발이 친환경 설비투자로 이행되도록 **저탄소 전환 투자 지원**

2 탄소중립 기술혁신 인재 양성

◇ 산업계 탄소중립 수요 연계 인재 양성 시스템 구축

□ **기업이 주도적으로 참여**하는 **산학협력**을 통해 현장 수요형 인재 양성

○ 산업 현장의 탄소중립 수요를 기반으로 한 대학 맞춤형 교육과정 지원 등 **산업계 주도 교과 운영 프로그램 확대**

* 창의융합형 공학인재양성사업을 활용하여 지원

○ 대학교육프로그램과 산업 수요 매칭을 통해 **탄소중립에 특화된 민관 합동 통합교육센터** 운영

* 반도체 설계전문인력양성센터(IDEC)처럼 정부와 기업 협약을 통해 탄소중립 교육과정 운영

○ 산업기술인력지원사업도 기업 주관*(교육기관 참여) 구조로 개편

* (예) 기업 주관 컨소시엄을 통한 '인력양성형 R&D 프로그램' 도입 및 확산

□ 대학 우수인력 양성과 기업 기술개발 촉진을 위한 **산학 프로젝트 강화**

○ 산업 현장의 기술적 문제에 대해 기업과 대학이 함께 해결하는 **현장중심형 산학 프로젝트 교과과정**을 탄소중립 분야로 확대

○ **연구년(예정) 교원과의 협업**을 통해 중소·중견기업과의 탄소중립 공동 R&D·사업화 등 **기술개발 全주기 협력 지원 추진**

○ **산학협력을 필수 조건**으로 산학 공동 R&D를 추진하는 대학 연구소에는 **과제 단위가 아닌 연구소 단위의 블록펀딩** 지원

* 산업기술거점센터 육성사업('21년 54.5억원)으로 시범사업 → 본 사업으로 신설

◇ 탄소중립 기술혁신 인재 전략적 관리 · 지원

□ 국내외 산학연을 아우르는 **탄소중립 R&D 최고(Top-tier) 전문가 풀**(Pool) **구축**

○ 탄소중립 관련 특허, 연구성과, 연구역량 등을 우수 보유한 산학연 전문가 및 전문기관을 중심으로 **탄소중립 기술인재 풀 구축**

○ K-TAG* 등 미, EU 등 주요 기술 선도국에서 활동 중인 역량 있는 **해외 한인 공학자도** 포함

* 글로벌기술협력지원단(Korea Technology Advisory Group) : 우수 해외 파트너 연계·기술자문·국제공동R&D 기획 등을 지원하는 재외한인공학인 전문가 그룹

□ **R&D 최고(Top-tier) 전문가**가 참여하는 **탄소중립 R&D 기획 및 수행**

○ **대형 R&D 기획단계**에서부터 최고 전문가의 참여를 확대하고, R&D 수행과정에서 연구 자율성을 최대한 보장

○ 우수 연구자 및 연구기관을 **대한민국 대표 탄소중립 마스터**(가칭)로 선정 및 **대한민국 대표 탄소중립 연구실**(가칭)로 지정하여 지원

○ 최고 전문가와 대학(원)생 등 **신진 연구인력과의 일대일 매칭** 등을 통해 연구현장에서 **차세대 우수 기술인력** 양성

◇ 탄소중립 기술인력 실태조사 실시

□ 탄소중립 기술인력 현황 및 **인력 수요 전망** 등을 **격년 단위**로 조사

○ 산업계 인력 수요에 기초한 인재 양성사업 확대하여 산업현장과의 **인력수급 불균형(mismatch) 해소**

○ 국내외 **탄소중립 유망 일자리 전망 조사**도 병행하여 기술교육 방향 제시

3 탄소중립 표준화 및 인증 지원

◇ 탄소중립 기술표준 개발 및 인증체계 구축

□ 탄소중립 이행을 위한 국제표준 도입 및 개발 기술의 표준화

○ 기업의 탄소중립 이행을 위해 **既 개발된 국제표준을 先 도입**하여 보급하고, 세계시장 선점을 위해 우리 기술의 국제표준화 추진(100종)

번호	구분	국제표준화 세부 분야
1	에너지공급	재생에너지(태양광, 풍력), 계통연계(ESS, 전력망), 신전원(수소, 바이오)
2	핵심산업	제조(철강, 시멘트, 석유화학), 수송(전기수소차, 선박, UAM), 건물(단열재, BEMS)
3	순환경제	재제조, 물질재활용, CCUS

□ 탄소중립 기술에 대한 실증·인증체계 구축

○ 탄소중립 기술별 KS 인증체계 정비 및 신규 인증품목 발굴

분야	세분야	표준명	비고
에너지	태양광	. 정비 실리콘 태양광 모듈(KS C 8561)	KS 인증 정비(양면형 모듈 추가)
		. 정비 소형 인버터(KS C 8564), 중대형 인버터(KS C 8565)	KS 인증 정비(스마트 인버터 추가)
		. 정비 BIPV 성능평가 요구사항(KS C 8577)	KS 인증 정비(인증모델 확대)
	풍력	. 정비 해상용 중대형 풍력터빈 설계(KS C 8573)	KS 인증 정비(부유식 풍력터빈 추가)
	열생산	. 신규 신재생 연계 히트펌프, 대형 히트펌프 온수기	KS 신규 인증
	수소	. 신규 가정·건물용 연료전지(PEMFC, 10~30kW) 등	KS 신규 인증
	바이오	. 정비 바이오디젤(KS M 2965)	KS 정비(원료물질 추가) 및 신규 인증
	기타	. 정비 터빈유(KS M 2120), 냉동기유(KS M 2128) 등	KS 인증 정비(바이오매스 원료물질 추가)
산업	전기수소차	. 신규 전기차 충전소(디스펜서, 압축기), 연료전지(드론 등)	KS 신규 인증
	단열재	. 정비 발포 폴리스티렌 단열재(KS M 3808) 등	KS 인증 정비(친환경 발포제 적용)
	조명	. 신규 스마트 조명, 정비 LED 등기구(KS C 7653) 등	KS 인증 정비(LED 광효율 개선)
순환경제	재제조	. 신규 전력기자재(태양광 패널), 전기차 배터리 등	재제조 신규 인증
	GR	. 신규 철스크랩(건축 구조용 압연 형강) 등	GR 신규 인증

◇ 탄소중립 표준화 기반 조성

□ (홍보/교육) 기업의 탄소중립 표준인증 **전문가 양성**프로그램 운영

* 관리자 대상 ESG, 탄소중립선언, 탄소배출량 산정, 녹색금융(채권, 대부, 주식투자) 등

□ (사업화 지원) 기업과 국제표준전문가를 매칭하는 **매치업 사업** 추진 및 **R&D 기획시부터** 표준화전략 수립지원 등 **R&D-표준-사업화 연계 지원**

□ (표준협력) 미국, 독일 등 **선진국과 국제표준협력을 확대하고** 환경부, 과기부 등 범부처 표준화 실무협의체 구성·운영* 추진

* 표준화 아이템 지속 발굴 및 표준개발 이행점검 추진(매년)

◇ 탄소중립 국제표준 거버넌스 강화

□ 기업의 탄소중립 선언을 위한 국제표준화 추진

○ 글로벌 민간 제도 및 **국내 환경을 반영**하여 업종별 **탄소중립 선언·검증 가이드를 마련**하고, 국제표준(ISO WD 14068)에 반영

* 국제표준화가 진행중이며 기업들은 국내 현실이 미 반영된 민간 제도(RE100 등)를 준용

□ 탄소배출량 유효성평가 및 검증표준 개발

○ 탄소중립 선언 및 탄소국경제도 적극 대응 등을 위해 **제품별 탄소배출량 산정방법**의 선제적 국제표준화 추진

* EU 탄소국경조정제도(CBAM) 대상 품목(시멘트, 알루미늄) 및 수출 주력제품인 핸드폰, 전기차배터리 등을 우선 추진하고, LCI 데이터베이스 구축 동시 추진

□ 녹색금융 국제표준화 활동을 통한 저탄소·친환경 사업전환 지원

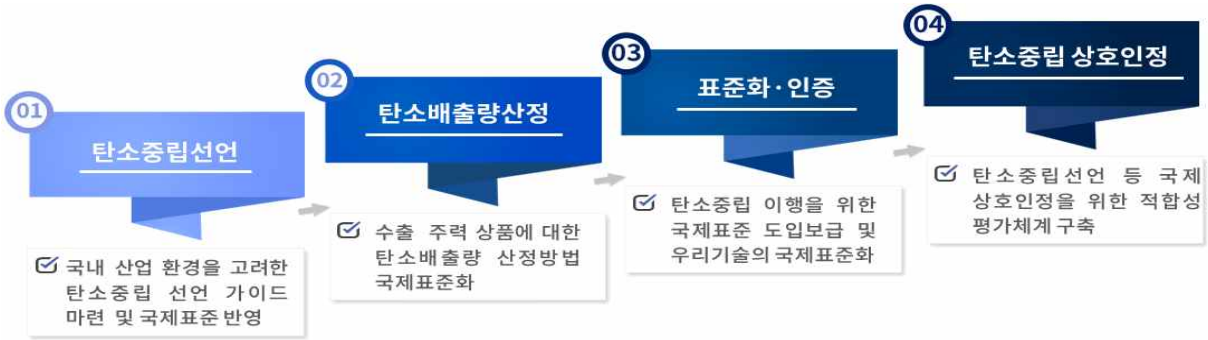
○ 미국, EU 등 선진국이 주도하고 있는 녹색금융 투자기준 분류체계(ISO DIS 14030-3)에 **국내 산업계 의견*이 반영**될 수 있도록 적극 대응

* (발전) LNG 발전 추가, (철강) 최적가용기법(BAT)을 활용한 저탄소기술 목록 명시, (시멘트) 시멘트 핵심 요소인 클링커 등 비율 삭제, (탄소) CCS 외 CCU 추가

□ 환경정보 국제상호인정체계 구축

○ 제품별 탄소배출량 측정 등에 대한 국내 인증제도가 국제적으로 상호인정될 수 있도록 적합성평가체계 구축

* 탄소배출량 측정결과가 해외에서 인정받지 못할 경우 국내외 중복인증으로 업계 부담 가중



◈ 「2050 탄소중립 표준화 전략」(국가기술표준원) 발표 예정('21.11)

4 중소 · 중견기업의 탄소중립 기술혁신 지원

◇ 탄소중립 스타 기업 발굴 · 지원

□ 기술역량을 보유한 중소·중견기업을 **탄소중립 혁신기업**으로 육성

* 중소·중견기업 탄소중립 스타즈 지원사업 신설

○ **(1단계) 기업 자체 수요**에 기반하여 맞춤형 **저탄소 공정 전환 및 탄소중립형 제품 개발** 지원(탄소 배출경로 분석 및 저감을 위한 현장기술 컨설팅 병행)

* 기술 상용화를 위한 해외 기술 도입이 필요할 경우 수요연계형 국제협력 R&D, 글로벌 기술혁신펀드('21년 조성, 600억원)와 연계 지원

○ **(2단계)「탄소중립 기술혁신펀드」**('22년 신규 조성) 투자, 기술 가치평가 등과 연계한 민간 투자 촉진 등을 통해 **공정 개선 및 사업화 투자** 지원

○ **(3단계)** KOTRA, 무보 등 수출 유관기관과 협력하여 **수출 및 마케팅** 지원

< 중소·중견기업 탄소중립 스타즈 사업 >

지원분야	· 탄소중립 핵심기술 관련 공정 및 설비 개선
지원방법	· 기업의 수요 제안 → R&D 지원 (기술개발과제당 15억원/3년)
대상기업	· R&D 역량 보유 + 탄소중립 공정 및 제품 혁신 아이디어 * R&D 지출 비중, 지식재산권(IP) 또는 전문인력 보유 등을 고려
지원내용	· (1단계) 저탄소 공정 전환, 탄소중립형 제품 R&D 지원 · (2단계) 탄소중립 기술혁신 펀드 등 공정 개선 및 사업화 투자 지원 · (3단계) KOTRA, 무보 등 수출 유관기관과 연계 지원

□ **탄소중립 기술 혁신기업** 간 협력을 위한 **네트워크** 구축

○ 업종별, 업종 간 정기적인 탄소중립 기업 협력의 장을 마련하여 **기술 교류, 공동 비즈니스 모델, 수요처 공동 발굴** 등을 지원

* 수요(대)기업 보유 기술을 중소·중견기업에 이전하는 '기술 나눔'의 장 활성화

○ 공공 연구기관, 대학 등 기술혁신 지원기관과의 교류도 활성화

◇ 공과대학/공공 연구기관을 중소·중견기업 기술혁신의 산실로 활용

□ 주요 **공과대학**에 중소·중견기업이 **공동 활용**하는 **인프라** 구축

* 탄소중립 대학거점센터 사업 신설('22년 예타 신청 예정)

○ **10대 업종별**로 탄소중립에 강점이 있는 대학들로 컨소시엄을 구성하고 중소·중견기업의 탄소중립에 필요한 공동장비 구축

- 탄소중립형 시제품 제작 및 성능 테스트 지원 등을 밀착 지원

○ 산업계 **재직자** 대상 **문제해결형 탄소중립 기술 특화교육** 운영

< 탄소중립 대학거점센터 사업 체계도>



□ **출연연 등 공공 연구기관**의 기술·인프라·인력 등 다양한 자원을 활용 지원

○ 기술 분야별 「**탄소중립 기술혁신 지원단**」을 구성하여 현장 애로 해결

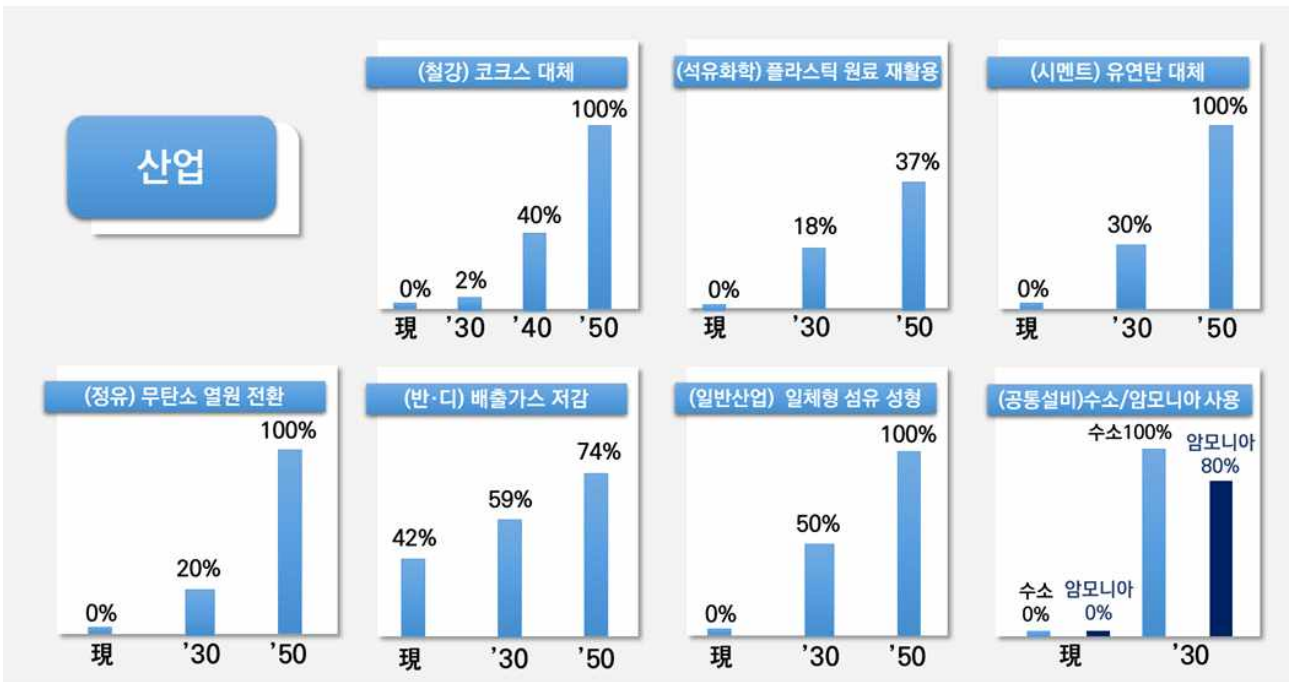
- 향후, 수요 및 성과를 점검하여 **탄소중립 기술연구원**으로 확대 추진

