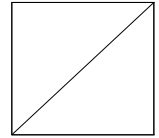


공개



의안번호	제 2 호	보 고 사 항
보 고 연 월 일	2026. 4. 27. (제 6 회)	

탄소중립 10대 유망기술 지원·확산 전략

국가과학기술자문회의
심의회

제 출 자	과학기술정보통신부 장관 배경훈 산업통상부 장관 김정관 기후에너지환경부 장관 김성환	국 토 교 통 부 장 관 김윤덕 해 양 수 산 부 장 관 황중우
제출 연월일	2026. 4. 27.	

1. 보고 주문

- 「탄소중립 10대 유망기술 지원·확산 전략」을 다음과 같이 보고함.

2. 제안 이유

- 2035 NDC* 이행 및 에너지 안보 위기 대응**을 위해 현 정부에서 지원할 탄소중립 10대 유망기술을 선정하여 R&D 투자, 법, 제도 등 기술별 여건에 부합하는 지원 및 성과 확산 방안을 마련하고자 함.
 - 특히, 에너지 자립은 에너지 안보의 핵심 축이며 탄소중립 달성은 에너지 자립 역량을 제고하고 국가 안보에 직접적으로 기여
- * Nationally Determined Contribution, 2018년 대비 2035년 온실가스 53~61% 감축('25.11.)
- ** 에너지 안보의 핵심 축인 에너지 자립을 위해 탄소중립 기술혁신을 통한 에너지 다변화 추진
- 제10회 탄소중립기술특별위원회('26.4.2.)에서 의결된 안건으로, 「국가과학기술자문회의 운영세칙」 제15조 제1항에 근거하여 보고

3. 주요 내용

- 이하 요약 자료로 같음함

4. 참고 사항 및 향후 일정

- 2050탄소중립녹색성장위원회*(과학기술·인재 전문위원회) 검토('25.12.)
 - * 現 국가기후위기대응위원회로 개편('26.1.1.)
- 관계부처 협의('25.12.)
- 2035 NDC와의 연계성 검토(~'26.3.)
- 탄소중립기술특별위원회 심의('26.3.31.~4.2.)
- '국가전략기술 체계 고도화 방향(안)' 및 에너지 안보 관련 연계성 검토(~'26.4.)
- '27년 R&D 예산 배분·조정시 반영 및 범부처 사업기획 시 활용('26.5.~)

탄소중립 10대 유망기술 지원 · 확산 전략 (요약)

I. 추진 배경

- **(탄소중립 이행)** 탄소중립 이행이 어려운 국내 여건과 2035 NDC*의 도전적인 목표 달성을 위한 기술혁신의 중요성이 부각
 - * Nationally Determined Contribution, 2018년 대비 2035년 온실가스 53~61% 감축('25.11.)
 - 화석연료 의존도와 에너지 다소비 기업 비중이 높아 발전부문 전환은 물론 산업, 수송 등 전 분야에서 전기화 등의 혁신이 필요
 - ※ 재생에너지 중심 에너지 체계 전환 추진(국민주권정부 에너지 대전환 추진계획, '26.4.)
 - AI 전환 및 데이터센터의 에너지 수요 폭증에 따른 에너지 저장 및 효율적 전력공급을 위한 혁신기술 확보 필요
- **(에너지 자립)** 최근 호르무즈 해협 봉쇄로 촉발된 화석연료 수급 위기는 에너지 안보의 취약성을 드러내며, 탄소중립 기술의 중요성을 부각
 - 에너지 자립은 에너지 안보의 핵심 축이며 탄소중립 달성은 에너지 자립 역량을 제고하고 국가 안보에 직접적으로 기여*
 - * Protecting Korea's National Security with Renewable Energy ('26.1., COUNCIL on STRATEGIC RISKS)

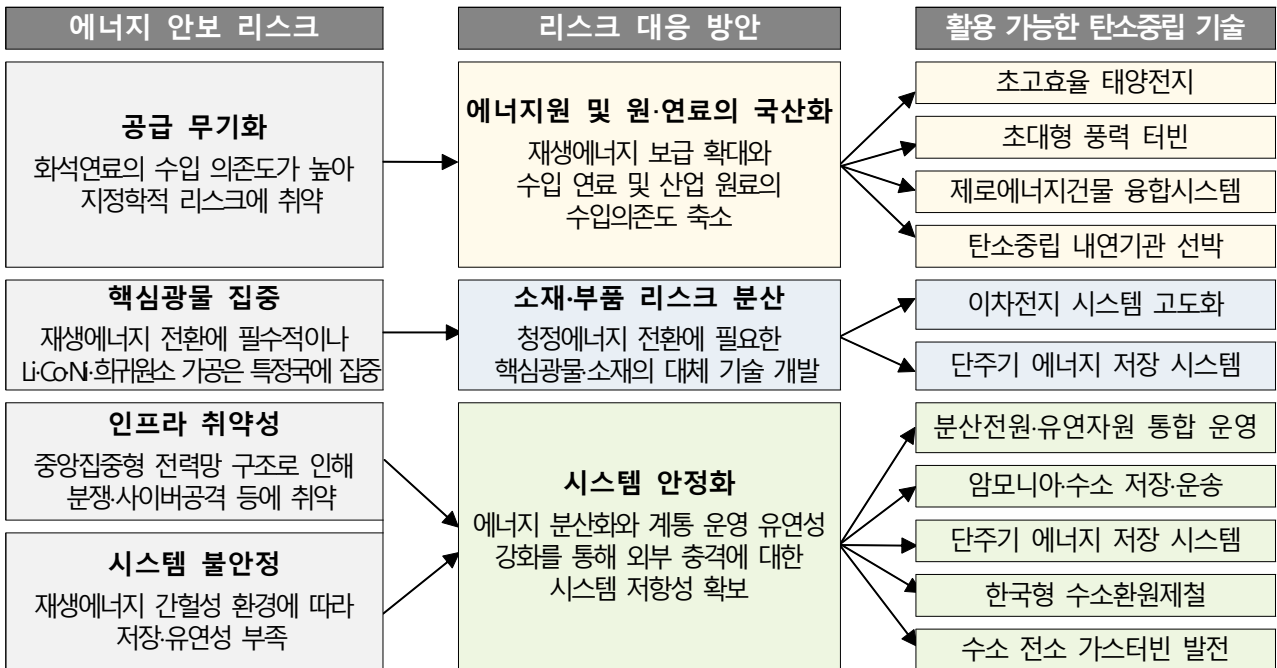
II. 국내외 동향

- **(국내 정책)** 2035 NDC* 설정 및 온실가스 감축 목표 이행 노력을 통해 경제성장의 기회로 활용하기 위한 범부처 'K-GX 전략'을 수립중(~'26.6.)
 - * Nationally Determined Contribution, 2018년 대비 2035년 온실가스 53~61% 감축('25.11.)
 - ** K-GX(Green Transformation, 녹색전환) 전략 수립을 위한 민관합동 K-GX 추진단 출범('26.1.28.)
 - 'K-GX 전략'을 통해 2035 NDC 이행 및 산업·경제 분야 녹색전환을 동시에 실현하는 녹색경제로의 대전환을 추진
- **(에너지 안보)** 중동 전쟁으로 인해 발생한 자원안보 위기*는 지정학적 리스크에 대한 우려 현실화 및 에너지 안보 제고 방안 마련 촉구
 - '24년 기준 우리나라의 원유 중동 의존도는 71.5%로 다변화를 노력* 하고 있으나 지정학적 갈등과 같은 공급망 리스크에 취약
 - * 세계 석유가스 교역 변화와 한국의 공급망 리스크 분석('25.12., 에너지경제연구원)

- 에너지 안보 리스크 대응을 위해서는 에너지원 및 원료의 국산화, 소재·부품 등 공급망 리스크 분산, 시스템 안정화 등이 선결 과제
- 이에, 정부는 '에너지 대전환 추진계획*'을 발표하고 국내 생산 에너지 확대를 통해 에너지 수입 의존도를 획기적으로 낮출 수 있는 재생에너지 중심의 전기화를 통한 에너지 체계 전면 혁신을 추진

* 국민주권정부 에너지 대전환 추진계획('26.4.6. 국무회의)

< 에너지 안보 리스크 대응과 탄소중립 기술의 관계 >



Ⅲ. 유망기술 선정

- (선정 기준) 국가 탄소 감축을 위한 핵심기술의 파급효과와 향후 보급 가능성이 높은 10개 유망기술을 선정
 - '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'을 토대로 분야내 핵심기술에 대한 우선순위* 도출하고 분야간 비교 및 국내외 이슈 논의 등 종합적으로 고려**

< * 전문가 설문 지표 >

- ◆ (기술혁신성) 기술이 탄소중립 분야에서 새롭고 심층적 혁신을 유발
- ◆ (확산가능성) 기술 개발 후 확산(보급) 가능성

** 2035 NDC 주요 감축수단, 탄소중립 R&D 현황 및 에너지 안보 등 정책적 상황 고려

- 미래에너지, 차세대 전지, 지능형 전력망 등 국가전략기술 분야*를 중심으로 핵심기술 연계 강화

* 국가전략기술 체계 고도화 방향(안) : NEXT 국가전략기술 분야 개편('26.4.)

IV. 10대 유망기술 선정 및 추진 목표

목표

기술혁신을 통한 2035 NDC 및 2050 탄소중립 실현

기본
방향

- ◆ 탄소중립 핵심기술 개발 가속화
 - ▶ ‘국가전략기술 체계 고도화 방향(안)’(‘26.4.15.’)과 전략기술 중심 유망기술 연계 강화
- ◆ 에너지 자립 역량 강화
 - ▶ ‘국민주권정부 에너지 대전환 추진계획’(‘26.4.6.’)과 연계된 확산 방안 마련

① 10대 유망기술 선정

부문	분야	10대 유망기술
에너지 전환	태양광	① 초고효율 태양전지
	풍력	② 초대형 풍력 터빈
	수소 공급	③ 암모니아·수소 대용량 저장·운송
	무탄소 전력공급	④ 수소 전소 가스터빈 발전
	전력저장	⑤ 단주기 에너지 저장 시스템
	전력망	⑥ 분산전원 및 유연자원 통합 운영
산업	철강	⑦ 한국형 수소환원제철
	친환경 자동차	⑧ 이차전지 시스템 고도화
수송	친환경 선박	⑨ 탄소중립 내연기관
	제로에너지건물	⑩ 건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템
건물	제로에너지건물	⑩ 건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템

추진
방안

② 탄소중립 유망기술 기술개발 방향 제시

탄소중립 기술혁신 전략 로드맵과 연계하여 기술개발 목표 달성을 이행

③ 성과 활용 및 현장 확산을 위한 관련 제도 및 정책 지원 뒷받침

투자기반 조성, 규제샌드박스 적용, 공급망 안정화, 제도 정비 등 뒷받침

V. 추진방향

- **(10대 유망기술)** 탄소 감축을 위한 10개 유망기술별 국내외 동향·주요 이슈 분석, 문제점 및 추진방향 등을 도출하여 기술개발 지원 방안 마련
 - 미래에너지, 차세대 전지, 지능형 전력망 등 핵심기술을 국가전략기술 체계 고도화 방향(안)*과 연계하여 기술 경쟁력 확보
 - * 제6회 국가과학기술자문회의 심의회의(‘26.4.27.) 안건 상정
 - 재생에너지 전환, 산업공정 및 원·연료의 청정화, 수송·건물의 전기화 등 에너지 대전환 추진계획*과 연계하여 에너지 자립 역량 강화
 - * 국민주권정부 에너지 대전환 추진계획(‘26.4.6.) : 재생에너지 중심 전력 공급체계 전환 및 모든 영역의 전기화·탈탄소화 추진

< 2035 NDC 달성을 위한 부문별 온실가스 감축 목표(‘18년 대비) >

구분		전력	산업	건물	수송	냉매	농축수산	폐기물	탈루	수소
배출부문	감축률 (%)	△68.8% ~ △75.3%	△24.3% ~ △31.0%	△53.6% ~ △56.2%	△60.2% ~ △62.8%	+18.6% ~ +10.4%	△27.5% ~ △29.3%	△52.6% ~ △53.6%	△29.7% ~ △35.1%	0
	감축량 (백만톤 CO2eq)	△194.7 ~ △213.0	△67.2 ~ △85.7	△27.9 ~ △29.3	△59.5 ~ △62.0	+4.3 ~ +2.4	△7.6 ~ △8.1	△10.2 ~ △10.4	△1.1 ~ △1.3	+8.1 ~ +6.5
탄소중립 10대 유망기술분야		태양광, 풍력, 무탄소 전력공급, 전력저장, 전력망	철강	제로에너지 건물	친환경 자동차, 탄소중립 선박	-	-	-	-	수소공급

- **(기술개발 방향)** 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵*의 핵심기술별 기술개발 목표를 제시하고 목표 달성을 이행
 - * 2050 탄소중립 달성을 목표로 중장기 탄소중립 17대 분야 기술개발 목표 및 전략 제시
- **(제도 및 정책)** 유망기술 활용 및 성과 확산을 위한 기술별 관련 제도 및 정책 등 지원방안 마련
 - 기술별 여건에 부합하는 세부적인 이행방안 마련을 통해 탄소중립 R&D부터 사업화까지 전주기 지원체계 구축


2035 NDC 이행 및 에너지 자립 등 탄소중립 달성을 위해
탄소중립 R&D 계획의 실현 및 기술개발 성과 확산 필요

VI. 지원 · 확산 전략

핵심기술에 대한 최신 현황을 반영하고 동향 및 주요 이슈 분석에 따른
 ①R&D 추진, ②관련 제도, 정책 지원 등 지원·확산을 위한 지원방안 마련

① 태양광(초고효율 태양전지)

[과기부, 기후부]

기술유형	신격차, 단기형(~'30)	
개발목표	탠덤 태양전지 셀 변환효율 30%(현재) → 35% 이상('30)	
기술개념	단일접합 실리콘 태양전지의 이론 한계효율(30%) 극복을 위해 서로 다른 밴드갭 에너지를 가진 2개 이상의 태양전지 소재를 적층하여 태양광 이용률을 극대화하는 한계돌파형의 다중 접합 태양전지	

- (R&D) 핵심기술, 공급망 확보*, 인프라 구축**을 위한 R&D 추진
- (제도개선) 이격거리 완화, 탠덤 모듈 제품의 탄소검증제*** 편입을 통한 정부사업 경쟁입찰 가점부여 등 보급 확대를 위한 제도 개선


* 핵심소재·생산장비 국산화, 기술 유상성이 높은 첨단 반도체·디스플레이 산업과의 연대와 협력을 통한 공급망 업그레이드

** 탠덤 태양전지 성능 및 신뢰성 시험 기술의 국산화 및 표준체계 마련 등

*** 태양광 제품의 생산·운송·설치 전 과정의 탄소배출량 평가를 통해 저탄소 제품의 시장 경쟁력을 강화

② 풍력(초대형 풍력 터빈)

[기후부]

기술유형	감격차, 증장기형(~'50)	
개발목표	8MW급(현재) → 15MW급('30), 20MW급 시스템 개발('50)	
기술개념	해상풍력 발전의 경제성 제고(LCOE*저감)를 위한 15~20MW급 이상 초대형 풍력 발전 시스템의 블레이드, 드라이브트레인 등의 핵심 부품 및 시스템 * (균등화 발전비용, Levelized Cost of Electricity, LCOE) 발전기가 생산한 전력의 단위당 단가	

- (R&D) 터빈 경쟁력, 국산화율 향상, LCOE 저감을 위한 R&D 추진
- (수용성 제고) 해상풍력 확대를 통한 에너지전환과 이에 따른 환경 영향에 대한 사회적 합의* 필요

* 어업·항행·군사 등 관련 이용자 간 수용성과 함께 전력계통·시장 수용성 등 다양한 부문별 이해관계자의 수용성 제고

③ 수소공급(암모니아·수소 대용량 저장·운송)

[과기부]

기술유형	신격차, 단기형(~'30)	
개발목표	20Nm ³ /h급(현재) → 20,000Nm ³ /h급 수소추출 시스템 상용화('30)	
기술개념	대용량의 청정수소를 암모니아 형태로 저장·유통 후 수소를 추출하는 암모니아 기반 고효율 수소 추출 플랜트 기술	

○ (R&D) 고효율 수소 추출을 위한 저에너지 암모니아 분해 공정 개발 및 청정수소 활용 연계 실증 확대

○ (지원제도) 설비 구축 및 청정수소 생산을 위한 지원 제도* 마련

* 암모니아의 높은 가격을 고려시 기술사업화 촉진을 위해 청정수소 비용 보조 또는 우선 구매 등 지원제도 필요 (예 : 해외 청정 암모니아 공급 가격 \$700~900/톤 수준('25.3/4분기) <imarc, 2025>)

④ 무탄소 전력공급(수소 전소 가스터빈 발전)

[과기부, 기후부]

기술유형	감격차, 중장기형(~'50)	
개발목표	터빈 개발 중(현재) → 발전효율 67%(35), 발전효율 70% 이상 달성('50)	
기술개념	기존 LNG 연료를 대체하여 수소만을 연료로 사용하여 전기를 생산하는 가스터빈 또는 복합발전을 구성하는 기술로 탄소 배출을 하지 않는 신전원으로 재생에너지와의 연계를 통해 계통 안정성을 보장하고 부하 변동성 대응을 위한 급속기동 및 광범위 유연 운전이 가능한 시스템	

○ (R&D) 소재 개발*, 실증 확대를 위한 R&D 추진

○ (규제샌드박스) 실증 및 상용화 촉진을 위한 규제 샌드박스** 적용

○ (법령 개정) 법적·제도적 기반*** 및 안전 기준**** 마련

* 내열·내수소성 합금 개발, 연소기 및 블레이드 소재 국산화


** 수소 터빈 발전설비 '산업융합촉진법' 상 실증 특례 지정(규제로 인해 실증 불가)

*** 현행 전기사업법상 '수소 전소 발전소'의 법적 지위 명확화 필요(발전사업 허가 기준 불명확, 안전 및 기술 기준 부재)

**** 수소 터빈 적용 '고온·고압 수소연소 설비 안전 기준' 제정 필요(폭발·누출·열화 등 안전 리스크가 큼)

⑤ 전력저장(단주기 에너지 저장 시스템)

[기후부]

기술유형	초격차, 단기형(~'30)	
개발목표	리튬이온전지 220W/L급(현재) → 300W/L급('30), \$300/kWh 비리튬계 이차전지('30)	
기술개념	비교적 짧은 시간(4시간 이하)의 충·방전하는 방식의 에너지 저장을 통해 재생에너지의 간헐적·불규칙한 출력에 의한 전력망 안전성 저하를 방지하는 에너지저장시스템	

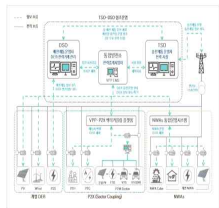
- (R&D) 안전성*, 장수명, 최적화, 극한 환경 대응* 등 차세대 전지 적용 및 신뢰성 확보를 위한 기술개발 추진
- (안전관리 체계**) ESS의 안전관리 제도 개선 및 인프라 구축을 통한 체계 강화가 필요하며, 안전성 평가 및 인증 체계를 마련 추진

* LIB(리튬이온배터리) 열폭주 위험, 다중 서비스 운영에 따른 배터리 열화, 극한환경(극고온, 극저온, 지진)에서의 안정성

** 전기설비기술기준 개정, ESS 설치운영 기준 명문화, 국가표준(KS) 및 국제표준 연계, 시험평가 인프라 확충

⑥ 전력망(분산전원 및 유연자원 통합 운영)

[기후부]

기술유형	신격차, 단기형(~'30)	
개발목표	분산·유연자원 통합운영 핵심 기술개발(현재) → 단위용량 10MW 실증('30)	
기술개념	재생에너지원과 전력 수요의 변동성을 전력계통 내 가용 자원 제어를 통해 보상하는 운영기술로서, 재생에너지 출력변동과 수요의 계절·시간적 변화에 따라 실시간 상황을 예측하고, 수요-공급 매칭과 전력계통 안정성 확보를 위한 유연자원 통합 운영 기술	

- (R&D) AI 기반 운영 기술 및 안정화 기술의 실증 추진
- (정부 지원) 정부 주도의 선제적 지원**을 통해 기술 자립화 및 시장 진출을 위한 트랙 레코드 확보*** 추진

