탄소중립 기술혁신 추진전략

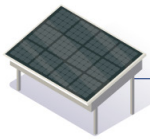
10대 핵심기술 개발 방향

태양광
풍 력
수 소
바이오에너지

과학기술정보통신부
Ministry of Science and ICT

한국에너지기술연구원
KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH

CONTENTS



요 약

Ⅰ. 태양광 기술개발 전략

1. 개요 9
2. 국내·외 현황 10
3. 핵심기술 구성 및 선정 배경 17
4. 비전 및 목표 18
5. 중분류별 추진전략 19

Ⅱ. 풍력 기술개발 전략

1. 개요 37
2. 국내·외 현황 38
3. 핵심기술 구성 및 선정 배경 42
4. 비전 및 목표 43
5. 중분류별 추진전략 44

Ⅲ. 수소 기술개발 전략

1. 개요 55
2. 국내·외 현황 56
3. 핵심기술 구성 및 선정 배경 69
4. 비전 및 목표 70
5. 중분류별 추진전략 71

Ⅳ. 바이오에너지 기술개발 전략

1. 개요 89
2. 국내·외 현황 90
3. 핵심기술 구성 및 선정 배경 99
4. 비전 및 목표 100
5. 중분류별 추진전략 101

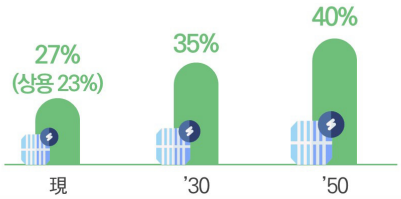
요 약

Ⅰ. 태양광

목표 초격차 선도기술 확보

| 핵심지표 |

▶ 태양전지 셀 효율



혁신전략

현황·이슈

① **중국 저가화 공세 및 상용기술 한계**

② **입지 다변화**(수상, 건물 등) 요구 증대

③ **도시 등 응용분야 확대 필요성 증가**

※ 중국 Longi, Jinko, Trina 등은 대규모 설비 확장으로 모듈 가격 하락 유도

※ 현재 태양광 시장의 95% 이상을 차지하는 실리콘 태양전지의 한계효율은 30%

※ 글로벌 탄소중립 추진에 따라 수상, 해양, 건물(BIPV) 등 응용시장 급증 전망

기술개발

① 상용기술을 대체할 **차세대 고효율 기술**(고성능 탠덤 등) **적기 상용화**

② **수·해상 시스템 설치·운영 효율화**(경제성 확보)

③ **도시형 태양광**(초경량 태양전지 등) 기술개발 추진

- 다양한 소재와 방법을 통해 초고효율 달성, 상용화 촉진을 위해 산·학·연 공동개발 유도, 수상·해상 시스템 안전성·신뢰성 검증 추진

정책·제도

실증 인프라 구축, 新기술 **인증기준** 마련 및 **공공수요 창출*** 등 **상용화 및 시장진입 촉진 기반 마련**

* 의무할당제도(RPS) 대상 및 비율 확대 검토 등

태양광 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
초고효율 태양전지	전지 효율 ~26.7% 모듈 효율 ~21%	탠덤 셀 초격차화	탠덤 셀 초고효율화		('30) 탠덤 셀 효율 35%, 모듈 30% ('50) 다중접합 셀 효율 40% 이상
		모듈 장기안정성/고내구성 확보		상용화 적용	
태양광 시스템	수상태양광 시스템 설치 단가 13.5억 원/MW	수상/해상 태양광 시스템	내구성 및 경제성 확보		('30) 수상태양광 설치 단가 4억 원/MW ('50) 수상태양광 설치 단가 2.7억 원/MW
탄소중립 도시형 태양광	유연 태양전지 효율 ~20%	경량/유연/반투명/소감도 태양전지 고효율화 (무기박막, 유무기페로브스카이트, 유기 등)			('30) 초경량 유연 탠덤 셀 효율 30% ('50) 고집적 고내구성 모듈
		고집적 기능성 모듈 개발		사업화	

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기대효과

효율 극대화를 통한 **필요면적 축소**(현재의 60% 수준) 및 응용처 확대(해상, 건물 벽면 등)로 **태양광 발전량 증대**

※ 예) 1 GW 설비에 필요한 면적: 현재(모듈효율 21%) 14.2 km^2 → '40년(모듈효율 35%) 8.5 km^2

정책 동향

세 계 전 세계적인 탄소중립 선언에 따라 태양광 발전을 중심으로 재생에너지 발전비중이 확대될 전망

중국 2050년까지 태양광발전 설비용량 1,400 GW로 증가 전망

일본 2030년까지 태양광시스템 가격 7만 엔/kWh 이하 (공사비 포함)로 저감

독일 2030년까지 태양광을 현재의 2배로 확대 ('30년 전체 소비전력의 65%를 재생에너지로 충당)

국 내 재생에너지 3020 목표달성을 위해 신재생에너지 공급의무화(RPS) 비율 상향 및 REC 경쟁입찰 확대, RE100 지원제도 도입 등 추진

시장현황 및 전망

세 계 그리드패리티 도달, 탄소중립 등 이슈로 세계 태양광 시장은 큰 폭의 성장 전망

※ 신규/누적 설치량 : ('19) 118.0 GW/644.1 GW → ('30) 188.2 GW/2,382.4 GW

※ 시장 규모 : ('20) $766억 → ('25) $1,131억(CAGR 8.1%)

※ 글로벌 태양광 LCOE: 지난 6년간 약 ¼ 수준으로 하락 및 향후 10년간 약 40% 추가 하락 전망(BloombergNEF)

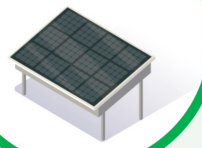
국 내 탄소중립 선언에 따른 신재생분야 비중 확대로 관련시장의 급격한 성장과 제로에너지빌딩 제도의 본격적인 시행으로 BIPV 시장 확대 전망

※ 태양광 누적/신규 설치용량 : ('19) 9.29 GW → ('20.11) 12.9 GW / ('17) 1.4 GW → ('20.11) 3.7 GW

※ 태양광 발전량 전망 : ('20) 16,551 GWh → ('34) 59,080 GWh

※ 국내 태양광 LCOE : 지난 6년간 약 30% 하락, 2030년 80~90원/kWh 수준 전망(에경연)

태양광



기술개발 현황

실리콘 태양전지 실리콘 가격 급락으로 태양전지 시장의 95%를 점유한 실리콘 태양 전지의 효율 한계 극복을 위해 실리콘 기반의 탠덤 태양전지와 같은 하이브리드 기술개발을 통해 효율 향상, 공정 비용 절감, 기술난이도 극복 등을 위한 연구 진행 중

※ 기술수준(면적 1 cm^2 이하 효율) : 유럽 29.5%, 미국 27.1%, 한국 26.7%

차세대 태양전지 단일구조인 결정질 실리콘 전지의 양산 한계효율(26%) 극복을 위한 차세대 기술에 대한 니즈 확대

※ CIGS, 페로브스카이트 등 차세대 태양전지의 고효율화, 대면적화 등 연구 진행 중

도시형 태양광 태양광 보급 확대를 위해 설치형태나 무게 등 응용 제약 극복과 다양한 응용분야 적용이 가능한 경량형/투광형/고내구성 태양전지 기술개발 및 친환경 소재개발 추진

산업 동향

실리콘 태양전지 중국 기업의 세계시장 점유율 확대에도 불구하고 국내 태양광 업계는 세계 최고 수준의 기술력을 바탕으로 해외시장에도 적극 진출

※ 중국기업 점유율('19) : (폴리실리콘) 64% (웨이퍼) 92% (셀) 85% (모듈) 80%

※ 국내 주요 셀 모듈 제조사 세계 최고수준의 양산효율 (셀 22%, 모듈 20% 이상) 달성 ('19년 기준)

차세대 태양전지 상용화를 위한 내구성 확보 및 대면적화 기술 확보 필요

※ 한화큐셀 : 페로브스카이트 태양광 셀(탠덤 셀) 개발 시작('20) 및 향후 3년간 원천기술 확보 및 상업화 계획

도시형 태양광 정부 주도의 보급정책을 통해 BIPV, 수상태양광 등 태양광 응용분야 산업 확대 중

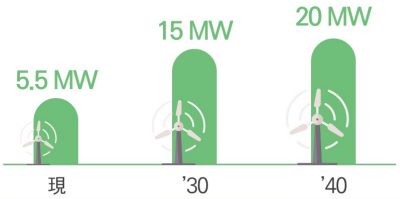
Ⅱ. 풍력

목표 풍력 대형화 선도기술 확보

| 핵심지표 |

▶ **풍력 발전기 용량**

도전적인 목표로서, 현재 진행 중인 타당성 연구 결과를 통해 향후 조정 가능



혁신전략

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① 핵심부품의 **높은 해외의존도*** ② 세계적 **대형화 추세**** 및 **부유식 시스템** 확대 ③ **계통 한계***** 및 복잡지형으로 인한 **고장률 증가** * 핵심부품 국산화율 60% 수준 ** GE(미국)는 2019년에 12 MW 터빈 출시 (현재 두산중공업은 '22년 8 MW급 목표로 개발 중) *** 2020년 상반기 출력제한 횟수가 2019년 전체(46회)보다 증가, 생산전력 45% 손실	① 대형 블레이드 등 **핵심부품 기술 자립** ② **대형 부유식 시스템 적기 상용화** ③ **계통 안정성 및 운전 신뢰성*** 확보 추진 * 전력망 한계로 인한 감발운전 등 극복을 위한 출력예측·제어, 대응 기술 등 • 기술개발 단계에서부터 부품·발전기 관련 기업과 공동 개발을 통해 실증테스트 계획을 구체화하여 상용화 촉진	**주민수용성 제고** 방안 강구, **보급확대**를 위한 **인센티브 강화로 수요창출, 계통연계 확대·전력예측 시스템 구축** 추진

풍력 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
풍력 핵심부품 효율향상	5.5 MW (블레이드 길이: 70 m)	10~15 MW급 대형 블레이드 → 10 MW급 직접 구동형 발전기/전력변환기	시스템 실증 → 실증/사업화	사업화	('30) 15 MW급 핵심부품 실증/상용화(블레이드 100 m 이상) ('40) 20 MW급 핵심부품 실증
풍력 발전기 대형화	발전용량 5.5 MW	고정식 풍력발전기 대형화 → 부유식 풍력발전기 대형화	실증/사업화 → 시스템 실증/사업화		('30) 15 MW급 고정식풍력 상용화 ('35) 15 MW급 부유식풍력 상용화 ('50) 20 MW급 부유식풍력 상용화
풍력단지 운전효율 향상	운전수명 20년	풍력단지 신뢰성 실증평가 기술 → 육/해상 출력 예측 및 활용 기술	사업화 → 실증/사업화		('30) 풍력발전단지 운전수명 25년 ('30) 출력 예측 정확도 95%

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기대효과

발전기 대형화, 운영 효율 향상 등 풍력기술 선진화로 **풍력 발전량 증대 기여**

※ 예) 5 MW급 발전기가 설치된 해상풍력단지(설비용량 3.9 GW)에 10 MW급 발전기 적용 시 총 설비용량 4.9 GW로 25% 증가

정책 동향

세 계 2050 탄소중립 및 재생에너지 발전비중 확대에 풍력발전이 기여할 것으로 전망

중국 2020년까지 해상풍력 누적 설비용량 7.4 GW 달성

영국 2030년까지 40 GW의 해상풍력발전단지 건설 예정

미국 2026년까지 약 10 GW의 해상풍력발전단지 건설 예정

국 내 재생에너지 3020 이행계획('17), 그린뉴딜('20)을 통해 해상풍력 중심의 풍력발전 보급 정책 시행

- 2030년 목표 달성을 위해 17 GW의 풍력발전단지 조성 (해상풍력이 14 GW)

시장현황 및 전망

세 계 2020년 기준 글로벌 풍력 신규 설치용량은 93.0 GW으로 2019년 대비 53% 증가(GWEC 2021)

※ 신규 설치 용량 中 육상 86.9 GW, 해상 6.1 GW 설치(GWEC)

풍력시장은 FIT, 국가 및 주 단위의 재생에너지 보급 목표 등 정부 지원으로 성장이 가속화될 것으로 전망

국 내 서남해(2.4 GW), 신안(8.2 GW) 등에서 해상 풍력단지가 개발됨에 따라 시장 확대 전망

※ 누적 설치용량(GW) :
('18) 1.30 → ('19) 1.42 → ('20) 1.58

※ 신규 설치용량(MW) :
('17) 114 → ('18) 161 → ('19) 120 → ('20) 160

풍 력

기술개발 현황

부품 국내 공급망이 취약하여 단조 제품 위주의 개발과 생산이 이루어지고 있는 상황

- 기술적 진입장벽이 낮은 부품 위주의 기술개발 및 사업화 진행

시스템 국내 풍력발전기는 성능과 가격경쟁력에서 열위이나, 가격 저감을 위한 다양한 기술개발 추진 중

- 두산중공업, 유니슨에서 8 MW, 10 MW 풍력발전기 개발 중

풍력단지 단지 O&M 기술 및 감발운전을 대응할 수 있는 기술개발 추진 중

산업 동향

시스템 육상 4 MW급이 개발되어 보급 중이고, 해상 8 MW 개발 중이나 선진국 대비 약 5년 정도의 기술격차 존재

블레이드 노동집약형 생산 부품인 블레이드는 협소한 내수시장 규모로 인해 중국산 대비 가격 경쟁력 열위

- 국내는 설계 기술의 일부를 확보한 상태이며, 현재 두산의 8MW 블레이드는 독일 Windnovasion에서 설계 진행

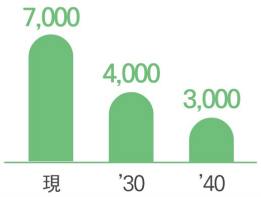
기계, 부품 정부 주도의 국산화를 위한 많은 시도가 있었으나, 성공한 사례는 많지 않으므로 경쟁력을 갖춘 분야의 선택적 국산화 추진 필요

Ⅲ. 수소

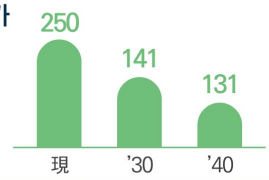
목표 수소경제 구현을 위한 수소 전주기 기술 확보

| 핵심지표 |

▶ **수소충전소 공급가**(원/kg)



▶ **수소 발전단가**(원/kWh)



혁신전략

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① **그린수소 생산단가 고비용** (13,000원/kg)* ② **대규모 수송·저장 애로**** ③ **수소 활용분야 확대 전망***** * Nel(노), Asahi Kasei(일) 등은 대형 수전해 시스템 개발 등 그린수소 경제성 확보 추진 ('50년 그린수소 생산단가 전망($/kg, BNEF) : 獨)0.99, 美)0.84, 韓)1.64) ** 수소경제 활성화 로드맵에 따르면 2030년부터 해외수소의 도입이 본격화 될 것으로 예상 *** 수소차, 선박 등 수소 모빌리티와 병원, 건물 등 분산발전원으로 확대	① **수소 저가·대량생산** 기술 ② **장거리·대용량 수소 저장·운송** 기술 개발 ③ **고효율·장수명 연료전지 발전** 시스템 개발 • **출연연·대학**중심으로 全주기 **핵심 원천기술*** 개발** 후 상용화를 위한 **기업지원 강화****, **수소기술 선도국과 협력체계 구축** 병행 * 수전해시스템 다양화, 저가·고효율 수소 저장·추출 기술, 안정적 수소 운송 기술 등 ** 국산기술 기반 시스템 조기 상용화를 위해 시스템 개발단계부터 기업 참여 확대	**청정수소 생산·판매** 활성화를 위한 **지원**정책과 함께 **수소 저장·운송 및 발전**을 위한 **안전성 확보·검증** 기반 강화 ※ 저장·운송의 경우 대규모 인프라 구축이 수반되므로, 기술 실증 前 경제성·환경성 분석을 수행해 국내 환경에 적합한 저장·운송 방법 선택

수소 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
수소 생산	[그린수소 생산단가] 13,000원/kg	중형 개질시스템 개발 → CCS 인계 개질 시스템 및 실증 → 상용화 (대용량 HESS/P2H 상용화('40) ◎) 수전해 시스템 개발 → 대형화 실증 → 상용화 (100 MW급 상용화('40) ◎)			· **수소 생산단가** ('30) 3,500원/kg ('40) 2,500원/kg
수소 저장·운송	[LOHC 수소 추출] 2 Nm³/h [수소 배관망] 200 km	● 해외협력 추진('26) 액체수소/화학적(암모니아, LOHC 등)수소 저장 기술 개발 → 상용화 수소 운송(육상, 해상) 기술 개발 → 상용화			· **수소 추출효율** ('28) 1,000 Nm³/h · **수소 운송** ('40) 장거리 배관망 구축 및 수송선 상용화
수소 발전	[발전단가] 250원/kWh [가스터빈] 천연가스터빈 실증	연료전지 분산 발전시스템 개발 → 양산 및 사용화 (◎ 열병합 효율 90% 이상('30)) 수소 및 암모니아 터빈 개발 → 상용화			· **발전단가** ('30) 141원/kWh ('40) 131원/kWh

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간 ◎ 상용화 시기 ● 해외 연계

기대효과

수소 생산 **시스템 효율 향상** 및 **재생전력** 기반의 **수소생산 확대**로 **수소사회 구현 가시화**

※ 예) 공급가격 저감으로 수소차 100 km 주행기준, 연료비용(휘발유 → 수소) 50% 이상 저감

정책 동향

세 계 탄소중립을 위한 핵심수단으로 수소의 필요성이 점차 확대되고 있고, 세계 각국은 수소경제 선점을 위해 수소 기술·산업을 집중 육성하고자 정책적 지원을 강화

미국 2050년까지 수소 수요를 연간 최대 4,100만 톤까지 확대함으로써 에너지 수요 14% 차지

독일 수소 시장 확대에 70억 유로, 수소 확보를 위한 글로벌 파트너쉽 구축에 20억 유로 투자

※ 2030년까지 5 GW의 그린수소 생산 설비 구축하여 연간 14 TWh의 수소를 공급

일본 '수소·연료전지 전략 로드맵'을 재개정('19)하여 수소 및 연료전지 시스템 등의 가격 저감 목표 및 이행방안을 제시

※ 수소 공급 가격('30년 336엔/kg, '50년 224엔/kg) 저감을 위한 수전해 시스템 저가화 등을 추진

국 내 세계 최고 수준의 기술력을 확보하여 수소경제 선도국으로 도약하고자 수소경제 활성화 로드맵('19) 및 수소 기술개발 로드맵('19) 수립

시장현황 및 전망

세 계 2050년 글로벌 수소 수요는 2020년 8,700만 톤에서 6배 증가한 5억 2,800만 톤에 달할 것으로 전망(IEA, '21)

※ (생산)
('20) 1,514억 달러 → ('24) 1,918억 달러(Koncept, '20)

※ (저장·운송)
('20) 141억 달러 → ('27) 186억 달러(Grandviewresearch, '20)

※ (발전)
('19) 2,685억 엔 → ('30) 49,581억 엔(후지경제, '21)

국 내 2040년 국내 수소 수요량은 526만 톤/년으로 CO_2-free 수소의 연간 수요량은 368만 톤으로 추정

※ (생산) 2020년 국내 수소 생산량은 198만 톤으로 대부분이 부생수소와 추출수소

※ (발전) 발전용 연료전지 설치현황 :
('18) 307 MW → ('20) 620 MW → ('22F) 1 GW

수 소

기술개발 현황

생산 CCS를 연계한 블루수소 생산 시스템의 스케일업·실증과 함께 그린수소 생산 시스템 대용량화와 함께 저가 및 고효율을 위한 기술개발에 집중 투자

저장·운송 수소 액화 기술의 고효율화와 더불어 대형 액화수소 운송선 건조를 위한 연구와 암모니아·LOHC 등 액상수소화물 기반 수소 저장·추출 관련 기술개발·실증 연구를 활발히 추진

발전 친환경·고효율을 중시하는 시장 니즈에 따라 연료전지의 효율 및 내구성 향상, 원가절감 등을 위한 기술개발과 수소·암모니아를 연료로 사용하는 가스터빈 국산 기술 확보에 집중

산업 동향

생산 블루수소 생산의 기반이 되는 추출수소 시스템은 이미 상용화되었고, 유럽과 일본 등에서 수 MW급의 수전해 단일 스택 개발을 완료하여 수십 MW 규모의 수전해 시스템을 운영하고 있으며, 풍부한 재생에너지원을 활용해 수소를 생산·저장하는 P2G 프로젝트도 수행 중

저장·운송 유럽과 미국의 기업 주도로 대용량 액화수소 플랜트를 운영하고 있으며, 수소 공급망을 개발하고 있는 일본은 브루나이·호주·사우디와 협력하여 해외수소 도입을 위한 실증 연구 추진

· 국내는 SK E&S와 효성중공업 등이 해외와 협력해 액화수소 플랜트 건설 중

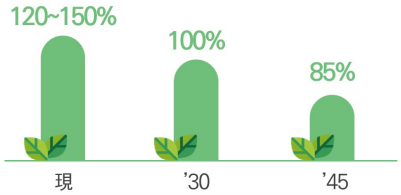
발전 연료전지와 가스터빈에 사용했던 연료를 화석연료에서 청정수소로 전환하기 위해 사업 확장 추진

Ⅳ. 바이오에너지

목표 바이오연료 선도기술 확보

| 핵심지표 |

▶ **바이오연료 가격경쟁력**
(동종 화석연료 대비)



혁신전략

현황·이슈	기술개발	정책·제도
① **경제성·활용수요 부족** ② **원료(바이오매스) 수급 한계** ※ 국내 바이오중유 연료 생산기술은 최고 수준(단석산업, JC케미칼 등)으로 평가되나 발전기, 선박용 엔진 및 산업용 보일러 등의 적용기술은 아직 미흡한 수준 ※ 수송용 바이오 경유·에탄올(GS-칼텍스, 단석산업 등) 기술이 실증단계이나, 사업성 확보를 위해서는 발효당, 목질계 등 다양한 바이오매스 원료 생산·전환·활용 역량 필요	①② **전력·열 및 수송용 연료로 활용 확대**를 위해 다양한 바이오에너지의 **저비용·고효율·고품질화·대량생산** 기술 개발 • 특히, 미활용 바이오매스* 활용 및 적용처 확대를 위해 기술개발에서 상용화까지 전주기적 민-관 협력 추진 * 농산(볏짚, 왕겨 등), 축산(가축의 분뇨 등), 임산(가지, 잎 등 목재부산물), 도시폐기물(음식물 쓰레기, 하수 슬러지 등) 국내 미활용 바이오매스 다량 존재	**바이오매스 생산·수송·활용**을 위한 **통합 관리체계** 구축, **신재생에너지 보급 지원 제도*** **개선**을 통해 조기 확산 지원 * 바이오디젤 혼합비율 상향, 바이오연료(바이오선박유, 바이오항공유, 바이오에탄올 등)에 대한 기술기준 개발 및 활용방안 검토 등

바이오에너지 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
전력/열 생산기술	고형연료/가스활용 2.9/0.43 TWh 전력생산	바이오 고형연료 기술/시스템 → 통합 시스템 실증		▼CCUS 연계('35) ▼CCUS 연계('35)	('30) 바이오 고형연료 활용 6.2 TWh 전력생산 ('45) 바이오가스 활용 1.5 TWh 전력생산
		바이오중유 공정 구축	→ 사용화 및 이전확산	▼해외수소 연계('40)	
		분산형 바이오가스 플랜트 구축		→ 보급 확산	
수송용 연료 생산 기술	동종 화석연료 대비 가격 120~150% 수준	바이오CNG고질화 및 바이오 LBM생산 공정 구축		→ 상용화	('35) 바이오 CNG 고질화 비용 50% 절감 ('30) 바이오휘발유-기존 발효당 단가 대비 75% 절감 ('45) 바이오선박유/항공유: 연료품질기준 100%
		비식용 발효당 생산 기술 개발/상용화	→ 연료용 알코올 및 휘발유 생산 기술 개발/상용화		
		유지계원료 기반 바이오경유	→ 유지계 Drop-in 바이오경유	▼해외수소 연계('40)	
		목질계 바이오경유 기술 개발	→ 상용화 및 확산		
		바이오중유 선박유 실증	→ 바이오경유/알코올/CNG 선박유 실증	→ 상용화 및 확산	
				▼해외수소 연계('40)	
		저에너지 소모형 바이오 항공유 생산기술 개발		→ 상용화 및 사업화	

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간 ▼ 타분야 기술연계

기대효과

신기술 기반의 바이오에너지를 활용한
무탄소·저탄소 전력 생산 및 수송용 연료 대체

정책 동향

세 계 유럽, 미국, 브라질 등 바이오매스가 풍부한 주요국은 재생연료 의무혼합제도 등 바이오연료 활용 촉진 정책을 운영하고 있으며, 도로수송 부문 뿐만 아니라 선박 및 항공 부문에서도 온실가스 배출규제가 강화됨에 따라 친환경 바이오연료 수요 증가 전망

유럽 지속가능한 바이오연료를 활용한 전력/열 보급 기반 구축 및 수송부문의 탈탄소화를 위해 재생에너지지침 개정(EU-RED II, '18)

미국 바이오연료 의무 도입량 확대 및 비식용 바이오연료 이용 촉진 정책(RFS2) 운영

ICAO/IATA/IMO 항공 및 선박 부문의 온실가스 감축 비전 채택 및 규제 시행

국 내 바이오디젤 혼합비율 상향 조정(3.0% → 3.5%)을 통해 바이오연료 보급 확대 기반을 마련하였으며, 미활용/폐자원 바이오매스 에너지화, 바이오연료 적용처 확대 등을 위한 기술개발 지원 계획 수립

시장현황 및 전망

세 계 세계 각국의 재생연료 혼합의무화 제도 시행으로 수송연료 중심으로 바이오연료 시장이 형성되어, 시장규모는 약 1,756억 달러 수준으로 연평균 3% 이상의 성장률로 꾸준히 확대 전망

- ※ (바이오경유) 유럽을 중심으로 2019년 340억 달러에서 2025년 480억 달러 수준으로 성장 전망

국 내 바이오가스, 바이오중유, 바이오디젤이 상용 보급되고 있으며, 시장규모는 약 1.38조 원 수준으로 바이오디젤 혼합비율 상향조정, 항공유 부문 수요 증가로 국내 바이오연료 시장 규모는 꾸준히 유지될 전망

- ※ (바이오중유) 발전용으로 한정하여 사용 중인 바이오중유 시장은 2018년 기준 3,400억 원 수준
- ※ (바이오경유) 시장규모는 약 7,000억 원(60만 kL)수준에서 2030년 1조 2,000억 원(100만 kL)으로 증가 전망