○ 공공 연구기관 전문인력의 **중소·중견기업 파견** 확대

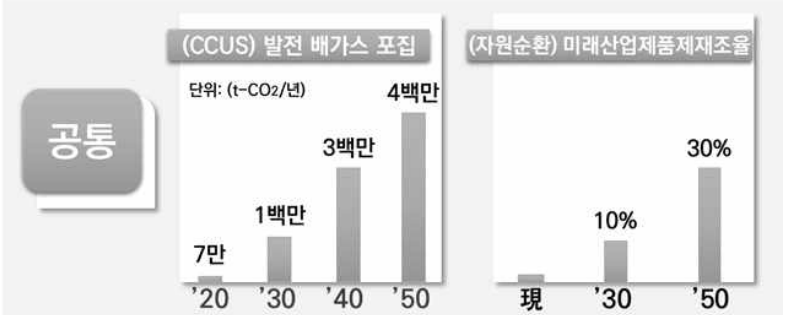
* 인건비 50% (최대 6년, 3+3년) 지원

Ⅶ. 기대효과


에너지
(무탄소발전)발전용 수소터빈 혼소율
청정연료발전
0%
50%
100%
현 '30 '40
(재생에너지)탠덤 태양광모듈 효율
태양광
셀효율 26.7%
28%
32%
현 '30 '40
(재생에너지) 해상풍력 규모
풍력
8~10MW 개발중
15MW
20MW
현 '30 '40
(수소화)통합공정 효율(LHV기준)
그린수소
70%
85%
91%
현 '30 '50
(에너지저장)전력공급시간
ESS
4hr
12hr
120hr
현 '30 '50
(계통선진화)재생E 계통설비 이용률
전력계통
15%이하
50%
현 '40
(에너지고효율화)에너지효율향상률
산단건물(에너지多소비사업장 기준)
2% 미만
13%
13% 유지
현 '40 '50


산업
(철강) 코크스 대체
0%
2%
40%
100%
현 '30 '40 '50
(석유화학) 플라스틱 원료 재활용
0%
18%
37%
현 '30 '50
(시멘트) 유연탄 대체
0%
30%
100%
현 '30 '50
(정유) 무탄소 열원 전환
0%
20%
100%
현 '30 '50
(반·디) 배출가스 저감
42%
59%
74%
현 '30 '50
(일반산업) 일체형 섬유 성형
0%
50%
100%
현 '30 '50
(공통설비)수소/암모니아 사용
수소 0%
암모니아 0%
수소100%
암모니아 80%
현 '30


수송
(수송) 주행거리당 충전시간
주행 400km
충전 50분
주행 600km
충전 10분
현 '30


공통
(CCUS) 발전 배가스 포집
단위: (t-CO2/년)
7만
1백만
3백만
4백만
'20 '30 '40 '50
(자원순환) 미래산업제품제재조율
10%
30%
현 '30 '50