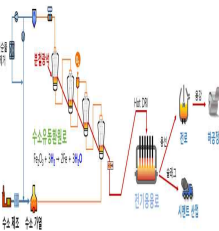
* 분산전원 : 작은 단위의 전력 생산원(예, 민간 소유 태양광, 풍력, BESS(배터리 저장장치) 등)
유연자원 : 전력 생산·저장·소비 등을 유연하게 수행할 수 있는 자원(예, EV(전기차), ESS(에너지저장장치) 등)

** AI 기반 운영 소프트웨어 및 대용량 NWAs 설비 개발은 대규모 투자 필요 및 시장이 한정적

*** 대규모 실계통 적용 경험 부족 및 현장 수용성 확보에 한계 → 실증사업을 통해 다양한 운영 환경에서의 성능·안정성 검증, 계통 운영 데이터 축적 등 트랙 레코드를 체계적으로 확보할 필요

⑦ 철강(한국형 수소환원제철)

[산업부]

기술유형	초격차, 중장기형(~'50)	
개발목표	기초 설계(현재) → 실증(30만톤)('26~'30) → 스케일업(250만톤)('31~'35) → 고로를 수소환원제철 공정으로 단계적 전환('36~'50)	
기술개념	철을 제조하기 위해 철광석 환원제로 사용되는 석탄을 수소로 대체하여 탄소 대신 수증기를 배출하는 기술로, 수소 유동환원으로 공정과 전기용융로 공정을 결합해 철광석 → 환원철(DRI) → 용선을 생산하는 친환경 제철 시스템	


- (R&D) 실증사업('26~'30) 지원, 소재 및 장비 국산화 등 추진
- (에너지 공급) 경제성 있는 청정수소 및 안정적 전력 수급을 위한 수소·전력 인프라* 확충 및 인센티브 부여 방안 마련
- (규제샌드박스) 업계 요청시 실증-상용설비 한시적 규제 특례** 확대

* 수소환원제철은 수소와 외부전력 활용 필요

** 기존 제철 공정 기준과의 불일치, 대규모 실증 필요성, 복합 인프라 요구, 투자 리스크 등
→ 환경입지 규제의 유연 적용, 설비 인허가 절차 간소화, 기존 법령 적용의 유예 또는 탄력 적용 등

⑧ 친환경 자동차(이차전지 시스템 고도화)

[산업부]

기술유형	초격차, 단기형(~'30)	
개발목표	차세대 이차전지 시스템 핵심 기술 개발(현재) → 상용화('30)	
기술개념	전기차용 이차전지 시스템의 소형·경량화, 상태 관리 및 운용 고도화 관련 기술	

- (R&D) 전기차 내 배터리 핵심기술 고도화, 안전성* 확보 등 추진
- (공급망 안정화) 특정 국가에 편중된 소재·부품 의존도 탈피
- (생태계 확장) 주요국 정책 및 시장 변동성 리스크에 대응하기 위한 R&D 성과확산** 및 규제 혁신*** 등 국내 산업 생태계 확장 추진

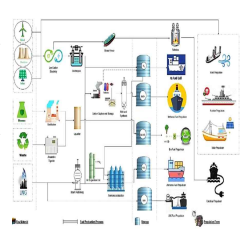
* 배터리 고집적화에 따른 구조 강성 및 화재(열전이, 열폭주) 안전성 확보 → 배터리 상태 실시간 진단 및 화재 발생 조기진단 기술 개발

** R&D 성과의 기술사업화를 통해 핵심부품 생산기업 육성

*** 안전 기준 및 평가 규격을 글로벌 표준에 맞춰 선제적으로 개선

⑨ 탄소중립 선박(탄소중립 내연기관)

[산업부, 해수부]

기술유형	감격차, 단기형(~'30)	
개발목표	MM급 연안선박 추진 및 국제항해 발전용 수소엔진 기술 개발(현재) → MM급 수소엔진 개발('30)	
기술개념	선박 추진 동력 또는 선박내 장비들에 전기를 공급하면서 온실가스 배출을 최소화하거나 제거하기 위해, 무탄소 연료(수소, 암모니아)와 탄소중립 연료(e-연료, 바이오연료)를 사용하는 내연기관 시스템	

- (R&D) 중소형 및 대형 선박 밸류체인 전반을 고려한 시장 확대* 및 산업생태계 개선을 위한 기술 및 제품 개발
- (주민 수용성) 탄소중립 연료의 사용 확대에 따라 항구 인프라(저장 또는 연료공급 설비) 안전 확보와 주민 수용성** 향상 필요

* 척수가 많은 중소형 선박에 대한 탄소중립 연료 엔진 적용으로 기자재 산업 시장 확대, 대형 선박의 엔진 제조 기술을 기반으로 탄소중립 엔진의 공급망 주도

** 인근 주거·상업 지역과의 위치·입지 선정, 충전·연료 공급 설비에 대한 안전·환경 관리 등 고려

⑩ 제로에너지건물(건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템)

[국토부]

기술유형	감격차, 중장기형(~'50)	
개발목표	ZEB 5등급(현재) → ZEB 3등급 수준('30), 도시 단위 실증('50)	
기술개념	건물·커뮤니티 단위에서 신재생에너지를 통합 활용하여, 전력과 열에너지(냉난방, 급탕 및 환기)의 자립도와 효율을 극대화하고, 잉여에너지 공유와 분산·수요자원 최적 운영을 통해 제로에너지 건물·커뮤니티를 구현하기 위한 에너지융합시스템 기술	

- (R&D) 운영 및 제어 기술개발과 실증을 통한 상용화 추진
- (주민 수용성 향상) 개발된 기술의 주거용 건물 설치 시 안전(화재, 소음, 진동) 정보를 기준화하여 제공
- (제도) 건물 신재생에너지* 및 에너지융합시스템 적용 및 확대를 위해 관련 제도 정비와 지원 정책** 필요

* 추후 「재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 시행(26.9.18.)에 따라 '신에너지', '재생에너지'로 용어 변경

** ▲에너지 서비스형 모델(Energy-as-a-Service) 도입, ▲에너지시스템의 통합 시스템 단위의 관리 규약 및 안전기준 명확화, ▲복합 에너지 네트워크 배관 및 지중 열저장 설치에 대한 부지규제·인허가 절차 간소화 및 실증단지 특례 적용 등

VII. 향후 추진 계획

- '27년 R&D 예산 배분·조정시 반영 및 범부처 사업기획 시 활용
- 관련 정책*과 연계하여 유망기술 육성 지원('26.4.~)
 - * 국민주권정부 에너지 대전환 추진계획('26.4.6.), 국가전략기술 체계 고도화 방향(안)('26.4.27.)
- 「K-GX 전략」과 연계하여 '탄소중립 기술혁신 종합 로드맵' 마련(~'26.6.)
- 2035 NDC 연계하여 '탄소중립 기술혁신 전략 로드맵' 개정 추진('26.하~)
 - * 2035 NDC, 대내외 환경변화 등을 고려하여 '한국형 탄소중립 100대 핵심기술' 재검토 및 로드맵 내 포함 예정

< 탄소중립 10대 유망기술 선정 >

국가전략기술(10대 분야)

탄소중립 10대 유망기술

2035 NDC



탄소중립 10대 유망기술 지원 · 확산 전략

2026. 4.

관계부처 합동

순 서

I. 추진 배경 및 경과	1
II. 추진 방안	3
III. 유망기술 지원 · 확산 전략	7
[붙임]	
1. 한국형 탄소중립 100대 핵심기술	50
2. 주요 용어	51

I. 추진 배경 및 경과

1 [추진 배경] 탄소중립 달성을 위해 기술개발 및 성과 확산 필요

- (배경) 2035년도 국가 온실가스 감축목표(NDC)* 설정과 함께 중동 전쟁에 따른 에너지 안보 위기 발생
 - * Nationally Determined Contribution, 2018년 대비 2035년 온실가스 53~61% 감축('25.11.)
 - '24년 기준 우리나라의 원유 중동 의존도는 71.5%로 다변화를 노력*하고 있으나 지정학적 갈등과 같은 공급망 리스크에 취약
 - * 세계 석유가스 교역 변화와 한국의 공급망 리스크 분석('25.12., 에너지경제연구원)
 - 에너지 자립은 에너지 안보의 핵심 축이며 탄소중립 달성은 에너지 자립 역량을 제고하고 국가 안보에 직접적으로 기여*
 - * Protecting Korea's National Security with Renewable Energy ('26.1., COUNCIL on STRATEGIC RISKS)
- (탄소중립) 탄소 감축을 통한 국가 탄소중립 달성을 위해서는 탄소중립 R&D 계획의 실현 및 기술개발 성과 확산 필요
 - 우리 여건에 맞는 '한국형 탄소중립 100대 핵심기술'을 선정하여 실효성 있는 탄소중립 이행을 계획('23.5.)
 - 100대 핵심기술을 토대로 탄소 감축을 위한 기술혁신 및 확산 가능성이 높은 유망기술을 선정하고 기술개발 지원 및 성과 확산 전략을 시범적으로 마련

< 참고 : 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정 >



② [국내외 동향] 국가 온실가스 감축 및 에너지 안보 대두

- (국내 정책) 2035 NDC* 설정(25.11.) 및 온실가스 감축 목표 이행 노력을 경제성장의 기회로 활용하기 위한 범부처 'K-GX 전략'을 수립중(~26.6.)
 - * Nationally Determined Contribution, 2018년 대비 2035년 온실가스 53~61% 감축(25.11.)
 - ** K-GX(Green Transformation, 녹색전환) 전략 수립을 위한 민관합동 K-GX 추진단 출범(26.1.28.)
- 'K-GX 전략'을 통해 2035 NDC 이행 및 산업·경제 분야 녹색전환을 동시에 실현하는 녹색경제로의 대전환을 추진
- (에너지 안보) 중동 전쟁으로 인해 발생한 자원안보 위기는 지정학적 리스크에 대한 우려 현실화 및 에너지 안보 제고 방안 마련 촉구
 - 정부는 '에너지 대전환 추진계획*'을 발표하고 국내 생산 에너지 확대를 통해 에너지 수입 의존도를 획기적으로 낮출 수 있는 재생에너지 중심의 전기화를 통한 에너지 체계 전면 혁신을 추진
 - * 국민주권정부 에너지 대전환 추진계획 발표(26.4.6. 국무회의)

② [추진 경과] 유망기술 선정 및 분야별 전문가 전략 수립 추진

- (~25.9, 전문가 설문) 분야별 전문가(총 19명) 설문을 통해 분야내 우선 핵심기술 및 분야간 비교 의견 취합
- (~25.10, 유망기술 선정) 전문가 대면회의를 통해 설문 결과, 탄소 중립 주요 동향 등을 종합적으로 고려하여 유망기술 선정
- (~25.11, 전략수립) 각 유망기술 전문가가 기술개요, 동향 조사 등을 수행하고 기술별 주요 이슈 및 지원·확산 시사점을 마련
- (~26.4, 정책 간 정합성 검토) 2035 NDC, 국가전략기술 체계 고도화 방향(안) 및 에너지 안보 관련 정책 간 정합성 검토

그간 탄소중립 R&D 정책과의 관계

정책	2030 NDC 상향안	탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략	한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정	탄소중립 기술혁신 전략로드맵	2035 NDC
주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪(목표) '18년 대비 '30년까지 온실가스 40% 감축 	<ul style="list-style-type: none"> ▪한국형 탄소중립 100대 핵심기술 초안 발표 	<ul style="list-style-type: none"> ▪국내 여건을 고려하여 필요한 100대 핵심기술 선정 	<ul style="list-style-type: none"> ▪탄소중립 기술 분야별 기술개발 로드맵 수립 	<ul style="list-style-type: none"> ▪(목표) '18년 대비 '35년까지 온실가스 53~61% 감축
발표	탄녹위('21.10.)	탄녹위('22.10.)	탄소특위('23.05.)	탄소특위('22~'24)	탄녹위('25.11.)
10대 유망기술 지원·확산 전략 ('26.4.)			<ul style="list-style-type: none"> ▪그간 수립된 정책을 구체화하여 기술 혁신 및 확산 가능성이 높은 10대 유망기술 선정 및 지원·확산 전략 제시 		

II. 추진 방안

① **(개요)** 국가 탄소 감축을 위한 **유망기술**을 선정하고 성공적인 기술 개발 및 성과 확산을 위한 **지원·확산 전략** 마련

② **(유망기술 선정)** 전문가 설문 및 국내외 이슈에 대해 종합적으로 고려

○ **(전문가 설문)** 분야별 **전문가의 설문**을 통해 분야 내 핵심기술에 대한 우선순위를 도출하고 분야간 비교를 위한 **의견 취합**

- **핵심기술의 파급효과**(기술혁신성)와 **향후 보급 가능성**(확산가능성)을 고려하여 지표를 설정

* 추후 기술의 경제성, 탄소중립 기여 규모, 보급 우선순위 등을 고려하여 로드맵 작성

<전문가 설문 지표>

◆ **(기술혁신성)** 기술이 탄소중립 분야에서 새롭고 심층적 혁신을 유발

◆ **(확산가능성)** 기술 개발 후 확산(보급) 가능성

○ **(유망기술)** 전문가 설문 결과 및 전문가 대면 회의를 통한 국내외 이슈 논의 등을 **종합적으로 고려하여 우선순위가 높은 10개 유망기술 선정**^{<참고>}

- 2035 NDC 주요 감축 수단, 탄소중립 R&D 현황, 에너지 안보 등 정책적 상황 고려

[표] 2035 NDC 달성을 위한 부문별 주요 감축목표('18년 대비)

부문	감축수단	감축목표('18년('24년) 대비)
전력	재생에너지 보급을 확대, 석탄 등 화석연료 발전을 전환	△68.8%(59.6%)~△75.3%(67.9%)
산업	연·원료의 탈탄소화, 공정의 전기화, 저탄소 제품 생산 확대	△24.3%(16.7%)~△31.0%(24.0%)
건물	제로에너지건축과 그린리모델링 확산, 열 공급의 전기화	△53.6(44.5%)~△56.2%(47.7%)
수송	전기·수소차 보급 확대, 내연차 연비개선, 대중교통 활성화	△60.2%(59.7%)~△62.8%(62.3%)

③ **(지원·확산 전략)** 핵심기술에 대한 최신 현황을 반영하고 동향 및 주요 이슈 분석에 따른 **지원·확산**을 위한 전략 마련

○ **(현황)** '한국형 탄소중립 100대 핵심기술' 선정 시점('23.5)을 고려하여 유망기술별 기술 개요, 핵심 요소 등 최신 현황을 반영

○ **(동향 및 주요이슈)** 유망기술의 국내외 동향 및 주요 이슈를 분석하여 유망기술별 문제점, 추진 방향 등을 도출

○ **(지원·확산)** 유망기술 확보 및 성과 확산을 위해 ①R&D 추진, ②관련 제도, 정책 지원 등 지원 및 확산을 위한 지원방안 마련

4 추진 방향

목표 기술혁신을 통한 2035 NDC 및 2050 탄소중립 실현

기본 방향

- ◆ 탄소중립 핵심기술 개발 가속화
 - ▶ ‘국가전략기술 체계 고도화 방향(안)’(26.4.15.)과 전략기술 중심 유망기술 연계 강화
- ◆ 에너지 자립 역량 강화
 - ▶ ‘국민주권정부 에너지 대전환 추진계획’(26.4.6.)과 연계된 확산 방안 마련

① 10대 유망기술 선정

부문	분야	10대 유망기술
에너지 전환	태양광	① 초고효율 태양전지
	풍력	② 초대형 풍력 터빈
	수소 공급	③ 암모니아·수소 대용량 저장·운송
	무탄소 전력공급	④ 수소 전소 가스터빈 발전
	전력저장	⑤ 단주기 에너지 저장 시스템
	전력망	⑥ 분산전원 및 유연자원 통합 운영
산업	철강	⑦ 한국형 수소환원제철
	친환경 자동차	⑧ 이차전지 시스템 고도화
수송	친환경 선박	⑨ 탄소중립 내연기관
	제로에너지건물	⑩ 건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템
건물		

<p>② 탄소중립 유망기술 기술개발 방향 제시</p> <p>탄소중립 기술혁신 전략 로드맵과 연계하여 기술개발 목표 달성을 이행</p>	<p>③ 성과 활용 및 현장 확산을 위한 관련 제도 및 정책 지원 뒷받침</p> <p>투자기반 조성, 규제샌드박스 적용, 공급망 안정화, 제도 정비 등 뒷받침</p>
--	--

- **(10대 유망기술)** 탄소 감축을 위한 10개 유망기술별 국내외 동향·주요 이슈 분석, 문제점 및 추진방향 등을 도출하여 기술개발 지원 방안 마련
 - 미래에너지, 차세대 전지, 지능형 전력망 등 핵심기술을 국가전략기술 체계 고도화 방향(안)*과 연계하여 기술 경쟁력 확보
 - * 제6회 국가과학기술자문회의 심의회의('26.4.27.) 안건 상정
 - 재생에너지 전환, 산업공정 및 원·연료의 청정화, 수송·건물의 전기화 등 에너지 대전환 추진계획*과 연계하여 에너지 자립 역량 강화
 - * 국민주권정부 에너지 대전환 추진계획('26.4.6.) : 재생에너지 중심 전력 공급체계 전환 및 모든 영역의 전기화·탈탄소화 추진

< 2035 NDC 달성을 위한 부문별 온실가스 감축 목표('18년 대비) >

구분		전력	산업	건물	수송	냉매	농축수산	폐기물	탈루	수소
배출부문	감축률 (%)	△68.8%~ △75.3%	△24.3%~ △31.0%	△53.6%~ △56.2%	△60.2%~ △62.8%	+18.6%~ +10.4%	△27.5%~ △29.3%	△52.6%~ △53.6%	△29.7%~ △35.1%	0
	감축량 (백만톤 CO2eq)	△194.7~ △213.0	△67.2~ △85.7	△27.9~ △29.3	△59.5~ △62.0	+4.3~ +2.4	△7.6~ △8.1	△10.2~ △10.4	△1.1~ △1.3	+8.1~ +6.5
탄소중립 10대 유망기술분야		태양광, 풍력, 무탄소 전력공급, 전력자장, 전력망	철강	제로에너지 건물	친환경 자동차, 탄소중립 선박	-	-	-	-	수소공급

- **(기술개발 방향)** 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵*의 핵심기술별 기술개발 목표를 제시하고 목표 달성을 이행
 - * 2050 탄소중립 달성을 목표로 중장기 탄소중립 17대 분야 기술개발 목표 및 전략 제시
- **(제도 및 정책)** 유망기술 활용 및 성과 확산을 위한 기술별 관련 제도 및 정책 등 지원방안 마련
 - 기술별 여건에 부합하는 세부적인 이행방안 마련을 통해 탄소중립 R&D부터 사업화까지 전주기 지원체계 구축

2035 NDC 이행 및 에너지 자립 등 탄소중립 달성을 위해
탄소중립 R&D 계획의 실현 및 기술개발 성과 확산 필요

< 참고 : 탄소중립 10대 유망기술의 정책 간 정합성 >

□ 국가전략기술(10대 분야)

탄소중립 10대 유망기술

□ 2035 NDC



Ⅲ. 유망기술 지원 · 확산 전략

1 태양광 초고효율 태양전지

① 기술 개요

① 기술 개념

기술유형	신격차, 단기형(~'30)	
개발목표	탠덤 태양전지 셀 변환효율 35% 이상('30)	
기술개념	단일접합 실리콘 태양전지의 이론 한계효율(30%) 극복을 위해 서로 다른 밴드갭 에너지를 가진 2개 이상의 태양전지 소재를 적층하여 태양광 이용률을 극대화하는 한계돌파형의 다중 접합 태양전지	

② 유망기술 선정 사유

- (효율적 국토이용) 태양전지 고효율화를 통한 태양광 보급 잠재량을 높이고, 태양광 설치 면적 감소(약 50% 수준)도 기대 가능
- (글로벌 경쟁력) 향후 태양광 시장을 선도하고 안정적인 국산* 모듈 공급 체계 확보 및 에너지 안보 실현에 기여 가능