기술개발 현황

전력/열 생산기술 저급/미활용 바이오매스나, 가용 잠재량이 풍부한 바이오매스의 청정연료화 기술 개발과 바이오연료의 적용처 확대를 위한 실증 연구 활발

수송용 연료 생산기술 지속가능한 바이오연료의 보급 확대를 위한 비식용 바이오매스 등 원료 다변화 연구개발과 차세대 바이오연료의 품질 향상, 적용성 검증, 경제성 확보를 위한 실증/상용화 연구 활발

- 저급 유지를 활용한 바이오경유(FAME) 및 바이오항공유(OTJ) 생산 기술의 경우 파일럿 실증 및 상용화 수준의 기술 확보
- Drop-in 바이오경유 등 차세대 바이오연료의 요소기술 및 양산기술, 공정단가 절감 기술, 바이오항공유/선박유의 기술개발 및 실증 연구가 추진 중이며, HVO, 바이오항공유 등은 선진국 대비 기술격차 존재

산업 동향

전력/열 생산기술 유럽을 중심으로 열병합발전소와 연계한 바이오가스 산업과 발전용 바이오중유 산업이 성장하는 추세이며, 국내는 바이오고형연료 산업이 전력 및 열 수요 산업으로 확대되고 있고, 현재 발전용으로만 보급중인 바이오중유의 경우 적용처 확대 노력 중

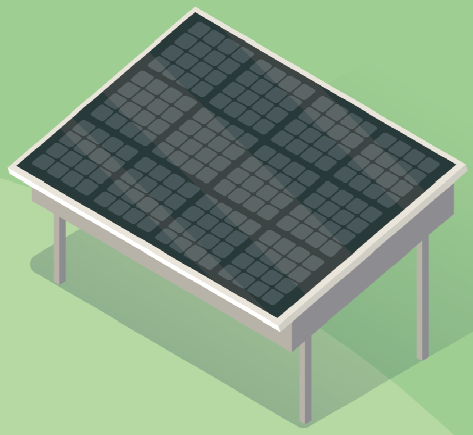
※ 한국 세계 최초 발전용 바이오중유 상용화(전면보급) 성공('19)

수송용 연료 생산기술 2세대 바이오연료(HVO)가 상용화되어 시장 점유율을 확대하는 추세이며, 바이오매스의 지속가능성 기준 강화 차원에서 비식용 바이오매스 유래 차세대 바이오연료 생산 기술 및 저탄소 바이오항공유 기술 개발 활발

- 특히 유럽, 미국 등을 중심으로 차세대 바이오항공유 관련 기술 개발 협력 및 시범 운행 확대 추세

※ 핀란드 Neste Oil社, 세계 최초 Drop-in 바이오경유(HVO) 90만 톤/년 규모 생산플랜트 상용화

※ 미국 Boeing社, 폐유 유래 HEFA 디젤(그린디젤) 15%를 혼합한 항공유로 시험비행 완료



태양광

Ⅰ. 태양광 기술개발 전략

1. 개요 9
2. 국내·외 현황 10
3. 핵심기술 구성 및 선정 배경 17
4. 비전 및 목표 18
5. 중분류별 추진전략 19

1. '태양광' 개요

태양광발전시스템(태양전지, 모듈, 축전지 및 전력조절기, 직·교류 변환장치로 구성)을 이용하여 태양 빛 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술

	초고효율 태양전지 기술	태양광 시스템	탄소중립 도시형 태양광
정의	기존 시장의 태양전지 기술의 성능 및 가격 한계를 극복하기 위한 혁신선도형 차세대 탠덤 태양전지 기술	태양광 모듈에서 생산된 DC 전력을 AC로 변환하여 수요처에 안정적으로 전력을 공급하는 시스템	전력 소비가 많으나 설치면적의 제약이 크고 온실가스 배출이 많은 도시의 탄소중립 실현을 위한 (스마트) 도시형 태양광 시스템 기술 (건물/도시구조물* 적용 차세대 태양전지 및 스마트 모바일 태양전지) * 도시구조물: 방음벽, 도로, 주차장 등
필요성	기존 주력 태양광 시장의 기술·가격 경쟁력 강화 필요	다양한 공간* 또는 환경** 등에 설치하기 위한 태양광발전시스템 및 O&M*** 시장 확대에 따른 기술·가격경쟁력 강화 * 설치 공간 : 지상, 건물, 주차장, 도로 등에 태양광발전시스템 설치 가능 ** 설치 환경 : 육상, 수상, 해양 등에 태양광발전시스템 설치 가능 *** O&M(Operation & Maintenance) : 태양광발전시스템 운전, 유지 및 보수(정비) 업무	기존 노후 건축물의 에너지 효율 개선과 제로에너지 건물 확대로 분산발전 수요가 증가할 것으로 예상되어, 도시지역에 적용할 수 있는 다기능성* 기반 태양광 기술 필요 * 초경량, 유연성, 다색, 반투명, 고감도, 심미성

2. 국내·외 현황

1) 정책 및 제도 동향

정책

- 탄소중립 선언에 따라 재생에너지 발전비중이 확대될 전망이며, 태양광 발전은 재생에너지 보급 확대 정책의 중심축 형성

중 국

2050년까지 태양광발전 설비용량 1,400 GW로 증가 전망

일 본

2030년까지 태양광시스템 가격 7만 엔/kWh 이하(공사비 포함)로 저감

독 일

2030년까지 태양광을 현재의 2배로 확대('30년 전체 소비전력의 65%를 재생에너지로 충당)

한 국

재생에너지 3020 이행계획('17), 그린뉴딜('20) 등을 통해 태양광 보급 확대를 위한 지원방안 제시

※ 3020 목표범위 내에서 그린뉴딜('20.7)을 통한 보급속도 가속화로 2025년 태양광 중간 목표치 상향조정
: (3020 이행계획) 21.4 GW → (그린뉴딜) 33.5 GW

제도

- 재생에너지 3020 목표달성을 위해 신재생에너지 공급의무화(RPS) 비율상향 및 REC 경쟁입찰 확대, RE100 지원제도 도입 등 추진

  - 도심·농촌·산단 등을 대상으로 태양광 설비 융자 지원('21년 약 392 MW, 4,905억 원) 등의 제도를 통해 지역·도심·농촌·주택·상가 등 생활 속 신재생 보급 확산

    ※ BIPV의 경우 외벽 수직형에 70%, 지붕 일체형에 50%의 설치비를 지원하고, 신제품 KS 인증 비용을 80%까지 지원해 보급 가속화 전망

  - 소규모 태양광 확산을 위한 한국형 FIT 도입('18)으로, 개인(30 kW 미만) 및 농·어·축산업 조합(100 kW 미만)을 대상으로 복잡한 입찰절차 생략과 20년 고정가격 매입, 안정적 수익확보

  - 일정규모(50만 kW) 이상의 발전사업자(공급의무자)에게 총 발전량의 일정비율 이상을 신·재생에너지로 공급하도록 의무화하는 RPS 목표를 기존 2023년 10%에서 2030년 28% 수준으로 상향 조정

  - 공공기관의 신축, 증축 또는 개축하는 일정용도의 건축연면적 1,000m^2 이상 건축물에 대해 예상에너지 사용량의 일정비율 이상('21년 30%)을 신재생에너지로 공급토록 의무화

    ※ 2020년 이후 2년간 2%p 상향하여 2030년까지 40% 확대('20.10.1 시행)

  - 국내 기업의 재생에너지 사용 촉진 및 수출 경쟁력 유지 등을 위해 녹색 프리미엄제, REC 구매, 제3자 PPA 등 RE100 이행수단 마련

  - BIPV 보급 확대를 위해 보급사업 우선선정, 신제품 KS 인증 지원 등 초기시장 창출 지원 및 신재생설치 의무화 등 관련제도와의 연계 추진

  - 태양광 모듈의 제조 과정에서 발생하는 탄소배출량을 평가하여 탄소배출량에 따라 모듈을 등급화하고, 저탄소 등급 제품에 인센티브를 제공하는 '탄소인증제' 도입('20.7)

    ※ 태양광 모듈 제조과정에서의 직접 발생 배출량(N_2O, CO_2)과 소비된 전력 생산에 따른 배출량(전기사용량×전력 배출계수)을 평가하여 가점부여, REC 추가가중치 부여, 의무화 순으로 적용

  - 저가·저품질 태양광 모듈의 국내 유통을 방지하고, 고효율화를 위한 지속적인 연구개발을 유도하기 위해 '최저효율제' 도입('20.1)

    ※ 동일 용량의 태양광을 설치할 경우, 태양광 모듈의 효율 1% 상승으로 토지 면적이 4-6% 감소할 수 있으므로 최저효율제 도입을 통해 우리나라 태양광 잠재량은 113 GW에서 최소 132 GW 이상으로 확대 예상

2) 시장동향

세계

- 세계 태양광 시장은 그리드패리티 도달, 글로벌 경기부양 및 기후변화 이슈로 향후 큰 폭으로 성장 가능 전망

※ 신규/누적 설치량 : ('19) 118.0 GW/644.1 GW → ('30) 188.2 GW/2,382.4 GW

※ 시장 규모 : ('20) $766억 → ('25) $1,131억(CAGR 8.1%)

※ 글로벌 태양광 LCOE : 지난 6년간 약 ¼ 수준으로 하락, 44$/MWh 기록, 향후 10년 간 약 40% 추가하락 전망(BloombergNEF)

- 현재 태양전지 시장은 그리드 패리티를 달성하며 상용화에 성공한 실리콘 태양전지가 95% 이상을 점유
- 차세대 태양전지는 연구개발 및 실증화 단계로 효율 향상 및 안정화가 필요한 상황이며, 관련시장은 아직 도입기 단계

※ 페로브스카이트 및 기타 박막 태양광 모듈의 글로벌 시장은 2017년 $37억에서 2022년에는 $52억의 시장규모를 형성할 것으로 전망되며, CIGS의 태양전지의 경우 2018년 $19억에서 2023년 $23억으로 확대 전망(BCC Research, '19)

- 탄소중립 선언에 따라 태양광 응용분야 확대로 BIPV, 수상태양광 및 고부가가치 태양전지 제품 관련 응용 시장 확대가 가속화

※ BIPV 세계시장은 2019년 $7,539백만에서 2025년 $8,977백만으로 확대 전망(Market Insights Reports, '20)

국내

- 탄소중립 선언에 따른 신재생에너지 분야 비중 확대로 관련 시장의 급격한 성장 전망

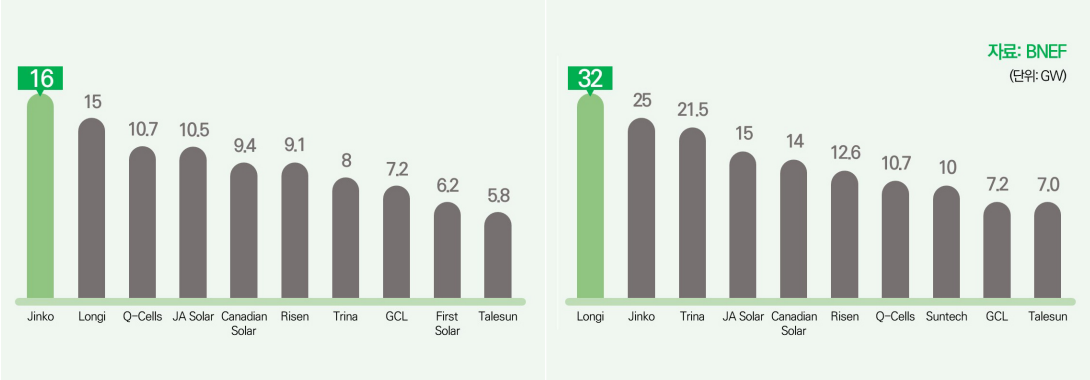
※ 태양광 누적/신규 설치용량 : ('19) 9.29 GW → ('20.11) 12.9 GW / ('17) 1.4GW → ('20.11) 3.7 GW

※ 태양광 발전량 전망 : ('20) 16,551 GWh → ('34) 59,080 GWh

※ 국내 태양광 LCOE 지난 6년간 약 30% 하락, 2030년 80~90원/kWh 수준 전망(에경연)

- 2019년 이후 세계 상위 모듈 기업의 생산용량이 10 GW에 육박, 국내 기업의 글로벌 시장 점유율은 중국에 이어 2위이지만 향후 점유율 하락 우려

상위 10대 모듈 기업 생산용량 현황



2019년 4분기	2020년 4분기

- 제로에너지빌딩 의무화 제도가 본격 시행되며, 국내 공공 건축물부터 에너지 절감 및 온실가스 감축을 위해 BIPV 시장이 크게 확대*

* 2020년부터 연면적 1,000 m^2 이상 공공건축물의 제로에너지건축이 의무화되는 등 관련 시장 확대로 BIPV 시장은 2023년까지 5,218억 원까지 증가할 것으로 전망

3) 기술동향

실리콘 태양전지

- 글로벌 공급과잉에 따른 실리콘 가격 급락으로 실리콘 태양전지 기술이 시장을 주도하고 있으며, 국내 주요 셀·모듈 제조사에서 세계 최고수준의 양산효율(셀 23%, 모듈 20% 이상('20)) 달성

  * 실리콘 태양전지의 시장 점유율 : ('06) 93% → ('17) 95%

- 실리콘 태양전지 효율 한계 극복을 위해 실리콘 기반의 탠덤 태양전지와 같은 하이브리드 기술개발을 통해 고효율 원천기술 확보, 복잡한 제조공정 비용 절감 및 기술난이도 극복을 위한 연구 진행 중

  ※ 기술수준(면적 1 cm^2 이하 효율) : 유럽 29.5%, 미국 27.1%, 한국 26.7%

차세대 태양전지

- 단일구조인 결정질 실리콘 태양전지의 양산 한계효율(26%) 극복을 위해 R&D 투자는 차세대 분야(초고효율, 응용처 확대)로 이동 중

CIGS	효율이 높고 유연화 가능함에 따라 고효율화, 대면적화, 저가화 중심의 연구 진행
페로브스카이트	25% 이상의 세계 최고효율을 국내(에너지연, 화학연, 고려대, UNIST)에서 보유하고 있으며, 상용화를 위한 대면적화 · 장기안정화 · 탠덤화 · 유연경량화 연구 동시 진행
유기 · 염료감응	저가 생산이 가능하고 낮은 효율 및 내구성 개선을 위한 연구가 진행되고 있으며, 반투명 및 저조도 환경 태양전지 연구 동시 진행 중

탄소중립 도시형 태양광

- 태양광 보급 확대를 위해 경량형/투광형/고내구성 BIPV를 위한 태양전지 기술개발 및 친환경 소재개발 추진

  ※ 유연성과 투광성을 동시에 갖는 양면수광형 CIGS 박막 태양전지 기술 등

4) 산업현황

실리콘 태양전지

- 중국기업들의 세계시장 점유율* 확대에도 불구, 국내 태양광 시장은 안정적으로 성장하는 모듈 내수 시장을 바탕으로 국내 태양광 업계가 주도 중

* 중국기업 점유율('19) : (폴리실리콘) 64% (웨이퍼) 92% (셀) 85% (모듈) 80%

* 국내시장 국산모듈 사용비중 : ('17) 73.5% → ('18) 72.5% → ('19) 78.4%

- 국내 태양광 셀(태양전지) 제조 기업은 세계 최고수준*의 기술력을 바탕으로 해외시장**에도 적극 진출

* 국내 주요 셀 모듈 제조사 세계 최고수준의 양산효율(셀 22%, 모듈 20% 이상) 달성('19)

** 셀 수출규모 : ('17) 1.0억 달러 → ('18) 1.6억 달러 → ('19) 3.6억 달러

차세대 태양전지

- 세계 최고효율 차세대 태양전지 기술개발 및 상용화 추진을 통해 재생에너지 산업의 기술경쟁력 향상 노력

※ 산업부의 「태양광 R&D 혁신전략」('20.9)을 통해 5년간 3대 분야(고효율 태양전지, 신시장·신서비스 창출, 저단가 공정기술)에 약 3,300억 원 투자 예정

- 한화큐셀은 페로브스카이트 태양광 셀(탠덤 셀) 개발을 시작('20)하였으며, 향후 3년간 탠덤 셀 원천기술 확보 및 상업화 계획
- CIGS(삼성SDI 15.7%('13)), Ⅲ-Ⅴ 족(LG전자, 27.8%('18)) 기반 태양전지의 경우 기업에서 고효율 구현에는 성공하였으나, 경제성 부족으로 사업 포기

탄소중립 도시형 태양광

- 정부주도의 보급정책을 통하여 BIPV, 수상태양광 등 태양광 응용분야 산업 확대
  - BIPV의 경우 창호업체와 같이 모듈의 설계·시공·관리 공급망을 모두 갖춘 업체가 시장 선점
  - 새만금 발전단지에 역대 수상 태양광 프로젝트 중 세계 최대 규모인 2.1 GW의 발전단지 조성을 시작하고 있으며, 설치되는 태양광 시스템에 대해서는 현행보다 엄격한 환경기준 적용 예정

[태양광 주요 키플레이어 동향]

국가	기업명	기술개발 현황
한국	한화큐셀	▸ 모듈 capa. 세계 5위권, 모듈 78cell >480 Wp(변환효율 20.8%, M6사이즈) 셀 양산 평균효율 약 22.6%이상(mono PERC), 580 Wp급 대형모듈 런칭 예정('21.8) ▸ 2020년 페로브스카이트 태양광 셀(탠덤 셀) 개발에 본격적으로 돌입했으며, 성균관대, 고려대, 숙명여대, 충남대, ㈜엔씨디, ㈜야스, 대주전자재료등과 컨소시엄을 구성해 향후 3년간 대면적 탠덤 셀 원천기술 확보와 상업화 추진
	신성 이엔지	▸ 2020년 고출력 결정질 실리콘 태양전지 모듈 생산 설비를 700 MW 증설하여 전체 국내 모듈 생산 약 1 GW 규모로 확장, M6 72cell 450 W 제품 생산 중, 2021년 M10 72cell 550 W급 이상 제품 출시 예정 ▸ 고효율 Shingling 기술을 적용한 모듈 72cell 440 W(모듈 효율>20%) 제조 기술 보유 ▸ Bifacial module, 고내구성, 친환경, BIPV 등 응용 분야 기술 개발 및 제품 보유
	LG전자	▸ TOPCon 세계 최초 양산(현 세계 최고 양산 효율 보유) 모듈 72cell 420 W(변환효율 21.4%, M2, M3 wafer) cell 최고 효율 약 23%(mono n-TOPCon) ▸ BIPV, BAPV(이하 실리콘), 페로브스카이트 태양광 셀(탠덤 셀) 개발 돌입
	현대 에너지 솔루션	▸ 모듈 156cell 450 W(변환효율 20.5% M3 이상) cell 최고 효율 약 22.5% (bifacial PERC) ▸ M6급 셀('21 상반기 예정) 및 모듈 라인 가동 투자로 대면적 웨이퍼 생산에 대한 대응체계 확립
중국	Longi solar	▸ 대면적 웨이퍼 생산을 기반으로 p-perc 생산 및 n-TOPCon(LPCVD기반) 기술개발, 모듈 생산용량 20 GW, M10 사이즈를 이용한 >500 Wp 이상 대형모듈 런칭 예정
	그 외	▸ Top tier 업체의 경우, 셀 사이즈(M10 이상) 및 모듈사이즈 대형화(2.2x1.1 m)를 통한 고출력 >500 Wp 이상급 런칭 진행 중 ▸ 셀모듈 제조업체와 폴리실리콘/웨이퍼 업체 간의 전략적 파트너쉽을 통한 웨이퍼 가격하락 유도 ▸ 올해 주요 모듈기업의 생산용량을 살펴보면 Longi 20 GW, Trina 18.5 GW, Jinko 18 GW, JA solar 15 GW 등 대규모 설비확장을 통해 모듈 가격 하락을 주도
미국	Miasole	▸ 유연 CIGS 박막 태양전지 개발 및 생산(최고효율 18.6%, 생산규모 80 MW)
영국	옥스퍼드 PV	▸ 2020년 12월 페로브스카이트-실리콘 하이브리드 전지로 29.5%의 발전 효율 기록

3. 핵심기술 구성 및 선정 배경

중분류	선정 배경	세부기술
초고효율 태양전지	• 중국 리스크로 대변되는 저가화 경쟁으로 국내 태양전지/모듈 제품 관련 산업 경쟁력 약화, 초고효율 기술에 대한 R&D 지원을 통해 중국 제품과 기술 격차를 유지하여 관련시장 선점 필요 • 초고효율화 탠덤 기술개발을 통해 시장주도 및 태양전지/모듈 기술에 대한 단기간 우위확보 전략 추진 필요	① 초고효율 태양전지 기술 ② 고출력·고내구성 대면적 저가 모듈화 기술 ③ 셀 및 모듈 저가소재·부품 및 양산장비 기술
태양광 시스템	• 보급 확대 정책 및 RPS 상향조정, 개인 간 전력거래 규제 개선 등으로 향후 내수시장 및 설치면적 확대 예상 • 보급 입지다변화를 위한 수상, 해상, 영농 등의 태양광 시스템 기술 개발 및 섹터 커플링을 위한 태양광 기반 융복합 시스템 개발	① 스마트 O&M (MW 이상) 기술 ② 입지다변화에 따른 다양한 발전시스템 구축 기술
탄소중립 도시형 태양광	• 현재는 실리콘 태양전지가 주류이나, 향후 차세대 태양전지 시장이 확대될 것으로 예상 • 탄소중립 도시 구현을 위한 도심형 다기능(경량, 유연, 다색, 투광 등) 태양전지 기술과 미래 고부가가치 제품 핵심요소기술 및 비즈니스모델 개발	① 차세대 스마트 도시형 태양전지 ② 스마트 에너지시티형 태양광 모듈 및 시스템 기술

4. 비전 및 목표

태양광 초격차 선도기술 확보

▶ (~'30) 탠덤 효율 셀 35%, 모듈 30%

▶ (~'40) 차세대 초경량 유연 탠덤 효율 셀 35%

태양광 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
초고효율 태양전지	태양전지 효율 ~26.7%	탠덤 셀 초격차화	탠덤 셀 초고효율화		('30) 탠덤 셀 효율 35%, 고출력 · 고내구성 대면적 모듈
	모듈 효율 ~21%	모듈 장기안정성/고내구성 확보		상용화 적용	('50) 탠덤 셀 효율 40% 이상
태양광 시스템	수상태양광 시스템 설치단가 13.5억 원/MW	수상/해상 태양광 시스템	내구성 및 경제성 확보		('30) 수상태양광 설치단가 4억 원/MW ('50) 수상태양광 설치단가 2.7억 원/MW
탄소중립 도시형 태양광	유연 태양전지 효율 ~20%	경량/유연/다색/반투명/고감도 태양전지 고효율화 (무기박막, 유무기페로브스카이트, 유기 등)			('30) 초경량 유연 탠덤 셀 효율 30% ('40) 초경량 유연 탠덤 셀 효율 35% ('40) 고집적 고내구성 모듈
		고집적 기능성 모듈 개발		사업화	

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기술개발	정책·제도
① 상용기술을 대체할 차세대 고효율 기술(고성능 탠덤 등) 적기 상용화 ② 수·해상 시스템 설치·운영 효율화(경제성 확보) ③ 도시형 태양광(초경량 태양전지 등) 기술개발 추진	① 실증 인프라 구축, 신기술 인증기준 마련, 의무할당제도(RPS) 대상 및 비율 확대 검토 등을 통한 공공수요 창출 등 상용화 및 시장진입 촉진 기반 마련

5. 중분류별 추진전략

1) 초고효율 태양전지

정의

- 기존 시장의 태양전지 기술의 성능 및 가격한계를 극복하기 위한 혁신선도형 차세대 탠덤 태양전지 기술

초고효율 태양전지 기술

기존 실리콘 태양전지 이론효율(30%)과 가격 한계를 극복하고 단기간 상용화가 가능한 차세대 태양전지 기술

고출력·고내구성 대면적 저가 모듈화 기술

CTM(Cell-to-Module) 손실을 최소화하면서 기존 태양광 모듈 내구연한(20년)을 획기적으로 향상시킬 수 있는 고출력, 고신뢰성 모듈 제조 기술

셀 및 모듈 저가 소재·부품 및 양산장비 기술

태양광 경제성 확보를 위한 태양전지/모듈구성 소재·부품의 저가화 및 대면적 제조장비 기술

기술개발 필요성

- 기존 주력 태양광 시장의 기술·가격 경쟁력 강화 필요

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
초고효율 태양전지기술	양산셀 효율 23% (단일접합 PERC 셀)	탠덤 셀 초격차화	탠덤 셀 초고효율화		▪ ('30) 탠덤 셀 효율 35% ▪ ('50) 다중접합 셀 효율 40% 이상
고출력·고내구성 대면적 저가 모듈화기술	양산모듈 효율 21~22%	탠덤 모듈 고효율화	탠덤 모듈 초고효율화		▪ ('30) 탠덤 모듈 효율 30% ▪ ('50) 장기 안정성 30년 이상 확보
	내구연한 20년	장기안정성/고내구성 확보		상용화	
셀 및 모듈 저가소재·부품 및 양산장비기술	국산화 X	탠덤화 핵심 소재·부품 ·장비 핵심요소기술	탠덤 대면적 양산화기술	다중접합셀 대면적 양산화기술	▪ ('30) 탠덤화 핵심 소재·부품 및 장비 확보 ▪ ('50) 다중접합 셀 및 모듈 핵심 소재·부품 및 장비 확보

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술　민간 부문에서 개발 예정인 기술

기술개발 추진방향

1 초고효율 태양전지

주요 이슈사항

- 기존 태양광 발전시장의 95%를 차지하고 있는 단일 접합 실리콘 태양전지의 효율*이 이론효율 한계에 근접해감에 따라 제조단가 저감과 추가 효율 상승에 한계가 있음
  * 이론효율 29.4%, 현재 세계최고효율 HBC-26.7%
- 태양광발전 보급 확대, Power to Gas(P2G) 수소 생산 활용, Internet of Things(IoT) 전력원 사용, 전기차 동력 제공 등의 향후 탄소중립과 신시장 확보를 위해 더 많은 전력을 생산할 수 있는 발전효율 40% 이상의 태양전지가 요구됨