별 첨

탄소중립 산업·에너지 R&D 로드맵

< 에너지 >

❶ 무탄소 발전
❷ 재생에너지
❸ 수소화
❹ 에너지 저장
❺ 계통선진화
❻ 에너지 고효율화

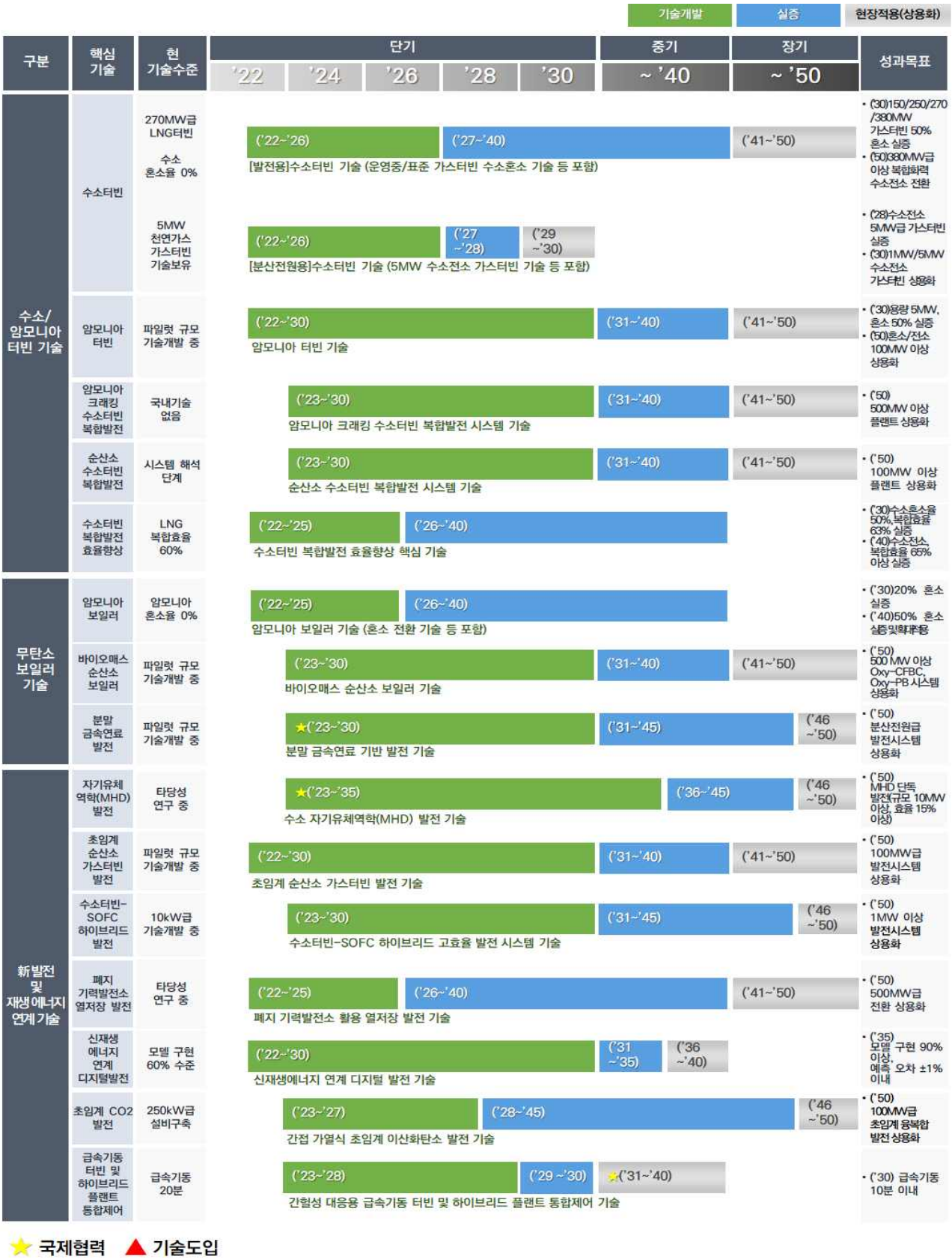
< 산업·수송 >

❼ 철강
❽ 석유화학
❾ 시멘트
❿ 정유
⓫ 반도체·디스플레이
⓬ 일반산업
⓭ 산업공통설비
⓮ 친환경 자동차
⓯ 친환경 선박

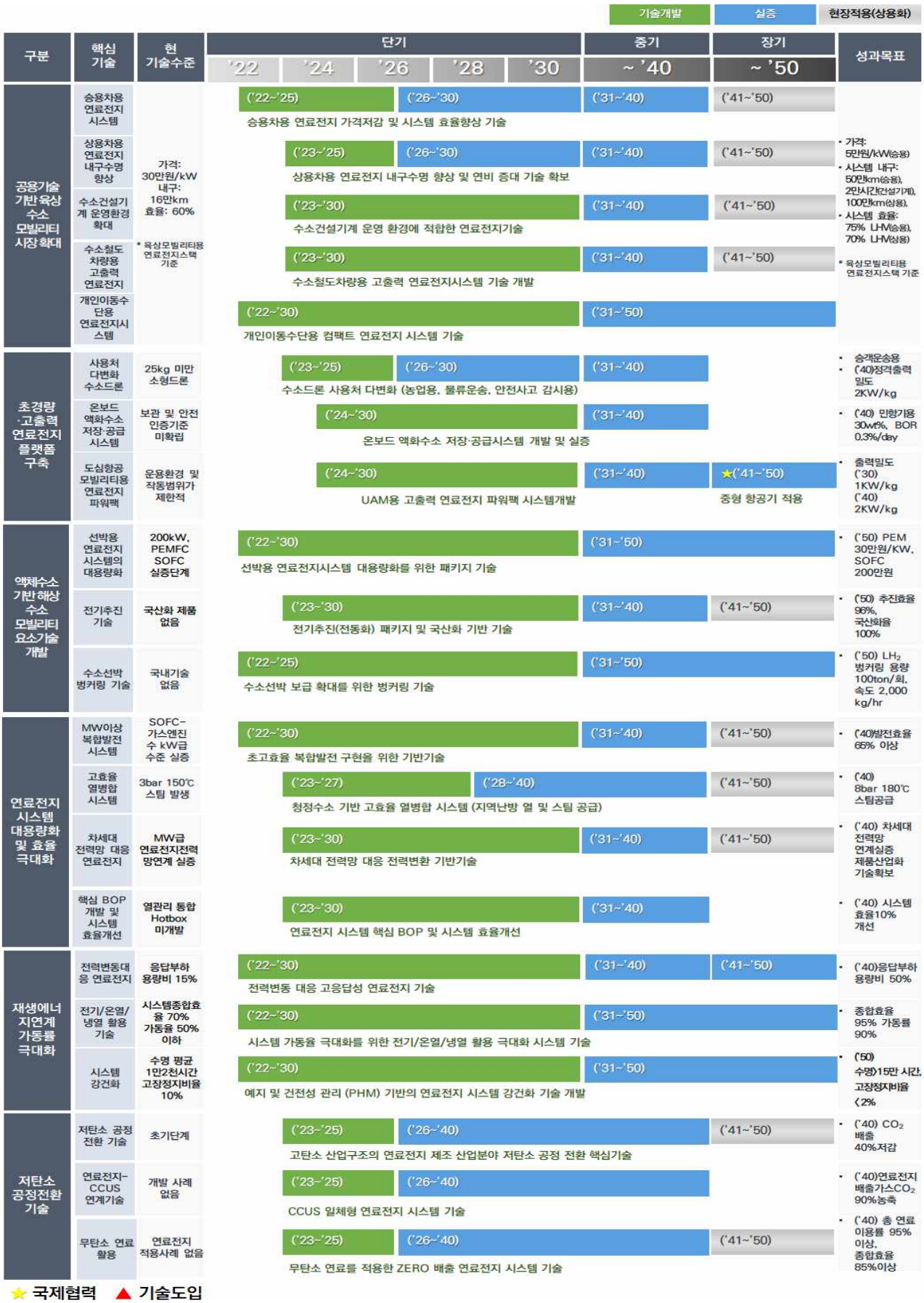
< 공통 >

⓰ 자원순환
⓱ CCUS

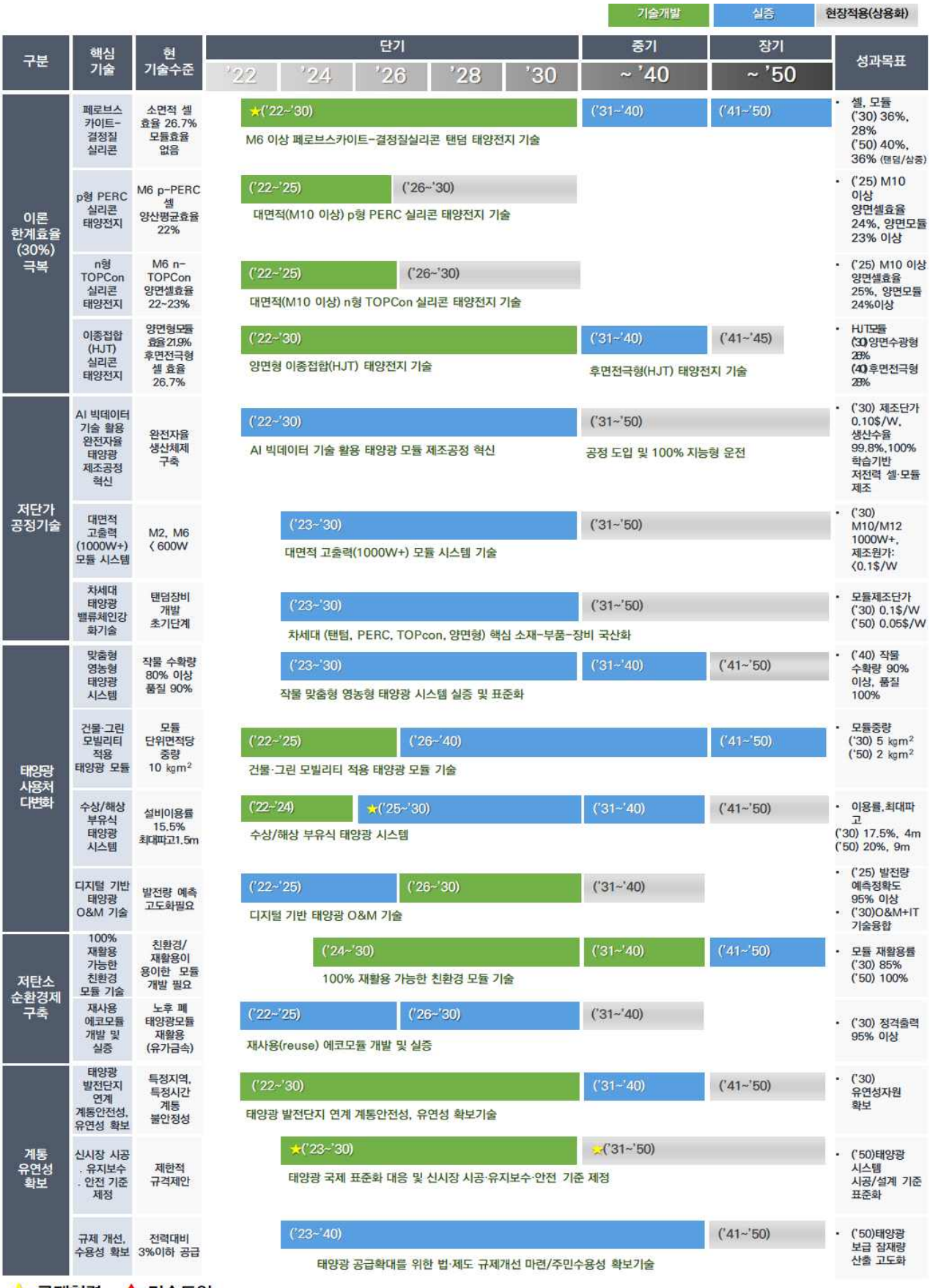
❶ 무탄소발전(청정연료발전) 로드맵



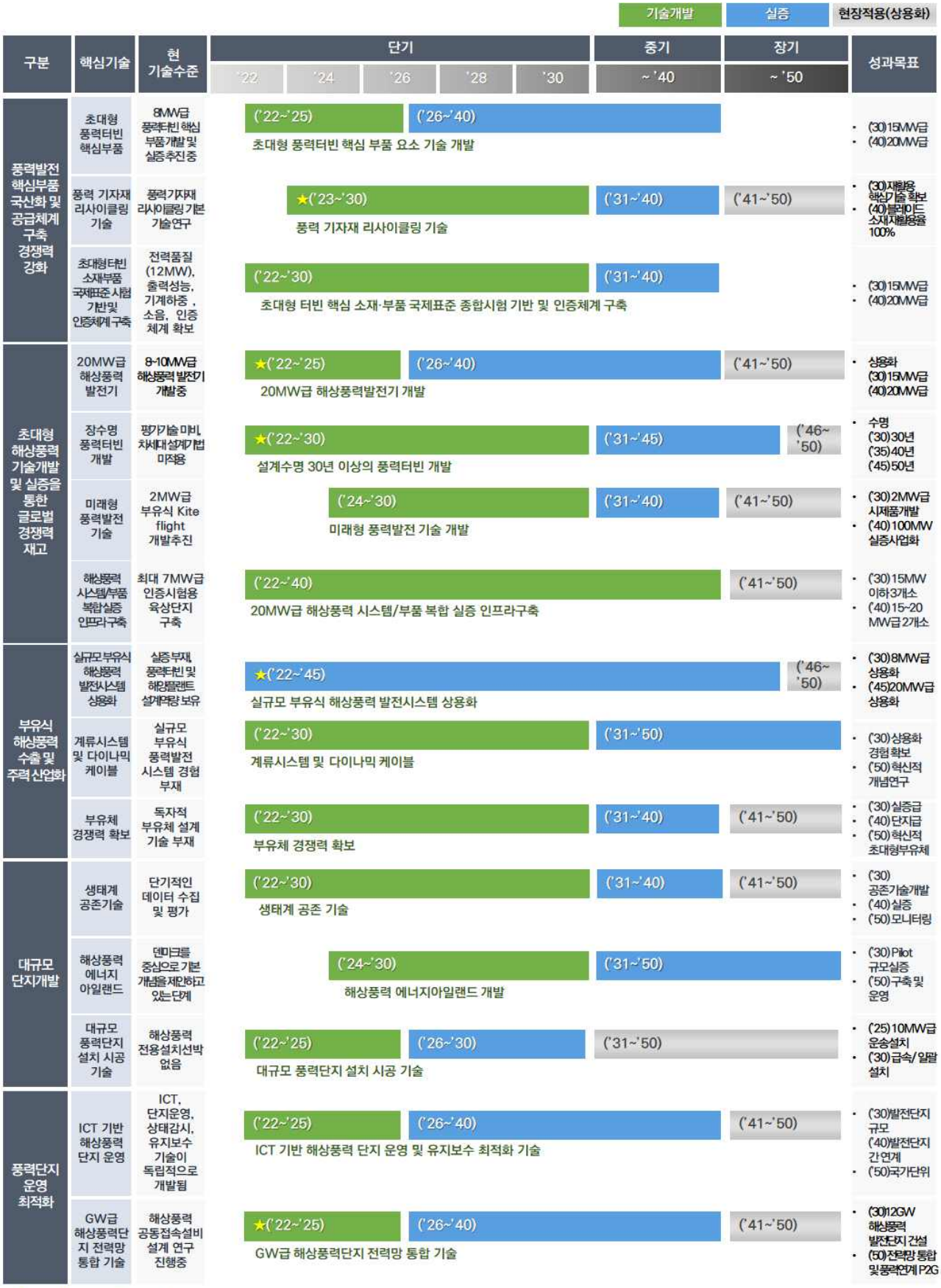
❶ 무탄소발전(연료전지) 로드맵



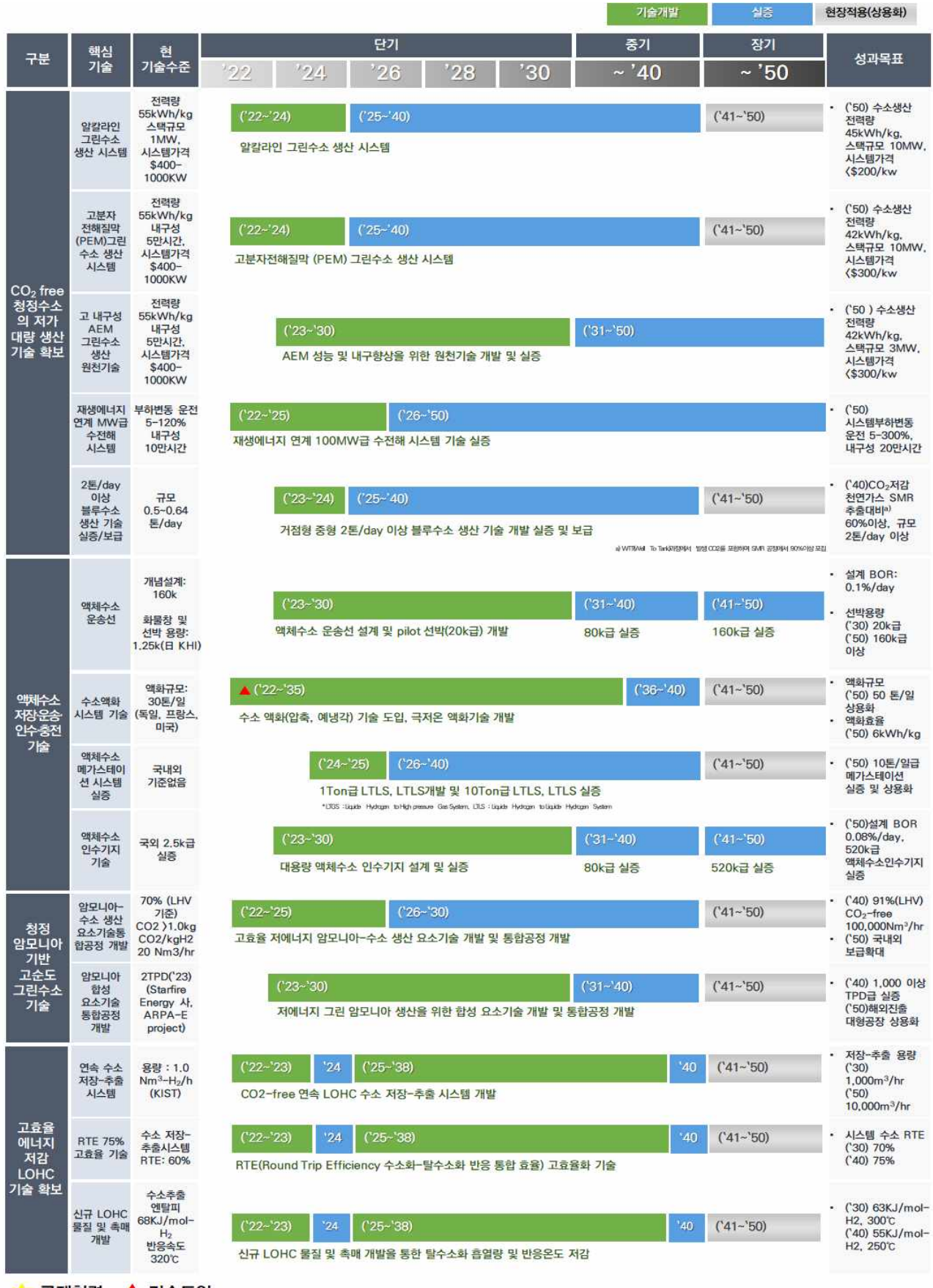
❷ 재생에너지(태양광) 로드맵



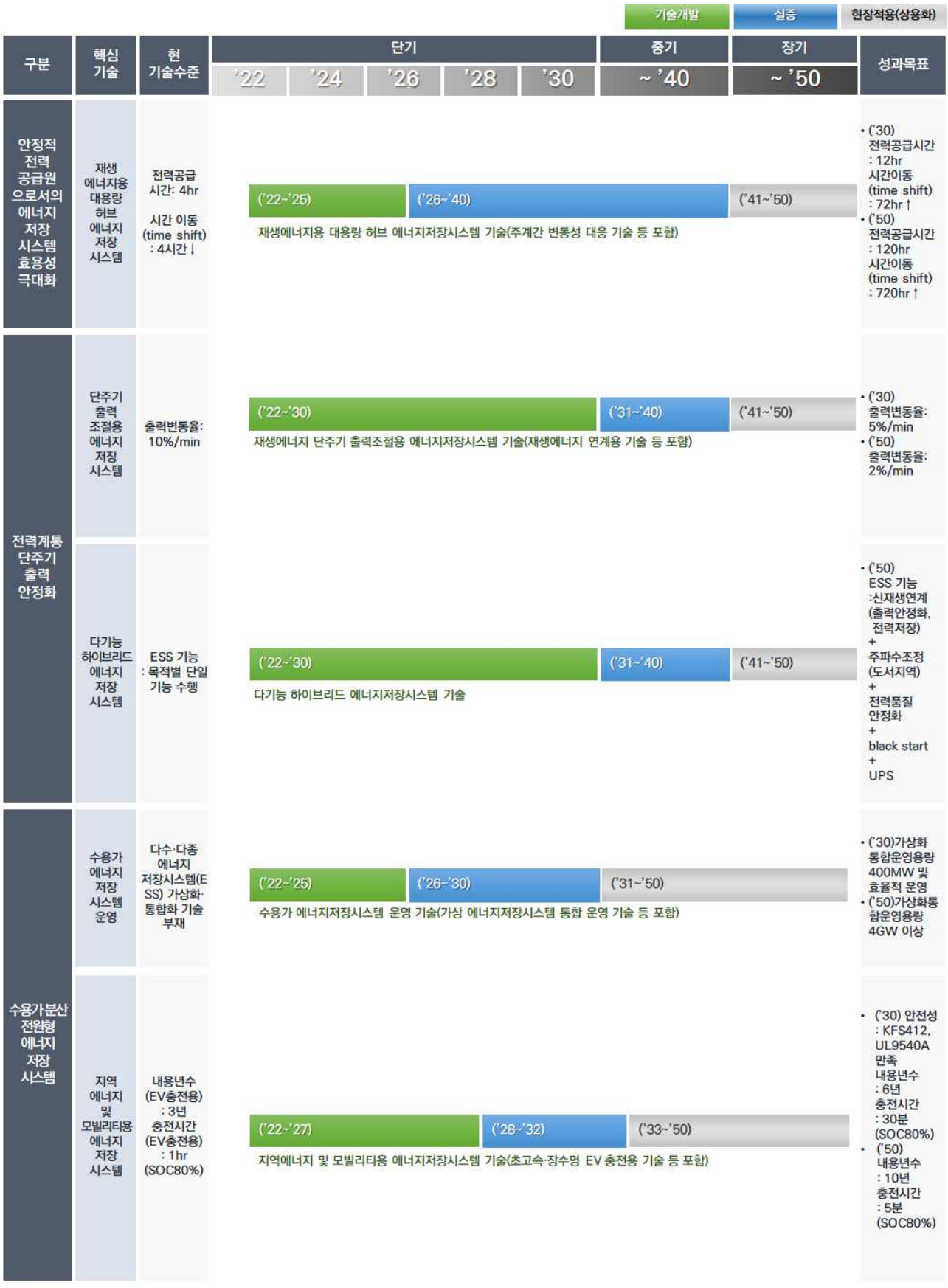
❷ 재생에너지(풍력) 로드맵



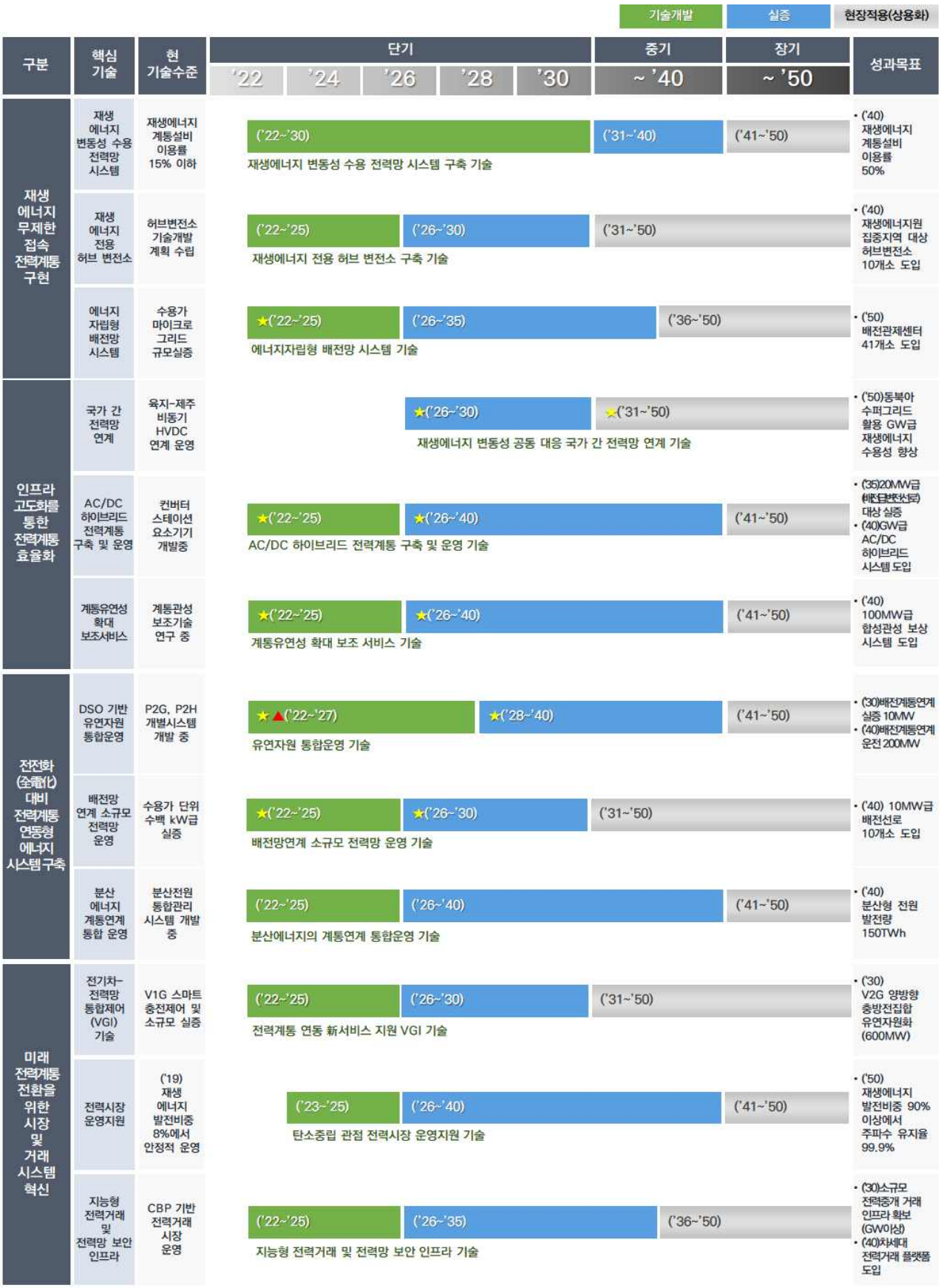
❸ 수소화(그린수소) 로드맵



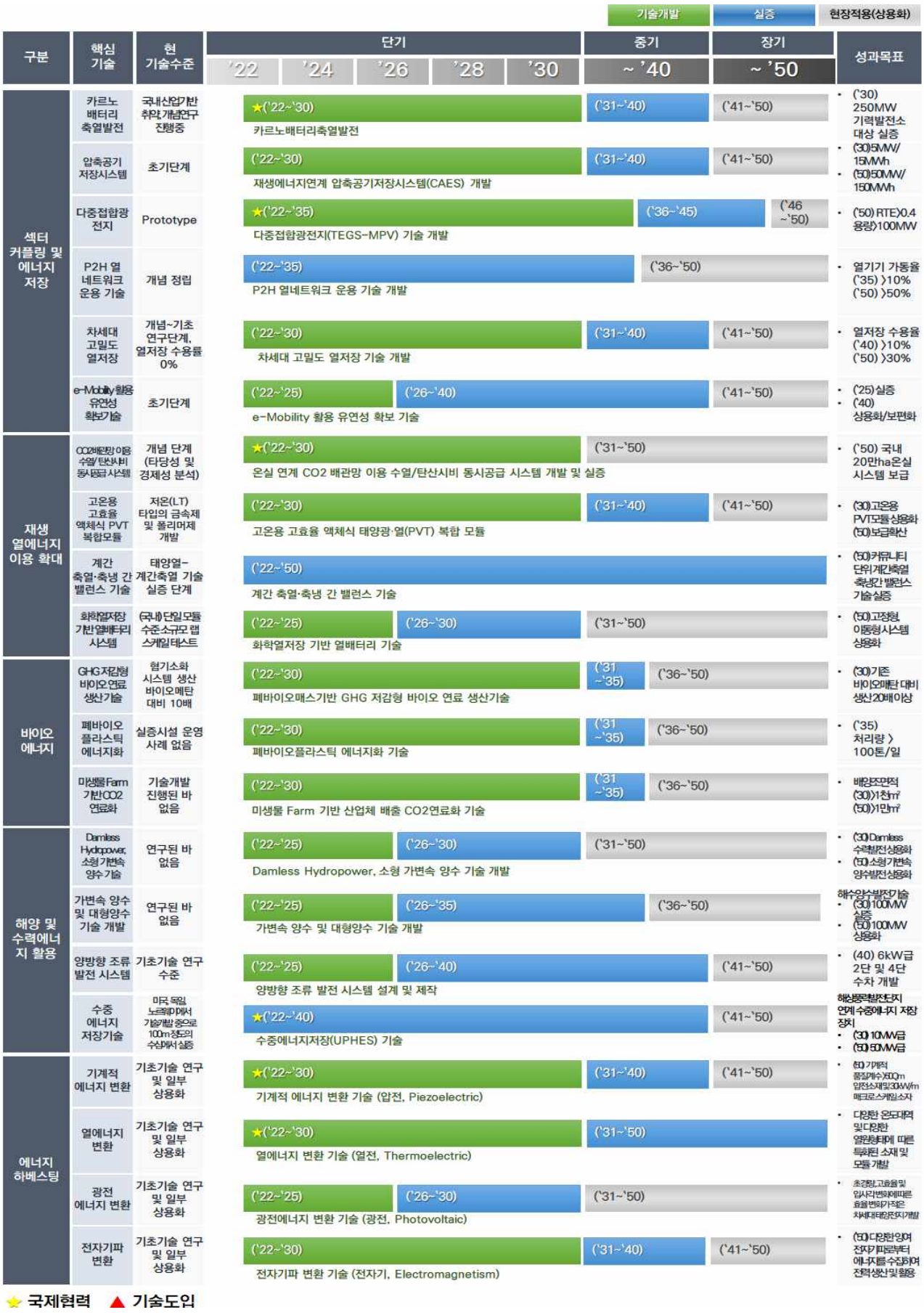
❹ 에너지 저장 로드맵


기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심 기술
현 기술수준
단기
중기
장기
성과목표
'22
'24
'26
'28
'30
~ '40
~ '50
안정적 전력 공급원으로서의 에너지 저장 시스템 효용성 극대화
재생에너지용 대용량 허브 에너지 저장 시스템
전력공급 시간: 4hr
시간 이동 (time shift) : 4시간↓
('22~'25)
('26~'40)
('41~'50)
재생에너지용 대용량 허브 에너지저장시스템 기술(주계간 변동성 대응 기술 등 포함)