* 우리나라의 차세대 태양전지 기술은 세계 최고 수준

③ 요소 기술

① 페로브스카이트/실리콘 탠덤 태양전지 및 모듈

- 35% 이상의 효율달성을 위한 페로브스카이트/실리콘 태양전지계의 2중 및 3중 접합 태양전지 기술
- 다중접합용 페로브스카이트 태양전지 고효율과 및 고내구성 기술
- 고효율 결정질 실리콘 태양전지 고효율화 기술, 다중접합용 모듈 및 장비 기술

② 박막 기반 탠덤 태양전지 및 모듈




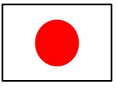
- CIGS, OPV, 페로브스카이트 태양전지 적층을 통한 다중접합 태양전지 고효율화 기술
- 유연 기판을 적용한 유연 다중접합 태양전지 기술
- 양자점 기술을 적용한 차세대 태양전지 기술
- 저가·무독·고내구성 태양전지 소재 기술

② 국내외 동향

① 해외 동향

- (기술선점) 세계 주요국은 초고효율 기술선점을 위한 경쟁이 심화되고 있으며 결정질 실리콘 태양전지는 양산 한계효율 27%에 근접
- (탠덤 태양전지) 대학·연구소 중심으로 소면적(1cm²) 초기효율 극대화 경쟁으로 효율 급상승 중, 장기 안정화 기술 확보 경쟁 심화
- (탠덤 모듈) 주요국에서 탠덤 태양전지 대면적 모듈 개발 확장 연구 중, 기술력 부족으로 인해 기존 태양전지 대비 낮은 초기효율(20%대)
- (정책 지원) 결정질 실리콘 태양전지를 대신하여, 차세대 초고효율 태양전지 기술 선점을 위한 정책 지원 강화

[표] 주요 국가별 차세대 태양전지 지원정책 현황(한국에너지기술평가원)

국가	주요 정책
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ MIIT, 글로벌 공급과잉 억제를 위해 차세대 기술 양상투자에 엄격한 최소 효율과 열화율 요구('24.7월) ▶ 10대 결정질 실리콘 제조사들은 모두 탠덤 태양전지 및 모듈 기술개발
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ OBBBA 법: IRA 법의 태양광 투자세액공제(ITC) 조기 철폐 및 DOE 태양광 R&D 예산 87% 삭감('25.7월) * 미국 First Solar의 CdTe 박막 태양전지와 탠덤 태양전지 연구지원은 유지
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 제조업 르네상스를 위하여 기술선도 연구소 중심으로 차세대 탠덤 태양전지 및 모듈 기술 선점에 집중 * Oxford PV에서 100MW 파일럿라인 운영하며 태양전지 및 모듈 기술개발 선도
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 2030년까지 GW급 및 2040년까지 20GW 플렉서블 페로브스카이트 모듈 중심의 생산용량 확보 목표('24.11월), 現 NEDO 탠덤 태양전지 집중 지원 * 모듈 제조단가 목표 : '25년 0.13\$/W, '30년 0.091\$/W, '40년 0.065\$/W

② 국내 동향

- (산업위기) 결정질 실리콘은 중국에 기술격차 추월당하여 주도권 확보 곤란, 초고효율 탠덤 태양전지는 기술 선점을 위해 경쟁 중
- (탠덤 태양전지) 주요 경쟁국과 동일한 R&D 단계이며, 2020년부터 정부 R&D 지원을 통하여 조기 상용화를 목표로 체계적 지원 중
- (탠덤 모듈) 상업 적용을 위한 대면적·고효율 모듈 시제품 제작 착수 예정('26~)

- ◆ (한화솔루션) 상용면적 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 세계최고 초기효율 기술개발 성공(330cm², 28.6%, '24.12월 → 30.2%, '25.9월)
- ◆ (울산과기원) 페로브스카이트 태양전지 세계최고 초기효율* 25.8% 기록(0.1cm², '22.11월) 및 국내 최고 탠덤 태양전지 초기효율 32.3% 달성(1cm², '25.上)
- ◆ (서울대) 페로브스카이트/CIGS 탠덤 태양전지 세계최고 초기효율 26.3% 기록(0.2cm², '25.5월)

③ 지원 필요성

① 국내 여건

- (설치 제한) 우리나라는 산지가 많고 국토 면적 협소, 계통 수용성 한계, 입지 고갈 등의 문제로 태양전지 설치가 제한적
 - 초고효율 태양전지는 발전소 설치면적 축소 및 부품수(모듈수) 감소 등을 통해 발전단가 저감에 가장 효과적

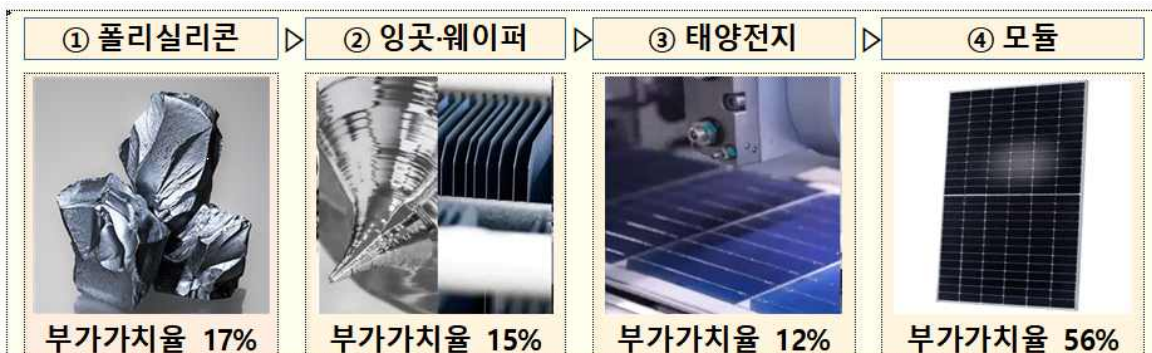
② 기술 현황

- (한계돌파) 국내 생산·공급망 구축과 에너지 안보를 위하여 초고효율 탠덤 등 차세대 태양전지 기술 선점 중요
 - 탠덤 태양전지는 결정질 실리콘 태양전지의 양산 한계효율(27%) 근접(25~26%)에 따라, 한계돌파를 위한 차세대 기술로 대두
 - * 탠덤 태양전지는 44%의 잠재효율
- (산업전환) 국내 태양전지 기술은 기존 p형 중심에서 n형으로 전환 중이며, 탠덤 태양전지는 가장 유망한 차세대 기술
 - 현재 주력 태양전지 기술의 Catch-up 전략보다는 태양광 산업 게임체인저인 탠덤과 같은 차세대 태양전지 중심의 전환 필요

③ 글로벌 불확실성

- (공급망 위기) 태양광의 밸류체인은 특정국의 사실상 독점구조 및 공급과잉 상태

- ◆ (중국의 밸류체인별 점유율(생산량)) 폴리실리콘 93%, 웨이퍼 97%, 태양전지 90%, 모듈 86% (IEA PVPS, 2025)
- ◆ (글로벌 모듈 생산용량, 2024년말 기준) 전체 1,405GW, 중국 1,156GW(약 83%) (IEA PVPS, 2025)



[그림] 결정질 실리콘 태양광 산업 밸류체인(산업통상부, 2024)

4 지원 방안

1 R&D

- (핵심기술) 소재, 공정, 내구성 등 탠덤 태양전지 및 모듈 핵심기술 개발 추진

- ◆ 경쟁국 대비 ①초기효율 상승, ②장기안정성 확보, ③대면적화 기술 개발
- ◆ 상업 제품 출시를 위한 양산 능력 확보
- ◆ 확보된 기술의 현장 적용, 상용화 위한 실증·표준 인프라 구축

- (공급망 확보) 소재·장비 국산화 및 연관 산업과의 융복합 필요

- ◆ 핵심소재, 생산장비 국산화를 통한 국내 밸류체인 구축하여 국내 태양광 산업 생태계 재편 및 경쟁력 강화
- ◆ 기술 유사성이 높은 첨단 반도체·디스플레이 산업과의 연대와 협력을 통한 공급망 업그레이드 및 시너지 창출 추진

- (인프라 구축) 탠덤 태양전지 성능 및 신뢰성 시험 기술의 국산화 및 표준 마련

- ◆ 국내 기관의 효율 측정, 성능평가 기술 확보 및 국제공인 시험 기관과의 교차 측정을 통한 공신력 확보 및 협력체계 구축
- ◆ 공백 영역인 탠덤 모듈 성능·신뢰성 시험법 개발, 표준체계 마련

- (인력 양성) 기업 수요 기반 초고효율 태양전지 전문인력양성 추진

2 사업화 지원

- (기술사업화) 차세대 태양광의 초기 시장 창출, 글로벌 경쟁력 제고를 위해 국내외 표준·인증 체계 구축 지원

- 관련 부처(기후부) 및 기관(에기평, 에공단) 협업의 초고효율 태양전지 초기 시장 창출, 트랙 레코드 확보를 위한 공공주도 시범사업* 추진


* (예) 탠덤 태양광 발전소 보급 지원 사업

- (투자기반 조성) 탠덤·하부셀(TOPCon) 등 차세대 기술의 실증·시범 사업을 지원하여 국내 투자 기반 조성

- (제도개선) 이격거리 완화, 탠덤 모듈 제품의 탄소검증제 편입을 통한 정부사업 경쟁입찰 가점부여 등 보급 확대를 위한 제도 개선

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	감격차, 증장기형(~'50)	
개발목표	15MW급('30), 20MW급 시스템 개발('50)	
기술개념	<p>해상풍력 발전의 경제성 제고(LCOE*저감)를 위한 15~20MW급 이상 초대형 풍력 발전 시스템의 블레이드, 드라이브트레인 등의 핵심 부품 및 시스템</p> <p>* (균등화 발전비용, Levelized Cost of Electricity, LCOE) 발전기가 생산한 전력의 단위당 단가</p>	

2 유망기술 선정 사유

- (해상풍력) 육상풍력의 주민 수용성 문제, 입지 한계, 이용률 한계를 극복하기 위해 해상풍력 필요성 증대
- (규모 경제) 해상풍력은 육상풍력 대비 고비용이나 초대형 풍력터빈을 이용한 GW급 해상풍력단지 개발을 통해 경제성 확보 가능
- (산업 경쟁력) 우리나라는 제조업 및 건설업 등 연관 산업의 경쟁력 우수하여 해상풍력 강국으로 발전 가능성 높음

3 요소 기술

① 블레이드 대형화 및 성능 고도화 기술

- 15MW급(길이>115m), 20MW급(길이>135m) 블레이드 구현을 위한 혁신적인 소재, 설계, 제조, 시험/인증 기술

② 블레이드 리사이클링 기술

- 복합재료 블레이드 주요 원소재인 유리섬유, 탄소섬유, 열경화성수지 환원 및 리사이클러블 수지 소재 개발 및 재활용 기술

③ 드라이브트레인 대형화 및 고효율화 기술

- 직접구동방식 영구자석 발전기를 사용하는 초대형 풍력터빈 드라이브 트레인의 경량화·가동률/신뢰성 향상·모듈화·컴팩트화 기술

④ 초대형 풍력터빈 제어 및 시스템 기술

- 블레이드 하중저감 제어 알고리즘 설계 및 하중평가 기술 고도화를 통한 제어시스템 설계·제조·시험평가 기술

② 국내외 동향

① 해외 동향

- (시스템) LCOE 저감 및 글로벌 시장 선점을 위해 풍력 터빈 용량의 초대형화 및 기술혁신 경쟁이 심화되는 추세

- ◆ (미국) GE는 220m/107m 12MW급 터빈을 상용화 완료하였으며, 동일 플랫폼으로 13~14MW급 터빈 개발 중
- ◆ (독일) SG는 167m/81.4m 8MW급 터빈 공급 중, '24년 상용화 목표로 222m/108m 14MW급 터빈 개발 완료
- ◆ (덴마크) Vestas는 세계 최대 용량인 236m/115.5m 15MW급 터빈 개발 완료하였으며, 차기 터빈 개발 계획은 아직 미발표
- ◆ (중국) Mingyang은 292m 20MW 터빈 개발 중

- (블레이드) 풍력 발전 시스템의 정격 출력 증대를 위해 대형화 (블레이드 길이 증대) 경쟁이 가장 치열한 핵심 부품
- (드라이브트레인) 직접 구동형 영구자석 발전기 및 전력변환기 대형화 · 경량화 · 고효율화가 핵심 기술

- ◆ (미국) GE Renewable Energy는 12MW급 풍력터빈용 직접 구동 방식 드라이브트레인 개발을 완료하였으며, 현재 14MW급 드라이브트레인을 개발 중
- ◆ (독일) Siemens Gamesa는 14MW급 직접 구동 방식 드라이브트레인을 개발 중
- ◆ (덴마크) Vestas사는 15MW급 풍력터빈용 기어방식 드라이브트레인을 개발 중

② 국내 동향

- (시스템) 최근 저풍속형 8MW급 터빈 개발을 완료하고 내수 시장 공급을 위해 노력 중

- ◆ (두산에너지빌리티) 해상풍력용 68m/140m 5.5MW급 터빈을 상용화하여 내수시장에 공급 중, 최근에는 100m/205m 8MW급 터빈 개발을 완료하고 내수 시장에 공급 시도 중이며, 10MW 터빈 개발 중
- ◆ (유니슨) 육상풍력용으로 최대 4.3MW급 터빈을 개발 완료하였으며, 해상풍력용으로 10MW급 터빈을 개발 중

- (블레이드) 대형화를 위한 핵심 요소기술인 소재·제조공정·시험인증 기술에서는 세계적인 경쟁력을 갖추고 있으나, 대형화 경쟁에서 격차 발생
- (드라이브트레인) 두산중공업, 유니슨 등 국내 터빈사는 10MW급 풍력 터빈을 포함한 직접 구동 방식 드라이브트레인 개발 중
- (보급현황) '24년 말 기준으로 국내에 설치된 풍력 누적 설비용량은 2,268.2MW*, 신규 설비용량은 298.4MW**

* 누적설비용량 : 육상풍력 2,018.1MW / 해상풍력 250.1MW

** 신규설비용량 : 육상풍력 198.3MW / 해상풍력 100.1MW

③ 지원 필요성

① 해외 현황

- (터빈 대형화) 글로벌 선도기업 중심으로 초대형 터빈 개발 및 상업화 성공했으나 경쟁이 심화
 - 글로벌 선도기업들은 핵심부품에 대한 자체 공급망 구축을 통해 개발 기간 단축, 비용 저감 및 안정적 부품 조달 체계 구축 중

◆ 유럽은 초대형 제품 개발에 필요한 대규모 투자와 품질 문제 등으로 15MW 제품의 상용 공급에 집중

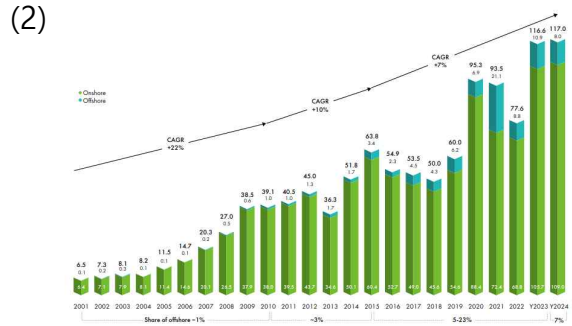
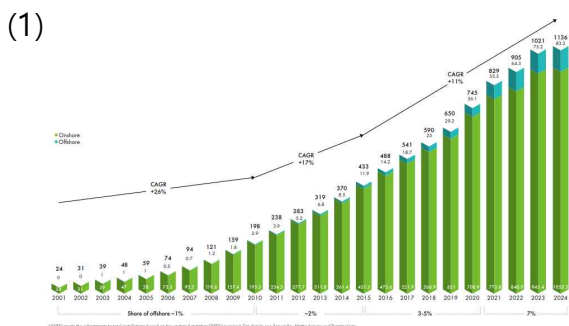
◆ 중국 업체에서 20MW급 시제품을 출시

② 국내 여건

- (보급확대) 국내 풍력 시장은 '26년까지 약 7~8GW 규모의 고정 가격 입찰이 이루어질 전망
 - '30년 18.3GW, '38년 40.7GW 보급 목표를 고려할 때, '30년 이후 2~3GW/년 수준 설치 필요(제11차 전력수급기본계획)
 - 보급 확대 계획에 따라 국내 시장은 글로벌 개발사, 터빈사 및 핵심 공급망 기업들이 모두 진출해 있는 상태로 경쟁 심화

③ 기술 현황

- (기술격차) 해외는 15MW급 해상풍력 터빈 양산 중이며 국내는 10MW급 개발 터빈 개발 중으로 용량 격차가 크게 벌어진 상황
 - 국내 2개사(두산, 유니슨) 터빈 개발 능력 보유 중이나, 대규모 양산 경험 부족으로 시장 경쟁력 열위
- (핵심부품) 메인베어링, 전력변환장치 등 일부 부품을 제외하고 터빈 핵심부품 중 국산화 70% 이상 달성
 - 블레이드, 발전기, 요/피치 베어링 등 핵심부품 기술력 국내 보유
 - 15MW급 해외 터빈 적용 목적의 핵심부품 기술개발 진행 중



[표] 글로벌 풍력 (1)누적 및 (2)신규 설치 현황(GW, 2001~2024)(GWEC Global Wind Report 2025)

4 지원 방안

1 R&D

- (터빈 경쟁력) 글로벌 선도기업에 비해 뒤쳐진 국산 터빈 용량을 신속히 추격 및 동등 이상 수준 달성 필요

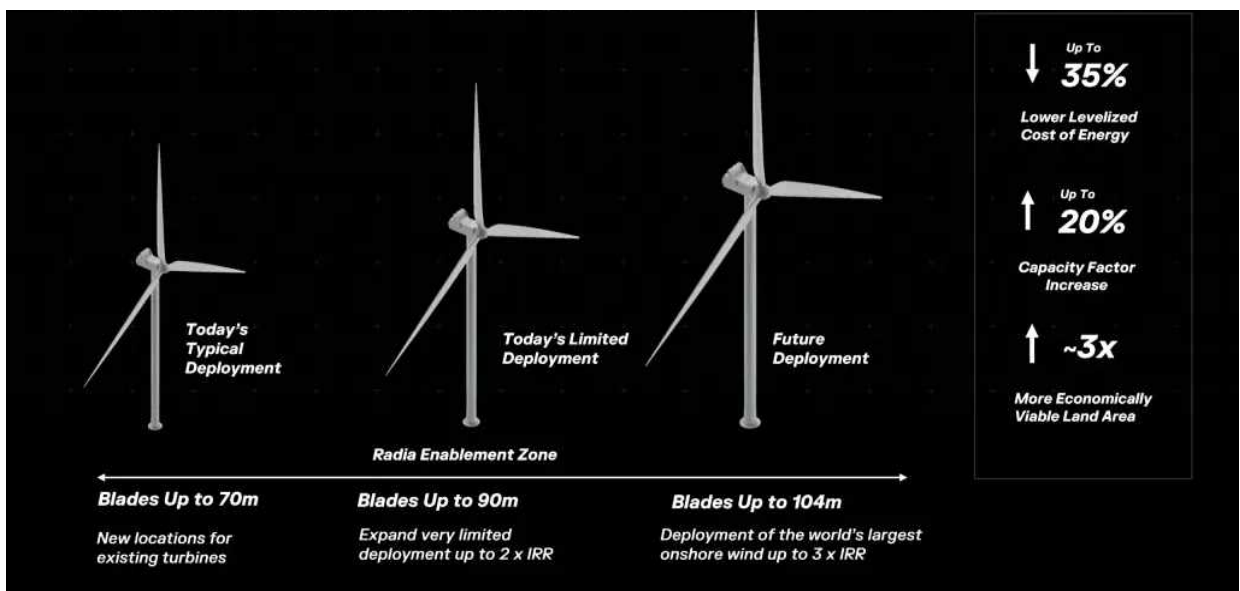
- ◆ 15MW급 터빈은 해외 선도기업 제품의 핵심부품 공급망 기술개발을 통해 국내 기술력 제고
- ◆ '30년 이후 시장 주도 제품으로 전망되는 20MW+급 초대형 해상풍력터빈을 신속히 개발