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 고효율, 고안정성 차세대 탠덤 태양전지 개발
  - · 초고효율(40%) 이상 탠덤 태양전지 개발
  - · 고품질 ETL/HTL 소재 및 공정 개발, 투명전극 및 금속전극 소재 및 공정 개발, 터널접합 interlayer 소재 및 공정 개발
- 탠덤 태양전지 상부 셀 및 하부 셀 고효율화 기술개발
  - · 탠덤 태양전지 하부 셀 후보 중 차세대 실리콘 태양전지 구조인 Tunnel Oxide Passivated Contact(TOPCon), Hetero-junction with Intrinsic Thin layer(HIT)의 고효율화 및 탠덤 태양전지의 하부 태양전지로서 최적 구조 설계
  - · 탠덤 태양전지 상부 셀로 적용 가능성이 높은 페로브스카이트 셀의 고성능 광흡수층, 전자전달층(ETL), 정공전달층(HTL) 기술
  - · 탠덤 태양전지 적용을 위해 페로브스카이트 셀의 고신뢰성 확보를 위한 광흡수층 고품질 박막화, 조성제어 및 박막 계면제어, 소자 층간소재 및 버퍼층 개발, 가속조건 소자 열화기구 규명 및 방지기술 개발
  - · 상부셀 적용을 위한 페로브스카이트 전면 투명전극(TCO) 및 금속 그리드 적용을 위한 전극 기술
  - · 차세대 태양전지(무기박막, 유·무기 페로브스카이트, 유기 등)의 탠덤화를 위한 저온 공정 개발, 저가 전극 및 층간소재 개발, 봉지막 및 투명 베리어 필름 개발, 탠덤 고효율화 기술 개발

목표달성 전략

- 국내 산학연 연계를 통한 핵심 탠덤 태양전지 요소기술 개발(고성능 상·하부셀 기술, Passivation 기술, Interlayer 기술, TCO 및 금속전극 기술, 구조 설계 등)
- 또한, 태양광산업 체질개선 및 다변화를 위한 고성능·고기능성 탠덤(또는 삼중접합) 태양전지·모듈 소재, 부품 및 공정 장비 국산화 개발 병행
- 양산화를 위한 전단계로 개발된 소재, 부품, 장비를 활용한 탠덤(또는 삼중접합) 셀의 평균효율, 수율 검증을 위해 기업공동 R&D센터 활용

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
고효율, 고안정성 차세대 탠덤 태양전지 개발	· 개발 진행 중 (서울대, 고려대, UNIST)	· 29.5% (영국 Oxford PV社)	· ('25) 탠덤 태양전지효율 30% · ('30) 탠덤 태양전지효율 35% · ('50) 탠덤(or 삼중접합) 태양전지효율 40% 이상
탠덤 태양전지 고효율화 기술개발	· 페로브스카이트 단일셀 25.5%(UNIST, 세계최고효율), 25.2%(화학연, 고려대) · 결정질 실리콘 셀 23.7%(고려대) · CIGS 유연 태양전지 20.7%(에너지연)	· 페로브스카이트 단일셀 25.5% (UNIST, 세계최고효율) · 결정질 실리콘 셀 26.7% (일본 Kaneka) · CIGS 유연 태양전지 20.8%(스위스 EMPA)	· ('25) 탠덤 태양전지효율 30% · ('30) 탠덤 태양전지효율 35% · ('50) 탠덤(or 삼중접합) 태양전지효율 40% 이상

2 고출력·고내구성 대면적 저가 모듈화 기술

주요 이슈사항

- 국내 태양광 모듈 산업은 신규투자의 침체로 인해 모듈기술 인프라 개발이 활성화되지 못하고 있으며, 인터커넥션 설비 및 라미네이터 등 핵심 제조 설비기술개발이 중국 주도하에 진행되고 있는 상황
- 태양광발전시스템의 핵심부품인 모듈의 국내산업 경쟁력 확보가 중요하며, 이를 위해 새로운 차세대 탠덤셀 모듈의 고효율화, 고내구성 기술개발을 통한 글로벌 기술·가격 경쟁력 확보 및 관련 소재/부품/장비 국산화 개발 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 고효율·고내구성 차세대 탠덤 태양전지 모듈 개발
  - · 장기안정성 30년 이상, 효율 35% 이상 고출력·고내구성 모듈 기술 개발 및 디자인
  - · 탠덤 모듈의 고출력화를 위한 interconnection 접합기술을 통한 CTM 손실저감 기술 개발 (Half-cut, Multi-wire 등)
  - · 탠덤 모듈의 추가 출력 개선을 위한 탠덤용 고출력 모듈 기술 개발(Gapless/Shingling 등)
  - · 탠덤 모듈의 신뢰성 확보를 위한 투습방지 봉지 기술 개발(POE 등)
  - · 탠덤 모듈제작을 위한 저온 모듈 공정 개발(인터커넥션/라미네이션 등)

목표달성전략

- 국내 산학연 연계를 통한 탠덤 태양전지 모듈 핵심요소 기술 개발(모듈구조 설계, Interconnection 기술, Multi-wire/Half-cut/Gapless/Shingling 등)
- 국내 태양광산업 활성화를 위한 모듈 소재, 부품 및 공정 장비 국산화 개발
- 양산화를 위한 전단계로 탠덤(또는 삼중접합) 모듈 효율 및 수율 검증을 위한 기업공동 R&D센터 활용 등 실내외 가속시험을 통한 신뢰성 검증

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
고효율 차세대 탠덤 모듈 개발	· 개발 진행 중	· 개발 진행 중	· ('25) 탠덤 셀 기반 모듈효율 28% · ('30) 탠덤 셀 기반 모듈효율 30% · ('50) 탠덤(or 삼중접합) 셀 기반 모듈효율 35% 이상
고내구성 차세대 탠덤 모듈 개발	· 개발 진행 중	· 개발 진행 중	· ('25) 탠덤 셀 기반 모듈 손실률 IEC 기준〈5% · ('30) 탠덤 셀 기반 모듈 손실률 IEC 기준〈2% · ('50) 탠덤(삼중접합) 셀 기반 장기안정성 30년 이상

3 셀 및 모듈 저가 소재·부품 및 양산장비 기술

주요 이슈사항

- 차세대 탠덤 태양전지 셀/모듈 디바이스의 개발도 필요하지만, 디바이스 상업화에 필요한 소재/부품/장비 등의 기반 인프라가 형성되지 않으면 상업화 진행 불가능
- 탠덤 태양전지 상부셀 적용 가능성이 가장 높은 페로브스카이트의 경우 전구체 및 화합물, 첨가제 등은 연구용으로 일부 화학소재 전문회사에서만 소량 판매가 이루어지고 있고, 상용화를 대비한 대량 합성이 가능한 소재 전문 기업 및 기관이 전무한 상황
- 탠덤의 경우 소재 특성으로 인한 저온공정이 필요하며 이를 위한 저온 전극 소재, 저온 인터커넥션 소재 및 공정, 저온 라미네이션용 봉지 소재 및 공정의 개발이 필요하지만 아직 개발된 바가 없음
- 탠덤 상부셀로 페로브스카이트가 적용될 경우, 페로브스카이트 대면적 박막화 공정 및 양산 장비 개발이 시급한 상황이며, 인쇄공정 및 진공증착 기반 대면적화 핵심 공정 기술과 양산화 장비 개발의 단계적 수행 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 탠덤 양산화를 위한 소재/부품/장비의 양산화 기술 개발
- 탠덤 셀 양산화 소재 개발
  - · 상부셀로 적용 가능한 페로브스카이트 합성 소재의 대량 합성기술 개발
  - · 저온 소결 전극 페이스트 및 저온/투습방지 봉지재 등 핵심소재 개발
- 탠덤 태양전지 상부 셀 및 하부 셀 고효율화 기술개발
  - · 페로브스카이트 형성을 위한 진공 증착 설비, 대면적 용액 코팅 설비, 투명전극 형성을 위한 스퍼터링 증착장비 등 셀 설비기술 개발
- 탠덤 모듈 양산화 설비 기술개발
  - · 저온 인터커넥션을 위한 태버 및 저온 라미네이터 등 모듈설비 기술개발

목표달성전략

- 개발된 기술의 산업적용을 위한 산학연 공동 플랫폼 구축 및 인프라 지원
- 탠덤 셀·모듈의 소재부품장비 전반적 기반 인프라 구축을 위해 수요기업, 소부장기업 및 학연 연계를 통한 상업화 생태계 구축 필요
- 상업화 이전 개발 진행 과제로서 상업화 투자 전 개발 투자 비용 부담 경감을 위해 정부 R&D 투자 확대 등 전방위적 개발 지원 필요
- 현재 기 확보되어 있는 고효율-대면적 페로브스카이트 소재-소자 기술과 전문 인력, 인프라를 탠덤 상부셀 제조에 확대 접목하여 시너지 효과를 도출할 수 있는 추가 지원 필요
- 국내 취약 기술 인프라 부분(저온 모듈 공정/장비 기술 등)의 국제 공동 개발을 통한 핵심 기술 확보
- 하부셀 기술 및 탠덤화 실증 테스트를 위한 테스트베드 인프라 구축

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
탠덤 셀 양산화 소재 개발	· 페로브스카이트 합성 소재의 경우, Lab scale 합성 수준이며 양산화 기술은 개발된 바 없음(화학연, 성균관대 등) · 저온 소결 전극재료의 경우, 대주에서 탠덤 셀 정부과제를 통해 개발 진행 중(대주전자)	· 페로브스카이트용 전구체 및 합성체는 해외 시약회사에서 소규모 제작 판매 중, 양산화는 진행된바 없음 (TCI 외) · 해외 저온 소결 전극재료는 일본 및 독일 연구소 및 기업을 통해 개발 진행 중 (토요머트리얼즈 외)	· ('25) GW scale 의 양산 소재 제작 기술 확보 및 양산 기술 실증
탠덤 셀 양산화 설비 기술개발	· 탠덤 셀 양산화 설비는 개발된 바 없으며, 페로브스카이트 상부셀 공정용 Lab scale의 설비만 개발/제작된 바 있음(대동하이텍 등)	· 해외에서도 양산형 설비는 개발/제작된 바 없으며 국내와 마찬가지로 Lab scale 설비 개발된 바 있음 (Von Adden 등)	· ('25) GW scale의 양산 설비 제작 기술 및 공정 기술 확보
탠덤 모듈 양산화 설비 기술개발	· 탠덤 모듈 양산화를 위한 저온 인터커넥션 태버 및 라미네이터는 신규개발이 필요하며 기존 고온 모듈 양산 제조 설비 개발 실적 보유(한화기계 등)	· 탠덤 모듈 양산화를 위한 저온 인터커넥션 태버 및 라미네이터 개발 실적 미확보	· ('25) GW scale의 양산 설비 제작 기술 및 공정 기술 확보 · ('27) 탠덤용 Shingling/gapless 등 출력향상 설비 확보

2) 태양광 시스템

정의

- 태양광 모듈에서 생산된 DC 전력을 인버터로 AC 전력으로 변환하여 수요자에게 안정적으로 전력을 공급하는 시스템

스마트 O&M(MW 이상) 기술

다양한 신기술을 접목하여 수명 예측, 비대면 고장 진단 등을 할 수 있는 스마트 O&M 기술

입지다변화에 따른 다양한 발전시스템 구축 기술

다양한 공간 또는 환경에서 태양광으로 전력을 생산할 수 있는 발전시스템 기술

기술개발 필요성

- 다양한 공간* 또는 환경** 등에 설치하기 위한 태양광발전시스템 및 O&M*** 시장 확대에 따른 기술·가격경쟁력 강화

* 설치 공간 : 지상, 건물, 주차장, 도로 등에 태양광발전시스템 설치 가능

** 설치 환경 : 육상, 수상, 해양 등에 태양광발전시스템 설치 가능

*** O&M(Operation & Maintenance) : 태양광발전시스템 운전, 유지 및 보수(정비) 업무

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
스마트 O&M (MW이상)기술	국산화 X	스마트 O&M DB 구축	Deep Learning을 통한 DB 분석	선제적 대응 스마트 O&M 구축	▪ ('50) AI 기반의 스마트 O&M 기술 확보
입지다변화에 따른 다양한 발전시스템구축 기술	수상태양광 설치단가 (13.5억 원/MW)	시스템 단가저감	환경 안정성 확보 시스템 단가저감		▪ ('50) 시스템 단가 저감 2.7억 원/MW
	해상태양광 국산화 X	시스템 안정성 시스템 단가저감	구조물 안정성 확보 시스템 단가저감		▪ ('50) 파고 2~3 m 2.7억 원/MW

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술　민간 부문에서 개발 예정인 기술

기술개발 추진방향

1 스마트 O&M(MW 이상)

주요 이슈사항

- 기존 태양광발전시스템의 단순 O&M에서 벗어나 에너지 발전 소비를 실시간 모니터링·제어하는 스마트 에너지 플랫폼 구축
- ICT 기반 데이터 수집 및 에너지 흐름 시각화, 전력망 통합관제센터 운영 등

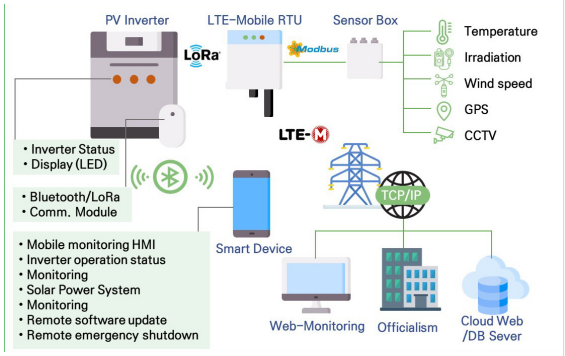
기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

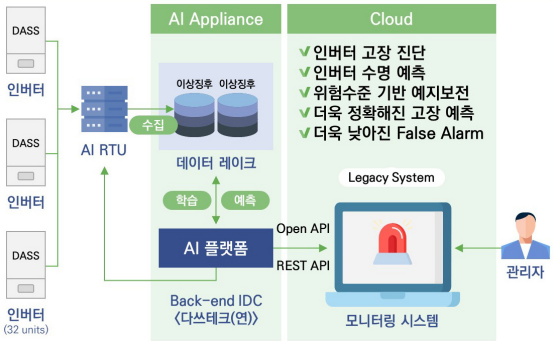
- 단순 모니터링(발전량 등) 및 고장 발생 후 대응에서 벗어나 다양한 신기술을 적용하여 모듈 손상, 시스템 고장 등에 선제적 대응할 수 있는 기술개발
- AI 기반*의 스마트 O&M 기술 개발

  * AI 기반 : ICT, IoT 및 Big Data 등을 활용할 수 있는 센서 네트워킹 기술

  · 고장 진행패턴 모니터링을 통한 심층학습(Deep Learning)으로 선제적으로 대응할 수 있는 AI 기반 스마트 O&M 기술



모니터링 기반의 디지털 O&M(사례)



AI 기반 고장진단 서비스의 개념

목표달성전략

- 기관(기업 포함)이 보유하고 있는 다양한 O&M 기술을 표준화할 수 있는 토대 마련
- O&M 기업, 설치 기업 등에서 보유하고 있는 다양한 O&M 기술에 대한 가이드라인으로 활용할 수 있는 O&M 기술 표준화 방안 수립
- 설치 공간*, 사용 환경** 에 따라 적용 가능한 맞춤형 O&M 기술 활용 가이드라인 마련

  * 설치 공간 : 대지, 지붕, BIPV 등

  ** 사용 환경 : 산악, 수상, 해상(내해 및 외해), 염전 등

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
AI 기반의 스마트 O&M 기술개발	· 개발 진행 중	· 개발 진행 중	· ('50) AI 기반의 스마트 O&M 기술 확보

2 입지 다변화에 따른 다양한 발전시스템 구축 기술

주요 이슈사항

- 수상 및 해양 등 다양한 입지 환경의 특성을 고려하여 각 지역에 적합한 발전시스템 구축 필요
- 그린뉴딜 : 친환경 분산에너지 확산체계 마련 및 효율화 사업 활성화를 위해 전력망 계통체계 정비 및 에너지시장 구축 기반 마련
- 제9차 전력수급기본계획: 신재생 규모별 변압기 접속용량 제한 폐지*('19.7, 한전규정 개정)
  * (기존) 신재생 1 MW 이하 50 MW, 1 MW 초과 25 MW까지 접속 → (변경) 신재생 용량 무관 50 MW까지 접속
- 분산에너지 역량 강화 : 기존 중앙집중형 공급구조의 한계를 극복하고, 각 지역에 적합한 에너지 대응을 위해 지역별 에너지 자립 강화 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 다양한 지역에 태양광발전시스템을 설치하기 위한 설치단가 저감, 구조물 안정성 등의 기술개발
- 수상 태양광발전시스템 설치단가 저감
  · 부력체 경량화(FRP 등), 부력 일체형 인버터, O&M 비용 저감 기술개발
  · 수상 태양광발전시스템 부력체의 환경 안정성 확보 방안 수립
- 해상 태양광발전시스템 설치단가 저감
  · 해상(외해*) 태양광발전시스템의 설치단가 저감을 위한 부력체 경량화(2가지 이상 소재 활용), 부력 일체형 인버터, O&M 비용 저감 기술개발
    * 방파제를 기준으로 안쪽은 내해, 바깥쪽은 외해로 구분
  · 파고에 대한 구조물(부력제 포함) 안정성 확보 방안 수립

MW급 수상태양광발전시스템

해상 태양광발전시스템(외해)

목표 달성 전략

- 개발된 시스템의 성능을 검증할 수 있는 인프라 구축 및 범부처 차원의 관련 제도 해소 방안 수립
- 수상 및 해상에 적용하기 위해 친환경 소재, 부품 등의 안정성, 신뢰성을 검증할 수 있는 인프라 구축
- 다부처 또는 범부처* 차원에서 TF팀을 구성하여 수상 및 해상 태양광발전시스템을 구축하기 위해 해소해야 할 관련 규제 및 제도 조정

  * 산업부, 해수부, 국토부, 국방부, 환경부 등

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
수상 태양광발전시스템 설치 단가 저감	· 시스템 단가 : 13.5억 원/MW	· 시스템 단가: 8억 원/MW	· ('50) 시스템 단가: 2.7억 원/MW
해상 태양광발전시스템 설치 단가 저감	· 개발 진행 중	· 시스템 단가: 8억 원/MW 수준 · 파고 1m(네덜란드)	· ('50) 시스템 단가 : 2.7억 원/MW · 파고 2~3m 수준

3) 탄소중립 (스마트) 도시형 태양광

정의

- 전력 소비가 많으나 설치면적의 제약이 크고 온실가스 배출이 많은 도시의 탄소중립 실현을 위한 (스마트) 도시형 태양광 시스템 기술(건물/도시구조물* 적용 차세대 태양전지 및 스마트 모바일 태양전지)

  * 도시구조물: 방음벽, 도로, 주차장 등

차세대 스마트 도시형 태양전지

도시 에너지 소비 절감과 효율 개선을 위해 도심 환경에 최적화된 차세대 스마트 도시형 태양전지(건물/도시구조물 적용 차세대 및 스마트 모바일 태양전지)

스마트 에너지도시형 태양광 모듈 및 시스템 기술

적용 분야에 맞는 기능 및 외관을 확보하고, 한정된 공간 적용을 위해 고집적화된 스마트 시티의 분산전원용 모듈 기술, 도시형 분산전원으로서 다양한 성능과 기능의 응용 모듈을 하나의 시스템으로 최적화하여 연계하는 기술

기술개발 필요성

- 기존의 노후 건축물의 에너지효율 개선과 제로에너지 건물 확대로 분산발전 수요가 증가할 것으로 예상되어, 도시지역에 적용할 수 있는 다기능성(초경량-유연성-다색-반투명-고감도-심미성) 태양광 기술 필요

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
차세대 스마트 도시형 태양전지	유연 태양전지 효율(~20%)	초경량-유연 태양전지 개발	초경량-유연 태양전지의 탠덤화 기술 개발		▪ ('30) 초경량 유연 탠덤 셀 효율 30% ▪ ('40) 초경량 유연 탠덤 셀 효율 35%
	서브모듈 효율19% (불투명)	반투명-고감도 태양전지 개발	반투명-고감도 태양전지의 고효율화		▪ ('30) 반투명 서브모듈효율 10% @투과율 20%
스마트 에너지 도시형 태양광 모듈 및 시스템 기술	기능성 모듈 (일반 모듈 : 15 W/kg)	모듈의 심미성 (유연/투명/경량) 확보		부착형 모듈 개발	▪ ('30) 경량 color 모듈 개발 (>30 W/kg) ▪ ('50) 경량 color 모듈 개발 (>80 W/kg)
	상용 BIPV 모듈: 100 W/m²	고집적 모듈 개발	고내구성 확보		▪ ('50) 고집적 모듈 (>200 W/m²) 고내구성 확보 (난연, 방열 기능)
	개별 모듈 출력 최적화 수준	모듈 출력 제어 기술 개발	최적 임베디드 시스템 구현 건물, 차량 일체형 모듈 시스템 최적화		▪ ('50) 단위 모듈의 동작 및 출력 최적화 일체형 시스템 구현

■ 현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D ■ 향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술

기술개발 추진방향

1 차세대 스마트 도시형 태양전지

주요 이슈사항

- 신재생에너지 확대를 위해서는 설치면적이 제한되고 전력소비와 온실가스 배출이 집중되는 대도시 환경에 적합한 스마트 도시형 태양전지 개발이 필요하나, 현재 상용기술로는 효율, 설치, 운영비용 및 생활수용성 등에 한계
- 도심 건물 옥상, 외벽, 창호 공간을 활용한 태양전지 설치의 경우, 기존 실리콘 태양광 패널을 활용할 경우 획일적인 외형과 불투명성, 설치공간의 제약성, 패널 중량으로 인한 부가 설치비용, 도심 산란광 및 고온 환경에 따른 효율성 저하 등 다양한 요인으로 인해 적용 및 보급 확대에 어려움
- 수소 및 전기차의 보급 가속화에 따라 자동차용 태양전지 개발이 요구되며, 설치공간의 제약(면적, 곡면)과 모듈 중량에 따른 추가적인 전기 소모가 발생 해결을 위한 고효율, 고내구성, 유연, 경량 차세대 태양전지의 개발 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 도심 친화 태양광 개발 가속화를 위해 다기능성(초경량-유연성-다색-반투명-고감도-심미성)을 고려한 건물/도시구조물 적용 차세대 태양전지 및 스마트 모바일 태양전지 기술 개발

- 경량 유연 태양전지
  - · 차세대 태양전지(무기박막, 유·무기 페로브스카이트, 유기)의 유연-경량화/탠덤화 기술 개발을 통해 설치 공간의 제약을 극복하고 설치 및 운영비용 절감

- 반투명 고감도 태양전지
  - · 반투명성과 심미적 기능을 갖춘 유리창호형 태양전지 개발은 도심 태양광의 생활수용성 및 설치 면적 확대를 위한 핵심 기술
  - · 낮은 일사량 또는 낮은 조도(실내광 등)의 빛을 전력으로 활용할 수 있는 고감도 태양전지 개발

목표달성전략

- 산학연 연계 및 차세대 태양전지별 융합 연구단 등을 구성하여 상용화 요소기술 간의 간극 극복
- 건물 외벽 및 유리창호형 태양전지는 색상, 형태(디자인) 및 투과성(자연채광 등) 특성을 부여하여 도심 외관에 심미성을 구현하고 건물-창호적용 태양전지의 규격화 및 인증 등 기반여건 정비
- 실내광에서 저전력 구동이 가능한 IoT 센서 및 모바일 전자기기의 자가전원 사용 확대를 위해 저조도 태양전지 연구개발과 조도 기준 및 광원종류의 규격화 필요

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
경량-유연 태양전지	· CIGS 유연 태양전지 20.7%, 세계 최고 수준(에너지연) · Perovskite 유연 태양전지 세계 최고효율 20.7% (화학연 외 성균관대, 한양대, 서울대 등 세계최고수준 보유)	· CIGS 유연 태양전지 20.8% (스위스 EMPA) · CIGS 유연 태양전지 모듈 16.5%(스위스 Hanergy, Miasole) · Perovskite 유연 태양전지 모듈(Solliance, Panasonic, saule, CSIRO 등 세계최고 수준 보유)	· ('30) 유연 탠덤 셀 30% · ('40) 유연 탠덤 셀 35%
반투명 고감도 태양전지	· CIGS 태양전지 서브모듈 15%, 모듈 패키징 기술 확보 · Perovskite 태양전지 서브모듈 개발(화학연, UNIST, 에너지연, 서울대, 성균관대, 유니테스트 등) · OPV 태양전지 서브모듈 개발 중(화학연, KIST, UNIST, GIST 등)	· CIGS 태양전지 서브모듈 19.2%, 세계 최고 수준 (일본 Solar frontier) · Perovskite 태양전지 서브모듈 17.9%, 세계 최고 수준 (일본 Panasonic) · OPV 태양전지 서브모듈 11.7%, 세계 최고 수준 (독일 ZAE Bayern)	· ('30) 반투명 서브모듈 효율10% @투과율 20%

2 스마트 에너지 도시형 태양광 모듈 및 시스템 기술

주요 이슈사항

- 건물부문 탄소배출량이 세계 에너지 소비에서 36%를 차지하고 있으며 향후 도심화가 가속화됨에 따라 지속적으로 배출량은 증가할 것으로 예상되므로, 탄소중립 목표 달성을 위해서는 건물부문 탄소배출 저감이 필수
- 도심지역에서 에너지 소비가 일어나는 건물 및 차량에 태양광 모듈 및 시스템을 적용하여 에너지 생산을 확대하고 탄소배출량을 저감하기 위해서는 각 적용 용도에 맞는 기능을 보유한 태양광 모듈 기술 개발 필요
- 현재 일반 상업용 결정질 실리콘 태양광 모듈을 옥상 또는 지붕에 일부 적용하고 있지만, 적용처에 맞는 기능과 외관 및 성능을 만족하지 못하여 탄소중립 목표 달성을 위한 적극적인 보급 확산 저해
- 또한, 전기 제품으로 인식되는 태양광 모듈의 건물적용 및 건축 자재화를 위해서는 부처별 다양한 규제들에 대한 전반적인 검토 및 제도개선 등 선행 필요
- 건물형 태양광 시스템의 경우 기본적으로 모듈 자체의 성능과 가격, 신뢰성뿐만 아니라 사용 및 설치의 편의성과 건축물의 가치를 고려한 디자인과 심미성 반영
- 차량용 태양광 모듈의 경우 제한된 공간에서 출력 최대화를 위한 고집적 기술과 음영 대비 출력 제어, 외부 충격에 대한 안정화 기술, 곡면 구현, 경량화 등 다양한 기술 개발을 통한 신시장 차별화 경쟁력 확보
- 대규모 발전용 태양광 모듈 시스템과 달리 신시장으로서 도심형 분산 전원용 태양광 모듈 시스템의 경우 제한적인 공간에서 성능 극대화를 위한 모듈 및 시스템 최적화 기술과 ICT 시스템 일체형 기술 개발 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 용도 맞춤형 다기능 태양광 소재 및 모듈화 기술 개발
  - · 건축, 차량 등의 용도에 따른 다양한 기능 확보가 필요하며, 특히 모듈의 경량화와 심미성 확보는 보급 확대를 위한 필수 기능
  - · 소재 개발 및 다양한 태양전지 적용을 통해 경량화 기술(약 30 W/kg ~ 80 W/kg) 및 적용 분야와의 조화를 위한 다양한 색상 구현과 표면 처리, 눈부심 방지 기술 개발