• ('30) 전력공급시간 : 12hr 시간이동 (time shift) : 72hr↑
• ('50) 전력공급시간 : 120hr 시간이동 (time shift) : 720hr↑
전력계통 단주기 출력 안정화
단주기 출력 조절용 에너지 저장 시스템
출력변동율: 10%/min
('22~'30)
('31~'40)
('41~'50)
재생에너지 단주기 출력조절용 에너지저장시스템 기술(재생에너지 연계용 기술 등 포함)
• ('30) 출력변동율: 5%/min
• ('50) 출력변동율: 2%/min
다기능 하이브리드 에너지 저장 시스템
ESS 기능 : 목적별 단일 기능 수행
('22~'30)
('31~'40)
('41~'50)
다기능 하이브리드 에너지저장시스템 기술
• ('50) ESS 기능 :신재생연계 (출력안정화, 전력저장) + 주파수조정 (도서지역) + 전력품질 안정화 + black start + UPS
수용가분산 전원형 에너지 저장 시스템
수용가 에너지 저장 시스템 운영
다수·다종 에너지 저장시스템(ESS) 가상화·통합화 기술 부재
('22~'25)
('26~'30)
('31~'50)
수용가 에너지저장시스템 운영 기술(가상 에너지저장시스템 통합 운영 기술 등 포함)
• ('30)가상화 통합운영용량 400MW 및 효율적 운영
• ('50)가상화통합운영용량 4GW 이상
지역 에너지 및 모빌리티용 에너지 저장 시스템
내용년수 (EV충전용) : 3년 충전시간 (EV충전용) : 1hr (SOC80%)
('22~'27)
('28~'32)
('33~'50)
지역에너지 및 모빌리티용 에너지저장시스템 기술(초고속·장수명 EV 충전용 기술 등 포함)
• ('30) 안전성 : KFS412, UL9540A 만족 내용년수 : 6년 충전시간 : 30분 (SOC80%)
• ('50) 내용년수 : 10년 충전시간 : 5분 (SOC80%)
★ 국제협력 ▲ 기술도입