- (국산화) 풍력 터빈 핵심부품의 국산화율 향상과 주요 부품의 표준화·공용화 개발 및 양산 규모 확대 추진

- ◆ 블레이드 국내 독자 설계 협력체계 구축
- ◆ 발전기 경량화 및 드라이브트레인·베어링 등 고신뢰성 확보 추진

- (LCOE 저감) 선도국과 큰 격차를 보이는 국내 풍력 LCOE를 획기적으로 절감하기 위한 기술개발 및 적용 확대 필요

- ◆ 지지구조 신기술, AI 기반 O&M 기술, 유연 운전 기술 등 LCOE 저감 기술의 상용화 연계 실증 확대

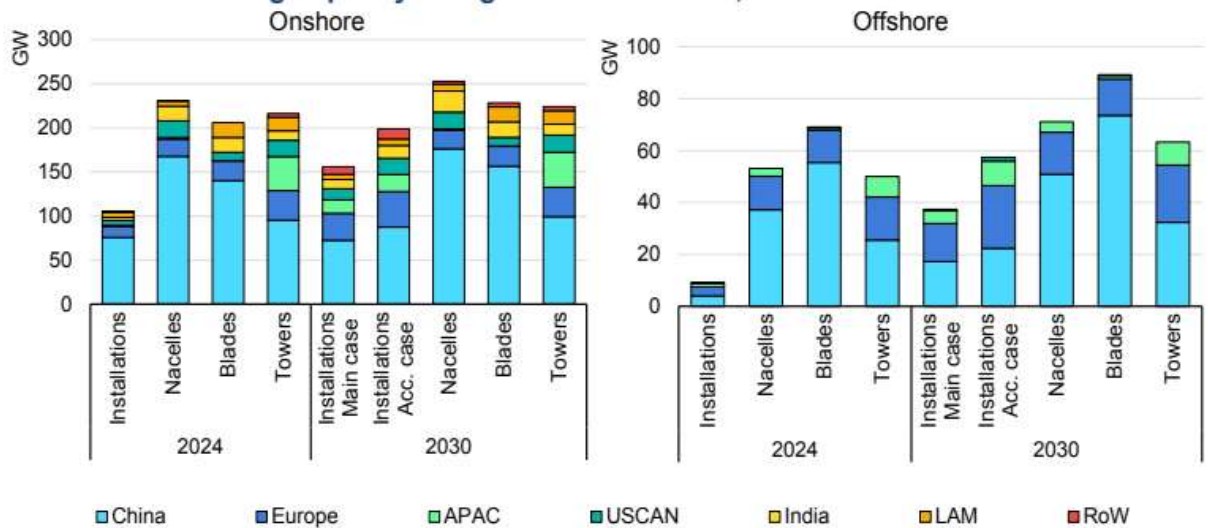


[그림] 경제성 확보를 위한 터빈 대형화(wind milltech, 2024)

② 산업규모 확대

- (공급망 강화) 국가 보급 목표 달성 및 풍력산업 본격적 성장을 위하여 공급망 규모를 0.2GW/yr에서 2~3GW/yr으로 확대 필요
 - 글로벌 선도기업과 제조 및 가격 경쟁이 가능한 최소한의 공급망 규모 국내 구축 필요
- (입지 확보) 대규모 보급 목표 달성과 풍력 산업 확대 및 LCOE 저감을 위해서는 정부 주도의 안정적 입지 공급이 필요
 - 입지 불확실성을 해소하기 위한 기술적 대안(수용성, 제약조건 극복 등)은 R&D를 통해 적기 공급

Wind manufacturing capacity and gross installations, 2024 and 2030



IEA. CC BY 4.0.

Notes: APAC = Asia-Pacific. USCAN = United States and Canada. LAM = Latin America. RoW = rest of world.

Sources: IEA analysis based on data from S&P and BNEF.

[그림] 풍력설비 제조 역량 및 설치 전망 (2024 / 2030)

(IEA Renewables, 2025)

- (법·제도 구축) 해상풍력특별법 등 풍력산업의 본격적 성장을 위한 법적 기반은 마련, 차질없는 이행을 위한 제도적 기반 구축
 - 계획입지, 예비지구 지정, 공공주도형 인허가 등 보급 확대를 위한 개발환경 혁신과 인력양성, 금융지원, 인증, 표준, 국산 제품 지원 등 다각적 노력 필요
- (수용성 제고) 해상풍력 확대를 통한 에너지전환과 이에 따른 환경 영향에 대한 사회적 합의 필요
 - 또한 어업·항행·군사 등 관련 이용자 간 수용성과 함께 전력계통·시장 수용성 등 다양한 부문별 이해관계자의 수용성 제고 필요

3

수소공급

암모니아 · 수소 대용량 저장 · 운송

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	신격차, 단기형(~'30)	
개발목표	20,000Nm ³ /h급 수소추출 시스템 상용화('30)	
기술개념	대용량의 청정수소를 암모니아 형태로 저장·유통 후 수소를 추출하는 암모니아 기반 고효율 수소 추출 플랜트 기술	

2 유망기술 선정 사유

- (청정수소 공급 확대) 암모니아는 수소를 운송하는 가장 현실적인 방안
- (청정수소 인프라 구축) 암모니아 인수기지 및 암모니아 분해설비 구축을 통해 청정수소 활용 촉진

3 요소 기술

1 암모니아-수소 추출 시스템

- 수소생산 효율 80% 이상 달성할 수 있는 고효율 수소 추출 시스템 스케일-업 설계 기술
- 잔류 암모니아 제거를 위한 고순도 수소 분리/정제기술
- 반응 열 공급을 위한 암모니아 연료기반 무탄소 연소 기술

2 암모니아 분해 촉매

- 저온 활성을 개선한 고성능·고내구성 촉매 설계 기술
- 가격 저감을 위한 귀금속 사용량 최소화 및 비귀금속계 촉매 소재 기술

2 국내외 동향

1 해외 동향

- (글로벌 운송) 청정수소의 해운 이송 관련 실증 프로젝트 중 생산량 기준 약 80%는 암모니아를 활용

- (기술개발) 전 세계적으로 암모니아 기반 수소 추출 기술 상용화를 위한 노력 활발

- ◆ 2022년 Siemens Energy(독), GeoPura(영) 및 FFI(호)는 350만 파운드를 투자하여 영국 뉴캐슬에 데모용 암모니아 분해기 프로토타입 개발을 발표
- ◆ KBR(미)사는 비귀금속 촉매를 적용한 H₂ACTSM 암모니아 크래킹 공정 개발
- ◆ NGK Insulator(일)와 Mitsubishi Heavy Industries는 세라믹 멤브레인 기술을 활용한 암모니아 분해용 수소 정제시스템 개발 중

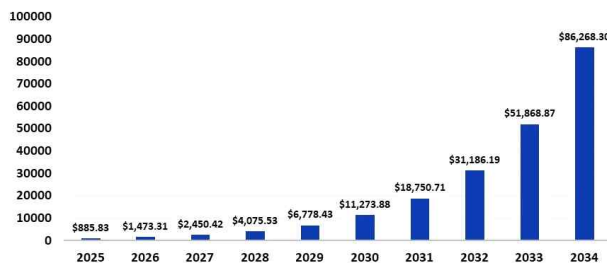
② 국내 동향

- (국내산업) 우리나라는 민간기업 중심으로 청정 암모니아 도입 추진 중

- ◆ 롯데케미칼은 연간 140만 톤의 암모니아를 수입, 롯데정밀화학은 OCI Global(네)과 청정 암모니아 공급 관련 업무협약 맺음
- ◆ 규제 자유특구사업(충북, 부산)을 통해 현장 생산 방식의 암모니아 분해 시스템, 암모니아 기반 연료전지 하이브리드 선박 등 R&D 사업 추진 중
※ 충북-원익머티리얼즈(500 kg/day H₂), 부산-파나시아 (50 Nm³/h H₂)

- (기술개발) 국내에 상용 암모니아 분해 시설은 없으나, 연구기관 및 기업의 기술 개발은 활발히 추진 중

- ◆ 한국에너지기술연구원은 20 Nm³-H₂/h 규모의 고순도 수소생산용 가압형 암모니아 분해 반응기 개발(2018~2021)
- ◆ Approtium은 Topsøe(덴)의 H2RetakeTM 기술을 기반으로 연간 75,000톤의 수소를 생산할 수 있는 암모니아 분해 시설을 울산에 건설 예정, 2027년 공장 가동 계획
- ◆ 삼성중공업은 암모니아의 해상생산부터 활용의 전체 가치사슬 확보를 목표로 설계 최적화 및 고도화 수행



[그림] 청정 암모니아 시장 예측
(Precedence Research, 2025)



[그림] 삼성중공업 암모니아 실증 설비
(가스신문, 2025)

③ 지원 필요성

① 국내 여건

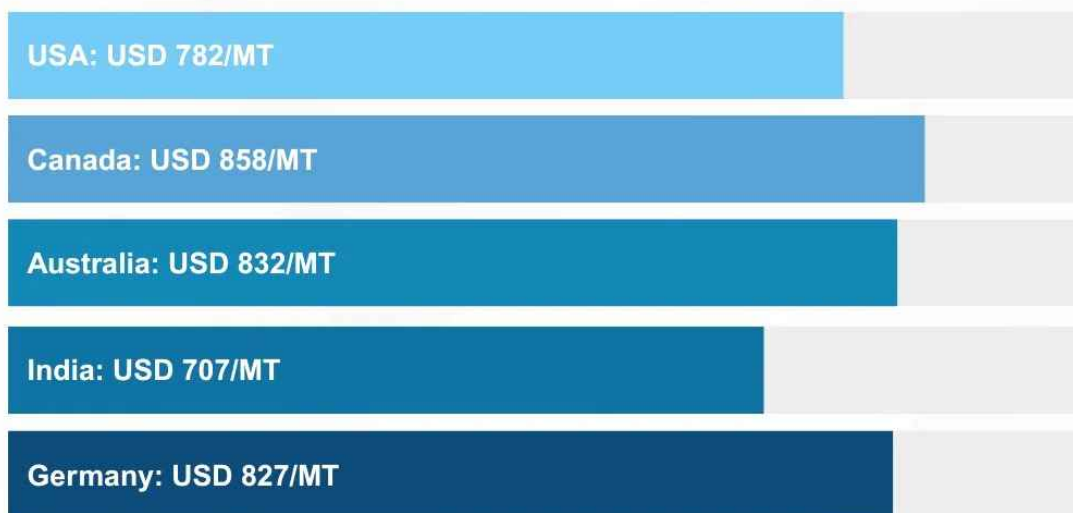
- (설비 구축) 암모니아 분해 설비 구축은 일반 석유화학 공장의 구축과 동일
 - 운송된 암모니아의 저장 및 분해, 수소 저장·출하 설비 구축 필요

② 기술 현황

- (경제성 확보) 청정수소 공급을 위한 암모니아 관련 기술개발 및 상용화는 가능하나, 경제성 확보가 곤란
 - 청정 암모니아의 높은 공급 가격, 암모니아 분해 공정의 비용 등으로 인해 청정수소의 단가가 높아지므로 상용화 곤란

③ 글로벌 불확실성

- (가격 변동성) 청정 암모니아는 상대적으로 높은 가격 형성
 - 암모니아는 2020년 이후 \$300~600/톤 수준의 높은 가격 변동성을 나타냄
 - 그린 암모니아는 \$700~900/톤 수준으로 상대적으로 고가이며, 향후 수요 증가 대비 부족한 공급으로 인한 가격 상승 우려 존재



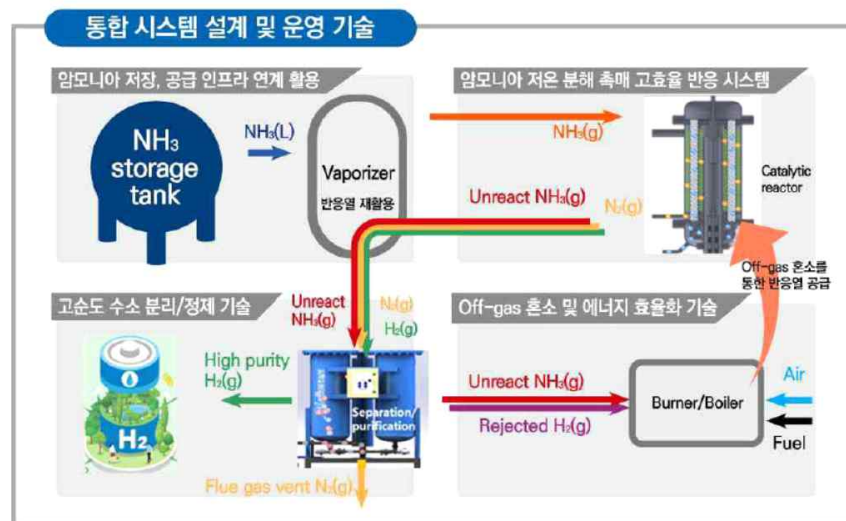
[그림] 2025년 3/4분기 청정 암모니아 가격 동향(imarc, 2025)

4 지원 방안

1 R&D

- (소재 및 공정) 청정 암모니아의 고효율 수소 추출을 위한 저에너지 암모니아 분해 공정 개발

- ◆ 저온(500°C 이하 @95% 전환율) 암모니아 분해 촉매 개발
- ◆ 고효율(85% 이상, LHV) 암모니아 분해 공정 개발
- ◆ 암모니아 수소 추출 반응 후 발생하는 질소 및 미반응 암모니아의 분리·정제 기술 개발
- ◆ 암모니아 및 off-gas 활용 버너 개발



[그림] 암모니아 기반 수소추출 공정 개요도
(제5차에너지기술개발계획로드맵-수소·연료전지, 2024)

- (실증 확대) 청정 암모니아 분해 및 추출 설비의 청정수소 활용과 연계한 실증 확대 필요
 - 실증을 통해 청정수소의 생산 및 활용 간의 수급 균형의 효율적인 유지 방안 도출

2 사업화 및 안정성 확보

- (지원제도) 설비 구축 및 청정수소 생산을 위한 지원 제도 마련
 - 기술사업화 촉진을 위해서는 청정수소의 높은 가격을 고려하여 청정수소 비용 보조 또는 우선 구매 등 지원 제도 필요
 - * 청정수소 발전 제도와 연계된 제도 마련 추진
- (글로벌 협력) 안정적인 공급망 확보를 위해 민·관 공동투자 및 국가간 협력을 통한 해외 생산기지과 출하 설비 구축 추진

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	감격차, 중장기형(~'50)	
개발목표	발전효율 67%(‘35), 발전효율 70% 이상 달성(‘50)	
기술개념	기존 LNG 연료를 대체하여 수소만을 연료로 사용하여 전기를 생산하는 가스터빈 또는 복합발전을 구성하는 기술로 탄소 배출을 하지 않는 신전원으로 재생에너지와의 연계를 통해 계통 안정성을 보장하고 부하 변동성 대응을 위한 급속기동 및 광범위 유연 운전이 가능한 시스템	

2 유망기술 선정 사유

- (변동성 대비) 재생에너지 확대에 따라 발생하는 전력 공급의 변동성에 대비, 전력 계통 부하 추종이 가능한 수소 기반 유연 발전원으로 활용
- (글로벌 경쟁력) 선도국 기술 경쟁 극복, 가스터빈 가격 경쟁력 및 품질 신뢰성 확보, 기술적 난관 극복방안 확보

3 요소 기술

① 유연발전용 수소 전소 가스터빈용 연소기(연료전환기술)

- 화염전파속도가 높은 수소화염의 역화(flashback)를 억제할 수 있는 신개념 연소기 개발(수소 전소 연소기 Micro-mixer type 노즐, 연소기용 다단연소(ASC) 기술)
- 수소 전소 연소기 국부 냉각 기술 개발

② 수소 가스터빈 최적화 및 플랜트 운영(고효율화 기술)

- 화염역화 조기진단 및 자동회피를 통해 가스터빈 파손 방지 기술
- 고수분 환경의 터빈 블레이드 냉각 기술
- 수소 전소 플랜트 통합제어 기술 개발 및 실증
- Pressure Gain Combustion(PGC) 기술을 통해 가스터빈 효율 3~5% 향상
- NOx 제어를 위한 SCR(선택적 촉매 탈질설비) 최적화 기술

③ 암모니아 크래킹 기술

- 수소캐리어인 암모니아(NH₃)를 크래킹하여 수소(H₂)와 질소(N₂)로 전환하여 수소 가스터빈에 적용할 수 있게 하는 시스템
- 암모니아 개질과정의 에너지 손실을 최소화할 수 있는 암모니아 크래킹 융합 가스 복합발전 기술

2 국내외 동향

1 해외 동향

○ (미국) 에너지부(DOE) 주관으로 국가 차원의 수소 발전 지원

- ◆ GE사는 세계최고 복합발전효율 64%를 달성하였으며, 압축비와 TIT 증가를 통한 추가 효율 향상을 진행 중이며, 차세대 고효율화 원천기술 확보를 위해 PGC, reheat 등 원천기술 개발 중
- ◆ Solar turbine사의 3MW 가스터빈을 대상으로 6개월 이상 장기 혼소 실증 운전
- ◆ 오하이오주, Long Ridge Energy Terminal Project(GE7HA.02), 저농도 H₂ 실증('22.3~) 수소 15~20% 혼소 전환 및 100% H₂ 실증(10년 후)
- ◆ 유타주, Advanced Clean Energy Storage Project(MHI M501JAC, Intermountain Power), 수소 30% 혼소 전환('25~) 후 100% H₂ 연소기 개발 및 실증 계획(~'45)

○ (일본) 제4차 에너지기본계획(2021.4)에서 수소를 주요 에너지원으로 반영, 2030년까지 수소 전소 가스터빈 상용화 기술개발 추진

○ (EU) 유럽은 수소 혼소·전소 실증을 추진하며 기술 확보 노력

- ◆ (네덜란드) Hydrogen to Magnum Project(MHIM701F, Eemshaven, Nuon), 기존 LNG 복합을 수소 복합으로 리파워링, 블루 수소로 전환 후 그린 수소로 전환('27~)
- ◆ (프랑스) Smufit Kappa는 수소 혼소 및 전소로 운영되는 열병합 발전소 실증 연구인 'HYFLEXPOWER' 프로젝트를 수행 중
- ◆ (영국) Zero Carbon Humber/H2H Saltend Project(MHI M701F, Triton Power, East-Northern), 3대의 LNG 복합을 수소복합으로 전환(30% 혼소)

2 국내 동향

○ (기술확보) 국내에서는 가스터빈 민간 기업을 중심으로 수소 혼소·전소 기술 확보를 추진

< 두산에너지빌리티 >

- ◆ (선행 정부과제) 300MW급(S1) 수소 50% 혼소 연소기 개발(2020.5~2024.12)
- ◆ (개발 혼소 연소기) 기존 원통형 연료노즐(Swozzle) 적용한 HyDSN(Hydrogen Doosan Swozzle Nozzle)
- ◆ 향후 380MW급(S2, 표준가스터빈) 수소 50% 혼소용 연소기 자체 개발
⇒ Micromixer형 HyDEC(Hydrogen Doosan Enhanced Combustion)
- ◆ 중압설비(8기압) 이용 단일 캔 혼소율 57.5% (NOx 8ppm, 목표 20ppm 이하)
- ◆ 단일 캔 수소 실 운전조건 성능 시험 (23기압, 독일 DLR, 2025.5)

< 한화파워시스템 >

- ◆ PSM(美) 인수 후 수소 혼소 연소기용 Flame Sheet(F급 이하) 기술 적용
- ◆ 80MW급(대산) GE 7E급* 가스터빈으로 수소 60%, 100% 연소 시험 완료

[표] 수소 전소터빈의 상용화 로드맵

요소기술	24	25	26	27	28	29	2030	35	40	45	2050	
전소터빈	소형 전소터빈 기술개발 및 실증				대형 전소터빈 기술개발 및 실증				전소 터빈 보급확산			

③ 지원 필요성

① 국내 여건

- (2050년 전원믹스) 무탄소 가스터빈으로 13.8~21.5%를 공급할 계획
(단위: TWh)

안	구분	원자력	LNG	재생E	연료 전지	동북아 그리드	무탄소 가스터빈	부생 가스	합 계
A안	발전량	76.9	0.0	889.8	17.1	0.0	270.0	3.9	1257.7
	비중	(6.1%)	(0.0%)	(70.8%)	(1.4%)	(0.0%)	(21.5%)	(0.3%)	(100%)
B안	발전량	86.9	61.0	736.0	121.4	33.1	166.5	3.9	1,208.8
	비중	(7.2%)	(5.0%)	(60.9%)	(10.1%)	(2.7%)	(13.8%)	(0.3%)	(100%)

* 출처: 2050 탄소중립 시나리오안('21.10.18.)