    ※ 일반적인 상용 결정질 실리콘 태양광 모듈은 약 15 W/kg

기술개발

- 고집적 기능성 모듈 설계 및 공정 기술 개발
  - · 한정된 공간에서 최대의 출력을 구현할 수 있는 태양전지의 고집적화 기술 적용 모듈 개발
  - · 단위 면적 내에서 태양전지의 효율 및 집적도 향상으로 200 W/m^2 이상의 출력을 확보 및 고내구성 소재 및 공정 개발을 통해 신뢰성을 확보하는 기술 개발
- 일체형 모듈 시스템 최적화 기술
  - · 건물 및 차량 등 적용 분야에 적합한 기능성 모듈과 음영 대비 출력 제어 시스템의 일체화 기술 및 단위 모듈의 적용처에 따른 일체형 시스템 구현 기술
  - · 건물 적용을 위한 다양한 성능과 기능, 위치에 따른 출력 편차를 최적화하는 시스템 기술개발
  - · 건자재 일체형 단위 모듈의 최적 임베디드 시스템 적용

목표달성전략

- 적용 분야나 소재, 용도 등에 따라 매우 다양한 디자인과 성능의 모듈 제품이 가능하므로 규격화는 어렵지만 적용 유형에 따른 성능 및 신뢰성 기준 마련 필요
- 다품종 기능성 제품 기술 개발을 위한 시제품 제작, 신뢰성 평가 관련 인프라 구축 지원 및 유관 기업의 상용 제품에 대한 실제 적용 평가를 위한 테스트베드 인프라 제공
- 제로에너지빌딩 및 노후 건물의 그린 리모델링 정책 연계를 통한 다양한 용도의 제품 개발 및 실증 평가

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
용도 맞춤형 다기능 태양광 소재 및 모듈화 기술 개발	· 상용 결정질 실리콘 모듈 : 현재 15 W/kg · Color film : color glass or film 적용	· 건물 및 차량용 유색 태양광 모듈 개발 및 일부 적용 중 (Longi, LG 등) · Glass 대체 film 적용 모듈 개발 시험 중(Solaxess-color film 생산) · 경량 모듈 개발 기업 (Hanergy)	· ('30) 경량 color 모듈 개발 (〉 30 W/kg) · ('50) 경량 color 모듈 개발 (〉 80 W/kg)
고집적 기능성 모듈 설계 및 공정 기술 개발	· 상용 BIPV 모듈 – 태양전지 확인 불가한 유색 모듈의 경우(유색 불투명) : 100 W/m^2 · KS 기준 시험 평가 (LG, 신성이엔지 등)	· 미국, 유럽에 다양한 크기 및 형태의 상용 지붕형 태양광 모듈 적용 중(Tesla)	· ('40) 〉 200 W/m^2 유색 불투명 모듈 개발 · ('40) 〉 250 W/m^2 Black 모듈 개발
일체형 모듈 시스템 최적화 기술	· 현재 개별 모듈 출력 최적화를 위한 Microinverter 개별 제품 있음(LG, 한화솔루션)	· Microinverter를 개별 모듈에 부착한 형태의 상용 Smart Module 제품 있음 · 개별 모듈 모니터링 및 출력 최적화를 위한 Optimizer 제품 있음(Solaredge, Enphase 등)	· ('30) 모듈 출력 최적화 기술 개발 · ('50) 시스템 일체형 모듈 (Optimizer or Inverter 탑재형 모듈)

풍 력

Ⅱ. 풍력 기술개발 전략

1. 개요 37
2. 국내·외 현황 38
3. 핵심기술 구성 및 선정 배경 42
4. 비전 및 목표 43
5. 중분류별 추진전략 44

1. '풍력' 개요

**바람의 운동에너지를 로터 블레이드에서 흡수,
기계적 에너지로 변환하여 전력을 생산하는 발전기술**

	풍력 핵심부품 효율향상	풍력 발전기 대형화	풍력단지 운전효율 향상
정의	블레이드, 발전기 및 전력변환기 등 핵심 기계 및 전기 부품의 출력용량 증대를 통한 효율 향상 기술	기존 10 MW 미만 풍력발전 시스템 시장 기술의 성능 및 가격 한계를 극복하기 위한 혁신 선도형 차세대 풍력발전 시스템 기술	단위 풍력발전기와 풍력발전단지의 이용률 향상을 통한 신뢰성 및 경제성 향상을 위한 기술
필요성	풍력발전기를 구성하는 핵심 부품의 효율향상 및 경제성 향상을 통한 풍력산업의 대외 경쟁력 확보	레드오션의 형국인 고정식 육상풍력 시장과 달리 고정식 및 부유식 해상풍력은 해양플랜드 기술 강국인 우리나라의 산업 기반 활용 시 국제적 산업경쟁력 확보 가능	복잡지형으로 인한 고장률 증가와 계통 수용한계로 인한 감발운전에 대응하기 위한 기술개발로 경제성 향상

2. 국내·외 현황

1) 정책 및 제도 동향

정책

- 2050 탄소중립 및 그린뉴딜 정책 시행에 따라 재생에너지 발전비중의 확대가 필요하며, 풍력발전은 해상풍력이 보급 확대 정책의 중심축

중 국

2020년 해상풍력 누적 설비용량 7.4 GW 달성으로 세계 최대 해상풍력 보급 국가로 부상

영 국

세계 5대 해상풍력 보급시장으로 2030년까지 40 GW의 해상풍력발전단지 건설 예정

미 국

2026년까지 약 10 GW의 해상풍력발전단지 건설 예정

한 국

재생에너지 3020 이행계획('17), 그린뉴딜('20) 및 2050 탄소중립('21) 등을 통해 해상풍력 중심의 풍력발전 보급정책 시행

※ 3020 목표 달성을 위해서는 총 17 GW의 풍력발전단지 조성이 필요하며, 그 중 14 GW를 해상풍력이 담당

제도

- 풍력 보급 확대를 위해서는 주민 수용성 확보가 가장 중요하며, 이를 위해 지역주민과의 이익공유 등 수용성 향상을 위한 제도 시행
  - 지자체 주도 민관협의회를 통해 계획 단계에서부터 주민수용성을 확보하고 체계적 발전사업 추진을 위해 '신재생에너지 집적화단지 제도' 시행

    ※ 신재생에너지 집적화단지로 지정되면 최대 0.1의 REC 가중치 적용 혜택
  - '국민주주 프로젝트'를 통해 풍력발전사업에 지역주민들이 주주로 참여하여 개발 이익을 공유

    ※ 3 MW 이상 풍력발전단지 조성 시, 주변 읍·면·동에 1년 이상 주민등록 된 주민 또는 주민으로 구성된 마을기업 (5인 이상) 등에 20년 거치 일시상환 조건으로 총 사업비의 4% 이내에서 지분 투자를 위한 융자금 지원

2) 시장동향

세계

- 2020년 기준 글로벌 풍력 신규 설치 용량은 93.0 GW로 2019년 대비 53% 증가(GWEC, '21)

※ 육상풍력은 86.9 GW, 해상풍력은 6.1 GW 설치 완료

※ 지역별로는 중국/아시아(60.0%), 북미(18.0%), 유럽(16.0%), 라틴 아메리카(5.0%) 순

※ 누적 설비용량 기준 설치된 풍력 설비는 743 GW로 전년 대비 14% 성장

- 풍력발전 시장은 FIT, 생산세액공제, 경매제도, 국가 및 주 단위의 재생에너지 보급 목표 등 정부의 지원으로 성장할 것으로 예상

※ 향후 연평균 10%의 계속적인 성장이 예상되며, 중국, 미국, 유럽 중심의 시장 형성

※ 계속적인 시장의 성장과 확대로, 중국은 근 시일 내 정부의 보조금 지원 없이도 경제성을 갖는 시기가 도달할 것으로 예상됨

- 계속적인 육상풍력의 성장과 함께 중국, 미국을 중심으로 10% 이상의 해상풍력 시장의 급격한 성장 예상

※ 미국은 2023년경 유틸리티 규모(Utility-scale)의 해상풍력발전(800 MW 이상)이 설치될 것으로 예상되어 해상풍력이 진정한 국제적 사업으로 거듭날 예정임

국내

- '재생에너지 3020 정책', '탄소중립 선언' 기준, 17 GW(육상 3 GW, 해상 14 GW)의 신규 풍력 발전 설비 보급 계획이나, 2020년 기준 연평균 200 MW 이하의 설치 수준에 불과

※ 풍력발전 누적설치용량 : ('18) 1.30 GW →('19) 1.42 GW → ('20) 1.58 GW

※ 풍력 신규 설치현황 : ('17) 114 MW → ('18) 161 MW → ('19) 120 MW → ('20) 160 MW

- 2020년 '서남해 2.4 GW 국가 해상풍력단지', 2021년 '신안 8.2 GW 해상풍력단지' 등 본격적인 해상풍력단지 개발 추진 발표

※ 한국해상풍력은 서남해 프로젝트의 2단계 사업으로, 시범단지(400 MW)에 국산 풍력터빈을 우선 공급하는 방식으로 내수시장 지원 전략 추진

- 울산시는 국내·외 6개 민간투자사와 MOU 체결을 통해 2023년부터 6 GW 규모의 부유식 해상풍력 발전단지 개발 추진

※ 석유공사-Equinor, Shell-CoensHexicon, GIG, CIP-SK E&S, KFWind, Equinor

※ 대부분의 컨소시엄은 해외 터빈(Siemens, Vestas 등)의 설치를 고려중에 있음

3) 기술동향

부품

- 풍력발전기 대형화에 따라 블레이드, 증속기, 발전기 및 베어링 등 주요 부품에 대한 지속적인 대형화 개발이 요구되지만, 국내 공급망이 매우 취약하여 단조 제품 위주의 개발 및 생산이 이루어짐
  - 2000년대 중반부터 주요 부품들에 대한 꾸준한 국산화 개발이 진행되어 왔으나, 협소한 국내 시장과 이로 인한 단가 경쟁력 확보의 어려움으로 인해 다수의 부품들이 시장 진입에 실패
  - 풍력발전기 타워 및 타워 플랜지 등 단조제품은 국제적인 경쟁력을 갖추고 있으며, CS윈드 및 동국S&C 등은 기술력과 산업 경쟁력을 확보하여 해외 주요 풍력발전기 제작사들에게 해당 부품 공급 중
  - 대표적 노동집약형 생산 부품인 블레이드는 대량생산을 통한 단가 저감이 중요하지만 협소한 내수시장 규모로 인해 중국산 제품 대비 가격 경쟁력 열위

시스템

- 두산중공업 및 유니슨은 각각 8 MW 및 10 MW 풍력발전기 개발을 진행 중이지만, 해외 주요 제작사는 이미 해당 발전용량의 풍력발전기를 생산 및 공급 중이며 2025년까지 15 MW급 개발을 목표로 진행 중
  - 풍력발전기의 대형화 추세에서는 국내 기업들이 약 5년 정도 뒤처진 상황이며, 더 이상의 기술격차 확대를 방지하고 내수 시장에서의 경쟁력 확보를 위해 노력 중
  - 국내 개발 풍력발전기는 해외 경쟁사 대비 성능과 가격 경쟁력에서 열위이며, 제작사들은 가격 저감을 위해 다양한 기술개발을 진행 중이지만 소량 생산으로 인해 규모의 경제 달성이 어려움

단지

- 해상풍력 중심의 중대형 풍력발전단지 개발이 진행되고 있으며 육상의 경우 지속적인 리파워링을 통한 기존 단지의 대형화가 태동기 단계이지만, 단지 O&M 측면에서 해외 선진사 대비 기술력과 경제성에서 열위이며 부족한 전력계통망으로 인해 계통 접속지연 및 제주지역을 중심으로 출력 제한을 통한 감발운전이 심각한 문제임
  - 해외 풍력발전사업자들은 DNA(Digital, Network and AI) 기술을 접목한 단지 운영기술 개발·적용을 통해 경제성 향상을 도모하고 있으나, 국내 사업자들은 단지의 건설과 기계적 운영에 집중
  - 현재 추진되는 해상풍력발전단지의 경우 단지 O&M 기술의 고도화를 통한 경제성 향상이 가능하므로 이 부분에 대한 기술개발 필요
  - 출력제한을 통한 감발운전은 근본적으로는 송배전망의 확충을 통해 해결되어야 하지만 단기간 내 해결 가능한 부분이 아니므로 대응 기술개발 필요

4) 산업현황

부품

- 그동안 정부 주도의 개발 지원을 통해 육상 4 MW급이 개발되어 보급 중이고, 해상 8 MW급을 개발 중이나 해상풍력발전기의 경우 선진국 대비 약 5년 정도의 기술격차가 존재하며 가격적인 측면에서도 열위
  - 증속기 및 전력변환기 등 일부 핵심 부품에 대한 기술개발이 진행되었으나 사업화 실패
  - 커플링, 요 및 피치 드라이브 등 일부 기계 부품의 기술개발 및 사업화에 성공하였으나, 협소한 내수시장 규모로 인해 해외 부품사 대비 열위의 가격 경쟁력

시스템

- 블레이드 설계 및 제작기술 역량을 확보하고 있으며 8 MW급 블레이드 개발 중
  - 유럽 및 중국의 경우 육상용 풍력발전기는 4~6 MW급이 보급 중이며, 해상은 10 MW급 이상이 시장 주력 제품으로 대형화 진행 중
  - 국내는 4.3 MW가 최대 용량의 육상용 풍력발전기이며, 해상용은 2022년 목표로 8 MW급 개발이 진행 중
  - 내수시장 확보 및 수출산업화 기반 구축을 위해서는 10 MW급 이상 풍력발전기의 개발 및 사업화 추진 필요

[풍력 주요 키플레이어 동향]

국가	기업명	기술개발 현황
한국	유니슨	▸ 8 MW급 이상 직접구동형 PMSG 개발 중('22 시제품 시험 계획) ▸ 10 MW 직접구동형 풍력발전기 개발 중('23 시제품 설치 계획)
	두산중공업	▸ 8 MW 직접구동형 풍력발전기 개발 중('21 시제품 설치 계획) ▸ 8 MW 개발 이후 10 MW로 확장 개발 계획 중
미국	GE Energy	▸ 12 MW 직접구동형 풍력발전기 개발 완료('20) ▸ 13 MW로 확장 개발 진행 중
독일	SGRE	▸ 14 MW 직접구동형 풍력발전기 개발 중('24 양산 계획)
덴마크	MHI Vestas	▸ 10 MW 기어드 풍력발전기 양산 중 ▸ 15 MW 기어드 풍력발전기 개발 완료
중국	DEC	▸ 10 MW 직접구동형 풍력발전기 개발완료('20)
	MingYang	▸ 11 MW 기어드 풍력발전기 개발 중('21 시제품 설치 계획)

3. 핵심기술 구성 및 선정 배경

중분류	선정 배경	세부기술
풍력 핵심부품 효율향상	• 10 MW급 이상 대형 풍력발전기 핵심 부품의 높은 해외 의존도 • 풍력발전기 대형화를 위한 블레이드 장대화를 위해서는 증가하는 변형량과 피로하중을 극복할 수 있는 설계 및 제작기술 필요 • 블레이드, 발전기 및 전력변환기 등 핵심 부품 기술자립을 통한 국내 Supply Chain 구축 및 산업 경쟁력 강화 • 국내에서는 직접 구동형 3 MW급 이상 풍력발전기 개발 실적이 없으므로 발전기와 전력변환기에 대한 기술 확보 필요	① 고출력 블레이드 설계·제작 기술 ② 전기 부품 효율성능 향상 기술
풍력 발전기 대형화	• 세계적 풍력발전기 대형화 추세에 대응하여 단기적으로는 10 MW급 이상의 풍력발전기 대형화 기술 확보 및 사업화 • 10 MW급 이상 대형 풍력발전기 개발을 통한 해외 선진기업들과의 기술격차 극복 • 중기적으로는 떠오르는 미래 시장인 부유식 해상풍력발전 산업 경쟁력 확보를 위한 15 MW급 이상 초대형 풍력발전기 개발 • 15 MW급 이상 부유식 풍력시스템 개발을 통한 시장의 조기 진입 필요	① 고정식 풍력발전기 대형화 기술 ② 부유식 풍력발전기 대형화 기술
풍력단지 운전효율 향상	• 가혹 운전조건으로 인한 빈번한 고장 발생과 유지보수 비용 상승을 해소하고, 수명연한 향상을 위한 복잡지형에서의 풍력발전기 신뢰성 확보 ※ 해안가 평탄지 대비 복잡지형에 설치된 풍력발전기의 고장률은 최소 5배에서 최대 100배까지 증가하여 유지보수 증가 및 경제성 저감의 주요 원인으로 작용 • 전력계통 수용용량 한계로 인해 발생하는 풍력발전단지의 감발운전 해소를 위한 대응기술 개발을 통해 발전단지 이용률 향상 필요 ※ 제주도에서는 계통 한계용량으로 인해 풍력발전 감발운전 현실화	① 풍력단지 운전 신뢰성 확보기술 ② 계통연계 안정성 확보기술

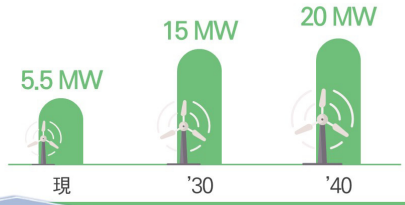
4. 비전 및 목표

목표 풍력 대형화 선도기술 확보

| 핵심지표 |

▶ **풍력 발전기 용량**

도전적인 목표로서, 현재 진행 중인 타당성 연구 결과를 통해 향후 조정 가능



풍력 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기 ~'22	단기 '23	단기 '24	단기 '25	중기 ~'26	중기 ~'28	중기 ~'30	장기 ~'50	목표
풍력 핵심부품 효율향상	블레이드 길이 : 70 m	10~15 MW급 대형 블레이드						시스템 실증	사업화	('25) 10 MW급 핵심 부품 실증/상용화 ('30) 15 MW급 핵심 부품 실증/상용화 ('40) 20 MW급 핵심 부품 실증
		10 MW급 이상 직접 구동형 발전기 및 전력변환기				시스템 실증	사업화			
풍력 발전기 대형화	발전용량 5.5 MW	고정식 풍력발전기 대형화			시스템 실증	사업화				('25) 10 MW급 고정식 풍력발전기 상용화 ('30) 15 MW급 고정식 풍력 발전기 개발 ('35) 15 MW급 부유식 풍력발전기 개발
				부유식 풍력발전기 대형화				시스템 실증	사업화	
풍력단지 운전효율 향상	이용률: 육상 23% 해상 30%	풍력단지 신뢰성 실증평가				사업화				('30) 풍력발전단지 운전수명 25년 (~'30) 출력 예측 정확도 95%
		풍력발전 출력 예측 및 활용 기술					실증	사업화		

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기술개발

① 대형 블레이드 등 핵심부품 기술 자립 추진
② 대형 부유식 시스템 적기 상용화
③ 계통 안정성 및 운전 신뢰성* 확보 추진

* 전력망 한계로 인한 감발운전 등 극복을 위한 출력예측·제어, 대응 기술 등

※ 기술개발 단계에서부터 부품·발전기 관련 기업과 공동 개발을 통해 실증테스트 계획을 구체화하여 상용화 촉진

정책·제도

① 주민수용성 제고 방안 강구, 보급확대를 위한 인센티브 강화로 수요창출 계통연계 확대·전력예측 시스템 구축 추진

5. 중분류별 추진전략

1) 풍력 핵심부품 효율향상

정의

- 블레이드, 발전기 및 전력변환기 등 핵심 기계 및 전기 부품의 출력용량 증대를 통한 효율 향상 기술

고출력 블레이드 설계·제작 기술

블레이드 길이 증가에 따른 변형량과 피로하중 증가를 극복할 수 있는 대형 블레이드 설계 및 제작 기술

전기 부품 효율성능 향상 기술

증속기가 적용되지 않는 직접 구동형 풍력발전기에 적합한 PMSG(Permanent Magnetic Synchronous Generator) 및 전력변환기(Power Converter) 설계 및 제작 기술

기술개발 필요성

- 풍력발전기를 구성하는 핵심 부품의 효율향상 및 경제성 향상을 통한 풍력산업의 대외 경쟁력 확보

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
고출력 블레이드 설계·제작 기술	8 MW 블레이드 개발 중 70%	길이 〉 100 m	길이 〉 150 m	길이 〉 200 m	▪ (~'25) 길이 100 m 이상급 블레이드 ▪ (~'30) 12~15 MW급 블레이드 설계기술 및 실증 ▪ (~'40) 20 MW급 블레이드 설계기술 및 실증
전기부품 효율성능 향상기술	8 MW급 증속기 구동형 발전기 개발 중 60%	10 MW급	15 MW급	20 MW급	▪ (~'25) 직접 구동형 10 MW 발전기 및 전력변환기 ▪ (~'30) 15 MW급 발전기/ 전력변환기 ▪ (~'40) 20 MW급 발전기/ 전력변환기

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술

기술개발 추진방향

1 고출력 블레이드 설계·제작 기술

주요 이슈사항

- 풍력발전기의 핵심 부품인 블레이드에 대한 공력설계 기술은 상당 부분 확보되었으나 적층 구조설계는 높은 해외 의존도
- 블레이드 제작기술은 확보되었으나 설계기술 미확보로 인해 일부 풍력발전기 제작사는 중국산 블레이드 수입 사용

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발	• 10 MW급 이상 대형 블레이드 · 100 m 이상 장대형 블레이드 공력 형상 설계 및 공탄성 해석기술 개발 · 우수한 피로 성능을 가지는 블레이드 설계기술 개발 · 중량 저감을 위한 유리·탄소 섬유 복합소재 적층 구조설계 기술 개발 · 복합소재 적층 구조물의 동적 거동특성 해석 기술 개발 · 블레이드 가격 경쟁력 강화를 위한 목형 모듈화 설계 기술 개발
목표달성전략	• 자체 개발 블레이드의 신뢰성 확보를 위해 해외 제3기관의 설계 적합성 검증 • 국내 블레이드 제작기업 및 풍력발전기 제작사의 공동 개발을 통한 개발기술의 조기 사업화 추진

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
10 MW급 이상 대형 블레이드	· 5.5 MW급, 길이 약 68 m 블레이드 제작(두산중공업) · 현재 8 MW급 블레이드 기술개발 단계 · 두산중공업, 유니슨 및 에너지연 블레이드 설계기술 일부 확보	· 15 MW급 블레이드 (길이 125 m) 개발 (독일 Windnovation)	· ('25) 길이 100 m, 10 MW급 블레이드

2 전기 부품 효율성능 향상 기술

주요 이슈사항

- 직접 구동형 발전기 로터에서 발생하는 모든 하중을 지지하면서도 약 9 mm 내외의 공극을 유지하기 위한 경량 구조기술 필요
- 3.3 kV를 지원하는 고전압 제품의 개발이 필요하며 병렬운전을 기본으로 하여 다양한 계통지원 기능을 갖춘 제품 개발

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 10 MW급 직접 구동형 발전기 및 전력변환기
  - · 10 MW급 이상 직접 구동형 발전기 설계 및 제작기술 개발
    - – 최소 공극 유지를 위한 구조설계 기술
    - – 고냉각 회전자 구조 및 경량화 설계 기술
  - · 10 MW급 이상 전력변환기 개발
    - – 전력변환기 입출력에 대한 Read-back 제어기술
    - – 과전류 발생 감지 및 제어기술

목표달성전략

- 접구동형 발전기 및 전력변환기 개발에 필요한 정격회전속도, 발전기 전압, 계통연계전압 등의 개발 사양 협의를 통한 최적화
- 개발 제품 시험설비 인프라 구축 지원을 통해 기업지원 강화

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
10 MW급 직접구동형 발전기 및 전력변환기	· 8 MW급 직접구동형 발전기 개발 중(유니슨) · 5 MW급 전력변환기 개발 중(플라스포)	· 12 MW 직접구동형 발전기 및 전력변환기 상용화(미국 GE) · 14 MW 직접구동형 발전기 및 전력변환기 개발 중(독일 SGRE)	· ('25) 10 MW급 이상 발전기 및 전력변환기 상용화

2) 풍력발전기 대형화

정의

- 기존 10 MW 미만 풍력발전 시스템 시장 기술의 성능 및 가격 한계를 극복하기 위한 혁신 선도형 차세대 풍력발전 시스템 기술

고정식 풍력발전기 대형화 기술

지반에 타워 또는 하부 구조물 형식의 지지구조물을 갖는 대형 풍력발전기로서, 운송과 설치의 편의성과 함께 설비용량 10 MW급 이상의 풍력발전시스템

부유식 풍력발전기 대형화 기술

지반에 고정되는 지지 구조물 없이 해상에 계류선을 이용하여 부유식으로 설치되는 정격 출력 15 MW 이상의 해상풍력 시스템 개발

기술개발 필요성

- 레드오션의 형국인 고정식 육상풍력 시장과 달리, 고정식 및 부유식 해상풍력은 해양플랜트 기술 강국인 우리나라의 산업 기반 활용 시 국제적 산업 경쟁력 확보 가능

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
고정식 풍력발전기 대형화 기술	8 MW 개발 중 60%	10 MW급 풍력발전기	15 MW급 풍력발전기		▪ (~'25) 10 MW 해상풍력발전기 ▪ (~'30) 15 MW 해상풍력발전기
부유식 풍력발전기 대형화 기술	5 MW 부유식 개발 중 50%	5 MW급 부유식 풍력발전 실증	15 MW급 부유식 풍력발전기 개발	20 MW급 부유식 풍력발전기 개발	▪ (~'25) 5 MW급 실증 ▪ (~'35) 15 MW급 부유식 개발·실증 ▪ (~'50) 20 MW급 부유식 풍력발전기 개발

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술

기술개발 추진방향

1 고정식 풍력발전기 대형화 기술

주요 이슈사항

- 세계적으로 탄소중립 목표 달성을 위한 풍력발전의 비중은 매우 큰 것으로 평가되며 LCOE 저감을 통한 경제성 확보가 과제
- 용량이 큰 풍력발전기를 적용할수록 LCOE를 낮출 수 있는 해상풍력의 특성에 따라 10 MW급을 적용할 경우 4~5 MW급 대비 40% 이상, 8 MW급 대비 20% 이상 LCOE 감소 효과 기대
- 2025년 이후 세계시장의 해상풍력발전기 평균 용량이 10~12 MW으로 전망되나 현재 국산 풍력발전기는 4~5 MW급이 상용화 되었으며, 8 MW를 개발 중이므로 약 5년 정도의 기술 격차를 보임