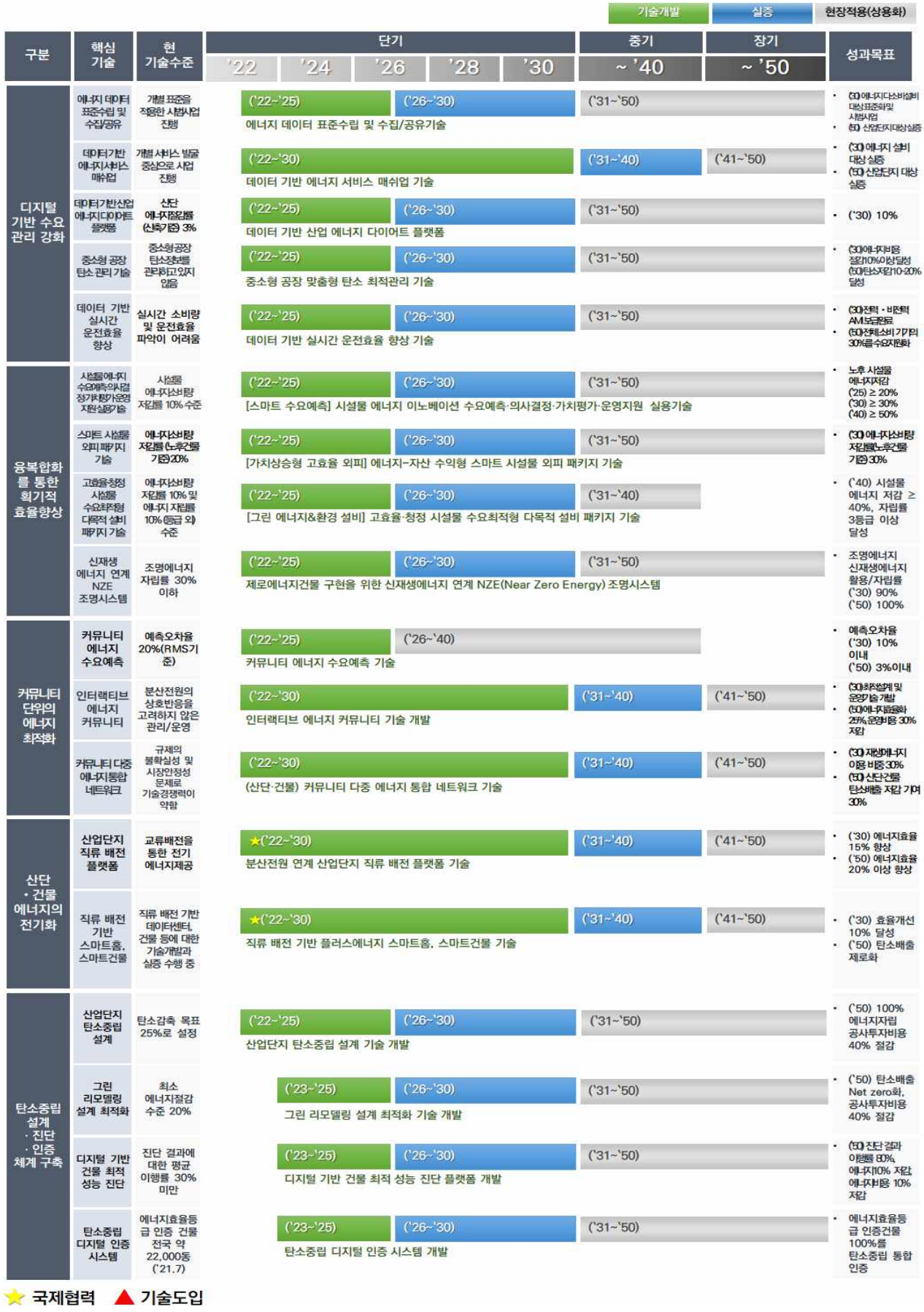
❺ 계통 선진화(전력계통) 로드맵



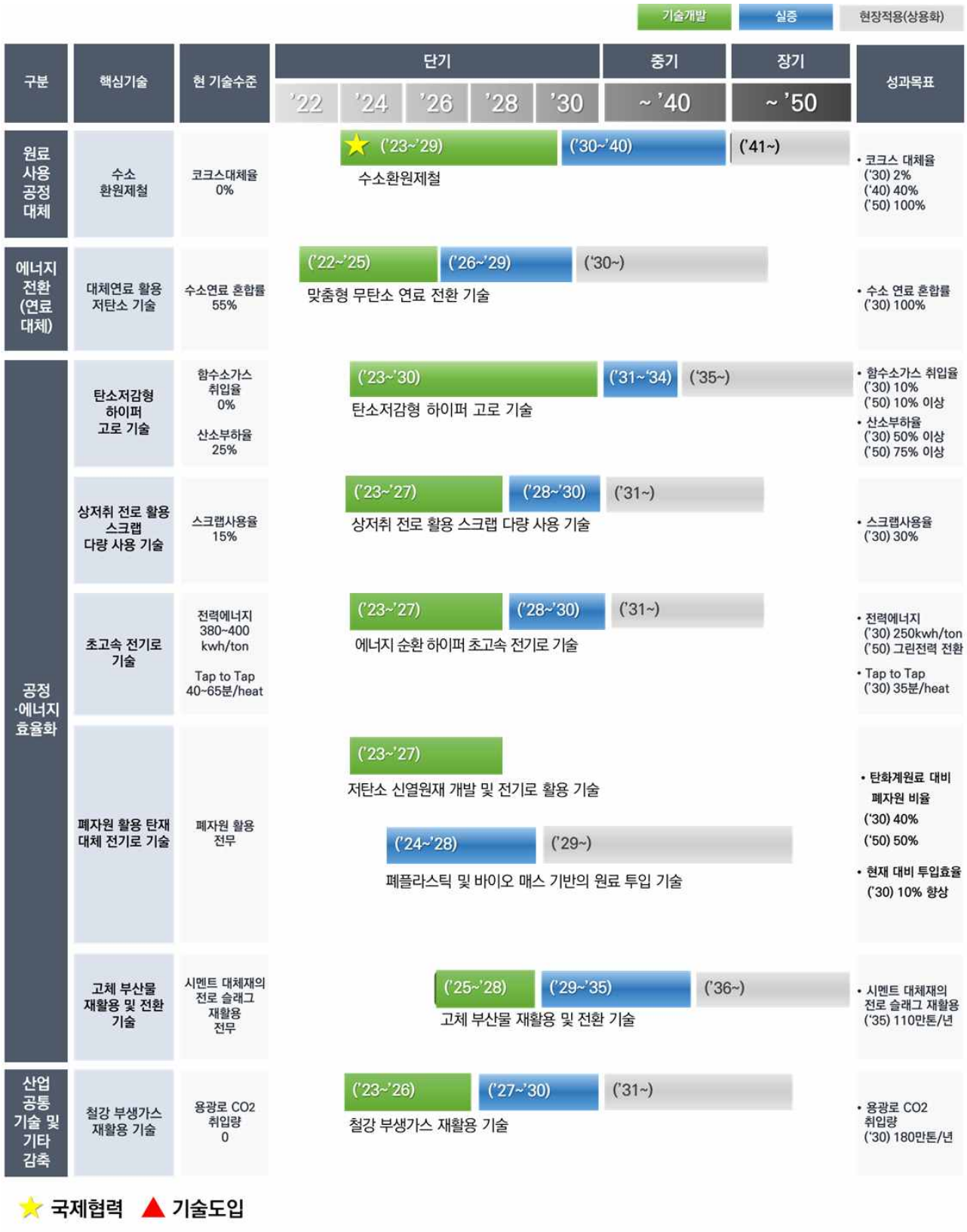
⑤ 계통 선진화(섹터커플링) 로드맵



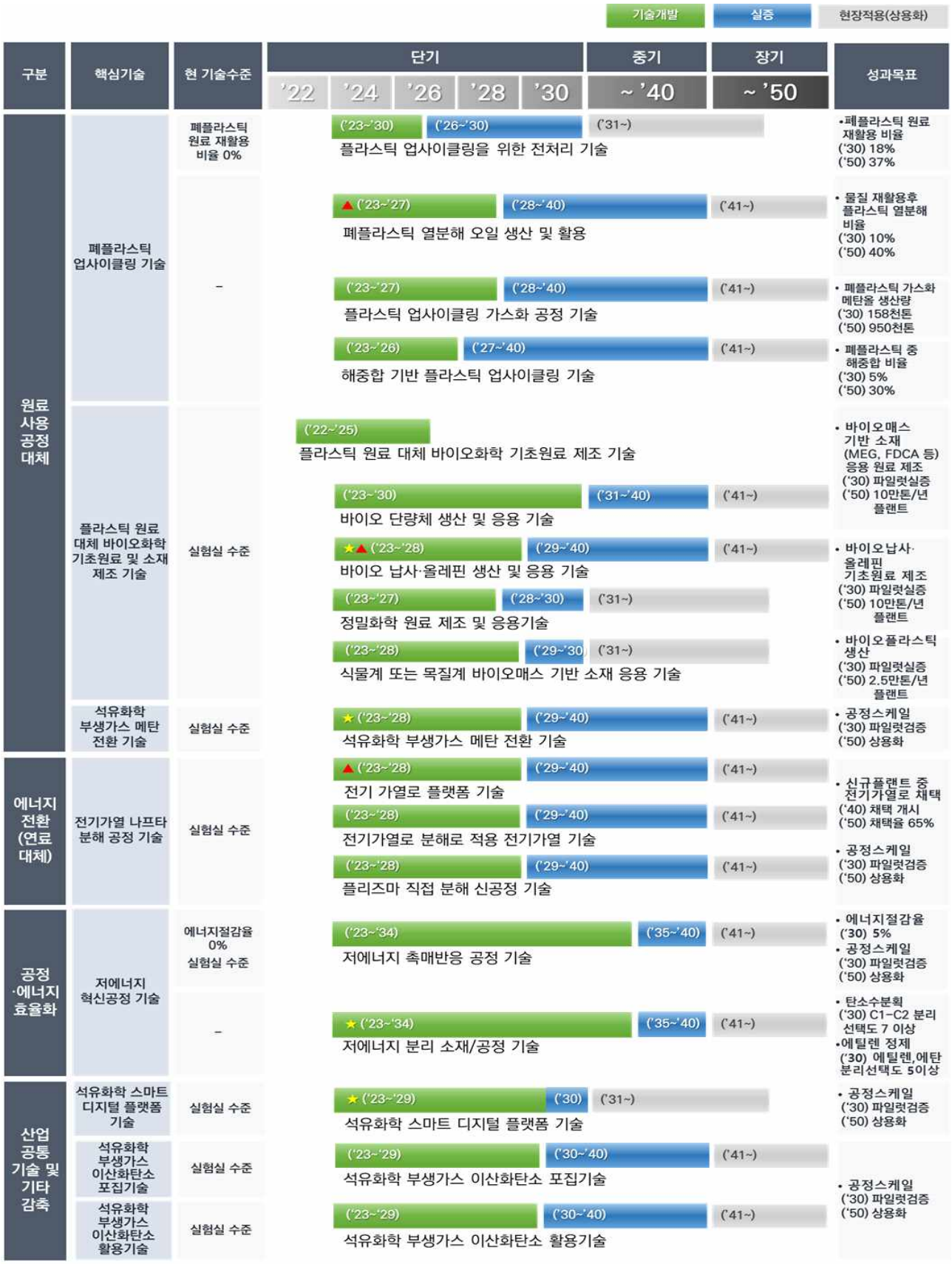
⑥ 에너지 고효율화(산단건물) 로드맵



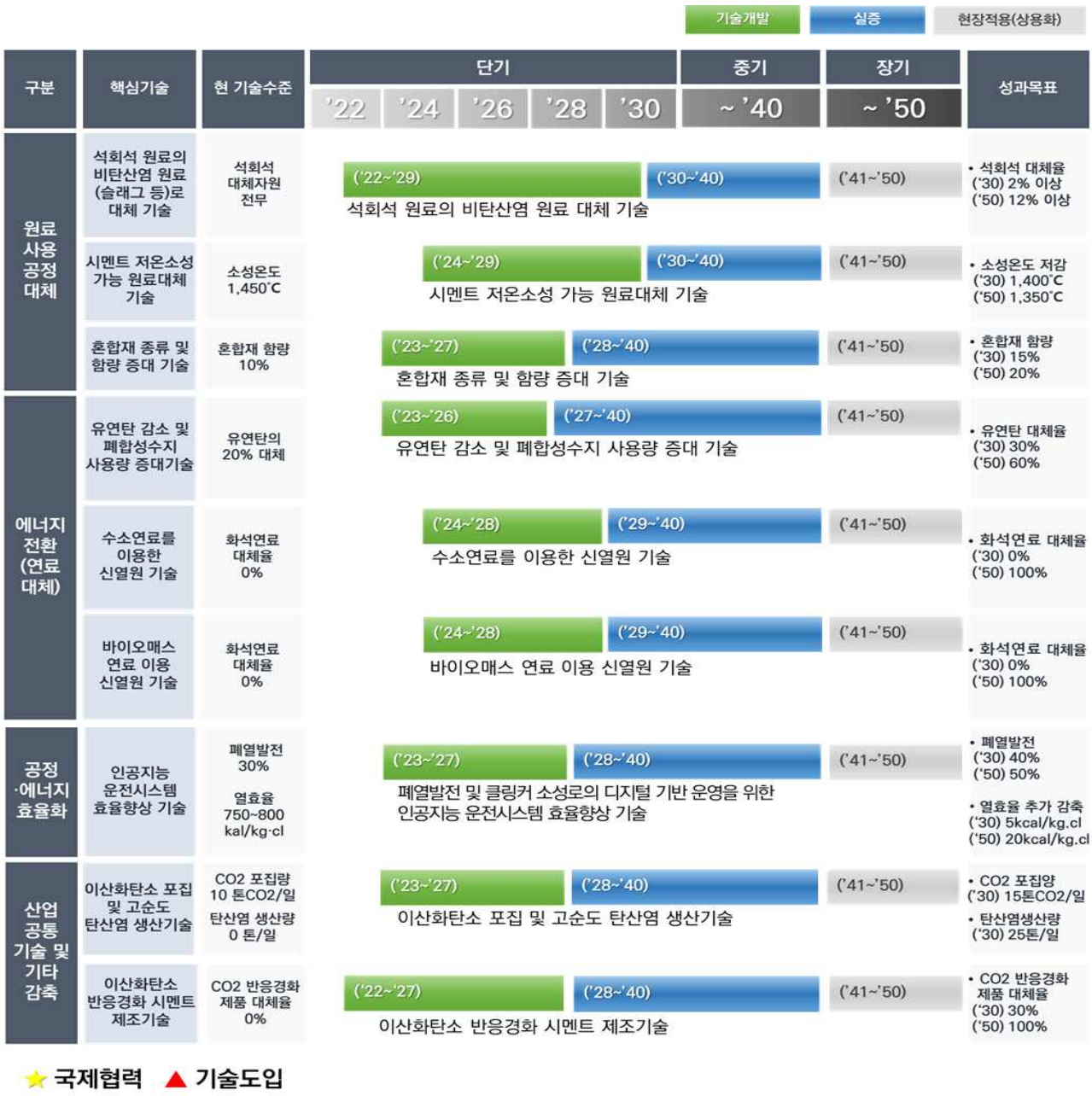
❼ 철강 로드맵


기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심기술
현 기술수준
단기
중기
장기
성과목표
'22
'24
'26
'28
'30
~ '40
~ '50
원료 사용 공정 대체
수소 환원제철
코크스대체율 0%
('23~'29)
('30~'40)
('41~)
수소환원제철
• 코크스 대체율
('30) 2%
('40) 40%
('50) 100%
에너지 전환 (연료 대체)
대체연료 활용 저탄소 기술
수소연료 혼합률 55%
('22~'25)
('26~'29)
('30~)
맞춤형 무탄소 연료 전환 기술
• 수소 연료 혼합률
('30) 100%
공정·에너지 효율화
탄소저감형 하이퍼 고로 기술
함수소가스 취입율 0%
산소부하율 25%
('23~'30)
('31~'34)
('35~)
탄소저감형 하이퍼 고로 기술
• 함수소가스 취입율
('30) 10%
('50) 10% 이상
• 산소부하율
('30) 50% 이상
('50) 75% 이상
상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술
스크랩사용율 15%
('23~'27)
('28~'30)
('31~)
상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술
• 스크랩사용율
('30) 30%
초고속 전기로 기술
전력에너지 380~400 kwh/ton
Tap to Tap 40~65분/heat
('23~'27)
('28~'30)
('31~)
에너지 순환 하이퍼 초고속 전기로 기술
• 전력에너지
('30) 250kwh/ton
('50) 그린전력 전환
• Tap to Tap
('30) 35분/heat
폐자원 활용 탄재 대체 전기로 기술
폐자원 활용 전무
('23~'27)
저탄소 신열원재 개발 및 전기로 활용 기술
('24~'28)
('29~)
폐플라스틱 및 바이오 매스 기반의 원료 투입 기술
• 탄화계원료 대비 폐자원 비율
('30) 40%
('50) 50%
• 현재 대비 투입효율
('30) 10% 향상
고체 부산물 재활용 및 전환 기술
시멘트 대체재의 전로 슬래그 재활용 전무
('25~'28)
('29~'35)
('36~)
고체 부산물 재활용 및 전환 기술
• 시멘트 대체재의 전로 슬래그 재활용
('35) 110만톤/년
산업 공통 기술 및 기타 감축
철강 부생가스 재활용 기술
용광로 CO2 취입량 0
('23~'26)
('27~'30)
('31~)
철강 부생가스 재활용 기술
• 용광로 CO2 취입량
('30) 180만톤/년
★ 국제협력 ▲ 기술도입

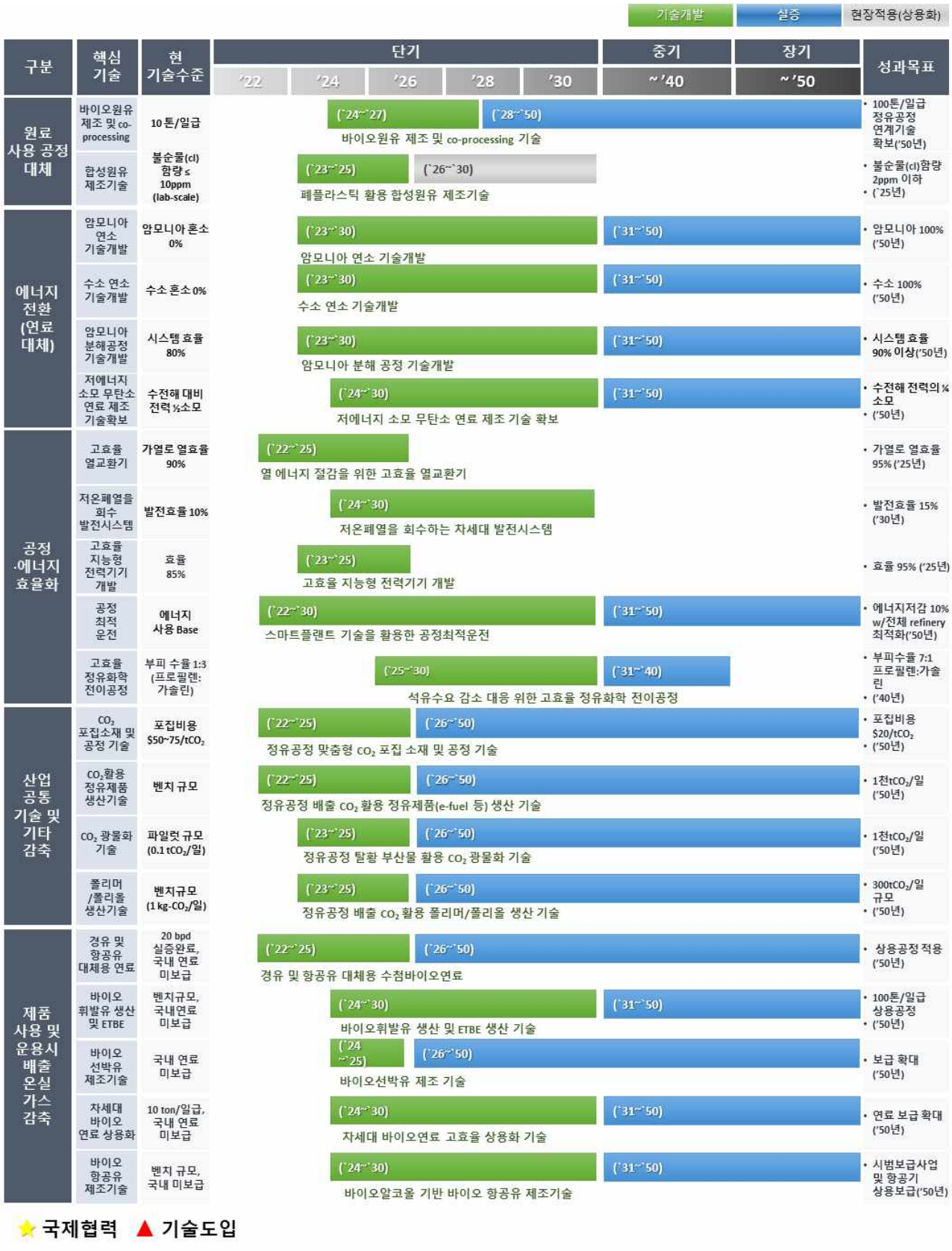
⑧ 석유화학 로드맵


기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심기술
현 기술수준
단기
중기
장기
성과목표
'22
'24
'26
'28
'30
~ '40
~ '50
원료 사용 공정 대체
폐플라스틱 업사이클링 기술
폐플라스틱 원료 재활용 비율 0%
('23~'30)
('26~'30)
('31~)
플라스틱 업사이클링을 위한 전처리 기술
•폐플라스틱 원료 재활용 비율
('30) 18%
('50) 37%
▲('23~'27)
('28~'40)
('41~)
폐플라스틱 열분해 오일 생산 및 활용
• 물질 재활용후 플라스틱 열분해 비율
('30) 10%
('50) 40%
-
('23~'27)
('28~'40)
('41~)
플라스틱 업사이클링 가스화 공정 기술
• 폐플라스틱 가스화 메탄올 생산량
('30) 158천톤
('50) 950천톤
('23~'26)
('27~'40)
('41~)
해중합 기반 플라스틱 업사이클링 기술
• 폐플라스틱 중 해중합 비율
('30) 5%
('50) 30%
플라스틱 원료 대체 바이오화학 기초원료 및 소재 제조 기술
실험실 수준
('22~'25)
플라스틱 원료 대체 바이오화학 기초원료 제조 기술
• 바이오매스 기반 소재 (MEG, FDCA 등) 응용 원료 제조
('30) 파일럿실증
('50) 10만톤/년 플랜트
('23~'30)
('31~'40)
('41~)
바이오 단량체 생산 및 응용 기술
★▲('23~'28)
('29~'40)
('41~)
바이오 납사·올레핀 생산 및 응용 기술
• 바이오납사·올레핀 기초원료 제조
('30) 파일럿실증
('50) 10만톤/년 플랜트
('23~'27)
('28~'30)
('31~)
정밀화학 원료 제조 및 응용기술
('23~'28)
('29~'30)
('31~)
식물계 또는 목질계 바이오매스 기반 소재 응용 기술
• 바이오플라스틱 생산
('30) 파일럿실증
('50) 2.5만톤/년 플랜트
석유화학 부생가스 메탄 전환 기술
실험실 수준
★('23~'28)
('29~'40)
('41~)
석유화학 부생가스 메탄 전환 기술
• 공정스케일
('30) 파일럿검증
('50) 상용화
에너지 전환 (연료 대체)
전기가열 나프타 분해 공정 기술
실험실 수준
▲('23~'28)
('29~'40)
('41~)
전기 가열로 플랫폼 기술
('23~'28)
('29~'40)
('41~)
전기가열로 분해로 적용 전기가열 기술
('23~'28)
('29~'40)
('41~)
플리즈마 직접 분해 신공정 기술
• 신규플랜트 중 전기가열로 채택
('40) 채택 개시
('50) 채택율 65%
• 공정스케일
('30) 파일럿검증
('50) 상용화
공정·에너지 효율화
저에너지 혁신공정 기술
에너지절감율 0%
실험실 수준
-
('23~'34)
('35~'40)
('41~)
저에너지 촉매반응 공정 기술
• 에너지절감율
('30) 5%
• 공정스케일
('30) 파일럿검증
('50) 상용화
★('23~'34)
('35~'40)
('41~)
저에너지 분리 소재/공정 기술
• 탄소수분획
('30) C1-C2 분리 선택도 7 이상
•에틸렌 정제
('30) 에틸렌,에탄 분리선택도 5이상
산업 공통 기술 및 기타 감축
석유화학 스마트 디지털 플랫폼 기술
실험실 수준
★('23~'29)
('30)
('31~)
석유화학 스마트 디지털 플랫폼 기술
• 공정스케일
('30) 파일럿검증
('50) 상용화
석유화학 부생가스 이산화탄소 포집기술
실험실 수준
('23~'29)
('30~'40)
('41~)
석유화학 부생가스 이산화탄소 포집기술
석유화학 부생가스 이산화탄소 활용기술
실험실 수준
('23~'29)
('30~'40)
('41~)
석유화학 부생가스 이산화탄소 활용기술
• 공정스케일
('30) 파일럿검증
('50) 상용화
★ 국제협력 ▲ 기술도입