- (제11차 전력수급기본계획) 수소·암모니아 혼소 발전은 현실적인 연료 보급 수준과 기업 의향을 최대한 반영하며 무탄소 발전량 제한
[표] 제11차 전력수급기본계획의 전원별 발전량 비중 전망(2025.3)

(단위: TWh)

구 분	원전	석탄	LNG	신재생	무탄소	기타	합계	
NDC 상향안	발전량	146.4	133.2	119.5	185.2	22.1	6.0	612.4
	비중	23.9%	21.8%	19.5%	30.2%	3.6%	1.0%	100%
2030년	발전량	204.2	110.5	161.0	139.6	15.5	11.8	642.6
	비중	31.8%	17.2%	25.1%	21.7%	2.4%	1.8%	100%
2035년	발전량	236.0	88.9	101.1	204.2	32.8	28.5	691.5
	비중	34.1%	12.9%	14.6%	29.5%	4.7%	4.1%	100%
2038년	발전량	248.3	70.9	74.3	232.1	43.9	34.9	704.5
	비중	35.2%	10.1%	10.6%	33.0%	6.2%	5.0%	100%

② 기술 현황

- (생산 효율성) 청정수소(재생에너지·수전해 등)로 공급되어야 하나, 청정수소 생산은 현재 경제성과 효율성 면에서 한계 존재
- (저장-운송 인프라) 수소는 발전용 연료 공급을 위한 대용량 저장 장치 및 광범위한 공급 배관 인프라가 부재
- (정책 지원) 청정수소의 생산·공급 단가가 기존 화석연료 대비 높아 대규모 상용화가 곤란, 정책적 지원과 기술 개발 병행 필요

③ 글로벌 불확실성

- (청정수소 인증) 청정수소 인증*은 강화될 예정으로 강화된 배출량 기준에 따라 연료비 급증 및 수급에 어려움이 발생
* (현재) Well(획득)-to-Gate(생산) → Well-to-Port(운송) 또는 Well-to-Wheel(활용)
- 국내·외 수소생산 기술개발과 공급규모의 불확실성이 높은 상황으로, 지속적인 모니터링이 필요

4 지원 방안

1 R&D

- (소재개발) 핵심부품 소재 국산화 및 성능개선을 위한 기술 개발

- ◆ (내열·내수소성 합금 개발) 수소 연소 시 고온·고압 환경과 수소취성 문제를 해결하기 위한 초내열 합금 및 코팅 기술 확보
- ◆ (연소기 및 블레이드 소재 국산화) 해외 주요 제조사에 대한 기술 의존도를 줄이기 위해 핵심부품의 소재 기술 자립

- (실증확대) 수소 전소 기술의 대규모 상용화를 위한 단계적 실증 및 발전소 연계 기술 확보

- ◆ (연료 혼소 실증 확대) 천연가스 대비 50%, 100% 수소 연소 단계별 실증을 통해 안정성·효율성 검증
- ◆ (발전소 연계 실증) 기존 복합화력발전소의 가스터빈을 수소 혼소·전소형으로 개조하여 실증 데이터 확보

- (투자확대) 민관 협력 R&D 투자 확대 및 정부의 정책 지원 강화
 - (민관 공동 R&D 펀드 조성) 장기간·고비용 소요되는 수소 전소 R&D 특성을 고려 정부·기업 공동 출연 펀드 조성
 - (국가 전략 프로젝트) 탄소중립 달성에 큰 기여가 가능한 주요 기술로 분류하여 중장기 로드맵 및 재정지원 확대

2 사업화 지원


- (기술사업화) 연구 기관-기술 수요 기업 매칭 및 핵심 부품에 대한 인증·표준화 등 신속한 사업화를 위한 전주기 지원 체계 구축
- (규제샌드박스) 수소 터빈 발전설비 ‘산업융합촉진법’ 상 실증 특례 지정과 같은 상용화 촉진을 위한 규제 샌드박스 적용
- (법령개정) 현행 전기사업법상 ‘수소 전소 발전소’의 법적 지위를 명확히 하고 수소 터빈 적용 ‘고온·고압 수소연소 설비 안전 기준’ 제정

3 기타

- (인력 양성) 전문인력 양성 프로그램 신설 및 기술 표준·안전 인증 전문가 양성 트랙 신설 등 산학연 연계형 실무 인력 확보
 - (표준화) 국가표준 제정, 국가 공인 시험평가 인프라 구축 및 국제 표준화 대응 등 국내·국제 인증 및 시험평가 체계 구축
 - (정책연계) K-택소노미* 내 ‘수소연소 발전기술’ 명시 및 탄소중립 100대 핵심기술 연계 R&D 트랙 반영 등 기존 제도와 연동 강화
- * (K-택소노미, 한국형 녹색분류체계) 녹색경제활동을 정의하는 원칙과 기준 체계

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	초격차, 단기형(~'30)	
개발목표	300W/L급 리튬이온전지('30), \$300/kWh 비리튬계 이차전지('30)	
기술개념	비교적 짧은 시간(4시간 이하)의 충·방전하는 방식의 에너지 저장을 통해 재생에너지의 간헐적·불규칙한 출력에 의한 전력망 안전성 저하를 방지하는 에너지저장시스템	

2 유망기술 선정 사유

- (효율적 국토이용) 재생에너지의 간헐성 및 변동성 보완을 통한 재생에너지 설치 면적 감소 및 발전 수요 저감*을 기대
 - * 피크 부하 저감(peak-shaving)을 통한 발전 수요 저감 가능
- (글로벌 산업경쟁력) 고밀도, 고안전 이차전지기술 구현을 통한 국내 친환경에너지 전력망 확대 및 해외 진출 기여

3 요소 기술

① 고출력 리튬이온전지 기술

- 리튬산화물 양극재와 음극재, 리튬염 전해질과 분리막 등으로 구성된 이차전지 셀 기술
- 높은 응답속도를 보유한 고출력 모듈·팩 개발 및 BMS* 연계 통합 시스템 기술

* (BMS) Battery Management System

② 고출력 비리튬계 이차전지 기술

- 나트륨산화물 양극재와 음극재, 나트륨염 전해질과 분리막 등으로 구성된 이차전지 셀 기술
- 고출력 및 저가형 모듈·팩 개발 및 BMS 연계 통합 시스템 기술

③ 차세대 슈퍼커패시터 기술

- 활성탄 전극에 전하의 흡·탈착반응을 이용하는 슈퍼커패시터 셀 기술
- 고출력·초단주기의 주파수 조정용 초고응답성 슈퍼커패시터 모듈·팩 개발 및 BMS 연계 통합 시스템 기술

④ 하이브리드 전력저장 시스템 기술

- 2종 이상의 다른 성능의 이차전지 셀·모듈·팩의 하이브리드 조합 제조기술
- 순간 전력품질 변화, 발전용량 및 수요 변동성에 대응이 용이한 이중 시스템의 조합 및 최적화 기술

2 국내외 동향

1 해외 동향

- (미국) 정부 주도하에 AI 기반 분산 자원 최적 운영 및 전력 계통 시뮬레이션 기술개발 프로젝트 추진 중

◆ IRA 법안을 통해 독립형 ESS에 대한 투자 세액공제(ITC)를 제공하며 ESS 투자를 촉진
◆ 재생에너지와 ESS 통합 가속화에 중점을 두고 있으며, 테슬라(Tesla) 역시 Megapack ESS에 LFP 셀을 적용하여 원가 절감과 안정성을 확보

- (중국) CATL, BYD 등을 중심으로 리튬인산철(LFP) 전지의 대량 생산 체계를 구축하여 가격 경쟁력을 선점 중

◆ 신규 태양광 및 풍력 발전소에 10~20% 용량의 ESS 설치를 의무화하여 내수 시장을 확대
◆ LFP(리튬인산철) 에너지 밀도와 안전성을 높이고 있으며, BYD는 액체 냉각 기술을 적용한 블레이드 배터리로 ESS 안전성을 확보

- (일본) 전기 자동차용 LIB 생산 및 황화물계 전고체 전지 생산 능력을 확대하는 방향으로 연구개발 추진 중

◆ Panasonic과 Toyota의 합작사인 Prime Planet Energy & Solutions는 전기 자동차용 LIB 생산을 확대하여 7GWh/year의 생산 용량을 목표
◆ Fuji Film과 24M Technologies는 황화물계 전고체 전지 생산을 2026년부터 목표로 하며, 930Wh/L 이상 개발을 추진 중

2 국내 동향

- (시장전환) 국내 시장은 높은 에너지 밀도의 삼원계(NCM) 리튬전지 중심이었으나, 화재 사고 이후 LFP 배터리의 안전성과 경제성 주목
- (전고체 전지) 단주기 ESS 기술은 국내에서 이미 상용화 단계에 진입했으며, 주요 기업 중심으로 기술개발을 주도

◆ (삼성SDI) 황화물계 전고체 전지를 위해 리튬금속 무음극 제조 방식을 적용한 파일럿 라인을 2027년 상용화를 목표로 구축 중
◆ (LG에너지솔루션) 고분자계 및 황화물계 전지 기술을 동시에 개발하며 상용화 목표
◆ (SK온) 2028년 상용화를 목표로 대전에 파일럿 라인을 건설할 계획

- (안전강화) 고망간계 리튬전지(LMR) ESS 기술 개발을 통해 고안전성, 저비용, 장수명 기술 확보 중

- (보급확대) 2022년 기준 국내 ESS 누적 설비 규모는 4.1GW /10.2GWh로 세계 4위 수준

◆ (한국전력공사) 전력망 안정화를 위해 LIB 기반 ESS를 전국 변전소에 설치, AI 기반 잔존 수명 예측 및 운전 제어 플랫폼 등 유틸리티급 BESS의 장기 운영 수익 극대화 추진

③ 지원 필요성

① 국내 여건

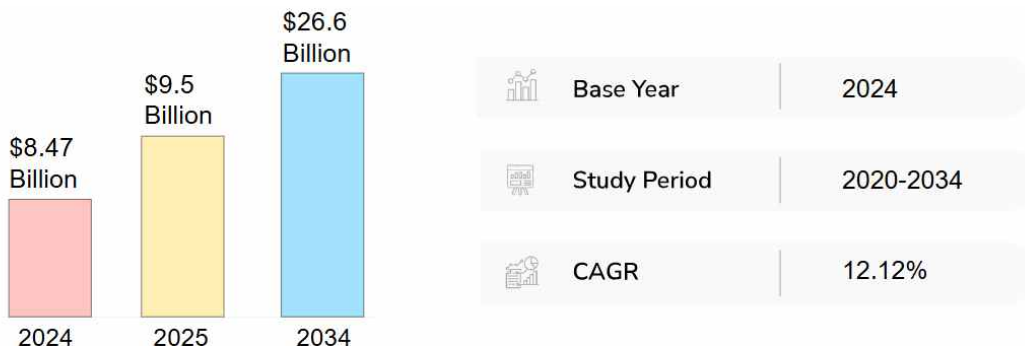
- (사고·신뢰도 하락) 2017년 이후 50건 이상의 ESS 화재 발생으로 인해 국내 ESS 산업이 위축, 신뢰도 확보를 위한 대책 마련 시급
- (경험 부족) 국내는 그간 NCM 전지 중심으로 개발을 진행, 저가형 고안정성 LFP 전지의 개발 및 대규모 생산 경험 부족
- (대용량 시스템) 셀 간 불균형 조정 기술이 부족하고, 대용량 BESS 모듈 및 BMS에서 예측 및 경고 기능 한계

② 기술 현황

- (상용화 지연) 전고체 배터리는 차세대 ESS 전지로 주목받고 있으나, 국내는 고체 전해질 제조 및 대량 생산 공정 기술 부족으로 상용화 지연
- (안전성 및 수명) LIB의 열폭주 위험은 여전히 존재, 다중 서비스 운영*은 배터리 열화를 가속화하여 수익성 확보 걸림돌
* (예시) 주파수 조정 및 피크 절감
- (극한 환경) 현재 BESS는 특정 온도 범위에서 상용화되고 있으나, 극한 환경(극고온, 극저온, 지진)에서의 안정성 및 에너지 손실 저감 필요

③ 글로벌 불확실성

- (공급망) 리튬, 니켈, 코발트 등 핵심 원료의 가격 변동성과 특정 국가에 편중된 공급망은 ESS 비용 구조 리스크로 작용
- (사이버 보안) BMS 및 PCS 제어기의 네트워크 연결에 따라 사이버 보안 취약점이 발생할 수 있으며, ESS의 보안 표준 및 규제 미흡
- (표준화) 경쟁국들은 정부 지원으로 기술개발 및 상용화를 가속하고 있으며 국제 경쟁력 강화를 위한 전략적 대응과 표준화 선점 절실



[그림] 에너지저장시스템(ESS) 시장 전망(Global growth insight)

4 지원 방안

1 R&D

- (기술개발) 안전성, 장수명, 최적화, 극한 환경 대응 등 차세대 전지 적용 및 신뢰성 확보를 위한 기술개발 추진

- ◆ (고안전성/장수명) LFP 인산철 전지 패키징 및 대용량화 실증 기술을 개발하고 열관리 최적화 기술을 통합하여 리튬계 전지 기반 대용량 ESS의 고안전성 및 장수명화 달성
- ◆ (차세대 전지) 전고체 전지 기반 팩 단위 설계 및 성능 안정화 기술을 확보하여 고안전성 솔루션을 구현하고, 고망간계(LMR) 기반 이종 리튬전지 기술을 개발하여 기존 K-배터리 생태계를 활용한 산업 구조 전환을 유도
- ◆ (AI 기반 최적화) 빅데이터 및 AI 기술을 활용하여 BESS 기반 에너지 서비스 운영기술을 고도화하고, 잔존 수명(RUL) 예측 기술을 개발하여 장기간 운영 수익 극대화 및 안정성 확보
- ◆ (시스템 안전 및 극한 환경 대응) 용도별 운전 특성에 맞는 BESS 시스템 단위 안전 기술을 개발하고 실증하며, 극한 환경에서도 안정적인 에너지 저장 및 공급이 가능한 차세대 BESS 표준 모델 개발 및 실증 추진

2 사업화 지원

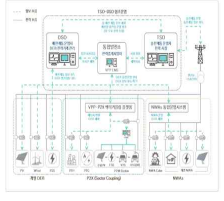
- (실증 및 지원) 시장 신뢰도 확보와 국제 경쟁력 강화를 위해 LFP 기반 ESS의 실증 프로젝트와 대규모 상용화 지원 필요
 - * 실증을 통한 ESS 설치 장소 최적화 추진
- (안전관리체계) ESS의 안전관리 제도 개선 및 인프라 구축을 통한 안전관리 강화가 필요하며, 안전성 평가 및 인증 체계를 마련 추진
- (수익 모델) 전력 시장 중심의 보급 노력을 강화하고, 충전 요금 할인, REC 추가 부여 등 전력시장 중심의 보급 노력 필요

3 기타

- (글로벌 협력) 상용화가 지연되는 분야에 대해 글로벌 경쟁국과의 전략적 기술 협력을 통해 기술 자립화 및 안전성 인증 체계 마련
- (성과확산) 개발된 기술을 전기차 충전 인프라 및 스마트그리드, 분산형 전원 시스템 등에서 연계 활용하여 에너지 관리 효율성 증대

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	신격차, 단기형(~'30)	
개발목표	분산·유연자원 통합운영기술(단위용량 10MW)('30)	
기술개념	재생에너지원과 전력 수요의 변동성을 전력계통 내 가용 자원 제어를 통해 보상하는 운영기술로서, 재생에너지 출력변동과 수요의 계절·시간적 변화에 따라 실시간 상황을 예측하고, 수요-공급 매칭과 전력계통 안정성 확보를 위한 유연자원 통합 운영 기술	

2 유망기술 선정 사유

- (계통 유연성 확보) IEA는 3단계(재생에너지 발전비중 15~25%) 이상 전력 계통의 도전 과제로 ‘유연성에 대한 우선고려*’ 제시
 - * 재생에너지 출력예측 정확도 제고, 유연자원 확보, 송전-배전 운영자 간 협조체계 구축
- (VPP시장) 통합발전소(20MW이상) 전력시장 참여로 전력망 운영의 불확실성 제거와 기설 선로의 접속 용량 확대 가능

3 요소 기술

① 재생에너지 출력예측 기술

- 계절 요인과 기상조건에 따른 태양광, 풍력 발전설비의 정확한 발전량 예측은 실시간 전력수급 밸런싱과 전력망 안정성 확보에 근간이 되는 기술
- 지역단위/전국단위를 대상으로 단기(24시간 이내, 시간별, 15분 단위 등) 예측과 중기(48시간 이내 등), 장기 예측의 정확도를 높이는 기술

② 유연자원 통합운영 및 계통연계 기술

- 다양한 에너지 공급기술과 에너지저장 인프라, 건물 냉난방, 산업공정, 수송 등 전력 이외 분야의 에너지수요를 통합하여 실시간 수급 밸런싱과 전력계통 안정화를 위한 유연자원으로 활용하는 기술
- 한국형 DSO 모델 및 TSO-DSO 협조운영체계 구축, 비상시 송·배전계통 제약 해소, 분산자원 운영 스케줄링 및 실시간 계통운영 기술

③ 분산에너지 계통접속 한계용량 증대 기술

- 과부하 해소와 재생에너지 계통접속 확대를 위해 전력망 선로 증설이 아닌 민간이 소유한 분산전원 및 유연자원(DR, +DR, EV, ESS 등)을 활용하여 최적 포트폴리오를 구성하고 운영하는 기술
- 전력망 설비 노후도·수명 평가, 과부하·과전압 취약지점 분석 및 필요 자원 규모 산정, 지역별·선로별·시기별 NWAs 최적 구성 및 도입 우선순위 도출 기술

② 국내외 동향

① 해외 동향

- (미국) AI를 기반으로 분산 자원 최적 운영 및 차세대 송배전망 업그레이드를 가속화 중

- ◆ FERC Order 2222를 통해 소규모 분산자원의 집합(VPP)을 도매전력시장에 참여하도록 허용하여 VPP(통합발전소) 활성화의 제도적 기반을 마련
- ◆ Southern California Edison(SCE)은 DERMS(Distributed Energy Resource Management System) 프로젝트를 통해 태양광, 풍력, BESS 등 분산 자원을 실시간으로 관리하고 전력망 유연성과 안정성을 높이는 데 중점

- (EU) 전력망 현대화 패키지를 통해 마이크로그리드 활성화 지침을 마련하고 회원국에 제도 정비를 권고

- ◆ Equigy 플랫폼을 통해 전기차, BESS, 가정용 태양광 등 소규모 에너지 자원을 전력망에 통합하여 유연성을 향상
- ◆ 초과 전력을 수소(P2G)로 전환하여 저장하거나 난방·냉방 부하를 전력망과 연계하는 프로젝트를 진행하며 장주기 저장 수단으로 주목

- (일본) AI 활용 ESS 판매 및 IoT 원격 제어 시스템의 지역별 에너지 운영 최적화를 실증, VPP 및 분산형 에너지 자원 통합 운영 실증 진행
- (중국) P2G, P2H 등 재생에너지 기반 수소 및 열 에너지 통합 시스템을 AI 최적 제어 기술과 함께 상용화 중

② 국내 동향

- (법·제도) 「분산에너지 활성화 특별법(2023.6. 제정)」을 통해 분산형 전력 시스템으로의 전환 및 분산자원 통합 관리를 위한 기반 마련
- (VPP 시범 사업) 2024년 VPP 기술 및 제주 실시간 시장 시범사업을 시작으로 재생에너지 출력을 시장 기반에서 조정하는 제도 도입

- ◆ (제주) 실시간 시장 시범 운영을 통해 재생에너지 출력제한 해소와 VPP 모델 검증을 추진 중으로, 엔라이트, 그리드위즈 등 국내 기업들이 VPP 및 전력중개 발전량 예측제도를 통해 시장 주도 중