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 10 MW급 이상 대형 풍력발전기 설계 및 제작기술 개발
  - · 10 MW급 이상 대형 풍력발전기 피로하중 능동 저감 기술
  - · 10 MW급 이상 풍력발전기 운송 및 설치 기술
  - · 10 MW급 이상 풍력발전기 실증 시험평가 기술

목표달성전략

- 개발된 풍력발전기 실증을 위한 테스트베드 인프라 구축 지원을 통해 기업 지원 강화

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
10 MW급 이상 대형 풍력발전기 설계 및 제작	· 4.3 MW 해상 풍력발전기 상용화(유니슨) · 5.5 MW 해상 풍력발전기 상용화(두산중공업) · 8 MW 해상 풍력발전기 개발 중(두산중공업)	· 12 MW 해상 풍력발전기 상용화 (미국 GE) · 14 MW 해상 풍력발전기 개발 중 (독일 SGRE)	· ('25) 10 MW급 이상 국산풍력발전기 상용화 · ('30) 15 MW급 고정식 풍력 발전기 개발

2 부유식 풍력발전기 대형화 기술

주요 이슈사항

- 다양한 민원과 인허가 등의 제약 조건으로 인해 육상 풍력의 성장세는 추후 제한적일 것으로 판단됨
- 이에 반해 해상 풍력의 경우, 대형 풍력발전기의 대규모 설치가 가능함에 따라 가파른 성장이 예상되며, 이와 함께 원해(Long Distance)에서 고품질의 바람을 이용할 수 있는 부유식 풍력 시장 또한 발생할 것으로 예상됨
- 따라서 현재 상태로는 가격, 기술 경쟁력의 확보가 쉽지 않은 고정식 풍력보다는 향후 전개될 부유식 풍력 시장에 대한 선제적 준비가 요구됨

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 15 MW급 이상 부유식 풍력발전기 대형화 기술 개발
  - · 단지화에 적합한 15 MW급 이상 대형 부유체 및 계류 설계 기술
  - · 대형 부유식 해상풍력발전 시스템 운송 설치 기술
  - · 풍력발전기·부유체 통합 운전제어 기술
  - · 풍력 및 조력·파력을 고려한 연성 하중 해석 기술

목표달성전략

- 부유식 풍력 시스템을 위한 기자재, 설계, 제작, 운송, 설치 및 운영, 유지보수 등의 전주기적 개발 필요
- 개발 시스템의 Track Record 확보와 안정적인 운전의 확인을 위해 테스트베드에서 장기간 운영 필요
- 주민 수용성과 사업성 향상을 위해 REC의 현실적 개선* 필요

  * 주민참여 사업의 경우 REC 0.1의 가산이 가능하나, 보다 현실적인 가중치(0.5~1)의 부여로 주민 수용성 확보

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
15 MW급 이상 부유식 풍력발전기 대형화 기술	· 750 kW급 부유식 풍력발전 제어기술 확보(유니슨) · 현재 5 MW급 부유식 풍력시스템 개발 중이나 국내 실증 실적 없음	· 6 MW급 부유식 풍력 발전 시스템 개발(Siemens) 및 30 MW급 단지 상업 발전(Equinor) · 9.5 MW급 부유식 풍력 발전 시스템 개발(Vestas) 및 50 MW급 단지화 발전단지 개발 중(Grupo Cobra)	· ('35) 15 MW급 부유식 풍력발전기 개발

3) 풍력단지 운전효율 향상

정의

- 단위 풍력발전기와 풍력발전단지의 이용률 향상을 통한 신뢰성 및 경제성 향상을 위한 기술

풍력단지 운전 신뢰성 확보기술

국내 전체 풍력발전 설비용량 중 75%가 설치된 복잡지형에서의 고장률 감소와 설계 수명 증대를 위한 신뢰성 확보 기술

계통연계 안정성 확보 기술

전력계통 수용용량 한계로 인한 풍력발전의 출력제한과 이로 인한 감발운전에 따른 기회비용 손실과 경제성 향상을 위한 사전 풍력발전 예측 기술

기술개발 필요성

- 복잡지형으로 인한 고장률 증가와 계통 수용한계로 인한 감발운전에 대응하기 위한 기술개발로 경제성 향상

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
풍력단지운전 신뢰성확보기술	이용률 23%(육상) 및 30%(해상)	이용률 향상	내구 수명 연장	O&M 비용 저감	▪ (~'25) 풍력발전기 이용률 25% ▪ (~'30) 내구 수명 25년 ▪ (~'40) O&M 비용 30% 저감
계통연계안정성 확보기술	풍력발전 출력예측 정확도 80%	예측 정확도 향상	예측 장주기화		▪ (~'30) 출력 예측 정확도 95%

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술　민간 부문에서 개발 예정인 기술

1 풍력단지 운전 신뢰성 확보 기술

주요 이슈사항

- 국내 풍력발전 총 설비용량의 75%가 강원 및 경북의 복잡지형에 설치되었으며, 복잡지형에서의 돌풍과 잦은 풍향변화로 인한 고장률 증대와 이로 인한 풍력발전기 내구수명 단축
- 풍력발전기 설계수명은 20년이지만 복잡지형에서의 풍황 특성으로 인해 강원풍력(2006년 11월 발전사업 개시) 등은 2024년 조기 철거 및 리파워링 추진 중
- 복잡지형에서의 풍황 특성에 대응하고 고장률 저감과 내구수명 증대를 통한 경제성 향상을 위해 실증단지 개발 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 복잡지형 풍력발전단지 신뢰성 확보기술
  - · 풍력발전기 운전하중 경감 제어 기술
    - 요잉 기동 중 발생하는 낫셀 동하중 경감 기술
    - 난류유동으로 인한 풍력발전기 피로하중 경감 기술
  - · 구조안전성 모니터링 기술
    - 블레이드 손상 방지를 위한 SHM(Structural Health Monitoring) 기술
    - O&M 비용 저감을 위한 DNA(Digital-Network-AI) 기반 단지 운전기술

목표달성 전략

- 해당 기술은 풍력발전기 제작사 및 발전단지 운영사 모두에게 필요한 기술이므로 복잡지형 신뢰성 확보를 위한 기술개발은 제작사와 발전사가 모두 참여하는 형태로 개발되어야 사업 실효성이 확보됨
- 제작사는 풍력발전기 성능 향상에 집중하되 발전사업자(단지 운영사)는 단지 운전 경제성 및 내구성 향상 등 운전 측면의 기술개발을 전담
- 개발 기술의 현장 적용·평가 위한 복잡지형 실증단지 개발은 주민수용성 확보가 가장 중요한 요소이므로 해당 지자체의 참여 필수

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
복잡지형 풍력발전단지 신뢰성 확보기술	· 전남 영광(전남 테크노파크) 및 제주 김녕(제주에너지공사)에 실증 평가단지 운영 · 2곳 모두 설비용량 10 MW이며, 복잡지형이 아닌 평탄·단순지형에 설치 · 풍력발전기 출력 및 하중성능 평가기술은 확보중이지만 (에너지연), 복잡지형에서의 평가 경험은 없음	· 덴마크 DTU(Denmark Technical University)가 세계 최대 규모의 실증단지를 보유하고 있으나 바닷가 평탄 지역임 · 유럽 내 다수의 실증단지가 존재하나 평탄한 유럽의 지형을 고려하여 모두 평탄·단순 지역에 위치	· ('30) 풍력발전기(단지) 내구수명 25년

2 계통연계 안정성 확보 기술

주요 이슈사항

- 제주도는 2020년 상반기 중 출력제한 횟수가 2019년 1년간 출력제한 횟수(46회)를 초과하였으며, 감발운전에 의한 생산전력 손실량은 2019년 9,223 MWh 대비 약 45% 증가한 13,416 MWh임
- 송배전망의 조속한 확충이 이루어지지 않을 경우 내륙지역에서도 10년 이내에 출력제한을 통한 감발 운전 발생 전망
- 풍력발전은 간헐성 자원으로 인식되어 전력공급 계획 수립 시 배제되거나 일부만 반영되어 전력 수급 오차가 커지는 문제가 발생하므로, 개별 발전단지 뿐만 아니라 전국단위로 정확한 풍력발전 출력을 예측하는 시스템을 구축하여 발전 계획에 실시간 반영하는 체계 필요
- 전체 전력계통에서 재생에너지 발전 비중이 늘어나면서 기존 동기발전기가 제공하던 전력계통 안정화 서비스 중 일부를 제공할 수 없기 때문에 풍력발전 감발제어 명령 발생

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 풍력발전 개별 단지 및 전국단위 출력 예측 및 활용 기술
  - · 해상 풍력 단지의 계통연계 유연성 및 안정성 확보 기술
    - 대규모 해상 풍력 단지의 계통 안정도 영향 평가 기술
    - 에너지 시장 및 보조서비스 시장 활성화에 대비한 풍력발전 대응기술
    - 최적 용량의 풍력발전용 에너지 저장 시스템 설계 및 운용 기술
  - · 풍력발전 출력 예측 및 활용 기술
    - 개별 단지 및 전국단위 풍력발전 출력 예측 정확도 향상 기술
    - 풍력 단지 출력 감발량 예측 및 전력 저장을 통한 수익 극대화 운영 기술

목표달성전략

- 한국전력공사가 주도하는 전력계통 안정도 평가와 별도로 해상풍력 단지의 계통연계 유연성과 안정성 평가 및 개선 기술 확보 필요
- 풍력이 생산하는 전력에 대한 판매가격이 계통한계가격(SMP)으로 결정되는 현재의 시장 구조에서는 대규모 재생에너지 수용이 매우 어려우므로 전력거래 시장 개편을 통해 사업자 주도의 풍력 단지 출력 예측 및 에너지 시장 참여 유도 필요
- 전국단위 풍력발전 출력량 예측은 에너지 전환을 위한 계통 유연성 확보 측면에서 필수적이며 전국단위 예측 시스템 개발 이후에도 장기 R&D 투자를 통해 그 정확도 및 활용도를 지속적으로 향상시켜야 함

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
풍력발전 개별 단지 및 전국단위 출력 예측 및 활용 기술	· 신재생관제 및 출력예측(전력거래소) · 신재생센터 제주지역 모니터링 사업(전력연구원) · 태양광 풍력 출력 예측 솔루션(에코브레인)	· 1.9M 유닛의 PV, Wind 발전기 대상 예측시스템 구축 및 모델 개선(독일 Fraunhofer IWES) · 해상풍력단지용 출력 예측 서비스 제공(덴마크 Enfor) · 풍력발전과 에너지저장을 활용한 Power Plant 설계기술(독일 Siemens-Gamesa)	· ('25) 단지 출력예측 정확도 90%, 전국단위 출력예측 시스템 구축 · ('30) 단지 출력예측 정확도 95%, 전국단위 출력 예측 정확도 90%

H_2

수 소

Ⅲ. 수소 기술개발 전략

1. 개요 55
2. 국내·외 현황 56
3. 핵심기술 구성 및 선정 배경 69
4. 비전 및 목표 70
5. 중분류별 추진전략 71

1. '수소' 개요

정 의 물, 유기물, 화석연료 등의 화합물 형태로 존재하는 수소를 분리, 생산하여 활용하는 기술

	수소 생산	수소 저장·운송	수소 발전
정의	물, 화석연료, 폐자원, 바이오매스 등의 원료로부터 열화학적, 전기분해 등의 방법으로 수소를 생산하는 기술	물리적·화학적 방법으로 수소를 높은 에너지밀도로 안전하게 저장하고 운송하는 기술	수소를 활용하여 전기와 열을 생산하는 친환경·고효율 에너지 전환 기술
필요성	수소경제 활성화 로드맵에 따르면 향후 수소 수요의 급격한 증가가 예상되므로, 이에 대응하고자 저가·대량의 수소를 생산하기 위한 기술 확보가 필요	해외 CO_2-free 수소를 경제적이고 안정적으로 저장·운송하기 위한 방안으로 암모니아, LOHC 및 액화수소 기반 저장기술과 장거리 운송기술이 필요	HPS 제도 시행('22)으로 분산발전 및 친환경 재생에너지 연계가 가능한 고효율·저가 연료전지와 CO_2 배출 저감이 가능하고 급속한 부하변동 대응에 용이한 가스터빈 발전기술 확보 필요

2. 국내·외 현황

1) 정책 및 제도 동향

정책

- 탄소중립 달성을 위한 핵심수단으로 수소의 필요성이 확대되고 있고, 수소경제 선점 및 수소 기술·산업을 집중 육성하기 위한 주요국의 정책적 지원 강화

미 국

수소기술 부흥을 위한 수소 프로그램 계획(Hydrogen Program Plan, '20)을 발표하여 2050년까지 연간 최대 4,100만 톤의 수소 수요를 확대함으로써 에너지 수요의 14%를 차지[1)]

· 저가·고효율 및 내구성이 강화된 수전해 설비, 저비용 수소저장 시스템, 저가·내구성과 신뢰성이 확보된 연료전지 대량생산 등 추진

※ (목표) 수소 생산 단가 $1/kg, 수전해 설비 가격 $300/kW·수명 80,000시간·효율 65%, 고온용 연료전지 시스템 가격 $900/kW·수명 40,000시간

EU

현재 에너지믹스의 2%를 차지하는 수소의 비중을 2050년까지 13~14%로 확대(EU Hydrogen Strategy, '20)

· 2020~2024년 EU 내 6 GW 규모의 수전해 설치, 2025~2030년까지 40 GW 규모 수전해를 설치하여 최대 1천만 톤/년의 수소 생산

※ 2030년 수전해 설비 420억 유로 투자, 수소 이송·저장·충전 650억 유로 투자

· 2040년 고정형 연료전지 보급을 4,560천 대까지 확대(Europe Hydrogen Roadmap, '19)

독 일

수소 시장 확대를 위해 70억 유로, 수소 확보를 위한 글로벌 파트너쉽 구축에 20억 유로를 투자하여 탄소중립을 위한 수단으로 수소 활용 확대(Nationale Wasserstoffstrategie, '20)[2)]

· 2030년까지 5 GW의 그린수소 생산 설비를 구축해 연간 14 TWh의 수소를 공급하며, 2035년까지(늦어도 '40년까지) 그린수소 생산시설 5 GW 추가 설치

1) 산업인News, 미국 에너지부(DOE) 수소 로드맵, 2020.11
2) 한국산업기술진흥원, 독일 국가수소전략, 2020.6

일 본

'제5차 에너지기본계획('18)'을 바탕으로 '수소기본전략('17)' 목표 달성을 위해 '수소·연료전지 전략 로드맵'을 재개정('19)하여 수소 생산 및 연료전지 시스템 등 가격 저감 목표 및 이행방안을 제시[3)]

- 수소 공급 가격 저감('30년 336엔/kg, '50년 224엔/kg)을 위해 수전해 시스템 가격 저가화 및 해외 수소 공급망 구축을 추진
- 2030년까지 고정형 연료전지 그리드패리티 조기 달성 및 수소터빈 발전 상용화 목표 제시(가정용 연료전지 530만 대 보급 목표)

한 국

세계 최고 수준의 기술력을 확보하여 수소경제 선도국으로 도약하고자 수소경제 활성화 로드맵('19) 및 수소 기술개발 로드맵('19) 수립

- 그레이 수소(화석연료 기반)에서 그린 수소(재생에너지 기반)으로 생산 패러다임을 전환하기 위해 저가 수소 대량 생산 기술 상용화 및 그린수소 생산기술 개발 추진
- 2030년 이후 해외수소 도입을 위한 저장·운송 방식 다양화를 통해 경제적이고 안정적인 수소 유통체계 구축
- 발전용 연료전지시스템 가격 저감을 통한 친환경 분산형 전원 확대 추진

3) 한국에너지기술연구원, Climete Technology Brief, No.22, 2019.05

제도

- 각국 정부는 온실가스 배출 저감을 위해 그린수소 생산, 연료전지 보급 확대를 위한 제도를 마련하고 있으며, 국내는 생산, 저장·운송 관련 제도 마련 및 수소 활용 관련 제도의 보완이 필요

미 국

ITC(Investment Tax Credit, 투자세액공제)와 SGIP(Self-Generation Incentive Program, 자가발전 보조금 프로그램)을 통해서 연료전지 분산발전의 보급 확대 지원

독 일

2050년 온실가스 배출 중립 목표에 따라 탈석탄화 추진, 열병합발전법을 제정하여 고효율의 열병합발전 설비(연료전지 포함) 설치 장려

일 본

재난 상황에 대비할 수 있는 분산형 발전원으로 가정용 연료전지(Ene-farm)와 열병합발전 설비(연료전지 포함) 보급 지원

한 국

청정수소를 활용한 인프라 구축 지원 및 규제개선 등 추진[4)]

- **(생산)** 청정수소 인증제 도입으로 그린수소 의무화 단계적 추진 및 수소법 개정을 통해 청정수소의 개념 및 지원 근거를 명시('21)
- **(저장·운송)** 산업부는 '제1차 산업융합 규제특례심의위원회'를 열고 저장·운송 관련 '규제수리(Repair) 워킹그룹'을 발족('20.4)하여 성공적인 실증과제에 대한 법령 등 규제개선(안)을 마련할 예정
- **(발전)** 고정형 연료전지 및 열병합발전(CHP, Combined Heat and Power) 관련 지원제도를 통한 연료전지 보급을 장려하며, 수소발전 의무화 제도(HPS, Hydrogen Portfolio Standards) 시행('22)으로 연료전지의 독자적 확대 기반 마련

4) 관계부처 합동, 수소경제 민간투자 계획 및 지원방안, 2021.03

2) 시장동향

세계

- 2050년 글로벌 수소 수요는 2020년 8,700만 톤에서 6배 증가한 5억 2,800만 톤에 달할 것으로 전망(IEA, '21)

생산	2020년 1,514억 달러에서 2024년 1,918억 달러로 연평균 6.09% 증가할 것으로 전망(Koncept, '20) ※ 2019년 수소 생산 공정별 비중 : 천연가스 개질 68%, Oil Partial Oxidation 16%, 석탄가스화 11%, 수전해 5% ※ 2050년 그린수소 생산 가격($/kg, BloombergNEF) : (獨) 0.99, (美) 0.84, (日) 1.60, (韓) 1.64
저장	세계 수소 저장 시장은 2020년 141억 달러에서 2027년 186억 달러로 연평균 5.1% 성장할 것으로 전망(Grandviewresearch, '20)
발전	세계 연료전지 시장은 2019년 2,685억 엔에서 2030년 49,581억 엔으로 증가할 것으로 전망(후지경제, '21) ※ (산업·업무용) ('19) 1,056억 엔 → ('30) 4,664억 엔, (가정용) ('19) 414억 엔 → ('30) 4,630억 엔

국내

- 2040년 국내 수소 수요량은 526만 톤/년으로 CO_2-free 수소 수요량은 368만 톤/년 수준으로 추정[5)]

생산	2020년 국내 수소 생산량은 약 198만 톤으로 대부분 부생수소와 추출수소[6)]
저장·운송	수소 운송을 위한 파이프라인은 200 km가 구축되어 있고, 약 500대의 튜브트레일러가 운행
발전	두산퓨얼셀, 한국퓨얼셀을 중심으로 발전용 연료전지 시장을 주도하였고, 블룸SK퓨얼셀의 시장 참여로 발전용 연료전지 시장 확대 가속화 ※ 국내 발전용 연료전지 설치 현황: ('18) 307 MW → ('20) 620 MW → ('22F) 1 GW

5) 해외 청정수소 도입 필요성 및 수소모빌리티 개발 방향 발표자료
6) 서울경제, 원전 빠진 '수소경제'. 수소 생산량 3년째 제자리

3) 기술동향

생산

- 유럽, 미국, 일본 등은 그린수소 가격 저감을 위한 대용량·고효율화 기술, 블루수소 생산 기술 개발 및 실증, 탄소 네거티브 수소 생산 기술을 개발

- **블루수소 생산 :** 천연가스 추출수소 생산 기술과 CCS 기술을 연계하는 블루수소 생산 기술 개발 및 실증과 바이오매스와 폐자원으로부터 수소를 생산하는 기술 개발 추진 중

천연가스 추출	소형 개질시스템은 일본과 미국 중심으로 상용화되었고, 개질시스템의 대형화 및 CCS와 연계한 수소 생산 기술 개발 추진 활발 · **(미국)** DOE 주도로 CCUS가 연계된 천연가스 개질 블루수소 생산 상용화 기술 개발 · **(EU)** 영국, 노르웨이 공동으로 북해가스전을 CO_2 저장소로 활용하는 천연가스 이용 블루수소 생산 기술 스케일업을 통해 산업용 연료로 활용하기 위한 실증 추진 · **(한국)** 한국에너지기술연구원은 현장 생산형 고순도(99.999%) 추출 수소 생산유닛 국산화에 성공하였고, 원일TNI와 함께 2021년 2,000 kg/day급 블루수소 생산기술 개발 추진
바이오매스· 폐자원 가스화	미국은 폐기물 및 바이오매스 가스화를 통한 탄소 네거티브 수소 생산 기술을, 한국은 폐플라스틱 등을 활용한 블루수소 생산 실증 설비 구축 추진

- **그린수소 생산 :** 수전해 시스템 경제성 확보에 초점을 맞춘 기술개발 수행

알칼라인 수전해	수전해 시스템의 대용량화·고효율화 기술 및 재생에너지 연계를 위한 부하 변동성 대응 기술 개발 수행 · **(일본)** Asahi Kasei에서는 10 MW급 알칼라인 수전해 단일 스택을 개발하였고, 2024년까지 35 MW 규모의 단일 스택 개발을 위한 연구 수행 중 · **(한국)** 한국에너지기술연구원에서는 안전성·효율·전류밀도 향상을 위한 알칼라인 수전해 핵심기술개발 연구 중
PEM 수전해	스택 및 시스템의 저가화, 고전류밀도, 고내구성, 고효율화 기술 개발과 대형 프로젝트가 진행 중 · **(독일)** REFHYNE 실증 프로젝트('18~'22)를 통해 100 MW급 규모의 고분자전해질 수전해 시스템을 설치하여, 매년 1,300 톤의 수소 생산 · **(한국)** 한국과학기술연구원에서는 차세대 PEM 수전해 원천기술 확보를 위해 촉매, 전해질 등의 가격 저감을 위한 연구를, 엘켐텍은 MW급 스택 개발 중
고체산화물 수전해	해외는 고온수전해 소자의 내구성 및 신뢰성 향상을 위해 대형 실증 프로젝트들을 수행 중, 국내는 한국에너지기술연구원을 중심으로 대용량 고온수전해 스택 개발을 위한 소재 원천기술, 스택 설계/제작 및 가역 운전기술 개발 중

저장·운송

- 우주선 연료(액화수소), 비료 제조(암모니아)를 위한 기술을 보유하고 있으며, 대규모 수소 무역을 위한 기술 개발 추진
  - **물리적 수소저장 :** 다국적기업 Air Liquide, Air Product, Linde가 대규모 액화 수소 플랜트 구축 운영 중이며, 미국, 일본 등을 중심으로 액화수소 제조기술 고효율화, 기화억제 및 재액화 기술개발 추진 중

미국	DOE 주도로 수송용 수소저장 시스템 개발에 주력하고 있고, 대용량 수소 저장용으로 저장 밀도 향상을 위한 초저온 수소 저장 기술, 초저온 단열 탱크 개발 추진 중
일본	NEDO 중심으로 수소이용 국제 그린에너지 시스템 기술 WE-NET(World Energy NETwork) 프로젝트인 대형 수소액화 플랜트 개발 추진 중
한국	한국기계연구원에서 상용급 액화수소 플랜트 핵심기술개발(액화용량 : 0.5 톤/일) 추진 중

  - **화학적 수소저장 :** 미국과 일본에서는 저압 암모니아 합성 촉매 및 공정을 개발하고 있으며, 국내는 암모니아 및 LOHC 기반 수소 저장·추출 시스템 개발 관련 원천연구 수행 중

암모니아	ARPA-E, NEDO 등 정부지원을 통해 저압 암모니아 합성 촉매 및 공정 개발과 암모니아를 연료로 직접 활용하는 연구를 수행 · **(미국)** Starfire Energy에서 ARPA-E 프로그램 지원으로 2021년 100 kg/day 규모의 수전해 연계 그린 암모니아 합성 시스템 개발연구를 수행 · **(일본)** NEDO의 SIP 프로그램을 통해 저압·저온 암모니아 공정을 개발하였고, 50 bar에서 20 kg/day 규모의 암모니아 합성 실증 및 스케일업 중 · **(한국)** CES에서 암모니아 수소추출시스템 개발을 완료하였고, 한국에너지기술연구원에서 저압 암모니아 합성 촉매 및 시스템 및 상압 전기화학적 암모니아 합성 기술개발 중
LOHC	일본과 독일은 실증에 성공, 국내는 신규 LOHC 소재 및 촉매 반응기 개발 원천연구 수행 중 · **(한국)** 한국과학기술연구원에서 신규 LOHC 관련 소재 및 시스템 등의 원천연구 수행
육상운송	튜브트레일러를 통한 기체수소 운송기술은 상용화 되었으나 액화수소 육상운송 기술은 소수 기업이 기술 보유 · **(미국)** 기체수소, 액화수소 및 수소배관망 기술 상용화단계로 수소 운송 LCA 분석을 통한 적합한 운송모델을 개발 중이며 저가 및 안전 운송 기술 개발 추진 중
해상운송	암모니아, LOHC는 별도의 기술개발 없이 기존 기술로 운송이 가능하나 액화수소는 액화수소 운송선, 터미널 등 관련 연구 수행 중 · **(일본)** Kawasaki에서 세계 최초로 액화수소 운송 시험선을 건조('19.12)하였으며, 2030년까지 대형 액화수소 운송선 건조 예정

발전

- 간헐성 및 변동성 있는 재생에너지를 백업하고, 그린 및 블루수소를 이용한 경제성 높은 연료전지 및 가스터빈 발전기술 필요성 증가
  - **고정형 연료전지 :** 기존 연료전지는 천연가스를 연료로 사용하여 시스템 내 연료처리장치로부터 추출수소를 생산하여 발전하였으나 청정수소 전용 시스템 설계 및 원가절감 및 스택 수명/발전효율 향상 기술 개발 필요

※ 연료전지는 HESS 연계 가능하고, 고출력 발전이 가능하여 에너지 다소비 지역에서 분산전원에 적합한 기술로 다양한 수요처(마을, 농촌, 도시, 산단, 데이터센터 등)에 적용 가능