❾ 시멘트 로드맵


기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심기술
현 기술수준
단기
중기
장기
성과목표
'22
'24
'26
'28
'30
~ '40
~ '50
원료 사용 공정 대체
석회석 원료의 비탄산염 원료 (슬래그 등)로 대체 기술
석회석 대체자원 전무
('22~'29)
('30~'40)
('41~'50)
석회석 원료의 비탄산염 원료 대체 기술
• 석회석 대체율
('30) 2% 이상
('50) 12% 이상
시멘트 저온소성 가능 원료대체 기술
소성온도 1,450℃
('24~'29)
('30~'40)
('41~'50)
시멘트 저온소성 가능 원료대체 기술
• 소성온도 저감
('30) 1,400℃
('50) 1,350℃
혼합재 종류 및 함량 증대 기술
혼합재 함량 10%
('23~'27)
('28~'40)
('41~'50)
혼합재 종류 및 함량 증대 기술
• 혼합재 함량
('30) 15%
('50) 20%
에너지 전환 (연료 대체)
유연탄 감소 및 폐합성수지 사용량 증대기술
유연탄의 20% 대체
('23~'26)
('27~'40)
('41~'50)
유연탄 감소 및 폐합성수지 사용량 증대 기술
• 유연탄 대체율
('30) 30%
('50) 60%
수소연료를 이용한 신열원 기술
화석연료 대체율 0%
('24~'28)
('29~'40)
('41~'50)
수소연료를 이용한 신열원 기술
• 화석연료 대체율
('30) 0%
('50) 100%
바이오매스 연료 이용 신열원 기술
화석연료 대체율 0%
('24~'28)
('29~'40)
('41~'50)
바이오매스 연료 이용 신열원 기술
• 화석연료 대체율
('30) 0%
('50) 100%
공정·에너지 효율화
인공지능 운전시스템 효율향상 기술
폐열발전 30%
열효율 750~800 kal/kg·cl
('23~'27)
('28~'40)
('41~'50)
폐열발전 및 클링커 소성로의 디지털 기반 운영을 위한 인공지능 운전시스템 효율향상 기술
• 폐열발전
('30) 40%
('50) 50%
• 열효율 추가 감축
('30) 5kcal/kg.cl
('50) 20kcal/kg.cl
산업 공통 기술 및 기타 감축
이산화탄소 포집 및 고순도 탄산염 생산기술
CO2 포집량 10 톤CO2/일
탄산염 생산량 0 톤/일
('23~'27)
('28~'40)
('41~'50)
이산화탄소 포집 및 고순도 탄산염 생산기술
• CO2 포집양
('30) 15톤CO2/일
• 탄산염생산량
('30) 25톤/일
이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술
CO2 반응경화 제품 대체율 0%
('22~'27)
('28~'40)
('41~'50)
이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술
• CO2 반응경화 제품 대체율
('30) 30%
('50) 100%
★ 국제협력 ▲ 기술도입

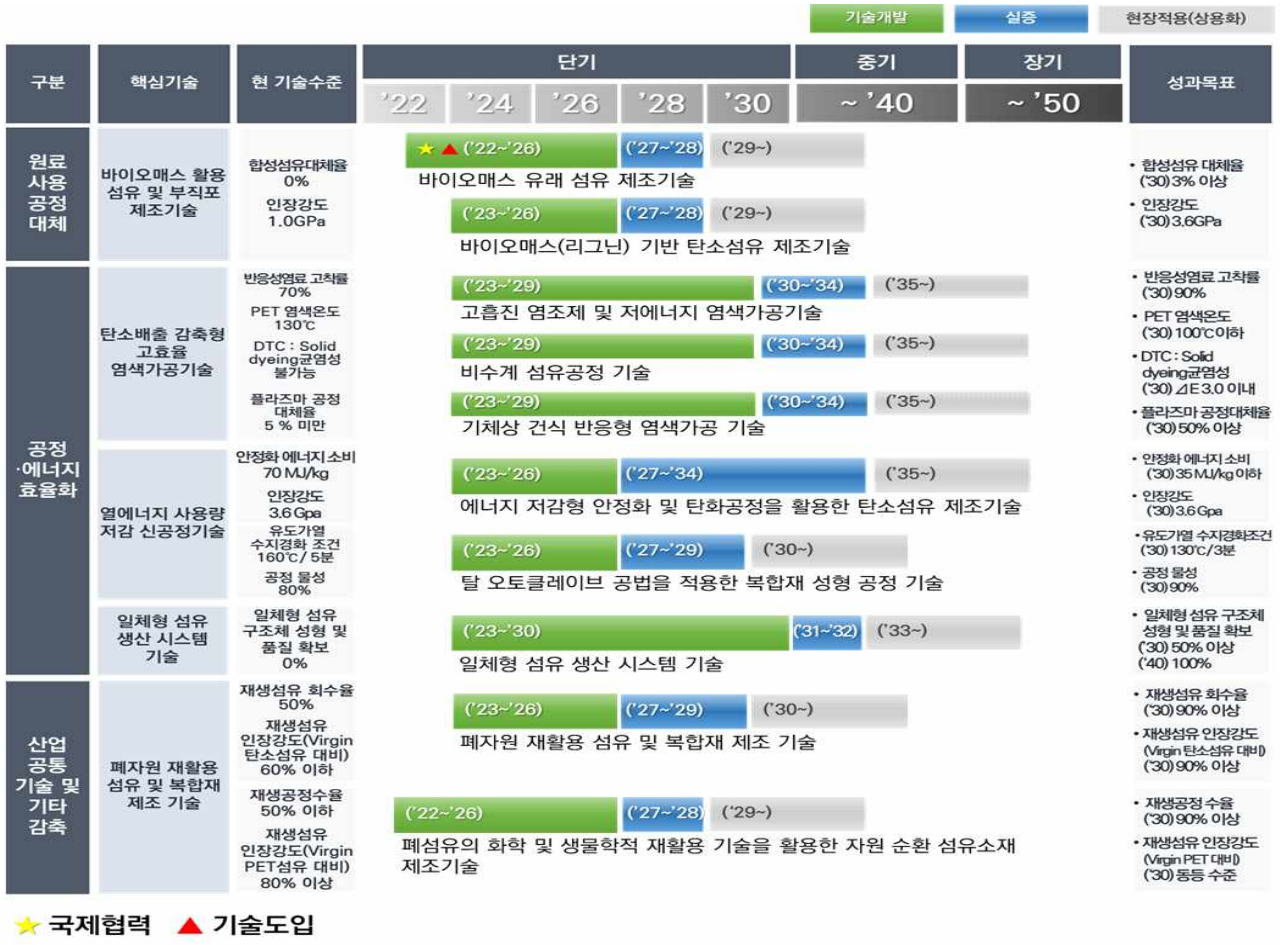
⑩ 정유 로드맵


기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심 기술
현 기술수준
단기
중기
장기
성과목표
'22
'24
'26
'28
'30
~'40
~'50
원료 사용 공정 대체
바이오원유 제조 및 co-processing
10 톤/일급
(`24~`27)
(`28~`50)
바이오원유 제조 및 co-processing 기술
• 100톤/일급 정유공정 연계기술 확보('50년)
합성원유 제조기술
불순물(cl) 함량 ≤ 10ppm (lab-scale)
(`23~`25)
(`26~`30)
폐플라스틱 활용 합성원유 제조기술
• 불순물(cl)함량 2ppm 이하 ('25년)
에너지 전환 (연료 대체)
암모니아 연소 기술개발
암모니아 혼소 0%
(`23~`30)
(`31~`50)
암모니아 연소 기술개발
• 암모니아 100% ('50년)
수소 연소 기술개발
수소 혼소 0%
(`23~`30)
(`31~`50)
수소 연소 기술개발
• 수소 100% ('50년)
암모니아 분해공정 기술개발
시스템 효율 80%
(`23~`30)
(`31~`50)
암모니아 분해 공정 기술개발
• 시스템 효율 90% 이상('50년)
저에너지 소모 무탄소 연료 제조 기술확보
수전해 대비 전력 ¼소모
(`24~`30)
(`31~`50)
저에너지 소모 무탄소 연료 제조 기술 확보
• 수전해 전력의 ¼ 소모 ('50년)
공정·에너지 효율화
고효율 열교환기
가열로 열효율 90%
(`22~`25)
열 에너지 절감을 위한 고효율 열교환기
• 가열로 열효율 95% ('25년)
저온폐열을 회수 발전시스템
발전효율 10%
(`24~`30)
저온폐열을 회수하는 차세대 발전시스템
• 발전효율 15% ('30년)
고효율 지능형 전력기기 개발
효율 85%
(`23~`25)
고효율 지능형 전력기기 개발
• 효율 95% ('25년)
공정 최적 운전
에너지 사용 Base
(`22~`30)
(`31~`50)
스마트플랜트 기술을 활용한 공정최적운전
• 에너지저감 10% w/전체 refinery 최적화('50년)
고효율 정유화학 전이공정
부피 수율 1:3 (프로필렌: 가솔린)
(`25~`30)
(`31~`40)
석유수요 감소 대응 위한 고효율 정유화학 전이공정
• 부피수율 7:1 프로필렌:가솔린 ('40년)
산업 공통 기술 및 기타 감축
CO_2 포집소재 및 공정 기술
포집비용 $50~75/tCO_2$
(`22~`25)
(`26~`50)
정유공정 맞춤형 CO_2 포집 소재 및 공정 기술
• 포집비용 $20/tCO_2 ('50년)
CO_2활용 정유제품 생산기술
벤치 규모
(`22~`25)
(`26~`50)
정유공정 배출 CO_2 활용 정유제품(e-fuel 등) 생산 기술
• 1천tCO_2/일 ('50년)
CO_2 광물화 기술
파일럿 규모 (0.1 tCO_2/일)
(`23~`25)
(`26~`50)
정유공정 탈황 부산물 활용 CO_2 광물화 기술
• 1천tCO_2/일 ('50년)
폴리머/폴리올 생산기술
벤치규모 (1 kg-CO_2/일)
(`23~`25)
(`26~`50)
정유공정 배출 CO_2 활용 폴리머/폴리올 생산 기술
• 300tCO_2/일 규모 ('50년)
제품 사용 및 운용시 배출 온실가스 감축
경유 및 항공유 대체용 연료
20 bpd 실증완료, 국내 연료 미보급
(`22~`25)
(`26~`50)
경유 및 항공유 대체용 수첨바이오연료
• 상용공정 적용 ('50년)
바이오 휘발유 생산 및 ETBE
벤치규모, 국내연료 미보급
(`24~`30)
(`31~`50)
바이오휘발유 생산 및 ETBE 생산 기술
• 100톤/일급 상용공정 ('50년)
바이오 선박유 제조기술
국내 연료 미보급
(`24~`25)
(`26~`50)
바이오선박유 제조 기술
• 보급 확대 ('50년)
차세대 바이오 연료 상용화
10 ton/일급, 국내 연료 미보급
(`24~`30)
(`31~`50)
자세대 바이오연료 고효율 상용화 기술
• 연료 보급 확대 ('50년)
바이오 항공유 제조기술
벤치 규모, 국내 미보급
(`24~`30)
(`31~`50)
바이오알코올 기반 바이오 항공유 제조기술
• 시범보급사업 및 항공기 상용보급('50년)
★ 국제협력 ▲ 기술도입