- (기술개발) 서비스 창출을 위한 플랫폼 및 기술개발 추진 중

- ◆ (DSO) 전력계통 운영자(ISO)와 배전계통 운영자(DSO) 간의 협조 운영을 통한 배전계통 접속 분산 자원의 에너지 및 보조 서비스 시장 참여 기술 개발 중
- ◆ (하이브리드 ESS) 단일 ESS의 한계를 보완하기 위해 장·단주기 특성이 다른 이종 ESS를 결합한 하이브리드 ESS 기술 개발
- ◆ (섹터 커플링 실증) P2X(전기-열, 전기-가스) 등 이종 에너지 간의 섹터 커플링 연계를 위한 시스템 및 통합 플랫폼 개발 진행 중
- ◆ (비증설 대안) 송전선로 증설 대신 분산자원 활용을 통해 계통 용량을 증대하는 비증설 대안(NWAs) 기술개발 중

③ 지원 필요성

① 국내 여건

- **(송배전망 병목 현상)** 재생에너지 발전이 특정 지역에 집중(호남, 동해안 등)되면서 수도권과 같은 주요 수요지로 송전 인프라 부족
 - 신규 송전선로 건설은 주민 수용성 문제로 지연되어 재생에너지 출력제한(curtailment)이 빈번하게 발생
 - * 신재생에너지 보급 계획 수립 시 계통 수용 및 신규 건설 계획 동시 수립 필요
- **(운영 미성숙)** 재생에너지 대부분(90% 이상) 배전계통에 접속되나, 전력 시장 운영자와 배전계통 운영자 간 협조 운영 기술 및 제도적 기반 부족
- **(AI·디지털 전환)** 기존 중앙집중식 독점 전력망 구조에서, 다수의 분산자원 참여와 전력망의 복잡성 증대에 대응 필요
 - AI 기반의 지능형 운영 및 고도화된 제어 기술 도입에 한계 발생

② 기술 현황

- **(제어 복잡성)** 여러 분산자원*을 통합하여 지역 단위의 수급 균형을 관리하고 최적화하는 기술개발의 난이도 존재
 - * 공급형 자원(PV, ESS), 수요형 자원(DR, V2G) 등
- **(경제성 부족)** P2G(Power-to-Gas)와 P2H(Power-to-Heat) 등 섹터 커플링 기술은 에너지 변환 효율이 낮고 초기 투자 비용이 높아 경제성 부족
- **(국산화 미흡)** 대용량 ESS-STATCOM*이나 직렬 선로 보상 장치(SSSC)와 같은 비증설 대안 기술(NWAs)**의 국산화 사례 부족
 - * 에너지 저장형 모듈러 멀티레벨 컨버터
 - ** (NWAs) Non Wires Alternatives, 송전선로 대안 기술

③ 글로벌 불확실성

- **(사이버 보안)** 분산형 에너지 설비의 디지털화 및 네트워크 연계로 인해 외부 사이버 공격 위험 증대
 - 전력망 마비, 데이터 유출 등의 심각한 피해를 예방하기 위한 보안 기술 개발 및 표준 마련 필수
- **(글로벌 경쟁)** 선진국을 중심으로 AI 기반의 자율형 그리드(Autonomous Grid)와 통합 운영 기술이 확대되는 추세
 - 국내 기술이 글로벌 경쟁력을 상실할 경우 시장 선점의 어려움 발생

4 지원 방안

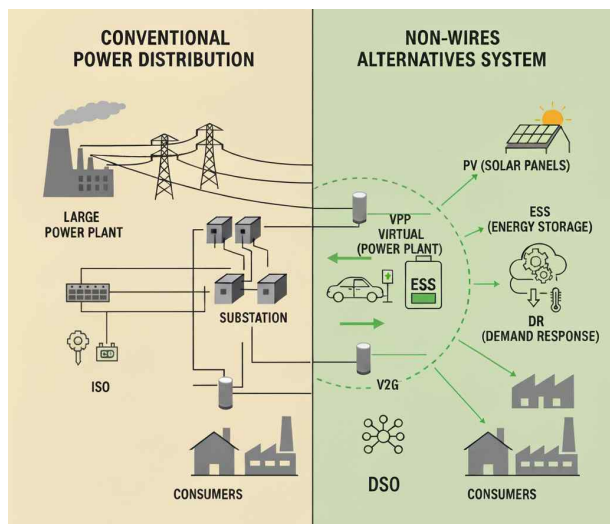
1 R&D

○ (기술개발/실증) AI 기반 운영 기술 및 안정화 기술의 실증 추진

- ◆ **(AI 기반 운영)** 공급-수요 혼합형 분산자원 통합 운영 기술을 개발하여 지역 단위 전력 생산-소비를 동시에 관리하는 고차원의 전력망 운영 기술을 확보하고, 이를 통해 AI 기반의 예측·최적화·제어 기술 구현 필요
- ◆ **(유연자원 서비스)** 재생에너지의 변동성 완화를 위해 ESS뿐만 아니라 섹터 커플링(P2X) 자원 및 V2G26 (Vehicle to Grid) 충·방전 집합 자원을 활용한 유연자원화 기술 및 운영 체계 개발 필요
- ◆ **(NWA)** 배전망 증설 한계를 극복하기 위해 분산에너지 계통접속 한계용량 증대 기술(NWA) 요소기술을 확보하고 실증
- ◆ **(안정화)** 대정전 대비 지역 MG 기반 광역 Black Start 기술을 개발하고, 다중 인버터 연계 환경에서의 공진현상 분석 및 안정화 기술 확보 필요
- ◆ **(디지털 트윈)** 전력망의 물리적 특성을 가상 공간에 복제하는 디지털 트윈 기반 AI 전력 운영 시스템 실증을 추진하고 데이터 기반의 실시간 모니터링 및 안전 관리를 위한 사이버 보안 기술 및 표준 마련



[그림] 가상발전소(VPP) 개념도
(LG에너지솔루션)



[그림] 송전선로 대안기술(NWA) 개념도
(Gemini로 생성, 한국전력, 2025)

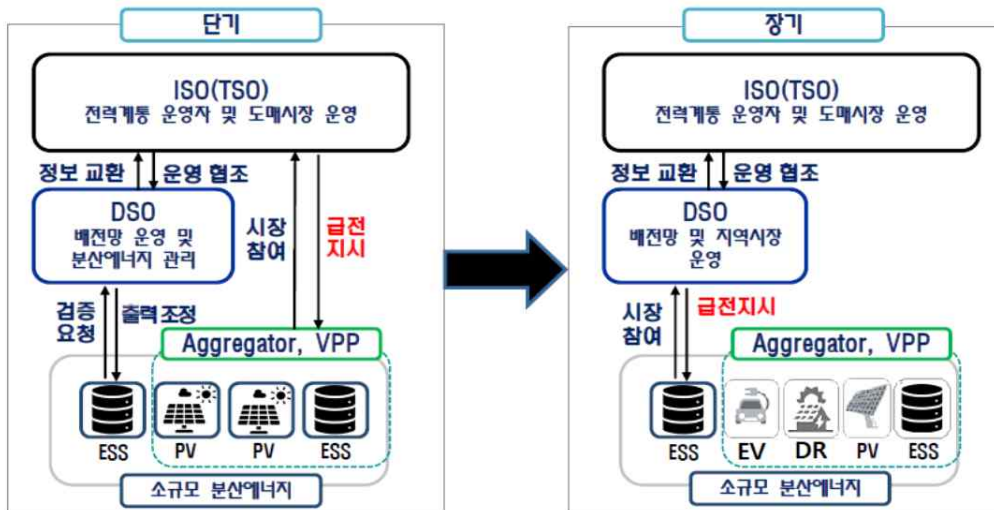
2 사업화 지원

- **(운영제도)** 전력시장 유연성 강화를 위해 실시간 가격 정산 및 지역 단위 차등 가격(LMP) 기반의 양방향 거래 시장 구축 검토 필요

- (특구) 분산에너지 특화지역을 활용하여 소규모 전력거래 및 규제 특례를 통해 신규 비즈니스 모델을 실증하고 전국 확산 기반 마련
- (정부 지원) 정부 주도의 선제적 지원을 통해 기술 자립화 및 시장 진출을 위한 트랙 레코드 확보 추진
 - AI 기반 운영 소프트웨어 및 대용량 NWAs 설비 개발은 대규모 투자가 필요하고 시장이 한정적이므로 정부 지원 필요

3 기타

- (ISO-DSO 협력) 전력계통 운영자(ISO)와 배전계통 운영자(DSO) 간 협력 기반을 조속히 확보
 - DSO 운영 플랫폼 및 시스템 개발을 지원하여 분산 자원 통합 운영의 효율성 제고
- (성과확산) 개발된 기술을 ODA 사업과 연계한 개도국 마이크로 그리드 구축 사업 등에 적용하여 해외 수출 기반을 마련



[그림] ISO(전력계통 운영자)-DSO(배전계통 운영자) 협조운영 모델
(제5차 에너지기술개발계획 기술로드맵(전력계통) 2025)

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	초격차, 중장기형(~'50)	
개발목표	실증(30만톤)('26~'30) → 스케일업(250만톤)('31~'35) → 고로를 수소 환원제철 공정으로 단계적 전환('36~'50)	
기술개념	철을 제조하기 위해 철광석 환원제로 사용되는 석탄을 수소로 대체하여 탄소 대신 수증기를 배출하는 기술로, 수소 유동환원으로 공정과 전기용융로 공정을 결합해 철광석 → 환원철(DRI) → 용선을 생산하는 친환경 제철 시스템	

2 유망기술 선정 사유

- (탄소중립 핵심기술) 환원제인 석탄을 수소로 100% 대체하는 혁신적 기술로 철강산업 탄소중립 핵심기술이자 유일한 대안
- (국내 고유기술 활용) 원료 수급·단가 측면에서 이점을 가진 포스코의 FINEX* 유동환원 기술을 기반으로 글로벌 경쟁력 확보 가능

* (FINEX) 가루 철광석과 유연탄을 예비 처리 과정 없이 공정에 바로 투입하여 쇳물을 생산하는 기술로 「산업기술보호법」에 따라 국가핵심기술로 지정

3 요소 기술

① 수소 유동환원 공정기술

- 수소를 이용하여 철광석 산화철(Fe_2O_3)을 환원 → 탄소계 환원제 완전 대체
- 수소 100% 이용 시 환원율 85% 이상, 수소 원단위 79 kg/t-DRI 이하
- 반응기 내 구조소재 최적화 및 연속조업 안정화 기술 확보

② 수소환원철 전용 전기용융로 공정기술






- 수소 기반 환원철을 전기용융로에서 용해, 탄소계 열원 100% 대체
- 고로 공정 대체를 위한 대용량·고효율 설비 요구
- 전력 효율 향상, 연속조업 안정화 및 고품질 용선 생산 기술 확보

② 국내외 동향

① 해외 동향

- (저탄소 전환) 철강산업 탄소 감축을 위해 주요 철강사에서는 저탄소 기술 적용 및 설비 전환 추진

[표] 세계 주요 철강사들의 탄소중립 전략(포스코, 2024)

지역	철강사	추진목표
유럽	 SSAB (스웨덴)	◆ '26년 無화석연료 철강제품 시범 생산('21~, 1t/hr) - ('26년) 고로 1기 → H2 DRI-EAF, ('30년) 고로 1기 → 전기로
	 SALZGITTERAG People, Steel and Technology (독일)	◆ '30년 탄소배출 50% 감축 - ('30년) 전 고로 3기 → H2 DRI-EAF 공정 전환
	 ArcelorMittal (룩셈부르크)	◆ '30년 탄소배출 유럽 35% 감축, 그룹 25% 감축 - ('26년) 함부르크 H2 DRI 데모공장(10만톤), (30년) 고로 8기 → NG DRI 6기 전환(유럽 5기, 캐나다 1기)
일본	 NIPPON STEEL	◆ 고로 기반 저탄소 기술 및 수소환원제철 기술 병행 - (EAF) 70만톤('22.10월), 대형 전기로 300만톤('30년)
중국	 BAOWU	◆ 수소부화고로 개발 및 수직환원로 도입 - 순산소 고로 및 H2 DRI-EAF 병행 추진

- (수소환원제철) EU, 일본 등에서 고로 수소 취입, 수소 환원 등 기술 개발 및 실증 추진 중

- ◆ (스웨덴) SSAB-LKAB-Vattenfall이 HYBRIT 프로젝트를 통해 수소환원 실증로(100만 t/yr) 계획중이며, 2030년 상용화 목표
- ◆ (일본) Nippon Steel 등이 Super COURSE50 프로젝트로 고로 수소 취입 및 수소 환원 기술을 개발, 2035년 실증예정

② 국내 동향

- (포스코) FINEX 유동환원 기술 기반 수소환원제철 실증 추진 중
- (현대제철) 전기로 중심 저탄소 공정 전환 R&D 추진 중
- (정부R&D) 국내 철강사 중심 수소환원제철 기술개발 지원

- ◆ 탄소중립 산업핵심기술개발사업을 통해 수소 유동환원로 및 전기용융로 공정 기초 설계 기술 개발 추진('23~'25, 188.8억 원 규모)
- ◆ 한국형 수소환원제철 실증 기술개발 사업 지원을 통한 실증 지원

③ 지원 필요성

① 국내 여건

- (투자 부담) 국내 철강산업은 고로 중심 구조로, 수소 환원 공정 전환 시 초기 투자 부담 상당
- (청정수소, 전력공급) 기존 고로 공정에 활용되는 석탄과 부생가스 대신 수소환원제철은 수소와 외부전력 활용 필요
 - 경제성 있는 청정수소 및 안정적 전력 공급을 위한 인프라 구축 및 인센티브 방안 마련 필요

② 기술 현황

- (안전성) 수소 취급 설비 안전 지침에 따른 수소 유동환원로 및 관련 공정의 설계를 통해 안전성 확보 필요
- (에너지 효율) 수소 사용 효율, 전력 효율, 용선·슬래그 성분 제어 등 공정 통합(유동환원로↔전기용융로) 최적화가 경쟁력 결정
 - 공정 모델 기반의 실증-상용 스케일업 로드맵 정교화 필요
- (광석 관리) 제한적인 공급의 고가 펠렛을 원료로 사용하는 경쟁기술 대비 풍부하고 저렴한 분철광석을 직접 사용할 수 있는 유동환원로의 장점 확보
 - 저품위 분철광석 수소환원시 고환원을 조업기술 고도화 필요

③ 글로벌 불확실성

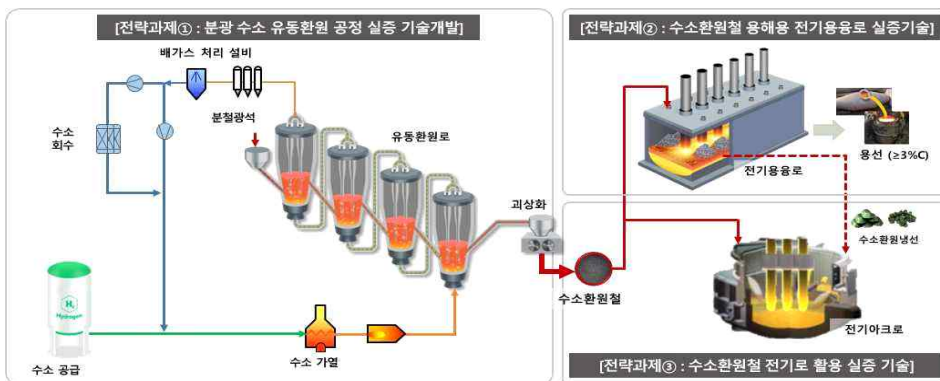
- (공급망 위기) 유럽 주요 프로젝트가 수소 조달가·정책 지연으로 일정·비용이 재조정된 점을 감안, 청정수소의 안정적 공급 중요
 - 국내 도입 시 PPA·수소장기계약(SPA) 구조 설계 등 대책 마련 필요
- (자금조달) 비용 상승* 및 보조금 변동성으로 인해 사업 자금 운영의 불안정성 존재
 - * H2 Green Steel(Stegra로 변경)의 추가 자금조달(약 €0.98bn) 추진
 - 프로젝트 파이낸싱(PF)에서 금리·보증·인센티브 변동 감안 필요
- (정책·규정) EU CBAM 본격화 및 규정 개정 진행으로 범위, 제품 확대에 대해 병행 논의 중이며 국내 정책과 정합성 검토 필요
 - * (CBAM, Carbon Border Adjustment Mechanism) 탄소국경조정제도

4 지원 방안

1 R&D

- (실증지원) 수소환원제철 상용급 전환을 위해 실증 단계별 적절한 지원 필요
 - 30만톤급 실증('26~'30) 후 250만톤급 스케일업('31~'35)을 거쳐 고로를 수소환원제철 공정으로 단계적 전환 예정('36~'50)
- (고온소재/장비) 수소환원제철 소재 및 장비 국산화 개발 지원

- ◆ 수소환원제철용 내수소 고온합금, 세라믹 라이닝, 내화물 등 내구소재 국산화 개발 지원 등
- ◆ 한국형 수소환원제철기술 실증을 위한 장비 국산화 지원 등



[그림] 한국형 수소환원제철 실증 기술개발 사업 개요도

2 사업화 지원


- (정부-민간 연계) R&D 실증·상용단계 확산을 위한 민간 주도형 추진 및 적극적 지원 방안 마련
- (에너지 공급) 경제성 있는 청정수소 공급 및 안정적인 전력 공급을 위한 수소·전력 인프라 확충 및 인센티브 부여 방안 마련
- (투자, 금융 지원) 대규모 전환 투자 금융의 혼합형 패키지 지원
 - 유럽식 보조금+저리대출+보증의 혼합 구조를 참고한 패키지 지원 추진
- (규제샌드박스) 실증-상용설비 한시적 규제 특례 확대
- (그린전력 연계) 그린 전력 연계를 통한 전기용융로 활용에 대한 기술개발 지원

3 기타

- (국제협력) 한국형 수소환원제철 공정에 최적화된 철광석 광종 및 배합비 도출을 위해 국내 철강사 및 호주 원료사 간 공동연구 추진

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	초격차, 단기형(~'30)	
개발목표	차세대 이차전지 시스템 상용화('30)	
기술개념	전기차용 이차전지 시스템의 소형·경량화, 상태 관리 및 운용 고도화 관련 기술	

2 유망기술 선정 사유

- (보급 확대) 전기차 시장의 안정적 성장과 보급 확대를 위해서는 사용자 기대 수준에 맞는 성능과 가격 확보가 필수적
 - 이차전지 시스템 기술은 전기차의 주행거리에 직접 영향을 주며 경쟁력 확보와 소비자 수용성 향상을 위한 연구개발 필요성 증대
- (기술개발) 전기소재·부품 기반 설계기술에 의해 성능이 구현되는 리튬이차전지의 연구개발은 에너지 밀도 향상에 집중
 - 기존 주행거리 확장을 위한 기술개발에서 사용자 접근성 강화를 위한 고속 충전 및 화재 안전 대응 이차전지 시스템 개발 요구

3 요소 기술

① 이차전지 팩·시스템 고밀도화 기술

- 전기차의 하루 충전 주행거리 확장과 상품성 제고를 위한 이차전지 모듈·팩 및 시스템의 소형·경량화 및 열관리 고도화 기술

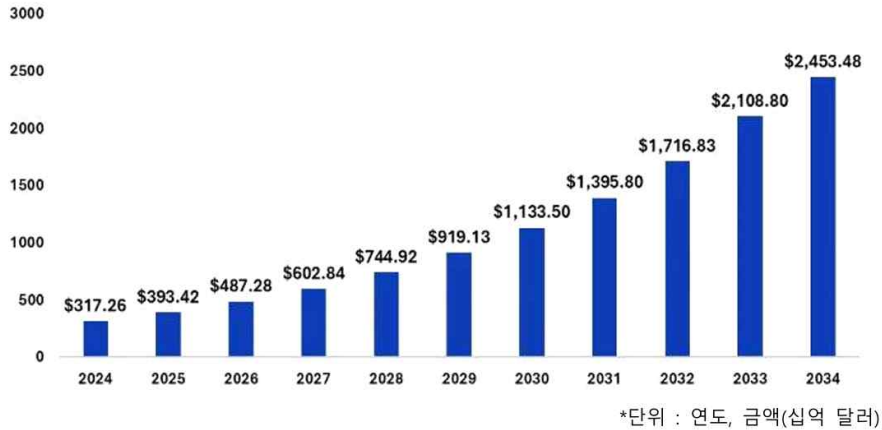
② 배터리관리시스템(BMS) 고도화 기술

- 차량용 이차전지 시스템의 안전·안정성 확보 및 성능 극대화를 위한 배터리 관리 시스템 고도화 기술

2 국내외 동향

1 해외 동향

- (가격 경쟁력) 1회 충전 주행거리 확대와 내연기관차와 경쟁 가능한 가격 경쟁력 확보를 위해 기술개발 진행 중



[그림] 전기자동차 시장 규모 전망(Precedence Research, 2025)