PAFC	수소를 사용하는 연료전지는 상용 운전 중인 두산퓨얼셀 50 MW 시스템이 유일하며, 원가절감, 스택 수명 및 발전효율 향상을 위한 기술개발 추진 중
SOFC	친환경적이고 높은 전기효율을 요구하는 시장 요구에 따라 효율 및 내구성 향상, 원가절감 등을 위한 기술개발 중점 추진 · **(미국)** Bloom Energy, FuelCell Energy는 70% 이상의 발전효율을 보이는 SOFC 시스템 개발 중 · **(일본)** DENSO는 NEDO의 지원('20~)을 통해 다양한 분야에 활용할 수 있는 SOFC 시스템 개발 추진 · **(한국)** 두산퓨얼셀에서 한국형 고효율 SOFC 개발을 추진 중이며, 미코와 STX 중공업은 가정용 SOFC 개발
PEMFC	순수수소 이용 시 고효율 발전, 부하추종이 가능하여 한국과 미국, 유럽에서 데이터센터용 발전용 시스템으로 실증 진행, 한국에너지기술연구원에서는 초고효율 발전용 연료전지 개발을 추진 중

- **가스터빈 :** 기존 LNG 가스터빈을 개조하여 수소혼소 및 전소, 암모니아/석탄, 암모니아/LNG 혼소 기술 개발 추진 중

미국	GE가 수소 혼소가 가능한 대형가스터빈 연소기 개발(최대 50% Vol.), 수소 혼소비율 증대와 수소전소를 위한 연소기술 개발 중
일본	IHI 50 kW급 암모니아 전소 발전('15) 및 2 MW급 암모니아-메탄 혼소 발전 실증 완료('18) 및 Kawasaki 1 MW급 수소전소 열병합 가스터빈 발전 실증 완료
독일	Siemens는 중·소형 모델에 수소혼소 기술 적용(50 MW급, SGT-800 모델, 혼소비율 최대 40%.Vol.) 및 NO_x 배출을 25 ppm 이하로 제어하기 위한 연소기술 개발 중
한국	두산중공업에서는 전 라인업에 수소연소를 적용할 계획으로 5 MW급 소형 GT 수소 전소, 270 MW급 대형 GT 수소 혼소 정부과제 진행 중

4) 산업현황

생산

- 수소 생산 시스템의 대용량화, 저가화를 위한 기술개발과 함께 풍부한 재생에너지를 활용한 P2G 프로젝트도 다수 수행 중
- **블루수소 생산 :** 해외는 상용 제품 개발을 추진 중이나 국내는 소형개질 반응기 설계 개발에 집중, 대형 수소생산 시스템은 해외 기술에 의존

천연가스 추출	해외 주요 기업들은 대용량 수소 추출시스템 개발을 완료하여 상용화하였고, 이산화탄소 포집과 연계한 대용량 시스템도 실증을 완료하였으나, 국내 주요 기업들은 소형 개질시스템 스케일업 및 CCS 연계기술 국산화를 추진 중 · **(일본)** Osaka Gas는 300 Nm^3/h, 79%의 효율을 보이는 수소 추출기 판매 · **(한국)** 제이엔케이이히터, 원일TNI, 한국가스공사, 한국에너지기술연구원 등에서 300 Nm^3/h급 개질반응기 설계 및 시스템 국산화 진행 중이며, 현대로템은 일본 Osaka Gas의 기술을 도입

- **그린수소 생산 :** EU, 일본 등에서는 상용화 단계이며, 재생에너지와 연계한 P2G 프로젝트 추진 중

알칼라인 수전해	일본 등은 수전해 시스템 개발을 완료하여 수십 MW급 대규모 프로젝트를 통해 그린수소 생산을 본격화하였고, 국내는 1 MW 규모 수전해 시스템을 개발하여 실증을 추진할 예정 · **(일본)** 10 MW급 알칼라인 수전해 시스템을 개발하고, 20 MW 태양광 발전을 연계하여 1,200 Nm^3/h 규모의 그린수소를 생산하는 P2G 프로젝트(FH2R) 추진 중 · **(한국)** 수소에너젠, 이엠솔루션, 한국에너지기술연구원 등을 중심으로 스택 설계·제작 및 핵심 소재 원천 기술을 보유
PEM 수전해	해외는 1 MW급 수전해 시스템을 조기 상용화하여 스택 규모를 확대하고 있고, 국내는 1 MW 수준의 수전해 장치 개발 및 스케일업 추진 · **(독일)** Siemens는 2010년 PEM 수전해 기술을 확보하여 유럽의 P2G 실증 프로젝트에 다수 참여하였고, 1 MW 급 이상 수전해 장치 판매 중 · **(한국)** 엘켐텍을 중심으로 MW급 스택 설계·제작 및 핵심 소재 기술 개발
고체산화물 수전해	유럽과 미국의 연구기관과 기업이 협력하여 기술개발을 추진하고 있으며 상용화 이전 단계 · **(독일)** Sunfire는 가역 고체산화물 연료전지-수전해 시스템을 개발하여 45%의 가역운전효율을 보였으며, Boeing과 공동으로 실증운전을 추진

[수소 생산 주요 키플레이어 현황]

구분	국가	업체명	기술개발 현황
블루수소 생산	일본	Osaka Gas	▸ NG, LPG 사용 5~300 Nm^3/h 추출 수소생산 시스템 상용화 ▸ 수소충전소 적용 및 실증
	프랑스	Air Liquide	▸ NG, LPG, 나프타 사용 대형 (>100천 Nm^3/h) 추출 수소생산 시스템 상용화
	독일	Linde	▸ NG 사용 330~1,000 Nm^3/h 추출 수소생산 시스템 상용화
	한국	원일TNI	▸ NG 사용 300 Nm^3/h 추출 수소 생산시스템 보급 추진 중
그린수소 생산	일본	Ashai KASEI	▸ 10 MW급 알칼라인 수전해 시스템을 개발하여 그린수소 생산 P2G 프로젝트(FH2R) 추진 중
	독일	Siemens	▸ 2010년 PEM 수전해 기술 확보 및 다수 유럽 P2G 실증 참여 ▸ 1 MW 이상 수준의 수전해 장치 판매
		Sunfire	▸ 150 kW급 SOEC 스택 개발, 효율 80%LHV ▸ 재생전력 연계 2.6 MW SOEC 시스템 실증 중(EU MultiPLHY)
	영국	ITM Power	▸ 재생에너지 기반 수전해 수소 On-site 수소충전소 최초 설치 ('15, 로테르담) 후 다수 설치 실증 중 ▸ Power to Gas(메탄화) 장치 실증(독일, 프랑크푸르트)
	노르웨이	Nel Hydrogen	▸ 50 MW급 알칼라인 수전해 플랜트 건설 ▸ PEM수전해(Proton Onsite 인수, '15)기업으로 확장
	캐나다	Hydrogenics	▸ 알칼라인 수전해/PEM 수전해 기술 동시 보유 ▸ 1 MW 이상 수준의 수전해 장치 판매

저장·운송

- 각 국가가 보유한 산업 및 에너지 환경에 맞춰 수소 공급망 구축을 위한 후보기술 발굴 및 실증 중
  - **물리적 수소저장 :** 3대 주요 회사(Air Liquide, Linde, Air Products)들이 사업을 주도하고 있으며, 국내는 SK(3만 톤/년), 효성중공업(1.3만 톤/년)에서 액화수소 생산을 위한 플랜트 건설 계획 수립 단계

    ※ Air Products는 30-35 톤/일, Air Liquide는 10 톤/일 규모의 액화수소플랜트를 건설

  - **화학적 수소저장 :** 일본, 호주 및 사우디를 중심으로 암모니아, LOHC 저장·추출 실증·사업화 단계이나 국내 저장·운송 관련 산업은 초기단계

암모니아	재생 전력을 이용한 암모니아 생산 플랜트 건설 등 사업을 확장하고 있으며, 국내는 암모니아 생산·도입을 위해 해외와 협력을 추진 · **(사우디)** Air Products 컨소시엄은 네옴시에서 4 GW 규모의 재생에너지를 이용하여 2025년까지 1.2백만 톤/년 규모 그린 암모니아 플랜트 구축 예정 · **(영국)** 독일 Siemens와 영국 대학들이 협업하여 30 kg/day 암모니아 생산 실증을 수행하였고, Eneus Energy는 8.4 MW 풍력발전을 이용하여 11 ton/day가 가능한 그린 암모니아 사업 계획 발표 · **(한국)** 저압 암모니아 합성은 기초연구 단계이나, 암모니아 분해 수소추출은 20 Nm^3/h 시스템 실증을 완료하였고 ㈜원익머트리얼즈에서는 300 Nm^3/h급 암모니아 수소추출시스템을 개발하고 운전 안정성 평가 중
LOHC	일본, 독일은 실증 단계이나 국내는 관련 사업이 구축되지 않은 상황 · **(일본)** Chiyoda에서 톨루엔-MCH 기반 수소저장·추출 시스템 실증 · **(독일)** Hydrogenious에서 LOHC를 개발하여 독일과 미국 시장에 진출하였고, 연료전지와 연계할 수 있는 LOHC 수소방출시스템 개발을 완료 · **(한국)** LOHC는 기초단계이나 중대형 화학회사에서 기술개발 및 사업추진 검토 중
육상운송	유럽과 미국 중심으로 수소 파이프라인을 구축하고 있고, 국내도 석유화학단지 중심으로 수소 파이프라인 구축 · **(유럽)** 베네룩스(벨기에, 네덜란드, 룩셈부르크)를 중심으로 Air Liquide에서 900 km 정도의 70~100기압급의 수소 파이프라인 운영 중 · **(미국)** 미국 남부에서 700 km 이상 수소 파이프라인 운영 중 · **(한국)** 덕양, SPG, SFG, 에어리퀴드 주도로 울산·여수 등에 약 200 km의 수소 파이프라인 구축
해상운송	해외수소(액화수소, 암모니아, LOHC 등)의 해상운송은 일본이 선도하고 있고, 국내는 액화수소운송선 화물창 모델의 설계 및 검증기술 관련 기술개발을 위한 연구를 추진하고 있음 · **(일본)** Iwatani과 Kawasaki에서 호주에서 액화수소 운송, Chiyoda는 브루나이에서 톨루엔-MCH 기반 해외 수소저장·추출 시스템 실증 추진 중

[수소 저장·운송 주요 키플레이어 현황]

구분	국가	업체명	기술개발 현황
물리적 수소저장	한국	효성중공업	▸ 린데와 함께 액화수소 사업 추진을 위한 합작법인 투자계약 체결 ▸ 2023년 초까지 13,000 톤/년 규모의 액화수소플랜트 건설
		SK E&S	▸ 2023년까지 3만 톤/년 규모의 액화수소플랜트 건설
	미국	Air Product	▸ 상용화된 자체 액화수소 생산 기술 보유
	일본	Iwatani Corporation	▸ 해외 수소 공급을 위해 선박용 IMO-C type 액화수소 저장용기(1,250 m^3급)을 개발하여 일본 선급협회로부터 기본승인(AIP) 획득
		Kawasaki	▸ 수소 액화운반선 및 액화 수소탱크 등 기술개발 추진 중
	프랑스	Air Liquide	▸ 상용화된 자체 원천 고압기체·액화기술 보유
	독일	Linde	▸ 상용화된 자체 원천 고압기체·액화기술 보유
화학적 수소저장	한국	㈜원익머트리얼즈	▸ 300 Nm^3-H_2/h 급 암모니아 수소추출시스템 개발 및 운전 안정성 평가 예정
	미국	Air Product	▸ 그린암모니아 기반 수소 저장·운송 추출 사업화 추진 중 ▸ 에틸카바졸(ethylcarbazol)을 LOHC 저장 매질로 선택하여 수소를 저장·이송·방출하는 기술 개발
		KBR, CF Industries 등	▸ 그린수소 저장 및 무탄소 연료 활용으로 그린암모니아 생산 기술 개발 중
	일본	Chiyoda Corporation	▸ 톨루엔(toluene)을 LOHC 저장 매질로 선택하여 수소를 저장·이송·방출하는 플랜트 기술을 개발하고 브루나이-일본간 운송 실증
	호주	Yara, Engie	▸ 100 kg/day 그린 암모니아 생산 실증 중
	독일	Siemens	▸ 30 kg/day 그린 암모니아 생산 실증 성공, 스케일업 진행 중
		Hydrogenious Technologies	▸ 디벤질톨루엔(dibenzyltoluene)을 LOHC 저장 매질로 선택하여 수소를 저장·이송·방출하는 시스템 기술 개발
	덴마크	Haldor Topsoe	▸ 그린수소 저장 및 무탄소 연료 활용으로 그린암모니아 생산 기술 개발

발전

- 연료전지와 가스터빈에 사용하는 연료를 화석연료에서 청정수소로 전환 추진 중

  - **고정형 연료전지 :** 정부의 지원 정책을 통하여 신규 시장이 형성되고 있으며 탄소중립 대응을 위하여 고효율 열병합 발전시스템과 수소 전용 제품 출시가 증가

미국	Bloom Energy, FuelCell Energy를 중심으로 발전용 연료전지 시장을 선도하고 있으며 취약한 전력망을 보완하기 위한 시장 확대 전략추진 중
일본	2020년 0.7 kW 가정용 연료전지 Ene-farm을 약 30만 대 보급, Miura, Kyocera 등이 수 kW급 건물용 제품 출시, MHPS 에서는 250 kW SOFC-GT 하이브리드 시스템 출시
독일	건물에서 발생되는 온실가스 저감을 위해 고효율 열병합 시스템 보급을 확대하고 있으며 Solid Power, BOSCH 등 다양한 회사들이 제품을 출시
한국	2020년 기준 발전용 604 MW, 가정·건물용 연료전지를 약 17 MW 보급하였고, 두산퓨얼셀, 에스퓨얼셀이 시장을 선도, 범한퓨얼셀, 미코, STX중공업 등이 시장에 참여

  - **가스터빈 :** Siemens, GE, MHPS를 중심으로 기존 NG 모델을 수소 혼소 및 전소용 터빈 개발과 기존 복합화력 발전소를 수소전소용으로 전환하고 있으나, 국내는 기술개발 단계로 아직까지 보급되지 않은 상황

독일	Siemens에서는 수소 혼소터빈을 시작으로 수소 전소 실증('24) 및 2030년 상용화 예정
미국	GE는 500 MW 수소 혼소터빈을 운영('21)하여 수소 100% 전환 예정('30)

[수소 발전 주요 키플레이어 현황]

구분	국가	업체명	기술개발 현황
고정형 연료전지	한국	두산퓨얼셀	▸ 인산형 연료전지(PAFC)타입의 NG/LPG Dual 시스템, 수소 사용 시스템을 개발 완료하여 상업 운전 중 ▸ 국내 제조공장(전북 익산)에서 연간 90 MW 생산 가능 ▸ 영국의 Ceres Power(스택 제공)와 제휴하여 발전용 및 선박용 SOFC 개발 중
		에스퓨얼셀	▸ 가정 건물용 연료전지 시장에 주력 ▸ NG, 수소용 다양한 모델 출시
	미국	Bloom Energy	▸ 전해질 지지체형 SOFC 개발 완료하여 상업 운전 중 ▸ 블룸SK퓨얼셀 JV 설립, 국내 제조공장 완공(경북 구미) ▸ 소형 SOFC 및 하이브리드 에너지 시스템 연구 개발 중 ▸ 삼성중공업과 선박용 SOFC 시스템 개발 계획 발표
		Fuelcell Energy	▸ MCFC 개발 완료하여 상업 운전 중이며 SOFC 개발 중 ▸ 바이오가스 연계 시스템, 수소 생산용 삼중열병합 발전 시스템 실증
	일본	MHPS	▸ 250 kW급 SOFC 마이크로 가스터빈 하이브리드 시스템 상용화
		Panasonic	▸ 스택 및 개질기 소형화, 경량화 및 연료 처리 장치의 제어 로직 개선을 통하여 종합 에너지 효율 97%(HHV)을 달성, 내구성 8만시간
	독일	Bosch	▸ 전략적 제휴를 통해 고정형 SOFC(Ceres Power), 모빌리티용 PEMFC(PowerCell) 개발 중 ▸ 2024년까지 연 200 MW의 SOFC 생산공장 준공 예정
	EU	Solid Power	▸ 2018년 이탈리아에 50 MW 규모 SOFC 생산 공장 건설 ▸ SOFC 셀, 스택, hot box 자체 개발·생산하여 1.5 kW 2세대 모델 'BlueGEN-15' 출시
가스터빈	한국	두산중공업	▸ NG 가스터빈기술을 기반으로 수소 혼소용 연료노즐 및 연소기 설계, 시험 기술, 연료다변화용(암모니아, 부생가스) 최적연소 오토튜닝 기술 및 핵심부품 국산화 기술 개발 중
		한화에어로스페이스	▸ 항공용 GT 사업경험을 바탕으로 수소전소 5~40 MW급 산업용 GT 사업화 추진
	미국	GE	▸ 2021년 상용운전을 목표로 485 MW LNG 복합화력을 100% 수소전소용으로 전환 중
	독일	Siemens	▸ 유럽 PtX HYFLEXPOWER 프로젝트에서 12 MW급 수소전소터빈 실증 추진

3. 핵심기술 구성 및 선정 배경

중분류	선정 배경	세부기술
수소 생산	• 모빌리티, 분산발전원 등 수소 활용 분야가 확대되고 있어 수소 수요는 점차 증가할 것으로 전망되므로 저가 수소를 대량으로 생산할 수 있는 기술 확보 필요 • 탄소중립을 위해선 그레이수소에서 그린수소로 패러다임이 전환되어야 하나, 그린수소의 높은 생산 가격이 보급에 한계 • 그린수소 공급체계가 확보되기 전까진 CCS와 연계한 탄소 원료 기반 블루수소로 국내 수소 수요 감당 • 탄소중립 달성 및 수소 활용 확대에 기여할 수 있는 그린수소 생산을 위해 저가·고효율 수전해 시스템 확보에 주력	① 블루수소 생산 ② 그린수소 생산
수소 저장·운송	• 해외 CO_2-free 수소 도입 시기에 맞춰 대량의 수소를 저장하고, 장거리 운송을 할 수 있는 안정적이고 경제적인 수소 공급망 구축이 선행되어야 함 • 수소는 단위 질량 당 에너지밀도가 가장 큰 물질이나 체적 에너지밀도가 매우 낮아 수소를 효율적으로 저장할 수 있는 기술이 필요 • 대량의 수소를 상압·상온 수준에서 암모니아, LOHC 등으로 저장할 수 있는 기술 뿐만 아니라 고효율 액화 수소 기술개발 필요 • 국내에서 생산되거나 해외에서 수입된 수소를 수요지에 직접·신속하게 공급하기 위해 수소 배관망 구축 요구 지속	① 물리적 수소 저장 ② 화학적 수소 저장 ③ 육상 수소 운송 ④ 해상 수소 운송
수소 발전	• 수소경제 활성화 로드맵, 수소 발전 의무화 제도(HPS)에 대응하고자 건물·가정 등에서 분산발전원으로 연료전지 활용·보급이 확대되고 있는 추세 • 상용화된 연료전지의 내구성 강화를 위한 차세대 기술개발과 친환경 재생에너지 연계가 가능한 고효율·저가 연료전지 기술 확보 필요 • 재생에너지 간헐성에 대응할 수 있고, 수백MW급 대용량 발전이 가능하며, 기존 가스터빈 발전 수준의 효율을 보이는 수소 및 암모니아 연료 기반 터빈 기술 확보 필요	① 고정형 연료전지 ② 가스터빈

4. 비전 및 목표

수소경제 구현을 위한 수소 전주기 기술 확보

수소 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기 ~'22	'23	'24	'25	중기 ~'26	~'28	~'30	장기 ~'50	목표
수소 생산	[그린수소 생산단가] 13,000원/kg	중형 개질시스템 개발			CCS 인계 개질 시스템 및 실증				상용화	· 수소 생산단가 ('30) 3,500원/kg ('40) 2,500원/kg
		수전해 시스템 개발						대형화 실증	상용화	
수소 저장·운송	[LOHC 수소 추출] 2 Nm³/h	액체수소/화학적(암모니아, LOHC 등) 수소 저장 기술 개발							상용화	· 수소 저장 및 추출 규모 ('28) 1,000 Nm³/h
	[수소 배관망] 200 km	육상 수소 운송 기술 개발						상용화		· 수소 운송 ('40) 장거리 배관망 구축 및 수송선 상용화
		해외 수소 저장 운송 기술 개발							상용화	
수소 발전	[발전단가] 250원/kWh	고정형 연료전지 소재 부품 개발				양산 및 사용화				· 수소 발전 단가 ('30) 141원/kWh ('40) 131원/kWh
	[가스터빈] 천연가스터빈 실증	연료전지 분산발전시스템 개발							실증	
		수소 및 암모니아 터빈 개발							상용화	

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기술개발

① **수소 저가·대량생산 기술**

② **장거리·대용량 수소 저장·운송 기술 개발**

③ **고효율·장수명 연료전지 발전시스템 개발**

- 출연연·대학을 중심으로 全주기 핵심 원천기술* 개발 후 상용화를 위한 기업지원 강화**, 수소기술 선도국과 협력체계 구축을 병행

* 수전해 시스템 대형화, 저가·고효율 수소 저장·추출 기술, 안정적 수소 운송 기술 등

** 국산기술 기반 시스템 조기 상용화를 위해 시스템 개발단계부터 기업 참여 확대

정책·제도

① **블루수소 생산 원료(천연가스, 가연성 폐자원 등) 확보 방안과 수전해 시스템의 그리드 안정화 역할 강화를 위한 제도 개선**

② **액화수소 관련 안전 규제 및 수소 저장·운송을 위한 검증 기반 마련**

- 저장·운송의 경우 대규모 인프라 구축이 수반되므로, 기술 실증 前 경제성·환경성 분석을 수행해 국내 환경에 적합한 저장·운송 방법을 선택

③ **제품 개발 및 상용화 과정에서의 과도한 규제 개선**

5. 중분류별 추진전략

1) 수소 생산

정의

- 물, 화석연료, 폐자원, 바이오매스 등의 원료로부터 열화학적, 전기분해 등의 방법으로 수소를 생산하는 기술

블루수소 생산

화석연료, 바이오매스 등으로부터 수소를 추출하는 설비와 이산화탄소 포집설비를 연계하여 수소를 생산하는 하이브리드 기술

그린수소 생산

탄소배출 없이 생산한 전기·열 등의 에너지로 물을 분해하여 수소를 생산하는 기술

기술개발 필요성

- 수소경제 활성화 로드맵에 따르면 향후 수소 수요의 급격한 증가가 예상되므로, 이에 대응하고자 저가·대량의 수소를 생산하기 위한 기술 확보가 필요

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
블루수소생산	추출수소 시스템 효율 82% (600 kg/day)	중형 개질 시스템 개발	CCS 연계 개질 시스템 및 실증		▪ ('30) 수소 생산단가 3,500원/kg ▪ ('30) 시스템 효율 80%(HHV) ▪ ('40) 수소 생산단가 2,500원/kg
그린수소생산	0.5 MW 시스템 효율 70%	10 MW급 수전해스택/시스템 개발 및 실증		대형화 및 상용화	▪ ('30) 시스템 효율 80%(HHV) ▪ ('40) 시스템 효율 90%(HHV)

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술

기술개발 추진방향

1 블루수소 생산

주요 이슈사항

- 단·중기적으로 수소의 저가 대량생산을 위해 천연가스 개질이 필요하며, 천연가스 개질 시 발생되는 이산화탄소를 포집하기 위해서는 CCS 기술의 연계가 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발	• 블루수소 생산 시스템 · 개질시스템 효율 및 내구성 향상 · 개질시스템 대용량화 · 수소정제 시스템 내구성 및 성능 향상 · 가연성 폐자원/바이오매스 가스화를 통한 수소 생산 시스템 개발 · 탄소포집 연계 기술 개발
목표달성 전략	• 산학연관과 연계하여 회수된 이산화탄소의 효율적인 처리 방안 확보 • 수소 생산기지 거점화 및 천연가스 인프라의 효율적 운영뿐만 아니라 생산된 수소를 효율적으로 유통할 수 있는 방안 마련이 필요 • 기존 도시가스사만 공급 가능했던 수소제조용 천연가스를 수소 제조시설에 직공급 시 예상되는 문제점 보완 및 도출 • 블루수소의 상용화/대량생산을 위한 실증 관련 인프라 구축 등 관련 기업지원 강화 • 블루수소 생산 원료인 천연가스, 가연성 폐자원, 바이오매스 등을 안정적으로 확보할 수 있는 방안 마련

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
블루수소 생산 시스템	· 소형 : 선진국 제품 대비 성능, 내구성 검증 필요 · 중대형 : 선진국 라이센스를 받아 구축 · 600 kg/일급 소형 개질기 시스템 기술 보유(에너지연, 원일TNI)	· 시스템 효율 78%, 수명 10년 이상(일본 Osaka Gas)	· ('30) 개질기 효율 80%, 내구성 20년

2 그린수소 생산

주요 이슈사항

- 대학·연구소 주도로 수전해 시스템의 핵심 소재(전극, 분리막, 분리판 등)의 국산 기술을 일부 확보하였으나 해외 의존도가 높음
- 수전해 설비의 경제성 및 효율 향상이 필요하며 소재, 스택 및 시스템 국산화 개발이 시급

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 그린수소 생산 시스템(알칼라인 수전해, PEM 수전해, AEM 수전해, SOEC 등)
  - · 수전해 스택 및 핵심 소재(촉매, 분리막, 분리판, 전해질 등)의 성능과 내구성 향상 및 양산 기술 개발
  - · 저가·고효율 수전해 시스템 기술 개발
  - · 수전해 시스템 대용량화 및 실증

목표달성전략

- 수전해 그린수소 가격 경쟁력 확보를 위한 양산 공정 구축
- 재생에너지 연계 수전해 시장 활성화를 위하여 재생에너지 제도 개선
- 그린수소의 경제성 확보를 위한 수전해 시스템의 그리드 안정화 역할 강화 및 제도 개선
- 수전해 수소생산 거점 확보 및 수전해 설비에 대용량 전력을 공급할 수 있는 인프라 구축
- 친환경 CO_2-free 수소 공급확대를 위한 그린수소 인증제도 도입
- 산학연관의 협력을 통해 무탄소 전력의 저가 공급방안에 관한 방안 도출