⓫ 반도체 · 디스플레이 로드맵



⑫ 일반산업(섬유) 로드맵



⑫ 일반산업(제지) 로드맵



⑫ 일반산업(비철금속) 로드맵



⑫ 일반산업(전기전자) 로드맵



⑫ 일반산업(이차전지) 로드맵



⑫ 일반산업(유리) 로드맵



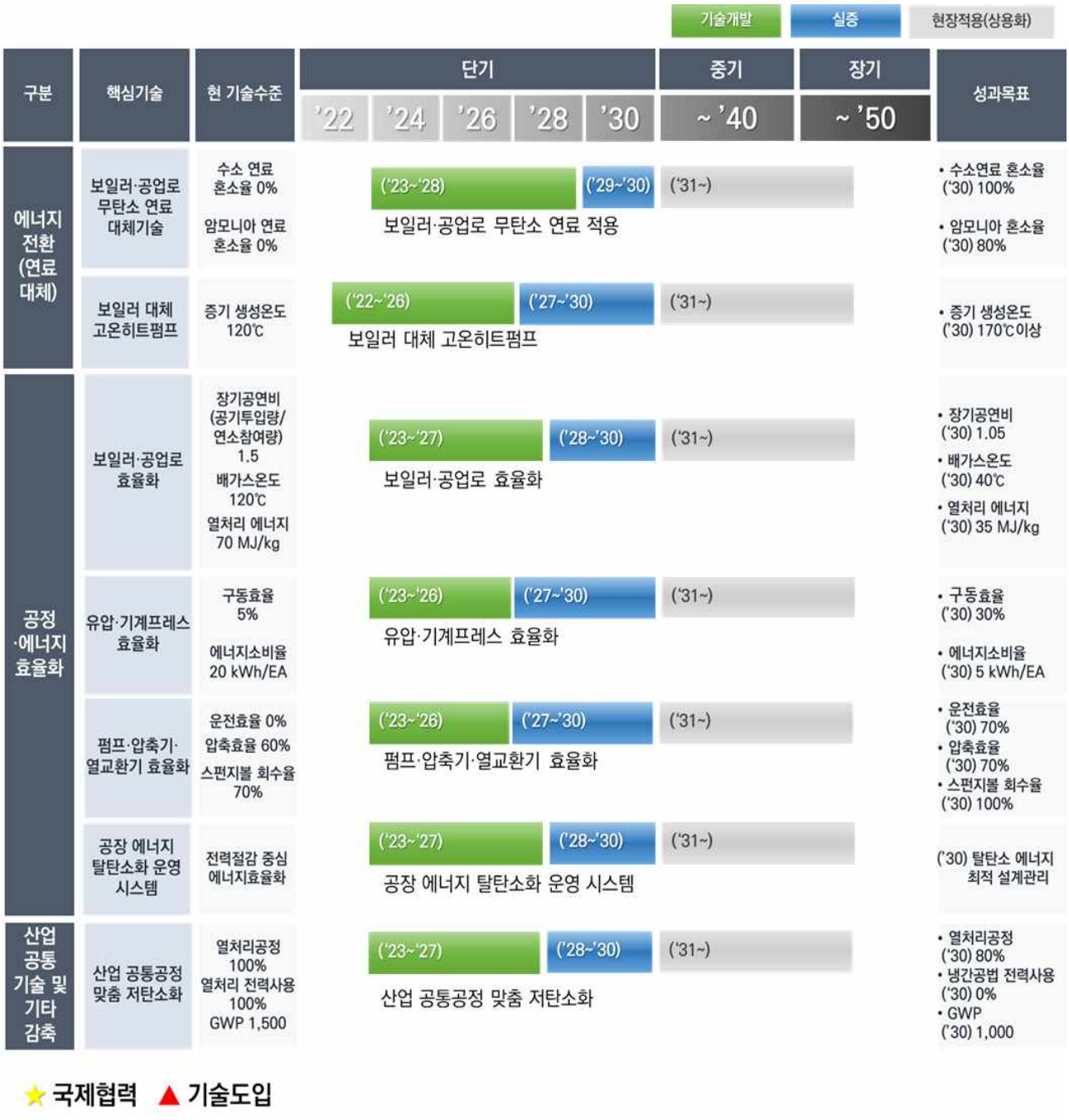
⑫ 일반산업(자동차) 로드맵

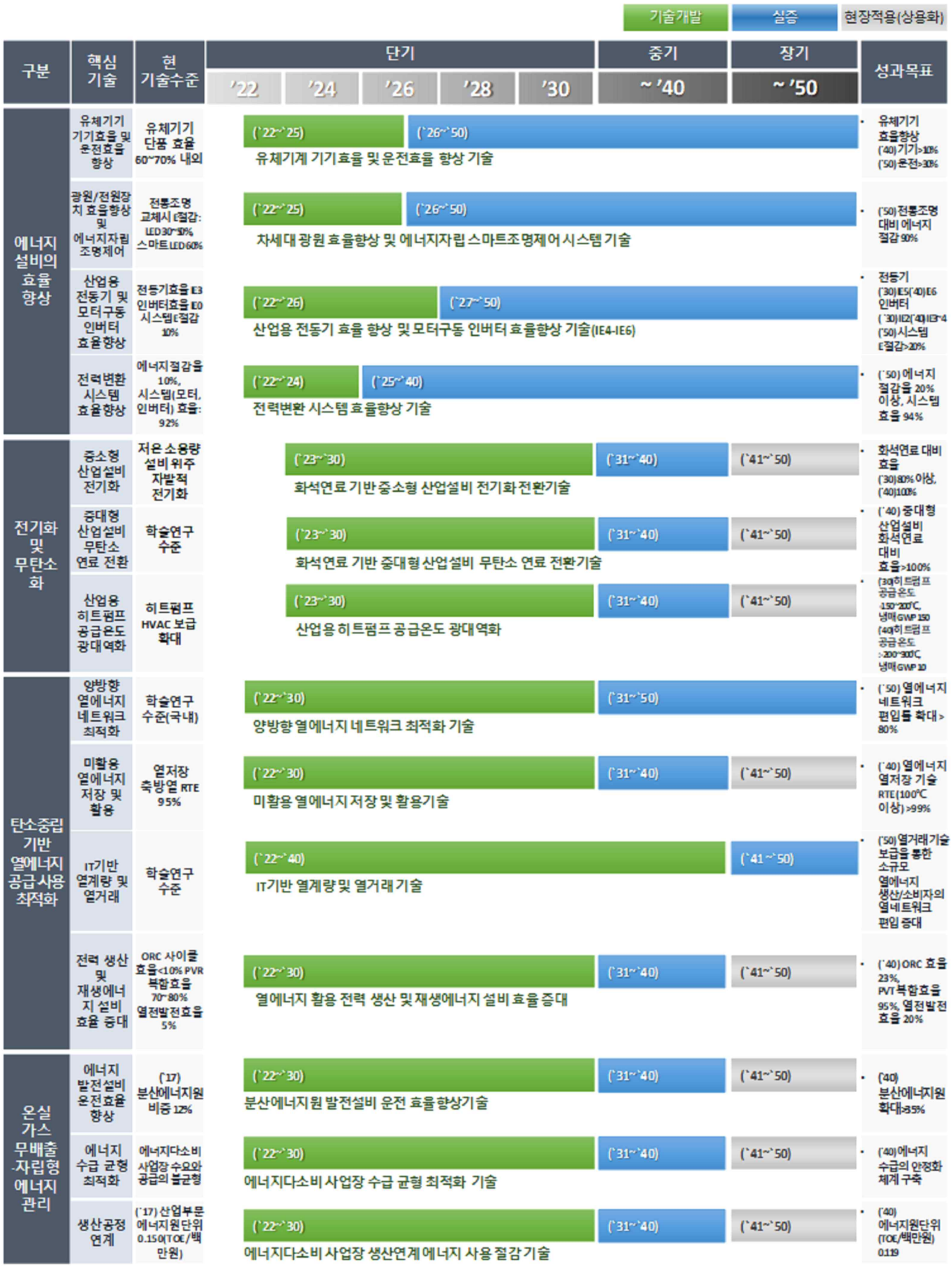


⑫ 일반산업(조선) 로드맵



⓭ 산업공통 설비 로드맵

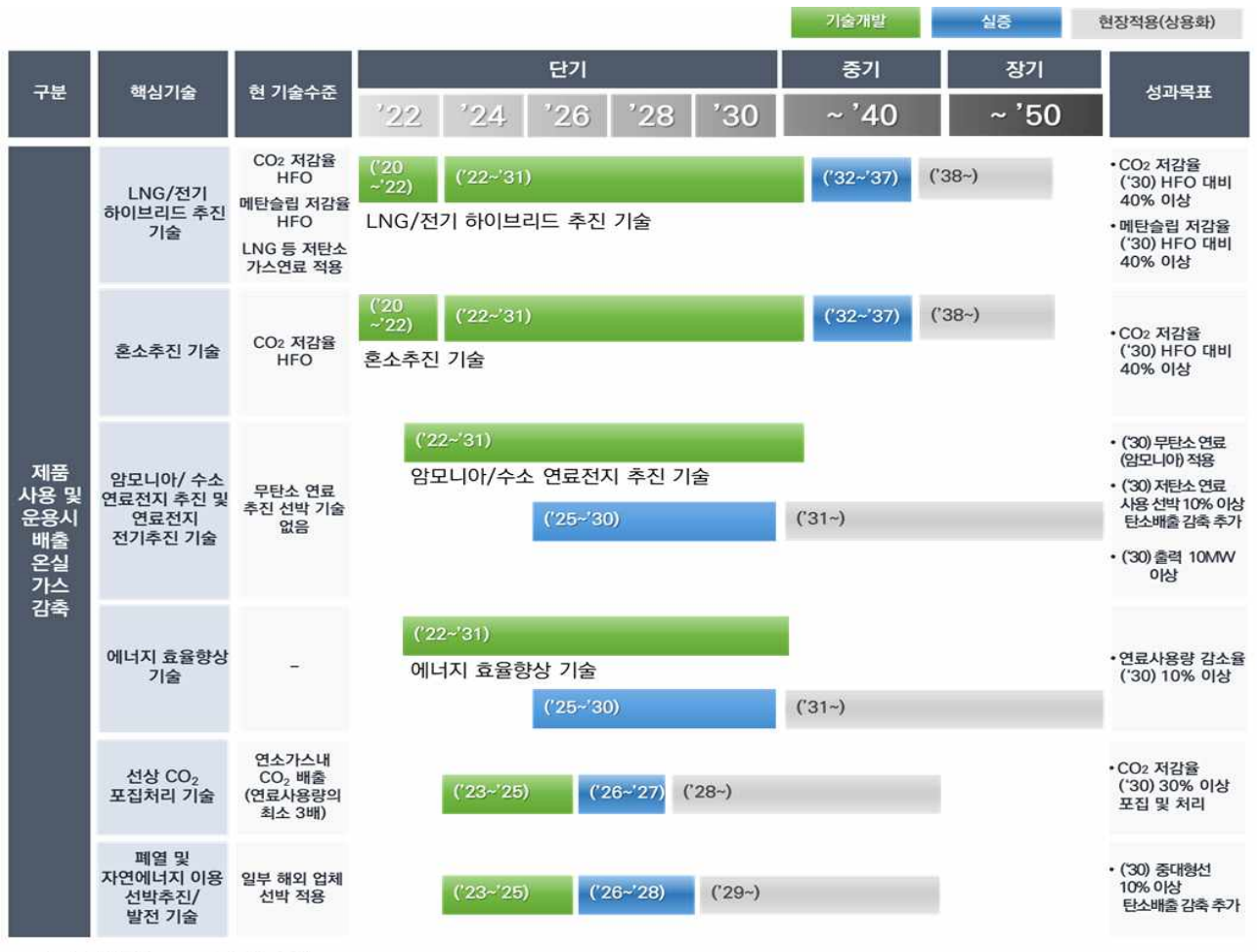

기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심기술
현 기술수준
단기
중기
장기
성과목표
'22
'24
'26
'28
'30
~ '40
~ '50
에너지 전환 (연료 대체)
보일러·공업로 무탄소 연료 대체기술
수소 연료 혼소율 0%
암모니아 연료 혼소율 0%
('23~'28)
('29~'30)
('31~)
보일러·공업로 무탄소 연료 적용
• 수소연료 혼소율 ('30) 100%
• 암모니아 혼소율 ('30) 80%
보일러 대체 고온히트펌프
증기 생성온도 120℃
('22~'26)
('27~'30)
('31~)
보일러 대체 고온히트펌프
• 증기 생성온도 ('30) 170℃이상
공정·에너지 효율화
보일러·공업로 효율화
장기공연비 (공기투입량/연소참여량) 1.5
배가스온도 120℃
열처리 에너지 70 MJ/kg
('23~'27)
('28~'30)
('31~)
보일러·공업로 효율화
• 장기공연비 ('30) 1.05
• 배가스온도 ('30) 40℃
• 열처리 에너지 ('30) 35 MJ/kg
유압·기계프레스 효율화
구동효율 5%
에너지소비율 20 kWh/EA
('23~'26)
('27~'30)
('31~)
유압·기계프레스 효율화
• 구동효율 ('30) 30%
• 에너지소비율 ('30) 5 kWh/EA
펌프·압축기·열교환기 효율화
운전효율 0%
압축효율 60%
스펀지볼 회수율 70%
('23~'26)
('27~'30)
('31~)
펌프·압축기·열교환기 효율화
• 운전효율 ('30) 70%
• 압축효율 ('30) 70%
• 스펀지볼 회수율 ('30) 100%
공장 에너지 탈탄소화 운영 시스템
전력절감 중심 에너지효율화
('23~'27)
('28~'30)
('31~)
공장 에너지 탈탄소화 운영 시스템
('30) 탈탄소 에너지 최적 설계관리
산업 공통 기술 및 기타 감축
산업 공통공정 맞춤 저탄소화
열처리공정 100%
열처리 전력사용 100%
GWP 1,500
('23~'27)
('28~'30)
('31~)
산업 공통공정 맞춤 저탄소화
• 열처리공정 ('30) 80%
• 냉간공법 전력사용 ('30) 0%
• GWP ('30) 1,000
★ 국제협력 ▲ 기술도입


기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심 기술
현 기술수준
단기
중기
장기
'22
'24
'26
'28
'30
~'40
~'50
성과목표
에너지 설비의 효율 향상
유체기기 기기효율 및 운전효율 향상
유체기기 단품 효율 60~70% 내외
(`22~`25)
(`26~`50)
유체기계 기기효율 및 운전효율 향상 기술
유체기기 효율향상 ('40) 기기>10% ('50) 운전>30%
광원/전원장치 효율향상 및 에너지자립 조명제어
전통조명 교체시 (절감: LED 30~50% 스마트LED 60%
(`22~`25)
(`26~`50)
차세대 광원 효율향상 및 에너지자립 스마트조명제어 시스템 기술
('50) 전통조명 대비 에너지 절감 90%
산업용 전동기 및 모터구동 인버터 효율향상
전동기효율 IE3 인버터효율 E0 시스템E절감 10%
(`22~`26)
(`27~`50)
산업용 전동기 효율 향상 및 모터구동 인버터 효율향상 기술(IE4-IE6)
전동기 ('30) IE5('40) IE6 인버터 ('30) IE2('40) IE3~4 ('50) 시스템 E절감>20%
전력변환 시스템 효율향상
에너지절감율 10%, 시스템(모터, 인버터) 효율: 92%
(`22~`24)
(`25~`40)
전력변환 시스템 효율향상 기술
('50) 에너지 절감율 20% 이상, 시스템 효율 94%
전기화 및 무탄소화
중소형 산업설비 전기화
저온 소용량 설비 위주 자발적 전기화
(`23~`30)
(`31~`40)
(`41~`50)
화석연료 기반 중소형 산업설비 전기화 전환기술
화석연료 대비 효율 ('30) 80% 이상, ('40) 100%
중대형 산업설비 무탄소 연료 전환
학술연구 수준
(`23~`30)
(`31~`40)
(`41~`50)
화석연료 기반 중대형 산업설비 무탄소 연료 전환기술
('40) 중대형 산업설비 화석연료 대비 효율>100%
산업용 히트펌프 공급온도 광대역화
히트펌프 HVAC 보급 확대
(`23~`30)
(`31~`40)
(`41~`50)
산업용 히트펌프 공급온도 광대역화
('30) 히트펌프 공급온도 150~200℃, 냉매 GWP 150 ('40) 히트펌프 공급온도 >200~300℃, 냉매 GWP 10
탄소중립 기반 열에너지 공급사용 최적화
양방향 열에너지 네트워크 최적화
학술연구 수준(국내)
(`22~`30)
(`31~`50)
양방향 열에너지 네트워크 최적화 기술
('50) 열에너지 네트워크 편입률 확대 > 80%
미활용 열에너지 저장 및 활용
열저장 축방열 RTE 95%
(`22~`30)
(`31~`40)
(`41~`50)
미활용 열에너지 저장 및 활용기술
('40) 열에너지 열저장 기술 RTE (100℃ 이상) >99%
IT기반 열계량 및 열거래
학술연구 수준
(`22~`40)
(`41~`50)
IT기반 열계량 및 열거래 기술
('50) 열거래기술 보급을 통한 소규모 열에너지 생산/소비자의 열네트워크 편입 증대
전력 생산 및 재생에너지 설비 효율 증대
ORC 사이클 효율<10% PVR 복합효율 70~80% 열전발전효율 5%
(`22~`30)
(`31~`40)
(`41~`50)
열에너지 활용 전력 생산 및 재생에너지 설비 효율 증대
('40) ORC 효율 23%, PVT 복합효율 95%, 열전발전 효율 20%
온실가스 무배출 자립형 에너지 관리
에너지 발전설비 운전효율 향상
('17) 분산에너지원 비중 12%
(`22~`30)
(`31~`40)
(`41~`50)
분산에너지원 발전설비 운전 효율향상기술
('40) 분산에너지원 확대>15%
에너지 수급 균형 최적화
에너지다소비 사업장 수요와 공급의 불균형
(`22~`30)
(`31~`40)
(`41~`50)
에너지다소비 사업장 수급 균형 최적화 기술
('40) 에너지 수급의 안정화 체계 구축
생산공정 연계
('17) 산업부문 에너지원단위 0.150(TOE/백만원)
(`22~`30)
(`31~`40)
(`41~`50)
에너지다소비 사업장 생산연계 에너지 사용 절감 기술
('40) 에너지원단위 (TOE/백만원) 0.119
★국제협력 ▲기술도입