- (시스템 고도화) 고효율 열관리 기술 개발 및 안전성 다각화를 위해 사고 대응 시스템 개발 확대
- (전주기 관리) 전주기 관리에 대한 요구가 증대되고 있으며 이에 대응하여 차량 운행 데이터 활용 및 BMS* 상태 추정 고도화 추진
* (BMS) Battery Management System
- (글로벌 OEM 전략) 완성차들은 성능·원가를 동시에 노려 CTP 및 CTC(CTB)* 등 다양한 이차전지 시스템을 병행 채택하여 개발 진행 중
* (CTP) Cell-to-Pack, (CTC) Cell-to-Chassis, (CTB) Cell-to-body

- ◆ (중국) LFP 중심의 CTB/CTC 개발을 통해 에너지밀도 및 원가 개선
- ◆ (미국) Tesla의 CTC(4680셀 적용)가 상징적이며, Ford의 경우에도 전기차 전용 플랫폼 GE를 기반으로 양산 진행중

2 국내 동향

- (시스템 고도화) 국내외 완성차에 xEV용 이차전지 공급·탑재, 장기 공급계약 기반의 고에너지 밀도 기술개발 지속
- (산·학·연·관 협력) 이차전지 시스템에 대한 기술개발에 산·학·연·관이 적극 협력하여 상용화 기술 진행과 역량 강화 추진
- (전주기 관리) 온보드 데이터 기반 전주기 관리 및 BaaS* 대응 강화
* (BAAS) Battery as a Service, 배터리 구독 서비스
- (CTC) CTC 도입으로 기존 대비 중량 감소, 원가 감소 및 열전달 성능 확보

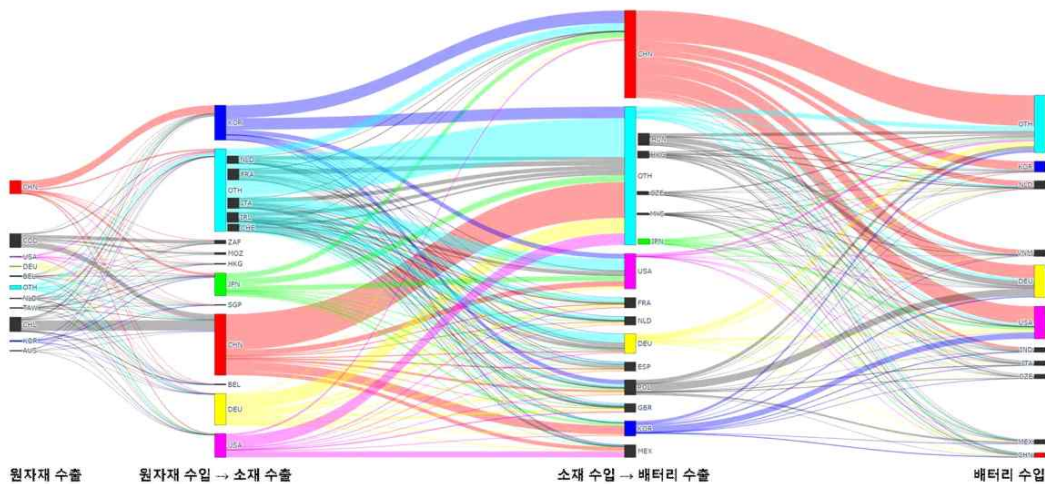
③ 지원 필요성

① 기술 현황

- (성능 한계) 에너지 밀도 향상을 위한 배터리 사이즈 증대 및 고밀도화 기술개발의 한계 봉착
 - 승객 편의성(바닥 높이) 및 안전(지상고) 문제로 공간 확보에 물리적 한계 존재하며 추가 에너지 밀도 향상이 한계에 도달
- (안전성 확보) 시스템 중량 증가로 인한 충돌 및 충격 손상 위험 증대 및 구조적 안정성 강화 요구 증대
 - 고중량 배터리팩(전기차 무게의 30~40%)이 바디 플로워에 장착되어 있어 바디 구조물의 굽힘/비틀림 강성 증대가 요구됨

② 글로벌 불확실성

- (특정국 의존) 중국은 국가 주도형 개발을 통해 경쟁 촉진, 보조금 지급 등을 기반으로 자체 전기차 가치사슬을 완성
 - 이차전지 핵심 원자재(음극재, 전구체 등) 외에도 중국산 배터리 시스템을 적용하며 국내 부품 생태계 성장이 저해됨



*한국(KOR), 일본(JPN), 중국(CHN), 독일(DEU), 미국(USA), 주요국 외 합계(OTH), 그 외 주요국은 검정으로 표시

[그림] 글로벌 이차전지 공급망 다이어그램(한국수출입은행, 2023)

- (자국중심주의) 각국은 자국 산업 보호와 경쟁력 강화를 위해 정책 변화 및 대응 전략의 급변 진행 중
 - 트럼프 미국 행정부의 관세 부과, 유럽의 배터리 여권 제도, 핵심 소재의 역내 조달, 가공 등 보호주의 정책 시행

4 지원 방안

1 R&D 혁신

- (핵심기술 고도화) 전기차 내 배터리 활용 영역을 추가로 확보하여 에너지 밀도 및 주행 가능 거리 증대

- ◆ 모듈 케이스 및 팩 프레임 등 보호 구조를 제거하고, 새시 자체와 일체화하는 구조적 배터리 패키징 기술
- ◆ 별도 냉각 구조(냉각 파이프, 플레이트)를 제거하고 CTC 전용 열관리 구조를 적용해 이차전지 시스템의 에너지밀도 향상

- (구조적·열적 안전성 확보) 기존 대비 배터리 고집적화에 따른 구조 강성 및 화재(열전이, 열폭주) 안전성 확보

- 별도의 프레임 없이 새시 자체만으로 구조적 강성을 유지하면서 배터리 무게 감소를 위해 소재 경량화 필요

- ◆ 배터리 화재 안전성 제고 및 제조공정을 고려한 CTC용 배터리 상태 실시간 진단 및 화재 발생 조기 진단 기술

- (투자 확대) 자국중심주의 등 변화에 적극적으로 대응하기 어려운 중소·중견기업에 국가적 차원의 지원

- 글로벌 불확실성(공급망, 보호무역)에 대응하기 위한 핵심기술 내재화, R&D 클러스터 형성 등 R&D 투자 확대 논의 필요

2 지속가능한 생태계 구축

- (공급망 안정화) 특정 국가에 편중된 소재·부품 의존도 탈피

- 핵심부품 기술의 국산화 및 내재화를 통해 특정국 의존도를 저감하고 공급망 안정성을 확보

- (생태계 확장) 주요국 정책 및 시장 변동성 리스크에 대응하기 위한 R&D 성과확산 및 규제 혁신 등 국내 산업 생태계 확장 추진

- R&D 성과의 기술사업화를 통해 핵심부품 생산기업을 육성하여 보호 무역주의 장벽과 특정국에 편중된 공급망 리스크 해소

- 국내 핵심기술의 신속한 시장 진입을 위해 안전 기준 및 평가 규격을 글로벌 표준에 맞춰 선제적 개선하는 규제 혁신 추진

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	감격차, 단기형(~'30)	
개발목표	MW급 연안선박 추진 및 국제항해 발전용 수소엔진 개발('30)	
기술개념	선박 추진 동력 또는 선박내 장비들에 전기를 공급하면서 온실가스 배출을 최소화하거나 제거하기 위해, 무탄소 연료(수소, 암모니아)와 탄소중립 연료(e-연료, 바이오연료)를 사용하는 내연기관 시스템	

2 유망기술 선정 사유

- (선박 탈탄소화) 국제해사기구(IMO)의 정책에 따라 탈탄소화 목표*가 설정되었으며, 탄소중립 내연기관은 탈탄소 효과가 높은 기술 중 하나
* 2050 Net-Zero(2040년 90% 저감)
- (글로벌 경쟁력) 탄소중립 중대형 선박 및 내연기관 시장을 선도하고 국산* 기자재 공급 체계와 연근해 소형 선박용 시장 확보 기여
* 우리나라의 중대형 선박용 내연기관 제조기술은 세계 최고 수준

3 요소 기술

① 무탄소 연료 내연기관

- 국제항해용 암모니아·수소 중대형(3~수십MW) 엔진 및 핵심부품(연료공급 장치, 제어시스템 등) 국산화
- 수소엔진의 경우 생산·공급·운송(수소운반선) 등 연계 기술
- 엔진 및 핵심기자재 극저온 및 취성 관련 소재 기술(무탄소연료 특성을 고려한 소재, 부품 등의 시험·평가 포함)
- 중대형 선박 적용을 통한 실제 해상에서의 성능 실증을 통한 Track records와 국제 표준 확보 및 안전 확보 기술

② 혼합 연료 내연기관

- 국제항해용 탄소중립연료(메탄올, 바이오 등) 중대형(3~수십MW) 엔진 개발 및 연안 선박용 혼합연료(LPG, 암모니아 등) 중소형(300~1,000kW) 엔진 패키지
- 엔진 및 분사시스템, 연료공급장치, 연료탱크, 배기가스 후처리시스템 및 안전확보 기술 등

② 국내외 동향

① 해외 동향

- (상용화) 독일, 벨기에, 핀란드 및 일본 등을 중심으로 저탄소·탄소중립 연료 내연기관(엔진) 상용화 진행 중
 - 암모니아 엔진은 상용화 진입 단계, 수소 내연기관은 중대형 선박용 혼소 기술과 소형선박용 전소 엔진 개발 및 상용화 진행 중

- ◆ (독일) M社は ME-GIE(에탄올), ME-LGIM(메탄올) ME-LGIP(LPG), ME-GA(BOG) 등 저탄소·탄소중립 연료(수소, 암모니아) 엔진 상용화 진행 중
- ◆ (일본) J社は 디젤+암모니아(에너지 기준 암모니아 20%) 디젤엔진 및 수소 엔진 개발 연구 진행, 향후 상업화된 암모니아 엔진 개발 계획
- ◆ (중국) WinGD사는 암모니아 엔진(X-DF-A) 개발하여 상용화 진행 중.

② 국내 동향

- (해외 의존) 해외 대비 기술 개발 시점이 다소 늦은 편으로, 일부 기자재를 제외하고는 해외 엔진 기업의 라이선스에 의존
 - 발전용 엔진(중대형 선박용)은 자체 모델을 확보하고 있으나, 주 추진용은 해외 기업의 라이선스에 의존

- ◆ H社は 기 보유한 발전용 LNG 이중연료 엔진 HiMSEN을 기반으로 LPG 엔진 등을 개발 중이며, 메탄올 연료 이중연료 엔진 상용화 완료, 암모니아 엔진 및 수소 엔진 개발 중
- ◆ S社 등은 자체 개발한 LNG 엔진을 기반으로 수소 혼소 및 전소 엔진 기초 기술 개발을 진행 중

- (개발 방향) 무탄소 연료용 엔진 및 분사 시스템, 제어시스템, 연료 공급장치 등 탄소중립 내연기관 핵심 요소 기술 확보 추진 중

- ◆ 수소와 암모니아, LPG, LNG, 메탄올 등을 혼합한 연료를 사용하는 엔진 및 핵심 부품(연료공급장치, 제어시스템 등) 기술
- ◆ 수소, 암모니아 등 무탄소 연료만을 사용하는 엔진 및 핵심부품(연료공급장치, 제어시스템 등) 기술
- ◆ 수소 및 암모니아 특성을 고려한 안전 확보 기술
- ◆ 자율운항과 연계를 위한 스마트 진단 및 유지보수 기술

③ 지원 필요성

① 국내 여건

- (대형 선박 중심) 대형선박(특히 일부 고부가가치 선종) 중심으로 조선 산업이 구조화되어 중소형 조선 및 기자재 산업 생태계가 취약
 - 척수가 많은 중소형 선박에 대한 탄소중립 연료 엔진을 기반으로 기자재산업 시장 확대 및 중소형 조선의 경쟁력 개선에 기여
 - 대형 선박 시장에서 경쟁력 있는 엔진 제조 기술을 기반으로 탄소중립 엔진의 핵심기술 내재화 및 공급망 주도
- (실증 한계) 개발 기술의 track records 확보 및 안정적인 상업화를 위해 국내 발주 선박(척수가 많은 연근해 선박 포함)에 대한 적용 정책 필요
 - 대형 엔진사와 함께 경쟁력있는 중소선박용 엔진 기업 육성과 공급망 확대 및 고용 증대 효과 기대

② 기술 현황

- (안전 확보) 수소와 암모니아 등의 새로운 연료 사용은 선박 운항의 새로운 안전 문제를 야기
 - 선박 설계(기자재 시험평가 포함), 건조 및 운항 과정에서 안전을 강화하기 위한 기술 요구

- ◆ 보급 작업, 선상 연료 저장, 연료 분배, 에너지 변환 및 유지 관리에 새로운 복잡성 초래
- ◆ 암모니아와 수소는 기존 연료유보다 체적 에너지 밀도가 낮으며, 그 외 연료 시스템 통합에 필요한 추가적인 안전 장벽과 설비를 고려한 새로운 선박 설계 솔루션 개발이 필요
- ◆ 독성 외에도 냄새로 인한 선원 승선 기피 가능성을 고려한 설계와 운용 기술 요구
- ◆ 운항 중 새로운 연료계통에 대한 선원의 유지보수 작업을 근본적으로 없애거나 최소화할 수 있는 기술 필요
- ◆ 선원들에 대한 새로운 연료 사용에 따른 기술(장비 운용)과 위험요소 및 대응에 대한 교육 중요(연안선박 중요)

③ 글로벌 불확실성

- (탄소중립 정책) 국제기구(대양운항선박) 및 국가별(연근해선박) 탈탄소 정책의 불확실성 존재
 - 탈탄소 정책의 일관성이 확보되어야 기술 개발에 대한 투자가 지속적으로 이루어질 것으로 예상

4 지원 방안

1 R&D

- (기술개발) 중소형 및 대형 선박 밸류체인 전반을 고려한 시장 확대 및 산업생태계 개선을 위한 기술 및 제품 개발

- ◆ 연근해 선박의 선종과 운항 프로파일을 고려한 탄소중립 연료 적용 엔진 모델, 핵심 기자재 및 패키지 기술 개발
- ◆ 대양 운항 선박용 중대형 탄소중립 연료(혼소 및 전소) 엔진 및 기자재 개발
- ◆ 탄소중립 연료 사용엔 안전 확보가 더욱 중요하므로 안전 및 스마트 자율운항 기술과의 연계 기술 개발

- (인프라) 미래 친환경 연료 및 기술 개발의 진척도를 고려하여 기존 육상·해상 시험·인증 설비를 고도화하고 필수 시험설비 구축

- ◆ 친환경(탄소중립) 연료 및 이용 소재 특성 연구는 관련 산업 공통의 요소기술에 해당하므로, 조선 해운 산업계에서 요구하는 사항을 포함하는 산업 공통의 시험 연구를 전문으로 하는 연구기관을 통해 기술의 축적 및 확산 필요 (산업별 운용 환경 및 제품 특성에 따른 종합 시험설비는 별도 운용)

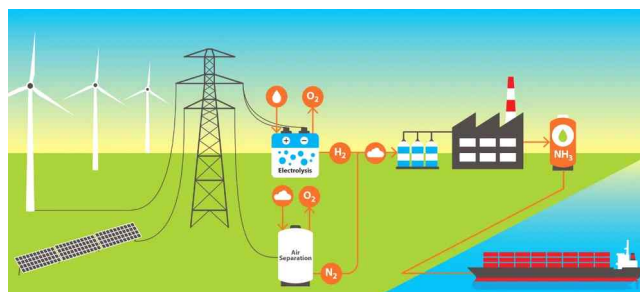
- 선박 적용성을 높이기 위해서는 탄소중립 연료공급 설비(항구 및 항만)와 벙커링 설비(선박 포함) 점진적 확대 필요
- * 싱가포르 인프라 선제적 투자로 항만 허브 입지 및 경쟁력을 유지하고 있으며 또한, 인프라를 통한 수출 확대

- (실증 및 표준) 실제 해상 환경에서 선박 실증과 운영 경험 축적을 통해 제품 개발 완성 및 표준 확보 필요

- 실제 해상 환경의 선박 실증과 운영을 통한 시장의 신뢰 확보가 필요하므로 국내 발주 선박(연근해 포함) 적용으로 track records 축적

- (투자 확대) 소형 연안선과 중대형 선박에 특화된 탄소중립 및 혼합 연료 내연기관 기술개발과 육·해상 실증 투자

- 국내외 척수가 많은 소형선박(수백 kW급), 대형선박(수십 MW급) 대상 엔진 핵심부품 및 다양한 연료에 대응할 수 있는 기술 확보



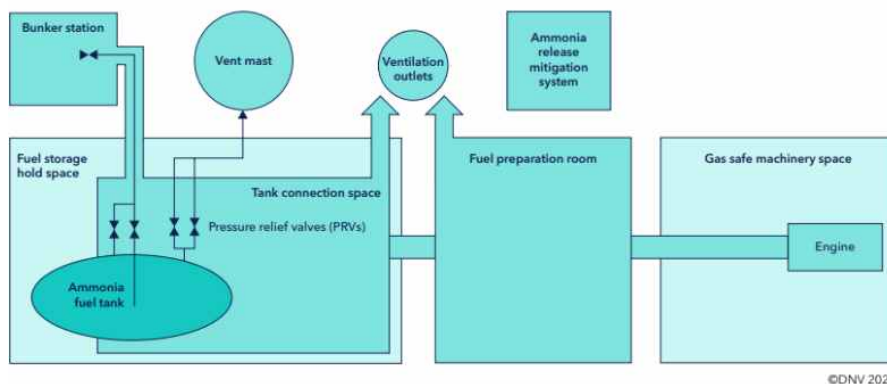
[그림] 청정 암모니아 생산 및 선박 활용(IEEE SPectrum, 2021)

② 사업화 지원

- (우선 구매) 친환경 선박법에 따라 국내 선박의 친환경 전환에 대한 지원이 진행 중이나 효과를 높이기 위한 정책 보완 필요
 - 관공선 및 연안 선박 등의 친환경 선박 전환 시 주요 기자재는 국내 개발 제품을 우선 적용할 수 있게 하여 보급 촉진 및 확산
- (기술사업화) 중소선박은 선종과 운항 프로파일이 매우 다양하여 새로운 연료 사용에 따른 기자재(엔진 등)와 설계 최적화가 중요
 - track records가 확보된 제품과 기술을 이용하여 해외 시장에서의 기술 사업(엔지니어링, 기자재 조달 및 서비스) 확대 추진
- (규제샌드박스) 새로운 연료 사용과 관련 기자재 시험과 실증을 위한 규제샌드박스 범위 확대 필요
 - 특정 항구나 해역에서의 실증 제도가 시행 중이나, 선박은 여러 항구간 운항이 필수적이므로 항구간 운항 실증 정책 필요
- (법령 개정) 탄소중립 선박 핵심기술 개발과 연계한 '친환경 선박 기술기준(안)'을 개발하여 관계 법령*에 반영하고 국제 표준화 추진

③ 기타

- (주민 수용성) 탄소중립 연료의 사용 확대에 따라 항구 인프라(저장 또는 연료공급 설비) 안전 확보와 주민 수용성 향상 필요
- (글로벌 협력) 연근해 운항 중소형 선박 수요가 많은 국가들간 친환경 연근해 선박 모델 공동 개발과 같은 국제 협력 추진



[그림] 암모니아 사용 과정에서의 안전 이슈 예시

(Safety4Sea, DNV: Safe introduction of ammonia and hydrogen fuels 2025)

1 기술 개요

1 기술 개념

기술유형	감격차, 중장기형(~'50)	
개발목표	ZEB 3등급 수준('30), 도시 단위 실증('50)	
기술개념	건물·커뮤니티 단위에서 신재생에너지를 통합 활용하여, 전력과 열에너지(냉난방, 급탕 및 환기)의 자립도와 효율을 극대화하고, 잉여에너지 공유와 분산·수요자원 최적 운영을 통해 제로에너지 건물·커뮤니티를 구현하기 위한 에너지융합시스템 기술	