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
그린수소 생산 시스템	· 1 MW급 알칼라인/PEM 원천기술 및 스택 개발 중 · kW급 고온수전해 스택 개발 과제 진행 중 · 1 MW급 P2H 실증 진행 중	· (알칼라인) 300~485 Nm^3/h급, 시스템 효율 52 kWh/kg-H_2 (노르웨이 NEL) · (PEMEC) 600 Nm^3/h급, 시스템 효율 60 kWh/kg-H_2(캐나다 Hydrogenics) · (SOEC) 40 Nm^3/h급, 150 kW, 시스템 효율 82%(독일 Sunfire)	· ('30) 10 MW급 시스템, 효율 50 kWh/kg-H_2 · ('30) 100 kW급 양방향 고온수전해 시스템, 50 kg/day

2) 수소 저장·운송

정의

- 물리적·화학적 방법으로 수소를 높은 에너지밀도로 안전하게 저장하고 운송하는 기술

물리적 수소 저장
대량의 수소를 냉각하여 액체 상태로 저장

화학적 수소 저장
대량의 수소를 유기 및 무기 화합물에 화학적 결합을 통해 화합물 상태로 저장

육상 수소 운송
내륙 지역 간 차량 또는 배관망을 기반으로 운송

해상 수소 운송
대용량의 수소를 액화 및 액상 화합물 형태로 선적하여 장거리로 운송

기술개발 필요성

- 해외 CO_2-free 수소를 경제적이고 안정적으로 저장·운송하기 위한 방안으로 암모니아, LOHC 및 액화수소 기반 저장기술과 장거리 운송기술이 필요
  - 액화수소 저장·운송의 경우 제품화에 주력하고, 액상수소화물 분야는 저에너지·고효율 수소 저장·추출을 위한 신소재 개발 등과 같은 원천 및 응용기술 확보가 필요

    * 다만, 각 기술은 대규모 인프라 구축이 수반되므로 기술 실증 전 경제성·환경성 분석(2025년까지 프로그램 개발 예정) 등을 추진하고, 이를 기반으로 국가 수소공급 전략 수립 후 중점기술 재정비 필요

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
물리적 수소저장	11.4 kWh/kg	수소 액화플랜트 및 저장 기술 개발		실증 및 상용화	▪ 수소액화 에너지 효율 ('30) 10 kWh/kg ('40) 7 kWh/kg
화학적 수소저장	20 Nm^3/h (NH_3 수소추출)	암모니아 저장 및 추출 기술 개발	실증 및 상용화		▪ ('25) 1,000 Nm^3/h ▪ ('40) 추출 효율 〉85% 및 대용량 상용화
	2 Nm^3/h (LOHC 기반 연속 수소추출)	LOHC 저장 및 추출 기술 개발		실증 및 상용화	▪ ('28) 1,000 Nm^3/h ▪ ('40) 저장·추출 효율 〉75% 및 대용량 시스템 상용화
육상 수소 운송	200 bar (고압)	대용량 고압기체운송 기술 개발 및 실증(500 bar)	대용량 고압기체운송 기술 개발 및 실증(700 bar)	1 톤급 이상 운송시스템 상용화	▪ ('30) 1 톤급 이상 기체 수소 수송(700 bar) ▪ ('40) 트레일러 운송비 700원/kg·H_2
	탱크로리	액화수소 탱크로리 기술 개발, 터미널-탱크로리-충전소 간 로딩기술 개발		증발기체 회수 기술개발	▪ ('28) 3.5 톤급 액화수소 이송탱크로리 ▪ ('40) BOG 저감형 탱크로리
	국지적 수소배관망 (200 km)	단·중·장거리 수소 배관망 소재 및 구축기술 개발	중·장거리 배관망 구축 (700 km)	수소 배관망 네크워트 고도화(전국망 구축)	▪ ('30) 중거리 수소 배관망 구축 (50 bar 생산처-도심망연결; 700 km) ▪ ('40) 장거리 수소 배관망 구축 (100 bar, 도심간 연결)
해상 수소 운송	선박 설계	해외 생산 수소 운송을 위한 운송		고효율화/상용화	▪ ('30) 16만 m^3급 이상 수소운송선 개발 ▪ ('40) 수소공급량 120만 톤 이상 ▪ ('50) 대용량 시스템 상용화
	적하역 기술	적하역 기술 개발		고효율화/상용화	

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술

기술개발 추진방향

1 물리적 수소 저장

주요 이슈사항

- 기체수소는 고압(≥200 bar)으로 저장/운송하나, 액화수소는 저압(≤10 bar) 상태로 저장하므로 안전성이 우수해 도심지 활용에 적합

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 액화수소 생산·저장 기술
  - · 고효율 수소액화 플랜트 공정설계기술 개발, 플랜트 구축 및 실증, 수소액화 플랜트 극저온 핵심 기기 개발
  - · 대용량 액화수소 저장을 위한 액화수소 저장탱크 제작 기술, 극저온 압축수소 저장탱크 제작 기술

목표달성전략

- 액화수소 보급 시기에 맞춰 액화수소 생산시설 및 충전소 안전과 관련된 규제·제도 마련

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제		현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
액화수소 생산·저장 기술	수소액화 기술	· 0.5 TPD 액화플랜트 개발 중 (기계연) * 목표효율: 14.3 kWh/kg	· 액화효율: 10~15 kWh/kg (독일 Linde, 프랑스 Air Liquide)	· ('30) 10 kWh/kg · ('40) 7 kWh/kg
	액화수소 저장탱크 제작 기술	· 없음	· 3,800 m^3(미국 NASA) ·10,000 m^3 기본설계 완료(일본 Kawasaki)	· ('35) 80,000 m^3 · ('40) BOR 0.2%/day · ('50) zero BOG

2 화학적 수소 저장

주요 이슈사항

- 수소는 상온(25 °C 내외)에서 부피가 크기 때문에 운송비용 절감을 위해 대량으로 저장·운송할 수 있는 기술이 뒷받침되어야 하나, 수소기체를 압축하여 저장·운송하는 방식 외에는 개발 단계
- 국내·외 수소 공급망 체계의 확보를 위한 대용량 수소저장기술 확보 및 다각화 필요
- 해외 풍부한 재생에너지 혹은 미활용 에너지원을 이용하여 저가의 수소를 생산하고, 생산된 대량의 수소를 국내까지 장거리 운송하기 위한 기술 개발 필요
- 일본, 독일 등 선진국은 대용량 수소의 저장을 위한 기술 및 시장 선도를 위해 대규모 투자를 통하여 액상수소 저장 관련 핵심원천기술을 확보하고 대규모 실증 중
  - · 일본은 액상 및 암모니아의 저장 및 추출의 대규모 실증(~'25) 이후 국가의 전략적 인프라 투자 방향 결정 예정
  - · 우리나라는 2025년까지 수소 저장·운송 기술개발 현황/보급 실적/경제성·환경성 분석 이후 국가 수소공급 전략수립 및 수소공급 기술개발 재정비 예정(수소 기술개발 로드맵, '19.10)
- 국내·외에서 생산된 수소를 낮은 압력에서 안전하고 효율적으로 저장할 수 있는 기술 개발 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 그린암모니아 수소 저장·추출 시스템
  - · 그린수소의 경제적 저장을 위한 저압 암모니아 합성 촉매 및 시스템 개발
  - · 그린암모니아 수소 추출 시스템(고성능·고내구성 촉매, 고효율 수소추출용 정제 시스템 등) 개발
- LOHC 기반 연속 수소저장·추출 시스템
  - · LOHC 수소화 및 탈수소화를 위한 고효율, 고내구성 촉매 발굴 및 양산화 기술 확보
  - · 수소화/탈수소화 반응기 및 BOP 고효율화 기술

목표달성전략

- 해외 수소도입을 위한 대용량 수소 저장·운송과 국내 분배를 위한 육상 저장·운송 기술의 연계 개발 필요
- 해외 수소운송의 경우 전 세계적으로 확립된 제도와 인프라가 없어 국제적 협력 체계 마련 필요
- 암모니아, LOHC를 수소캐리어로 활용 및 상용화하기 위한 관련 법·규제 개선
- 해외 수입 수소의 국내 공급을 위한 경제적 수소공급망 구축 시나리오 발굴 및 이에 연계한 수소 저장·추출 기술 개발 추진

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
그린암모니아 수소 저장·추출 시스템	· 저압(50 bar) 암모니아 합성 촉매 개발 중(에너지연) · 20 Nm^3-H_2/h급 수소추출기 개발(CES)	· 20 kg/day 저압(50 bar) 암모니아 합성(일본 JGC Corp.) · 암모니아 분해 20 Nm^3-H_2/h급 고순도 수소정제시스템 개발(일본 다이요닛산)	· ('25) 1,000 Nm^3-H_2/h 저장/추출 시스템 · ('40) 상용화 추출 효율 〉85%
LOHC 기반 연속 수소저장· 추출 시스템	· 2.5 Nm^3-H_2/h급 연속 수소저장/추출 시스템 개발(KIST) · 100 Nm^3-H_2/h 급 수소저장/추출 시스템 개발 기획 중	· 300 Nm^3-H_2/h 급 수소저장/추출 시스템 개발 중 (일본 Chiyoda Corp.) · 5,000 Nm^3-H_2/h급 설계기술 보유(독일 Hydrogenious Technologies)	· ('28) 1,000 Nm^3-H_2/h 연속 저장/추출 시스템 · ('40) 상용화 저장/추출 효율 〉75%

3 육상 수소 운송

주요 이슈사항

- 수소전기차 및 연료전지발전 등 수소 수요 증가에 대응하기 위해 효율적이고 안정적인 국내 육상 운송 기술 개발 필요
- 기체 저장·운송 기술의 고도화를 통해 수소 운송비 절감이 시급
- 대규모 수소공급을 위한 핵심 인프라인 수소배관망은 미국, 유럽, 일본 등 선진국 중심으로 규모를 확대하고 있으며 관련 기술개발 추진 중
- 국내·외 수소 공급망 구축 시나리오 발굴 및 이의 연계를 통한 수소 운송 고효율화 필요
  - · 수소는 트럭, 철도, 파이프라인, 선박을 통해 운송 가능, 가장 적절한 수소 운송방법의 선택은 공급량, 운송거리, 저장 기술의 선택에 따라 결정

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 운송용 대용량 복합재 용기 및 대용량 튜브트레일러 개발
- 중·장거리 육상 수소 배송을 위한 중·장거리 수소 이송 배관망 구축
  - · 배관망 소재, 핵심 부품 및 운영 기술 개발
- 액화수소 육상 운송 기술
  - · 액화수소 이송용 탱크 및 탱크로리, 로딩 기술 등 액화수소 운송 핵심 기기 개발

목표달성

- 대용량 중·장거리 육상 수소 운송 기술 고도화를 위한 연구개발 지원
- 소재 · 부품, 장비 기술 적용 및 실증을 위한 테스트베드 인프라 구축·지원을 통한 기업지원 강화
- 육상 수소 운송 기술 상용화를 위한 관련 법·규제 개선
- 국내 환경을 고려한 대규모 수소 공급을 위한 경제적 수소 공급망 구축 시나리오 발굴
- 고압수소 사용의 안정성 향상 및 주민수용성 향상 지원
- 장거리 수소배관망 안전성 확보 및 실시간 모니터링을 위한 배관망 관리기술 필요
- 수소 튜브트레일러 안전성 강화를 위한 스키드의 진동 및 내구성 기술 개발 및 표준화

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
대용량 튜브트레일러 개발	· 200 bar, Type-1 튜브트레일러 · 기술수준 70% · 엔케이	· 사용압력 500 bar · 미국, Hexagon	· ('30) 내용적 1,500 L 이상, 사용압력 700 bar 이상 · ('40) 트레일러 운송비 700원/kg·H_2
수소 배관망을 이용한 수소 이송 기술	· 단거리 이송(20 bar) · 기술수준 60% · 덕양, SPG, SDG (산업단지 중심으로 200 km 구축)	· 장거리 이송망 구축 · 프랑스, Air Liquide	· ('25) 중거리 수소 배관망 구축 (50 bar 생산처-도심망 연결 : 시/도 단위)) · ('40) 장거리 수소 배관망 구축 (100 bar, 도심간 연결 : 전국단위)
액화수소 육상 운송 기술		· 액화수소 트레일러 (40,000 Nm^3) · ISO 탱크 3 톤(독일 Linde)	· ('28) 액화수소 이송 탱크로리 개발(3.5 톤)

4 해상 수소 운송

주요 이슈사항

- 해외 CO_2-free 수소의 국제적 수소 무역에서는 액체·액상 상태 수소를 장거리로 운송하는 방법이 가장 효율적
- 장거리 수소 운송 기술 후보군* 중 액화수소 운송을 위해서는 대용량 고효율 운송선이 필요하며, 현재 일본이 주도하여 개발 중

  * 액화수소, 액상유기수소운반체(LOHC), 암모니아(NH_3)
- 일본은 수소의 해상운송을 위한 기술 및 시장 선도를 위해 대규모 투자를 통해 이미 액화수소의 저장·운송 관련 핵심 원천기술을 확보하고 대규모 실증 중

  · 일본은 액화/액상/암모니아의 저장, 운송 및 추출의 대규모 실증(~'25) 이후 국가의 전략적 인프라 투자 방향 결정 예정

  · 우리나라도 2025년까지 수소 저장·운송 기술개발 현황/보급 실적/경제성·환경성 분석 이후 국가 수소공급 전략수립 및 수소공급 기술개발 재정비 예정(수소 기술개발 로드맵, '19.10)

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 액화수소 해상 운송 기술
  - · 액화수소운송선 화물창 설계 및 제작 기술 개발
  - · 액화수소 화물(창) 관리 기술

목표달성전략

- CO_2-free 수소 생산이 가능한 해외와 협력할 수 있는 체계 필요
- 대용량 장거리 해상 수소 운송 기술 고도화를 위한 연구개발 지원
- 소재 · 부품, 장비 기술 적용 및 실증을 위한 테스트베드 인프라 구축·지원을 통한 기업지원 강화
- 해상 수소 운송 기술 상용화를 위한 관련 표준, 법·규제 검토

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
액화수소운송선 화물창 기술	· 액화수소운송선 화물창 모델의 경우 일부 기본설계 수행 중 · 선박용 화물창 핵심기술(단열·강도 동시충족) 미확보	· 규모 1,250 m^3 액화수소운송선 건조완료(일본 가와사키중공업) · 선박용 화물창 단열기술 확보 후 화물창 제작, 선박 탑재 완료(일본 가와사키중공업)	· ('30) 운송선 척 당 10,000 톤(160,000 m^3 규모) 적재 · ('30) BOR 0.15%/day, Holding time :15days
액화수소 화물(창) 관리 기술	· 기자재(펌프, 배관, 밸브 등)는 원천기술 확보단계 · 액화용량 300 Nm^3/hr(육상)	· 규모 40,000 m^3 화물창 기술개발 단계(BOR 목표 0.2%/day)(일본 가와사키중공업)	· ('40) 수소공급량 120만 톤 이상

※ 액상수소의 해상 운송은 기존 액상 화합물 운반선을 그대로 사용할 수 있음

3) 수소 발전

정의

- 수소를 활용하여 전기와 열을 생산하는 친환경·고효율 에너지 전환 기술

고정형 연료전지

수소와 산소의 전기화학반응에 의해 전기와 열을 생산하는 기술

가스터빈

수소, 암모니아 등을 사용하여 기존 가스터빈 수준의 열효율과 배출 특성을 내는 가스터빈 개발 및 시스템 최적화 기술

기술개발 필요성

- HPS 제도 시행('22)으로 분산발전 및 친환경 재생에너지 연계가 가능한 고효율·저가 연료전지와 CO_2 배출 저감이 가능하고 급속한 부하변동 대응에 용이한 가스터빈 발전기술 확보 필요

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
고정형 연료전지	스택 수명 (10년 이하)	연료전지 스택 고내구/고출력화, 핵심소재(분리판, 촉매, 전해질 등) 개발		양산화	▪ ('30) 스택 수명 13년 이상
	CHP 효율 80%	다기능 연료전지 복합 발전 기술		대용량화, 실증	▪ ('30) CHP 효율 90% 이상
	발전단가 (250원/kWh)	고효율 시스템 개발		실증	▪ ('40) 131원/kWh
가스터빈	천연가스용 270 MW급 가스터빈 개발	수소 혼소 및 전소용 터빈 개발		중대형 실증 및 상용화	▪ ('40) 100% 수소/암모니아 전소 저 NO_x 가스터빈 기술개발
		암모니아 혼소 및 전소용 터빈 개발		중대형 실증 및 상용화	

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술

기술개발 추진방향

1 고정형 연료전지

주요 이슈사항

- 국산 제품의 경쟁력 제고를 위해 초고효율 시스템 분야의 선제적 기술개발 및 대용량 스케일업 기술의 추격 전략 마련 필요
- 마을·농촌·도시·산단·데이터센터 등 고정형 연료전지 시장별 특화된 제품 다변화 필요
- 셀·스택의 장수명화를 통한 내구성 강화 및 제조 단가 및 발전 단가 저감 기술로 경제성 확보 필요
- 핵심 부품 및 촉매는 대부분 수입에 의존하는 상황이며 국산화를 통해 국내 Supply Chain 강화 필요
- 연료 다변화에 대응할 수 있는 스택 부품 개발 및 스택 디자인 최적화 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 연료전지 분산발전 시스템
  - · 전기효율 극대화가 가능한 SOFC 개발을 통해 연료전지 경제성 확보
- 연료전지 소재 부품 기술 개발
  - · 고내식성 금속 재료 및 코팅 기술 개발로 셀·스택 금속 분리판의 장기 내구성 확보
  - · 귀금속 촉매 사용량 저감 혹은 대체할 수 있는 고내구성 차세대 전극 촉매 개발
  - · 저가 고성능 신개념 전해질 합성 및 양산 기술 개발
  - · 양산형 고효율 저가 스택 구조 설계 및 조립 자동화 기술 개발
- 다기능 연료전지 복합 발전 기술
  - · 열이용 극대화를 위한 전기/냉방/난방 가능 다중 열병합 시스템 개발
  - · 전기/열/수소 생산 가능한 다목적 삼중열병합 시스템 개발

목표달성전략

- 기술개발 촉진을 위해 테스트베드 부지 확보 등 기업들의 실증 지원
- 고정형 연료전지의 다양한 고부가가치 제품 개발과 연료전지 안전성에 대한 대국민 인식 제고
- 제품 개발 및 상용화 과정에서 장애요인으로 작용하는 과도한 규제 발굴 및 극복 방안 제시

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
연료전지 분산발전 시스템	· 발전단가 250원/kWh (두산퓨얼셀) · 발전효율 42-47% (두산퓨얼셀, 한국퓨얼셀)	· 발전 효율 60% MCFC 개발(미국 FuelCell Energy) · 발전 효율 53% SOFC 판매 중(미국 Bloom Energy)	· ('40) 발전단가 131원/kWh (LNG 화력 발전 동등수준)
연료전지 소재 부품 장비 기술 개발	· 저가 분리판,소재 및 양산 기술 개발(포스코, 현대제철) · 고가의 귀금속 계열 전극 촉매 사용(비나텍, 오덱) · 기체확산층, 매트릭스에 적합한 다공성 지지체 국산화(JNTG)	· 탄소 복합체 분리판, 금속 분리판 상용화 완료(일본 쓰미토모, 독일 SGL) · 탄소 기반 다공성 소재 부품 양산(일본 토레이, 독일 SGL)	· ('40) 발전용 연료전지 시스템 157만 원/kW
다기능 연료전지 복합 발전 기술	· 전기/냉열/온열 시스템 설계 (에너지연) · 전기/열/수소 삼중 열병합 시스템 개발 중(두산퓨얼셀)	· 전기/열/수소 삼중 열병합 시스템 실증(미국 FuelCell Energy)	· ('30) 시스템 실용화, 종합 효율 85%

2 가스터빈

주요 이슈사항

- 미국, 독일, 일본의 가스터빈 제조사들은 수소 혼소가 가능한 가스터빈을 개발하였으며 수소 전소 가스터빈 실증 프로젝트를 진행 중
- 국내 에너지전환정책으로 가스터빈 복합발전이 확대되고 있는 추세이나 외국 제품 기술 의존도가 매우 높으며, 2020년 한국형 가스터빈 국산화에 성공하였으나 상용화를 위해서는 트랙레코드 확보를 위한 시간이 필요
- 발전용 가스터빈 연료다변화 기술 개발을 통하여 수소 혼소 및 수소 전소 연소기를 개발하고 있으나 이에 적합한 가스터빈 국산화가 시급
- 현재 추진 중인 석탄발전 대체사업이 가스복합발전 건설프로젝트에 참여하지 못할 경우 한국형 가스터빈은 시장에서 도태될 수 있으며 이는 가스터빈 개발이 어려울 수 있는 상황

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 수소터빈 기술 개발
  - · 수소 혼소 및 전소용 저 NO_x 발생 연소기 개발
  - · 고효율 수소 터빈 설계 및 시스템 최적화
- 암모니아 터빈 기술 개발
  - · 암모니아 혼소 및 전소용 저 NO_x 발생 연소기 개발
  - · 고효율 암모니아 터빈 설계 및 시스템 최적화

목표달성전략

- 대용량 수소 수입에 필요한 하역설비 구축 전략 필요
  ※ LNG 저장기지 연계 액화수소 제조 플랜트, 수소 선박 벙커링 연계, 수소 배관망 연결 등 대규모 예산이 투입되는 사업으로 국가 차원의 전략 수립 필요
- 대용량 수소 국내 공급을 위하여 배관망 소재부터 국내 설비까지 안전과 경제성을 고려한 기술 확보 필요
  ※ 금속소재의 수소취성을 대비하고 설치 비용을 줄이기 위한 FRP 기반의 배관망 신소재 개발 필요
- 부생수소, 블루수소, 그린수소의 LCA 분석을 통하여 최적의 수소 가격 도출 방안 마련
- 대용량 수소 공급이 가능한 수소저장기지 및 수소 배관망 구축 필요

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
수소터빈 기술 개발	· 천연가스용 270 MW급 가스터빈 개발 (두산중공업)	· (혼소) 상용화 90% 수준의 기술 확보(독일 Siemens) · (전소) 상용화 50% 수준의 기술 확보(미국 GE)	· ('40) 저 NO_x 가스터빈 상용화
암모니아 터빈 기술 개발		· (혼소) 2 MW 암모니아 혼소 터빈 실증(일본 IHI) · (전소) 42 kW 암모니아 전소 터빈 실증(일본 AIST)	

Carbon Neutral Technology
Innovation Strategy

BIO

바이오에너지

Ⅳ. 바이오에너지 기술개발 전략

1. 개요 89
2. 국내·외 현황 90
3. 핵심기술 구성 및 선정 배경 99
4. 비전 및 목표 100
5. 중분류별 추진전략 101

1. '바이오에너지' 개요

바이오매스(Biomass, 유기성 생물체를 총칭)를 직접 또는 생·화학적, 물리적 변환과정을 통해 액체, 가스, 고체연료를 생산하여 열·발전 또는 수송용 연료로 활용하는 기술

	전력·열 생산기술	수송용 연료 생산 기술
정의	바이오매스 자체를 직접 연료로 사용하는 고형연료와 생물/열화학적 전환반응을 통해 얻어진 액상(바이오중유) 또는 기상(바이오가스) 연료를 사용하여 열(난방)이나 전력을 생산하는 기술	화석연료가 사용되는 기존 내연기관을 추가적인 엔진 수리나 교체 없이 바로 사용이 가능한 다양한 바이오연료를 바이오매스로부터 생산하는 기술
필요성	간헐성 및 변동성이 큰 재생에너지 발전에 대해 기저부하 역할이 가능하고, 중소형(5~20 MW) 열병합 분산 발전과 연계하여 지역에너지 자립화에 기여 가능한 바이오연료의 상용화 기술 개발 및 인프라 구축 필요 ※ 바이오에너지는 다른 신재생에너지원 대비 발전설비 가동률(60~65%)과 피크기여도가 높은 에너지원으로, 현재 태양광에 이어 국가의 주요 신재생에너지 발전원으로 활용 · 2019년 기준 신재생에너지 발전 기여도: 31.5%, (태양광: 39.3%, 2020 신·재생에너지백서)	2050년 수송부문 탄소중립을 위해서는 모빌리티의 전기화 뿐만 아니라 기존의 내연기관차와 전기화가 어려운 수송수단(선박, 항공 등)에서 탄소 배출을 적기에 감축하기 위한 대안도 함께 마련할 필요 이에 석유계 연료와 특성이 유사하여 교환(Drop-in) 또는 혼합(Blending) 사용이 가능한 바이오연료를 보급 확대하기 위해 제도를 개선하고, 더불어 바이오연료 가격경쟁력 확보 기술을 개발할 필요

2. 국내·외 현황

1) 정책 및 제도 동향

세계

- 유럽, 미국, 브라질 등 바이오매스가 풍부한 주요국은 재생연료 의무혼합제도 등 바이오연료 산업 활성화 정책을 운영 중이며, 선박 및 항공 부문에서도 온실가스 감축규제가 강화됨에 따라 친환경 바이오연료 수요 증가 전망

EU

재생에너지지침 개정(EU-RED II, '18)을 통해 수송부문의 탈탄소화 및 지속가능한 바이오연료를 활용한 전력 및 열 보급 기반 구축[7)]

※ (RED II) 2030년까지 EU 최종에너지 소비 중 재생에너지 비중을 최소 32% 이상으로 확대하고, 수송부문 중 재생에너지 비중 14% 달성 목표

· 연료공급자의 재생연료 공급의무를 2021년 1.5%(에너지단위 기준)에서 2030년 6.8%(차세대 바이오연료 최소 3.6% 포함)로 점진적 확대 추진

· 또한 'EU-RED II'를 통해 신재생에너지 소비량 산정 시 바이오항공유 에너지함량에 1.2의 가중치 부여

· 서식지나 생물다양성을 훼손하지 않으면서 화석연료 대비 온실가스 배출이 적도록 바이오매스의 EU 지속가능성 기준을 강화하고, 전력 및 열 분야에 활용되는 바이오매스 및 바이오가스에도 적용되도록 대상 확대

미 국

수송 바이오연료(바이오경유 포함) 의무 사용 정책(RFS2)에서 차세대·목질계 바이오 연료 등(50~60% GHG 감축)에 대해 별도 의무혼합비율을 부과하여 바이오알코올 활용 촉진 추진

· 미국은 RFS2 제도를 통해 바이오항공유 공급자(수입자)에게 미국 RFS에서 사용가능한 증서 발행

· 바이오연료 보급 확대를 위해 바이오연료 인센티브 거래제(RIN) 시행

· 바이오연료 산업 부흥을 지원하기 위해 2020년부터 150억 갤런 이상 규모의 바이오에탄올이 연료혼합에 활용될 수 있는 지원책 마련[8)]