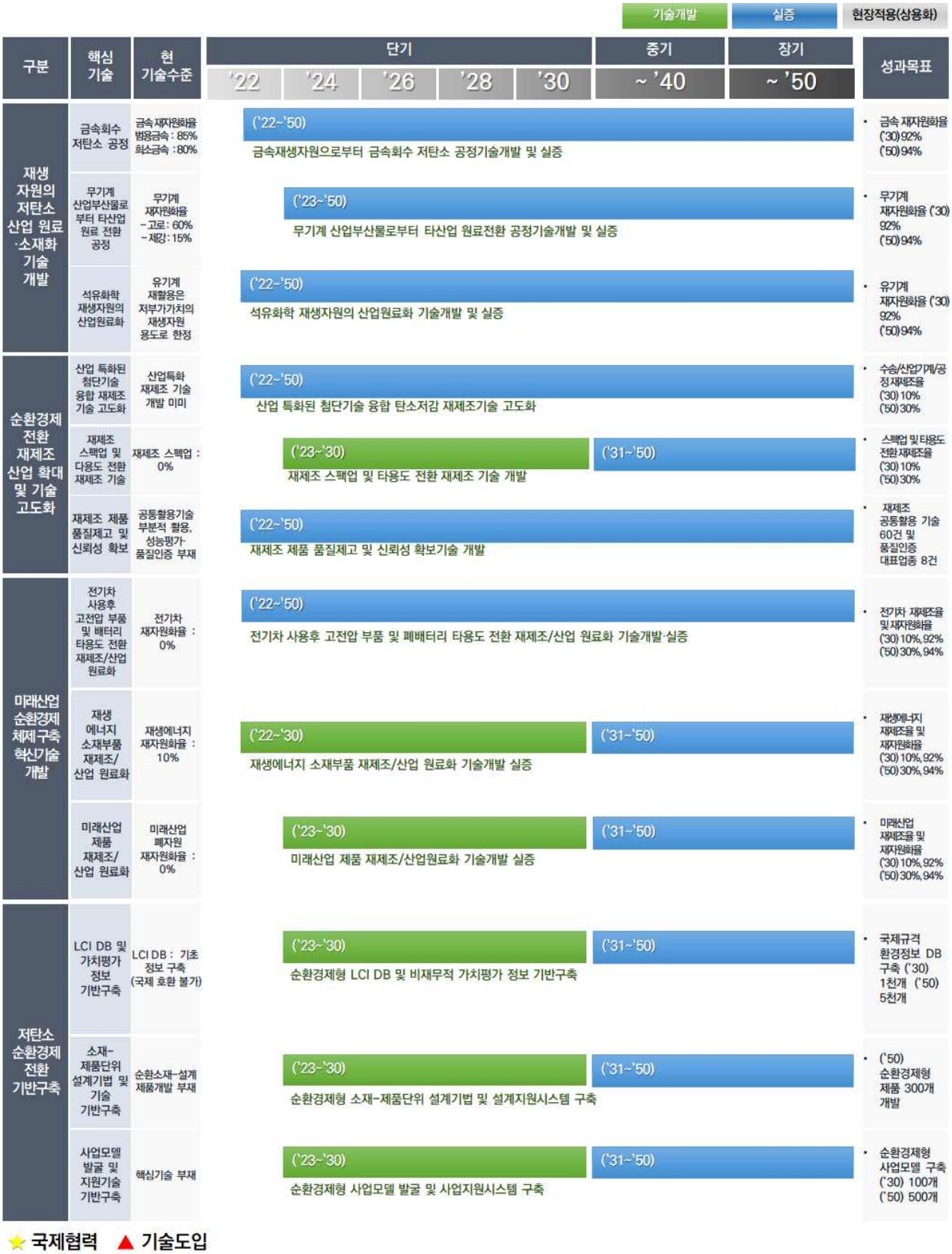
⓮ 친환경 자동차 로드맵



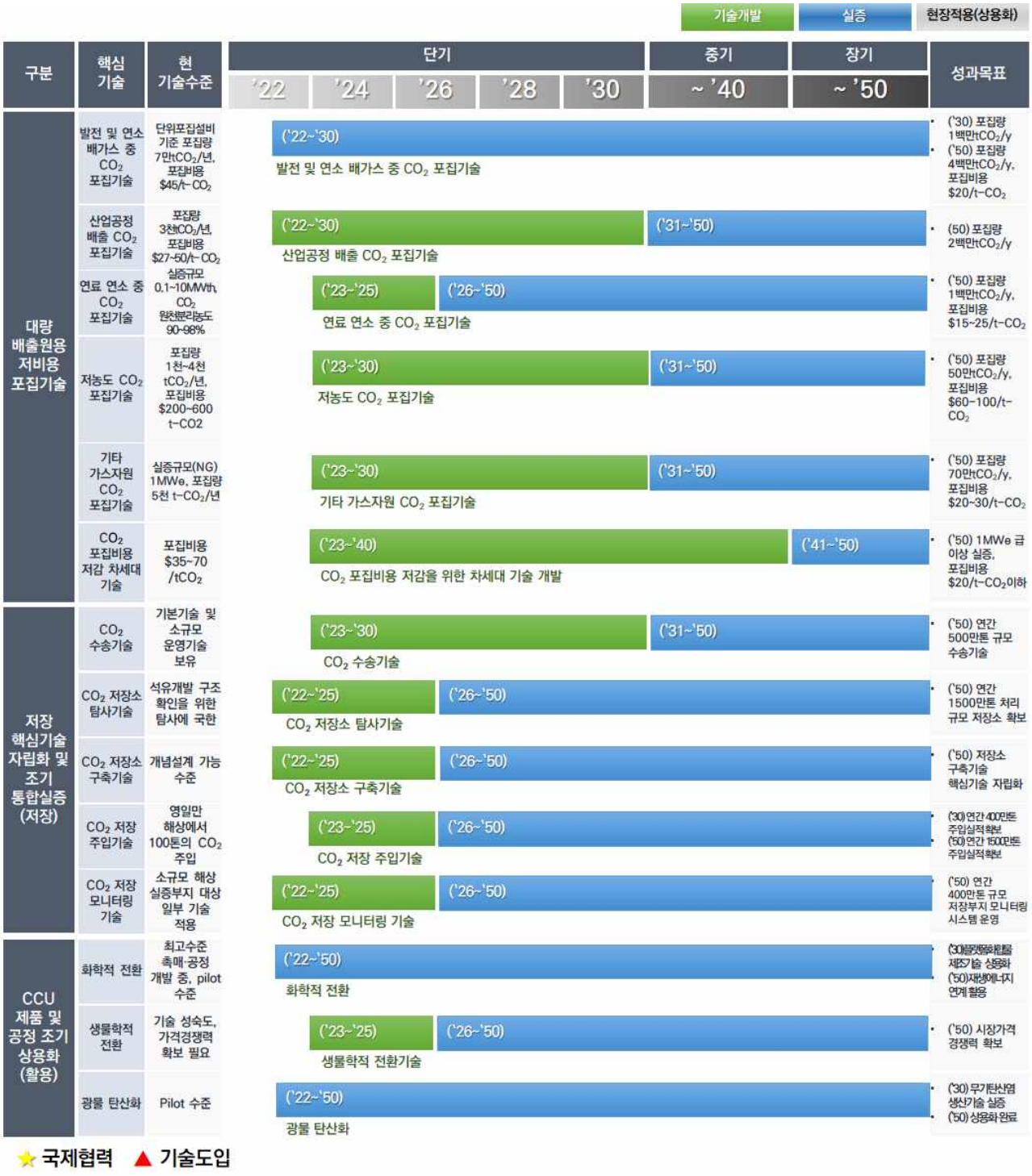
⓯ 친환경 선박 로드맵



⑯ 자원순환 로드맵


기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심 기술
현 기술수준
단기
중기
장기
'22
'24
'26
'28
'30
~ '40
~ '50
성과목표
재생 자원의 저탄소 산업 원료·소재화 기술 개발
금속회수 저탄소 공정
금속 재자원화율 범용금속 : 85% 희소금속 :80%
('22~'50)
금속재생자원으로부터 금속회수 저탄소 공정기술개발 및 실증
• 금속 재자원화율 ('30) 92% ('50) 94%
무기계 산업부산물로부터 타산업 원료 전환 공정
무기계 재자원화율 - 고로 : 60% - 제강 : 15%
('23~'50)
무기계 산업부산물로부터 타산업 원료전환 공정기술개발 및 실증
• 무기계 재자원화율 ('30) 92% ('50) 94%
석유화학 재생자원의 산업원료화
유기계 재활용은 저부가가치의 재생자원 용도로 한정
('22~'50)
석유화학 재생자원의 산업원료화 기술개발 및 실증
• 유기계 재자원화율 ('30) 92% ('50) 94%
순환경제 전환 재제조 산업 확대 및 기술 고도화
산업 특화된 첨단기술 융합 재제조 기술 고도화
산업특화 재제조 기술 개발 미미
('22~'50)
산업 특화된 첨단기술 융합 탄소저감 재제조기술 고도화
• 수송/산업기계/공정 재제조율 ('30) 10% ('50) 30%
재제조 스팩업 및 다용도 전환 재제조 기술
재제조 스팩업 : 0%
('23~'30)
('31~'50)
재제조 스팩업 및 타용도 전환 재제조 기술 개발
• 스팩업 및 타용도 전환 재제조율 ('30) 10% ('50) 30%
재제조 제품 품질제고 및 신뢰성 확보
공통활용기술 부분적 활용, 성능평가·품질인증 부재
('22~'50)
재제조 제품 품질제고 및 신뢰성 확보기술 개발
• 재제조 공통활용 기술 60건 및 품질인증 대표업종 8건
미래산업 순환경제 체제구축 핵심기술 개발
전기차 사용후 고전압 부품 및 배터리 타용도 전환 재제조/산업 원료화
전기차 재자원화율 : 0%
('22~'50)
전기차 사용후 고전압 부품 및 폐배터리 타용도 전환 재제조/산업 원료화 기술개발·실증
• 전기차 재제조율 및 재자원화율 ('30) 10%, 92% ('50) 30%, 94%
재생 에너지 소재부품 재제조/ 산업 원료화
재생에너지 재자원화율 : 10%
('22~'30)
('31~'50)
재생에너지 소재부품 재제조/산업 원료화 기술개발 실증
• 재생에너지 재제조율 및 재자원화율 ('30) 10%, 92% ('50) 30%, 94%
미래산업 제품 재제조/ 산업 원료화
미래산업 폐자원 재자원화율 : 0%
('23~'30)
('31~'50)
미래산업 제품 재제조/산업원료화 기술개발 실증
• 미래산업 재제조율 및 재자원화율 ('30) 10%, 92% ('50) 30%, 94%
저탄소 순환경제 전환 기반구축
LCI DB 및 가치평가 정보 기반구축
LCI DB : 기초 정보 구축 (국제 호환 불가)
('23~'30)
('31~'50)
순환경제형 LCI DB 및 비재무적 가치평가 정보 기반구축
• 국제규격 환경정보 DB 구축 ('30) 1천개 ('50) 5천개
소재-제품단위 설계기법 및 기술 기반구축
순환소재-설계 제품개발 부재
('23~'30)
('31~'50)
순환경제형 소재-제품단위 설계기법 및 설계지원시스템 구축
• ('50) 순환경제형 제품 300개 개발
사업모델 발굴 및 지원기술 기반구축
핵심기술 부재
('23~'30)
('31~'50)
순환경제형 사업모델 발굴 및 사업지원시스템 구축
• 순환경제형 사업모델 구축 ('30) 100개 ('50) 500개
★ 국제협력 ▲ 기술도입

⓱ CCUS 로드맵


기술개발
실증
현장적용(상용화)
구분
핵심 기술
현 기술수준
단기
중기
장기
'22
'24
'26
'28
'30
~ '40
~ '50
성과목표
대량 배출원용 저비용 포집기술
발전 및 연소 배가스 중 CO_2 포집기술
단위포집설비 기준 포집량 7만tCO_2/년, 포집비용 $45/t-$CO_2$
('22~'30)
발전 및 연소 배가스 중 CO_2 포집기술
('30) 포집량 1백만tCO_2/y
('50) 포집량 4백만tCO_2/y, 포집비용 $20/t-$CO_2$
산업공정 배출 CO_2 포집기술
포집량 3천CO_2/년, 포집비용 $27~50/t-$CO_2$
('22~'30)
('31~'50)
산업공정 배출 CO_2 포집기술
('50) 포집량 2백만tCO_2/y
연료 연소 중 CO_2 포집기술
실증규모 0.1~10MWth, CO_2 완전분리농도 90~98%
('23~'25)
('26~'50)
연료 연소 중 CO_2 포집기술
('50) 포집량 1백만tCO_2/y, 포집비용 $15~25/t-$CO_2$
저농도 CO_2 포집기술
포집량 1천~4천 tCO_2/년, 포집비용 $200~600 t-CO2
('23~'30)
('31~'50)
저농도 CO_2 포집기술
('50) 포집량 50만tCO_2/y, 포집비용 $60~100/t-$CO_2$
기타 가스자원 CO_2 포집기술
실증규모(NG) 1MWe, 포집량 5천 t-CO_2/년
('23~'30)
('31~'50)
기타 가스자원 CO_2 포집기술
('50) 포집량 70만tCO_2/y, 포집비용 $20~30/t-$CO_2$
CO_2 포집비용 저감 차세대 기술
포집비용 $35~70 /t$CO_2$
('23~'40)
('41~'50)
CO_2 포집비용 저감을 위한 차세대 기술 개발
('50) 1MWe 급 이상 실증, 포집비용 $20/t-$CO_2$이하
저장 핵심기술 자립화 및 조기 통합실증 (저장)
CO_2 수송기술
기본기술 및 소규모 운영기술 보유
('23~'30)
('31~'50)
CO_2 수송기술
('50) 연간 500만톤 규모 수송기술
CO_2 저장소 탐사기술
석유개발 구조 확인을 위한 탐사에 국한
('22~'25)
('26~'50)
CO_2 저장소 탐사기술
('50) 연간 1500만톤 처리 규모 저장소 확보
CO_2 저장소 구축기술
개념설계 가능 수준
('22~'25)
('26~'50)
CO_2 저장소 구축기술
('50) 저장소 구축기술 핵심기술 자립화
CO_2 저장 주입기술
영일만 해상에서 100톤의 CO_2 주입
('23~'25)
('26~'50)
CO_2 저장 주입기술
('30) 연간 400만톤 주입실적확보
('50) 연간 1500만톤 주입실적확보
CO_2 저장 모니터링 기술
소규모 해상 실증부지 대상 일부 기술 적용
('22~'25)
('26~'50)
CO_2 저장 모니터링 기술
('50) 연간 400만톤 규모 저장부지 모니터링 시스템 운영
CCU 제품 및 공정 조기 상용화 (활용)
화학적 전환
최고수준 촉매·공정 개발 중, pilot 수준
('22~'50)
화학적 전환
('30) [illegible] 제품기술 상용화
('50) 재생에너지 연계 활용
생물학적 전환
기술 성숙도, 가격경쟁력 확보 필요
('23~'25)
('26~'50)
생물학적 전환기술
('50) 시장가격 경쟁력 확보
광물 탄산화
Pilot 수준
('22~'50)
광물 탄산화
('30) 무기탄산염 생산기술 실증
('50) 상용화 완료
★ 국제협력 ▲ 기술도입