* 추후 「재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 시행('26.9.18.)에 따라 '신에너지', '재생에너지'로 용어 변경

2 유망기술 선정 사유

- (탄소 감축) 제로에너지건축물(ZEB) 보급 확대 및 플러스 에너지 건물·커뮤니티 구현을 통해 2035년 온실가스 감축 기여
- (에너지 자립) 건물 일체형 신재생에너지 기술 및 커뮤니티 단위의 분산·수요자원 최적운영을 통해 커뮤니티 에너지자립 달성 가능
- (변동성 완화) 에너지 저장 및 공유, 분산·수요자원 최적 운영을 통해 재생에너지로부터 생산된 전력과 열에너지의 변동성을 완화

3 요소 기술

① 건축 구체 연동형 초고효율 태양광·열 및 HVAC(냉난방, 급탕 및 환기) 융합 기술

- 플러스 에너지 건물구현을 위한 건축 구체 연동형 태양광·열시스템의 초고효율 및 고내구성 확보를 위한 페로브스카이트/실리콘 태양전지계의 2중 및 3중 접합 태양전지 등 신소재 적용 기술
- 건물 외피일체형 태양광 및 태양열시스템과 건물패시브 성능(단열·기밀) 향상 기술을 통합하여, 건물 외피의 에너지 성능·수용성·미관을 동시에 개선하는 기술
- 공동주택 및 고층건물의 넷제로 달성을 위해, 건축 구체 연동형 태양광 및 태양열 시스템, 연료전지 시스템과 HVAC(냉난방·급탕·환기) 및 열네트워크 시스템을 융합하여 전력·열·공조의 조화를 통한 건물 및 커뮤니티 단위 에너지 융합 시스템 기술

② 커뮤니티 전력 및 열 복합네트워크 구현 기술

- 리모델링형 플러스 에너지 커뮤니티 구현을 위해 기존 커뮤니티를 리트로핏 기반 재구성하여 에너지관리 플랫폼 구현 기술
- 재생에너지 유연성확보를 위해 재사용 ESS 및 P2X(P2H, P2G, P2M등)을 공간 집약적으로 통합한 복합 에너지저장·전환 시스템 기술
- 저층 플러스에너지건물의 잉여에너지(전력·열)를 공동주택 및 고층건물과 공유하기 위한 신재생열에너지(PVT, 태양열, 지열, 연료전지등) 및 미활용열 기반 5세대 지역 냉난방(5GDHC) 열네트워크 구현 및 최적 운영 기술
- 고밀도·저비용 잠열 및 열화학 저장소재를 활용한 장단기 열저장(LSTES) 기술을 통해 계절 간 에너지 수급 불균형을 완화하고 열네트워크의 안정적인 운영을 지원
- 5세대 지역냉난방(5GDHC) 열네트워크를 활용한 Free-Cooling 및 재생에너지 연계형 고효율 외기전담·제습 시스템 기술

2 국내외 동향

1 해외 동향

- (에너지융합시스템) 선도국은 건물 에너지 사용 시스템의 **고효율화·친환경화**를 위한 지원 사업을 다수 진행

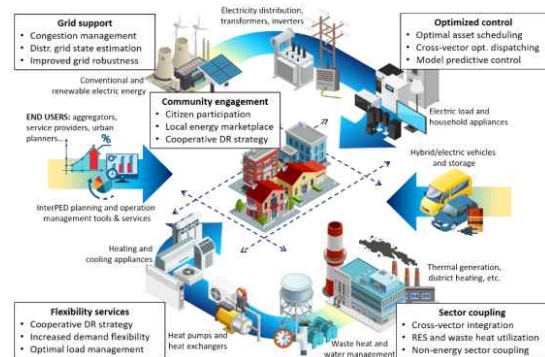
- ◆ (유럽) Horizon Europe Work Programme 2025의 Cluster 5에서 효율적이고 안정적인 에너지 공급을 위한 히트펌프·열저장·지역난방(DH) 연계와 신축·리모델링 건물 및 커뮤니티 단위의 복합 에너지 시스템 관련 연구 수행
- ◆ (일본) 천공 열원 히트펌프(SSHP)시스템을 설치하여 냉난방 또는 급탕 등 다목적 열수요에 대응하는 고효율 요소기기 및 시스템 기술의 실증 연구 수행

- (도시단위) 도시 단위 에너지 운영에 대한 기술개발 및 실증이 진행 중

- ◆ Limerick(아일랜드)과 Trondheim(노르웨이)는 각각 100%와 75%의 에너지 자립율을 목표로 하며, 열에너지 효율 증대, 에너지저장시스템 등을 목표로 실증사업 진행 중
- ◆ (일본) 스마트시티를 위한 지역 에너지관리시스템(CEMS) 실증사업과 SST(Sustainable Smart Town) 등 지역단위 에너지저장 및 공유 프로젝트를 추진



[그림] 후지사와 지속가능 스마트마을
(Panasonic, 2022)



[그림] positive energy district 개념도
(Lindholm, Oscar et al. 2021)

2 국내 동향

- (건물에너지시스템) 건물 일체형 태양광 시스템에 대한 기술 및 건물 에너지 시스템과의 융합 기술 개발 중

- ◆ 유럽에서 패키지로 적용되고 있는 태양광, 히트펌프 및 ESS 패키지는 국내 대기업에서도 패키지를 제작하여 유럽에 판매 중으로, 대기업을 중심으로 일부 기술력 확보
- ◆ 국내 고층 건물을 위한 태양광·열 시스템에 대한 기술은 국내에서 일부 중소기업을 중심으로 개발 중이며 단일 신재생에너지원을 융합한 효율 향상 기술개발 중

- (커뮤니티) 건물·커뮤니티의 전력 및 열에너지의 자립을 위한 다양한 시스템 개발 및 최적화 기술을 개발 중

- ◆ 2025년 기후부 지원으로 차세대 전기형 공동주택 제로에너지화 기술개발 및 실증을 추진하고 있으며, 차세대 열네트워크 관련 연구 수행 중
- ◆ 2025년 국토교통부 지원으로 고층형 ZEB 3등급 공동주택 단지 핵심 기술개발 및 실증 추진

3 지원 필요성

1 국내 여건

- (규제) 국내 신재생에너지* 시스템 적용 및 경제성 확보를 위해 규제, 제도, 인증 마련 필요

- ◆ 건물 외피에 신재생에너지 시스템 설치 시 일조, 조망, 안전, 누수 책임 등 관리 규약 및 감리 기준 불명확으로 현장 설치 검토 곤란
- ◆ 에너지 융합 시스템을 구현하기 위한 기계실이 옥상이나 지하공간 등 공용공간에 설치해야 하나, 설치 권리 및 책임 범위 불분명
- ◆ 지역난방과 같은 대규모 사업이 아닌 소규모 재생에너지 활용을 위한 열네트워크에 대한 표준, 요금제, 검침 방법 및 정산 규정이 부재, 사업성 및 수익모델 부족
- ◆ 제로에너지건축물(ZEB) 인증은 에너지 절감 성능 위주로 커뮤니티 단위 재생에너지 공유, 열네트워크, DR 자원 등의 기술 확산 동기 부족
- ◆ 공공부문 중심으로 ZEB 의무화가 확대되는 반면, 민간 건물은 시장 인센티브 부족으로 활성화 미흡
- ◆ 건축법(건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 등) 상 난방설비에 대한 기준은 가스보일러 중심으로 되어 있어 지역난방 외 타 열원설비에 대한 검토가 쉽지 않음

- (주민 수용성) 보급 확산을 위해서는 주민 수용성 향상이 필요하나 장애 및 유지관리로 인한 어려움 존재

- ◆ 건물 및 커뮤니티 단위 신재생에너지의 미적 외관, 인버터 소음, 히트펌프 등 기계류의 진동 및 관련 설비의 유지관리 부담에 대한 불확실성으로 주민들의 설치 반대 사례가 다수
- ◆ 에너지 설비(태양광·ESS·히트펌프 등) 설치 시 인허가, 관리규약, 책임 범위의 불명확성 등으로 설치 문제 지속적으로 제기
- ◆ 건물 및 커뮤니티 단위 신재생에너지는 높은 초기 투자비와 물리적 설치 공간 제약

2 기술 현황

- (기술부족) 관련 기술 부족으로 인한 신뢰성, 경제성 저하 문제 발생으로 실증사업에서 경제성을 포함한 개선안 도출 필요

- ◆ (전기·열 생산 융합) 급탕 공급을 위한 히트펌프 활용 측면에서, 히트펌프의 특성상 축열조가 요구
 - 축열조의 설치 위치 및 히트펌프와의 연계 방안에 대한 기술 부족
 - 난방 및 급탕시 저온 열원과 냉방시 고온 열원에 따른 히트펌프 성능 하락 해결 필요
 - 동절기 히트펌프의 착성 및 제상에 따른 성능 저하 문제 해결 필요
- ◆ (커뮤니티 통합운영) 커뮤니티 전력 및 열 복합 네트워크의 설계 및 운영 기술 부재로 실증 사업 진입 곤란
 - 커뮤니티 통합 운영 시스템 설비의 장기 성능 실증 및 검증 데이터 부족
 - 신재생에너지 융합 시스템(전력·열·수요자원)의 최적운영 알고리즘 실증 부족과 상용 BEMS/EMS와의 연동을 위한 표준 부재, 플랫폼 간 연동 기술 부족
- ◆ (BIPV 화재) BIPV 기술을 건물 외피에 일체형으로 통합됨에 따라 건물 외피에서의 화재, 아크, 단락 등 전기적 위험 관련 리스크 발생
 - 외피 면이나 수직 벽(파사드)에 설치된 BIPV는 수직 공동부 벽체 틈새에 불꽃·연기·열이 빠르게 확산되는 '굴뚝 효과' 발생 위험
 - 열 및 연기 확산을 막기 위한 방화구조 설계 기술 필요

4 지원 방안

1 R&D

○ (기술개발) 운영 및 제어 기술개발과 실증을 통한 상용화 추진

- ◆ (시스템 통합 및 실증) 공동주택, 고층건물 등 다양한 건물 및 커뮤니티를 대상으로 단지 중심의 신재생에너지 융합 시스템의 운영 성능 검증을 위한 실증
 - 계절별, 극한기 운전(제상·혹서·혹한) 기반 실증 데이터셋 확보 필요
- ◆ (디지털·제어) 디지털트윈 기반 재생에너지 융복합 시스템 최적운영 알고리즘 개발 및 구독형 AI 제어가 가능한 운영 플랫폼 확보
 - 결함진단(FDD)·성능열화 예측 및 자율제어 기술 개발로 O&M 비용 절감 필요
- ◆ (상용화) 실증 이후 상용화로 연계되는 Scale-up R&D 트랙으로 상용화 기반 마련
 - 커뮤니티 단위 사업모델의 국내 적용 및 실증을 위한 재생열·전력 융복합 실증 지구 확대, 구축 건물 적용 가능 건물 일체형 태양광 시스템 확보

2 사업화 지원

○ (제도) 건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템 적용 및 확대를 위해 관련 제도 정비와 지원 정책 필요

- ◆ 히트펌프의 초기 투자 비용을 고려한 설치 지원
- ◆ 건물 신재생에너지 시스템의 운영 성과를 EMS를 통해 평가하고, 이를 기반으로 보상하는 성능 기반 제도(Performance for Pay, P4P) 도입
- ◆ 전문 사업자가 건물주 대신 에너지 설비를 설치, 운영, 유지보수를 모두 맡는 에너지 서비스형 모델(Energy-as-a-Service, EaaS) 도입
- ◆ 공공 공동주택 및 공공건물 단지를 대상으로 커뮤니티 전력 및 열 복합 네트워크 구현 기술 우선 설치 및 운영 제도화
- ◆ 사업자가 커뮤니티 전력 및 열 복합네트워크 기술 솔루션을 제공할 수 있도록 프로젝트 파이낸싱(PF), TIPS, R&D 바우처 등 사업화 지원
- ◆ 에너지 시스템의 통합 시스템 단위의 관리 규약 및 안전기준 명확화
- ◆ 복합 에너지 네트워크 배관 및 지중 열저장 설치에 대한 부지규제·인허가 절차 간소화 및 실증단지 특례 적용

3 기타

- (운영 역량 강화) 공동주택·상업건물 관리주체 대상 운영 실무 기반 교육 프로그램(리빙랩) 개발
- (주민 수용성 향상) 개발된 기술의 주거용 건물 설치 시 안전(화재, 소음, 진동) 정보를 기준화하여 제공
 - 커뮤니티 단위 전력 및 열 복합네트워크 구현에 따른 체감형 비용 절감 효과 시각화 및 실시간 정보 제공

분야	핵심 기술명	분야	핵심 기술명			
태양광	1-01 초고효율 태양전지	신재생에너지	10-10 폐플라스틱 열분해			
	1-02 사용처 다변형 태양광 시스템		10-11 폐플라스틱 가스화			
	1-03 폐태양광 재활용·재사용		10-12 연료유·부산물의 기초화학원료 전환			
풍력	2-01 초대형 풍력 터빈	시멘트	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			
수소 공급	생산	CCUS	11-03 신규 혼합재 제조			
			3-01 알칼라인 수전해	11-04 순환자원 연료 대체		
			3-02 PEM 수전해	11-05 저탄소 신열원 활용		
	저장·수송		3-03 차세대 수전해	포집	12-01 습식 포집	
			3-04 기체수소 저장·운송		12-02 건식 포집	
			3-05 액체수소 저장·운송		12-03 분리막 포집	
			3-06 수소전용 배관망		12-04 차세대 포집	
			해외 도입	3-07 암모니아·수소 대용량 저장·운송	저장	12-05 저장소 탐사·평가·선정
				3-08 차세대 해외수소 저장·운송		12-06 저장 시설·설비 설계·구축
				3-09 액체수소 운송선		12-07 저장소 CO ₂ 주입 및 운영
3-10 액체수소 인수기지	12-08 CO ₂ 저장 모니터링					
무탄소	전력·열기	활용	12-09 화학적 전환			
			4-01 수소 혼소 가스터빈 발전	12-10 광물 탄산화		
			4-02 수소 전소 가스터빈 발전	12-11 생물학적 전환		
			4-03 석탄보일러 암모니아 혼소	신재생에너지	13-01 산업공정용 수소·암모니아 활용	
			4-04 초고효율 연료전지 복합발전		13-02 공정가스 대체(반도체·디스플레이)	
4-05 고효율 연료전지 열병합 시스템	13-03 공정가스 처리(반도체·디스플레이)					
전력·저장	5-01 단주기 에너지 저장 시스템	13-04 친환경 냉매				
	5-02 장주기 에너지 저장 시스템	13-05 전동기·전력변환기 효율화				
	5-03 사용후 배터리 ESS 시스템	13-06 그린 데이터센터				
전력·망	6-01 지능형 송배전 시스템	13-07 탄소배출 저감 효과 모니터링				
	6-02 실시간 전력거래 플랫폼	친환경 자동차	14-01 이차전지 셀 고도화			
	6-03 분산전원 및 유연자원 통합 운영		14-02 이차전지 시스템 고도화			
에너지 통합	7-01 산업용 고온·초저온 히트펌프		14-03 구동 모터 성능 향상			
	7-02 복합에너지 시스템		14-04 전력변환장치 고도화			
	7-03 열에너지 저장 시스템	14-05 유선충전 고속화				
원자력	8-01 소형모듈원자로(SMR)	14-06 무선충전 고용량화				
	8-02 선진 원자력 시스템	14-07 연료전지 시스템 고도화				
	8-03 원자력 폐기물 관리	14-08 차량용 수소저장시스템				
철강	9-01 고로 연·원료 대체	14-09 수소 충전소				
	9-02 전로 원료 대체	탄소중립 선택	15-01 탄소중립 내연기관			
	9-03 탄소 저감형 전기로		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	제로에너지	16-01 고성능·다가능 외피			
신규화학	10-01 전기가열로 NCC 시스템		16-02 건물 설비 전기화·고효율화			
	10-02 무탄소 연료 NCC 공정		16-03 건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템			
	10-03 부생가스 고부가 전환		16-04 건물에너지 관리·제어·데이터 활용			
	10-04 바이오 나프타·올레핀	환경	17-01 생분해성 바이오 플라스틱			
	10-05 바이오 PEF		17-02 리뉴어블 플라스틱			
	10-06 바이오폴리올		17-03 금속자원 회수			
10-07 폐플라스틱 자동선별	17-04 국토공간별 탄소흡수 증진					
자원순환	10-08 폐플라스틱 용매 추출					
	10-09 폐플라스틱 해중합					

용어	의미	페이지
1. (태양광) 초고효율 태양전지		
탠덤 태양전지	서로 다른 파장대의 빛을 흡수하는 두 종류 이상의 반도체 전지를 수직으로 쌓아 올린 태양전지	7, 8
CIGS	구리(Cu), 인듐(In), 갈륨(Ga), 셀레늄(Se) 또는 황(S)으로 구성된 박막 태양전지	7
OPV	Organic Photovoltaics, 유기태양전지	7
TOPcon	금속막과 실리콘 표면 사이에 실리콘 필름을 활용한 얇은 산화물 계층을 삽입한 태양전지	10
2. (풍력) 초대형 풍력 터빈		
LCOE	Levelized Cost of Electricity, 균등화 발전비용	11, 12
드라이브트레인	동력 전달 장치	11, 12
3. (수소공급) 암모니아-수소 대용량 저장·운송		
LHV	Lower Heating Value, 저위 발열량	19
4. (무탄소 전력공급) 수소 전소 가스터빈 발전		
PGC	Pressure Gain Combustion	20
SCR	Selective Catalytic Reduction, 선택적 촉매 탈질설비	20
5. (전력저장) 단주기 에너지 저장 시스템		
LIB	Lithium-ion battery, 리튬이온전지	25
LFP	Lithium Iron Phosphate, 리튬인산철	25
LMR	Lithium Manganese Rich, 고망간계 리튬	25
ESS	Energy Storage System, 에너지 저장 시스템	25
BESS	Battery Energy Storage System, 배터리 에너지 저장 시스템	25, 26
BMS	Battery Management System, 배터리 관리 시스템	24, 26
6. (전력망) 분산전원 및 유연자원 통합 운영		
VPP	Virtual Power Plant, 가상 발전소 / 통합 발전소	28, 29
P2H	Power to Hydrogen	29, 30
P2G	Power to Gas	29, 30
V2G	Vehicle to Grid	30, 31
섹터 커플링	전력, 열, 가스 등 다양한 에너지 섹터를 서로 연결해 효율성을 높이는 기술	29, 30

DR	Demand Response, 수요 대응	28, 30
NWAs	Non Wires Alternatives, 송전선로 대안 기술	28~31
LMP	(Locational. Marginal Pricing, 지역별 차등요금제	31
7. (철강) 한국형 수소환원제철		
PPA	Power Purchase Agreement, 전력구매계약	35
SPA	Sales Purchase Agreement, 장기 판매·구매 계약	35
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism, 탄소국경조정제도	35
8. (친환경 자동차) 이차전지 시스템 고도화		
BMS	Battery Management System, 배터리 관리 시스템	37
CTP	Cell-to-Pack	38
CTC	Cell-to-Chassis	38
CTB	Cell-to-body	38
BAAS	Battery as a Service, 배터리 구독 서비스	38
9. (탄소중립 선박) 탄소중립 내연기관		
IMO	International Maritime Organization, 국제해사기구	41
10. (제로에너지건물) 건물 신재생에너지 및 에너지융합시스템		
ZEB	Zero Energy Building, 제로에너지건물	46
HVAC	난방(Heating), 환기(Ventilation), 냉방(Air Conditioning)	46
P2M	Power to Mobility	46
PVT	Photovoltaic-Thermal, 태양광·열 복합	46
LSTES	Long-term/Short-term Thermal Energy Storage, 장단기 열저장	46
BIPV	Building-Integrated Photovoltaic system, 건물 일체형 태양광	48
FDD	Fault Detection and Diagnosis, 결함 진단	49

과학기술정보통신부 과학기술정책국 과학기술전략과	
담당자	박정순 사무관
연락처	전 화 : 044-202-6737 E-mail : pjs713@korea.kr