· 농업법 2018에 근거하여 바이오가스 연구 및 투자 촉진 프로그램 운영 중

7) 한국에너지기술연구원, 화이트바이오 국내·외 현황 및 이슈 분석, 2020.6

8) 한국에너지기술연구원, 화이트바이오 국내·외 현황 및 이슈 분석, 2020.6

브라질

풍부한 사탕수수 자원을 바탕으로 바이오에탄올 산업 육성 등 에너지믹스 내 바이오연료의 점유율 확대 추진

· 바이오에탄올 생산량 확대를 위해 바이오에탄올 산업 육성책(ProAlcool) 운영

· 바이오에탄올, 바이오가스, 바이오디젤 등 지속가능한 바이오연료의 에너지믹스 점유율을 2030년 18%까지 확대 목표(RenovaBio, '17)

ICAO*

국제 항공유 수요 내 지속 가능한 항공유(바이오항공유 등) 사용량을 2050년까지 50%로 단계적 확대하여, 33%의 CO_2를 감축하는 것을 목표로 한 2050 ICAO 비전 채택('18)

* ICAO(International Civil Aviation Organization) : 국제민간항공기구

IATA*

2020년부터 탄소중립 성장을 천명, 바이오항공유 등의 신기술을 통해 2050년까지 이산화탄소 배출량 50% 감축('05년 대비) 추진

* IATA(International Air Transport Association) : 국제항공운송협회

IMO*

선박 부문의 온실가스 배출량을 2050년까지 50% 감축('08년 대비)하는 것을 목표로 'Initial IMO Strategy'을 채택('18)하였으며, 2020년부터 전 세계 모든 선박의 연료유 내 황 함유량을 0.5% 미만으로 제한하는 IMO 규제** 시행

* IMO(International Maritime Organization) : 국제해사기구

** 선박용 연료의 황산화물(SO_x) 오염배출기준 대폭 강화(황 함유량 (~'19) 3.5%→ ('20) 0.5%)

국내

- 온실가스 감축 및 재생에너지 보급 확대를 위해 바이오연료 보급 확대 제도(RPS, RFS)를 시행 중이며, 미활용/폐자원 바이오매스 에너지화, 바이오연료 적용처 확대 등을 위한 기술개발 지원 계획 수립

정책	바이오에너지를 온실가스 감축수단으로 지속 활용하고(제3차 에너지기본계획, '19), 지속가능한 바이오연료 등 잠재성·성장성을 갖춘 바이오에너지원 추가 발굴을 위한 기술개발* 지원 추진(제5차 신재생에너지 기술개발 이용·보급 기본계획, '20) * ① 비식용원료 기반 바이오연료 생산기술 국산화, ② 물성 개선(Drop-in) 바이오연료 핵심기술 확보, ③ 항공, 선박용 바이오연료 양산기술 개발 및 실증 ④ 非바이오매스 기반 바이오연료 생산 원천기술 확보[9]
제도	발전부문 신재생에너지 공급의무화제도(RPS*)를 통해 발전용 바이오중유와 바이오가스가 전력 생산을 위해 보급되고 있으며, 신재생 연료혼합 의무화제도(RFS) 운영, 신재생에너지 열 공급 의무화제도 도입 검토 등 非전력 신재생에너지원 확산기반 마련 추진 * 일정규모(500 MW)이상의 발전설비(신·재생에너지 설비 제외)를 보유한 발전사업자(공급의무자)에게 총 발전량의 일정비율 이상을 신·재생에너지를 이용하여 공급토록 의무화한 제도[10] · 국내 RPS 제도에 의해 한국수력원자력, 한국남동발전 등 공급의무자('19년 기준 22개사)의 신재생에너지 공급 의무량은 2020년 7%에서 2021년 9%, 2022년 이후 10%로 확대 · 신축 건물에 일정비율 이상의 신재생에너지 열 공급 제도 도입검토 · 바이오디젤 혼합비율을 단계적으로 상향 조정*하는 것을 골자로 한 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령」개정 법률안 국무회의 통과[11] * 바이오디젤 의무 혼합비율: ('20) 3% → ('21.7) 3.5% → ('30) 5% · 바이오에탄올 시범사업 추진 검토, 재생에너지 연료 지속가능성 지침 도입 등 신재생 연료혼합 의무화제도(RFS) 단계적 확대 추진(제5차 신재생에너지 기술개발 이용·보급 기본계획, '20)

9) 산업부, 제5차 신재생에너지 기술개발 이용·보급 기본계획, 2020.12
10) 한국바이오연료포럼, http://k-biofuels.or.kr/front/kor/bio/biofuel
11) 산업부 보도자료, 신재생에너지연료 혼합 의무비율 상향(3.0 → 3.5%), 2021.06.22

2) 시장동향

세계

- 세계 바이오연료 시장은 수송용 중심으로 전 세계 에너지소비량의 12.4%를 차지하고, 약 1,756억 달러 규모로 매년 3% 이상의 성장률로 성장하는 추세(IRENA, '20)

바이오 고형연료	연평균 약 13%로 성장 중이며 전력발전 및 열병합발전의 연료로 활용하려는 시도가 증가하는 추세
발전용 바이오중유	유럽 중심으로 폐유지를 원료로 하여 생산된 바이오중유의 사용이 증가하고 있는 추세
바이오가스	독일을 중심으로 시장이 발달하였으며, 독일은 2017년 재생에너지법(EEG) 개정 등 다양한 장려정책을 통해 급속한 바이오가스 시설의 확대(10,971개소, 발전용량 8.3 GW)를 유도하고, 바이오가스 산업 활성화 촉진
수송용 바이오연료	바이오경유의 세계 시장규모는 2019년 340억 달러에서 2025년 480억 달러로 성장할 것으로 예상되며, 전 세계 시장의 39%를 차지하는 유럽을 중심으로 아-태 지역에서도 지속적으로 증가할 전망(IEA, '20)[12]
바이오항공유	항공사, 엔진제작사, 공항공사 및 연료제조사와의 협력을 통해 미국, 스웨덴, 네덜란드, 싱가포르 등이 이미 바이오항공유 생산 및 공급시설을 가동 중 ※ 시장 규모(ICAO 비전 적용 : ~50% 혼합) : ('20) 0.5억 배럴 → ('35) 6.3억 배럴

12) IEA 홈페이지(https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-biofuel-production-in-2019-and-forecast-to-2025)

국내

- 국내 바이오에너지 시장은 전체 신·재생에너지 시장(4.63조 원, '18)의 약 30%(1.38조 원)를 차지(IEA, '20)

바이오중유	발전용으로 한정하여 사용 중인 바이오중유 시장은 3,400억 원('18) 수준 · 세계 최초 발전분야에 상용적으로 사용하고 있는 기력 중유발전기는 총 17기이나, 산업분야로 시장 확대가 예상됨
바이오 고형연료	RPS제도('12~)의 영향으로 발전소 중심의 수요 증가 · 현재 발전소 이외 열 수요업체(지역난방, 제지, 시멘트)를 중심으로 바이오 고형연료의 수요는 지속적으로 증가 중
바이오가스	2019년 기준, 101개의 바이오가스 생산 시설이 운영되어 시설의 자체 에너지소비와 일부 전력생산으로 활용되고 있으나, 소화효율 저하, 발생열의 미활용으로 산업경쟁력이 약화되고 있는 추세 · 2세대 바이오매스를 이용한 전력 및 열 생산은 현재 탄소중립에 효과적으로 가장 널리 적용될 수 있는 기술로써 임산 및 농산 바이오매스 등 국내 미활용 바이오매스의 활용을 위한 다양한 투자가 진행 중
바이오경유	국내 바이오경유 시장규모는 7천억 원(60만 kL)이며 2030년 1조 2천억 원(100만 kL)으로 증가할 것으로 예상
바이오에탄올	생산설비 구축* 및 휘발유와 혼합하여 사용하는 기술에 대한 국내 실증연구가 완료되었으나, 국내 관련 규제로 인해 수송용 바이오알코올 시장은 형성되고 있지 못함 * 국내 10여개의 주정 업체의 에탄올 총 생산량은 150만 kL로 RFS 3% 시행 시, 바이오알코올 30만 kL, 3,600억 원 시장 형성이 예상되며 연간 50만 톤/년의 비식용 발효당 필요 · 항공유 수요전망과 바이오항공유 혼합비율(3~50%)에 따라 급격한 시장 규모 확대가 예상('35년 기준 약 2.4조 원)[13] ※ 시장 규모(RFS 적용 : ~3% 혼합) : ('20) 0천 배럴 → ('35) 1,520천 배럴 ※ 시장 규모(ICAO 비전 적용 : ~50% 혼합) : ('20) 0천 배럴 → ('35) 11,165천 배럴

13) 국토교통과학기술진흥원, 바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구, 2019

3) 기술동향

바이오 고형연료	해외에서는 저급 바이오매스의 고급 연료화 기술이 개발되고 있으며, 국내에서는 미활용 바이오매스의 확보 및 청정 연료화 기술에 대한 관심이 증가하는 추세 · 바이오 고형연료를 이용하는 지역 분산형 발전시설에 대한 지역 주민 수용성 제고를 위해 직접연소에 의한 에너지 생산기술의 고도화와 간접 연소에 의한 청정 에너지화를 위한 기술 개발 기획 중
바이오중유	석유제품(C중유) 생산과정인 고도의 정제·증류과정 없이 전처리공정→처리공정→혼합공정 기술을 통해 생산되는 연료[14)] · 국내 바이오중유 연료 생산기술은 최고 수준으로 평가되나 발전기, 선박용 엔진 및 산업용 보일러 등의 적용기술은 아직 미흡한 수준
바이오가스	고질화 기술은 흡수법, 흡착법, 막분리법 등이 있으며, 일부 도시가스 배관에 유입되어 공급되고 있으나, 고질화 효율의 저하 및 비용 증가로 인해 관련 산업의 활성화가 지연되고 있는 현황 · 해수부의 "해양 고세균이용 바이오수소 생산기술개발"을 통해 수소생산 200 kg/day급 데모플랜트가 건설되었으며, 산업부 R&D로 바이오가스 고질화 과정에서 발생되는 이산화탄소를 바이오수소와 결합, 저비용 고효율의 바이오메탄 생산을 위한 1 MW급 공정 건설 중
바이오경유	저급 폐유지 원료 활용 바이오경유(FAME) 생산 공정은 상용화 수준에 가까우며, Drop-in 바이오경유* 생산 기술은 추가 연구 필요 * 유지계 원료의 수소화 전환반응, 목질계 원료 열분해 바이오오일의 수소화 개질
바이오휘발유	국내 비식용 바이오알코올 기술수준('13)은 세계최고 기술 보유국(미국) 대비 76.8% 수준이며, 요소기술 중 바이오매스 생산 확보(65.8%) 및 바이오매스 전처리 및 당화기술(67%)이 가장 저조한 상태(GTC, '14)[15)]
바이오항공유	유지를 활용한 OTJ(Oil-to-Jet)의 수소처리 에테르화 지방산(HEFA) 공정은 기술이 거의 완성되어 UOP, AltAir, Neste Oil사 등에서 상용화 추진 중 · 바이오 합성가스를 활용한 GTJ(Gas-to-Jet)의 FT공정, 당질계 발효 및 촉매전환으로 구성된 STJ(Sugar-to-Jet) 공정, 알코올 전환공정의 ATJ(Alcohol-to-Jet) 및 목질계 열분해/수열액화(HTL) 관련된 바이오항공유 기술 개발 중

14) 산업부 보도자료, 발전용 바이오중유, 석유대체연료로 전면 보급
15) 녹색기술센터, 바이오에너지 이슈분석 및 정책제언, 2014

4) 산업현황

바이오 고형연료	유럽의 경우 바이오 고형연료의 열병합발전을 통하여 천연가스 시설보다 저렴하게 에너지를 공급 중에 있음 · 국내 바이오 고형연료 관련 산업의 경우 발전회사 뿐만이 아닌 지역난방, 시멘트제조사, 제지사 등의 열수요 산업으로 계속 확대 중
바이오중유	세계 바이오중유 산업은 동·식물성 유지 등을 원료로 한 바이오디젤 산업이 발전한 유럽을 중심으로 성장하는 추세 · 소규모 발전용·산업용에서 선박용으로 확대하는 추세 · 국내 바이오중유 생산사(9개)의 연간 생산능력은 약 214만 kL 수준이지만 2019년에는 55만 kL을 생산하여 발전사에 공급 · 국내 바이오중유는 바이오디젤 생산 시 부산물과 미활용 폐유지와 팜부산물 등을 활용하여 제조 중이며, 발전용에서 산업용 등으로 확대 추진 노력 중
바이오경유	수송용 바이오경유(FAME)는 현재 전 세계 바이오경유 시장의 95%를 점유 중이며, 유지계 Drop-in 바이오경유(HVO)는 상용화 시장 점유율 5%를 달성하고 있고 목질계 및 F-T 바이오경유는 아직 상용화되고 있지 못함
바이오에탄올	수송용 연료로의 바이오에탄올은 2014년 기준 전 세계적으로 약 1,000억 리터(약 500만 TOE) 생산 및 공급되고 있으며 2050년까지 비식용 바이오연료가 수송 연료 소비량의 27%를 대체할 것으로 예측(IRENA, '19)
바이오알코올	2030년 바이오알코올의 세계 및 국내 시장규모는 각각 2,505천억 원, 1천억 원에 이를 것으로 예상
바이오항공유	유럽에서 바이오항공유는 Alfa-Bird* 프로젝트를 통해 기술성, 경제성, 전주기 환경성 평가를 통한 적합 원료 및 기술 선정, 선정된 연료에 대한 시험 진행 중 * Alternative Fuels and Biofuels in Aviation · 미국은 Northwest Advanced Renewables Alliance를 통해 산림부산물 활용 바이오항공유 생산, 지역 공급망 구축 진행 · 독일은 BurnFAIR Project를 통해 지속적 바이오항공유 활용에 관한 신뢰성 평가 및 활용 단계 이슈 점검, Lufthansa의 Hamburg-Frankfurt 노선은 6개월 동안 하루 4회 바이오항공유를 이용하여 비행

[바이오에너지 주요 키플레이어 현황]

국가	업체명	기술개발 현황
한국	한국동서발전	▸ 2019년 바이오 고형연료 전용 유동층 연소보일러 연소장애 극복기술 개발을 통하여 장기간 연속운전을 위한 최적화 기술 확보
	한국에너지기술연구원	▸ 바이오 고형연료 유동층 연소보일러 및 발전시설 국산화 기술 개발 성공 후 동남아시아 시장 진출 계획
	고등기술연구원	▸ 8 톤/일급 연료전환을 위한 가스화 청정연료기술 개발 완료
	한국석유관리원	▸ 발전5사(중부, 남부, 동서, 서부 및 지역난방공사)와 전력연구원 등과 함께 실증연구 및 시범보급 사업을 통해 세계 최초로 바이오중유 상업화 성공 ▸ 국내 최초 바이오중유를 선박용 엔진에 이용하는 타당성 연구를 통해 바이오선박유 개발 기반 마련
	단석산업(주)	▸ 바이오디젤 공정 부산물을 활용한 바이오중유 생산기술을 위해 한국석유관리원, 세종대 등과 원천기술 확보하여 폐글리세린 활용 바이오중유 생산 중
	JC케미칼(주)	▸ 폐유 기반 전처리 기술을 자체 개발 및 상용공정을 활용하여 바이오중유 생산 중
	에코솔루션	▸ 에너지연, 성균관대 등과 컨소시움 구성하여 국내 미활용 폐유지의 바이오디젤(FAME)로 전환하는 핵심기술 개발 및 상용화 실증 연구 추진 중
	SK 이노베이션	▸ 유지계 원료의 수소화 개질에 의한 Drop-in 바이오경유(HVO) 생산 촉매 개발 및 파일롯 실증 완료(0.2 톤/일)
	대경에스코	▸ 목질계 바이오오일 파일롯 실증 연구 추진 중
	CJ제일제당	▸ 1 톤/일 발효당 생산 실증화 공장 해외건설
	GS칼텍스	▸ 10 톤/일 규모의 바이오매스 전환 실증화 공장 건설
유럽	Avedore (덴마크)	▸ 연간 30만 톤의 바이오 고형연료 이용 열병합발전시설 가동 및 에너지 공급기술 확보
	Koege Biopllefabrick (덴마크)	▸ 가구 제조 시 폐기되는 바이오매스를 이용하여 시간 당 30 톤의 바이오 고형연료를 생산하는 기술 확보
	Lurgi (독일)	▸ 330 톤/일급 가스화 청정연료 플랜트 상용화
	WGT (영국)	▸ 연료전환을 통하여 55 kW의 청정 가스엔진 발전기술 개발

	Wärtsilä (핀란드)	▸ 바이오중유를 선박용과 분산용 발전기에 적용하는 원천기술 확립하여 실증 발전 후 판매 중 ▸ 유럽 최초로 바이오중유를 발전용과 열원용으로 이용하는 실증 운전 성공하여 원천기술을 보유 중
	BDI (오스트리아)	▸ 고산가 폐유지의 바이오디젤 전환 고체촉매 개발 및 파일롯 실증 (용량: 5천 톤/년)
	Neste Oil (핀란드)	▸ 세계 최초 Drop-in 바이오경유(HVO) 생산 기술 상용화 (생산 용량: 90만 톤/년)
	Swedish Biofuels (스웨덴)	▸ 전분 및 당분 생산용 바이오매스, 알코올 생산용 셀룰로오스 바이오매스를 활용하여 여타 바이오항공유 대비 보다 높은 혼합비율이 가능한 바이오-방향족으로 생산된 연료 개발
미국	LanzaTech	▸ 전분 및 당분 생산용 바이오매스, 알코올 생산용 셀룰로오스 바이오매스를 활용하여 부탄올과 에탄올로부터 바이오항공유 생산
	HECO	▸ 하와이 전역에 바이오중유로 전력을 공급하는 원천기술 확보 및 실증연구 완료
	Envergent	▸ 목질계 열분해 오일 생산 공정 파일롯 실증 및 상용화 추진 (생산 용량: 40,000 톤/년)
	Velocys	▸ F-T 경유 파일롯 실증 및 상용화 추진(생산 용량: 10만 톤/년)
	BetaRenewables	▸ 바이오매스 20만 톤/년 처리규모의 상업화 시설 구축
	EERE (USDOE)	▸ 21개 기관(기업, 대학 연구소)의 비식용 발효성 당 및 바이오매스 리그닌 생산 기술 관리
	Boeing	▸ Green Diesel 공정을 통해 식물성오일, 동물성지방, 폐기름을 이용하여 HEFA 디젤(그린디젤) 15%를 혼합한 항공유로 시험 비행 완료
	Chevron	▸ 기존의 정유공장에서 얻은 중간증류액을 사용한 식물성 오일 처리를 기반으로 한 Co-processing 공정 개발
일본	JFE	▸ 연료전환을 통하여 330 kW의 청정 연료전지 발전 실증플랜트 가동
	EBARA, UEDE	▸ 200 톤/일급 청정 연료회수 플랜트 상업운전

3. 핵심기술 구성 및 선정 배경

중분류	선정 배경	세부기술
전력/열 생산기술	• 국내 신재생발전량 기준으로 바이오에너지는 발전기여도와 누적 설비용량에서 태양광에 이어 2위인 발전연료로 사용되고 있으며, 타 신재생발전설비의 가동율에 비해 약 3배 높은 가동율을 보이고 있어 간헐성 및 변동성이 큰 재생발전에 대한 기저부하 역할 필요성 증대 ※ 바이오에너지 발전기여도('19년 기준): 31.5% (태양광 39.3%) ※ 바이오에너지 발전설비 가동율: 60~65% (타 신재생발전 15~20%) • 열과 전기를 동시에 공급하는 중소형 열병합 분산 발전에 대한 수요 증가에 대응할 수 있을 뿐 아니라 지역의 난방과 전력을 공급함으로써 지역 에너지자립화와 다양한 일자리 창출 및 지역균형발전에 기여	① 바이오 고형연료 ② 바이오중유 ③ 바이오가스
수송용 연료 생산 기술	• 전기나 수소차가 완전 보급되기 전까지 약 20년 정도 내연기관이 사용되어야 하며 전기나 수소차가 대체하기 어려운 고출력 운송수단을 위해 에너지 밀도가 높은 수송용 바이오연료가 필요 ※ 비식용 바이오매스 기반 바이오연료의 온실가스 저감량은 60%에 달함 • 탄소중립형 수송연료인 바이오연료의 보급 확대를 위해 바이오알코올 연료의 RFS 지정과 바이오경유 혼합비율 확대 등의 관련 규제 완화 및 정책 전환 필요	① 바이오 CNG/LBM ② 바이오휘발유 ③ 바이오경유 ④ 바이오선박유 ⑤ 바이오항공유

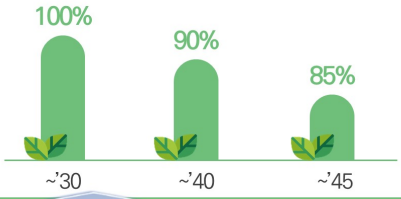
4. 비전 및 목표

목표 바이오연료 선도기술 확보

| 핵심지표 |

▶ **바이오연료 가격경쟁력**
(동종 화석연료 대비)

現 가격 경쟁력
120~150% 수준



수소 기술개발 전략

중분류	현 수준	단기 ~'22	'23	'24	'25	중기 ~'26	~'28	~'30	장기 ~'50	목표
전력/열 생산 기술	바이오 고형연료 TRL: 6단계, 기술수준: 70~80%	바이오 고형연료 단위기술 실증 및 통합 시스템 구성					통합 시스템 실증			('30) 연료화 용량: 100 톤/일, TRL 8 ('35) 가스화 용량: 50 톤/일, TRL 8
	바이오중유 TRL: 6단계, 기술수준: 70%	바이오중유 공정 구축				상용화 및 이전확산				('30) 내연력 발전기용 바이오중유 품질기준 항목 : 100% 만족, 내연력 발전소 전소/혼소기술 실증, TRL: 8단계
	바이오가스 TRL: 6단계, 기술수준: 70%	분산형 바이오가스플랜트 구축							보급확산	('30) 분산형 공정: 100 톤/일, 전력/열 연계 생산 실증, TRL: 8단계
수송용 연료 생산 기술	바이오 CNG/LBM TRL: 6단계, 기술수준: 75%	바이오가스 생산증대 및 고질화 Power to methane 공정 구축						상용화		(~'35) 메탄 효율 20% 증대 및 고질화 비용 50% 절감
	바이오휘발유 TRL: 6단계, 기술수준: 70%	비식용 발효당 생산기술 개발/상용화				연료용 알코올 및 휘발유 생산기술 개발		상용화		('30) 바이오휘발유-전분질 발효당 가격 대비 75% 수준으로 절감, 국내 주정공장 인프라 활용
	바이오경유 TRL: 6단계, 기술수준: 80%	유지계 원료 기반 바이오경유				유지계 Drop-in 바이오경유				('30) 유지계 바이오경유 상용화 ('40) 목질계 바이오경유 상용화
		목질계 바이오경유 기술 개발				상용화 및 확산				
	바이오선박유 기술수준: 65%	바이오중유 선박유 실증					바이오경유/알콜/ CNG 선박유 실증		상용화 및 사업화	(~'25) 바이오중유 선박 적용기술 확보 ('40) 타 바이오연료 차세대 multifuel 엔진 선박 적용 기술 확보
	바이오항공유 기술수준: 30~50%	저에너지 소모형 바이오항공유 생산기술 개발							상용화 및 사업화	('30) 항공유 수율 100 L/BDT ('50) 혼합비율 50%

■ 정부의 집중지원이 필요한 기간

기술개발

①② **전력·열 및 수송용 연료로 활용 확대를 위해 다양한 바이오에너지의 저비용·고효율·고품질화·대량생산 기술 개발**

※ 미활용 바이오매스 활용 및 적용처 확대를 위해 기술개발에서 상용화까지 전주기적 민-관 협력 추진

정책·제도

① **바이오매스 생산·수송·활용을 위한 통합 관리체계 구축, 신재생에너지 보급 지원 제도* 개선을 통해 조기 확산 지원**

* 바이오디젤 혼합비율 상향, 바이오 연료 (바이오선박유, 바이오항공유, 바이오에탄올 등)에 대한 기술기준 개발 및 활용방안 검토 등

5. 중분류별 추진전략

1) 전력/열 생산기술

정의

- 바이오매스 자체를 직접 연료로 사용하는 고형연료와 생물/열화학적 전환반응을 통해 얻어진 액상(바이오중유) 또는 기상(바이오가스) 연료를 사용하여 열(난방)이나 전력을 생산하는 기술

바이오 고형연료
바이오 고형연료의 연소 또는 연료전환 기술을 이용한 지역 분산형 고효율 청정 발전 및 열 생산 기술

바이오중유
바이오중유의 내연기력 발전기와 산업용/열원용 보일러 사용을 위한 적용성 및 실증기반 마련 기술

바이오가스
유기성 바이오매스 및 부산물, 폐기물을 원료로 혐기소화를 통해 생성되며 열병합발전*(CHP)을 통해 전기와 열을 생산하여 이산화탄소 중립 재생에너지를 확보하는 기술로 부산물 및 폐기물을 이용한 미래에너지공급에서의 섹터 커플링 역할을 담당 * CHP: Combined Heat and Power

기술개발 필요성

- 간헐성 및 변동성이 큰 재생에너지 발전에 대해 기저부하 역할*이 가능하고, 중소형(5~20 MW) 열병합 분산 발전과 연계하여 지역에너지 자립화에 기여 가능한 바이오연료의 상용화 기술 개발 및 인프라 구축 필요

  * 바이오에너지는 다른 신재생에너지원 대비 발전설비 가동률(60~65%)과 피크기여도가 높은 에너지원으로, 현재 태양광에 이어 국가의 주요 신재생에너지 발전원으로 활용
  ('19년 기준 신재생에너지 발전 기여도: 31.5%(태양광: 39.3%)[16])

16) 2020 신·재생에너지 백서

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술 수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
바이오 고형연료	연료화 생산용량 : 10 톤/일, TRL : 6	국내 미활용 바이오매스의 발전용 연료화 기술 및 혼소발전 연계기술 개발	통합 시스템 실증		▪('30) 연료화 생산용량 : 100 톤/일, 기존 상용 발전소에 혼소발전기술 실증, TRL : 8
	가스화기 용량: 10 톤/일, 가스화 냉가스 효율: 55%, TRL : 6	바이오 고형연료의 가스화 연료전환 기술을 이용한 청정발전기술 개발	통합 시스템 실증		▪('35) 가스화기 용량 : 50 톤/일, 가스화 냉가스 효율 : 63% 이상, TRL : 8
	적용 용량: 1 톤/일 미만, TRL : 6	바이오 고형연료 발전시설의 발전효율 증가를 위한 융복합기술 개발	통합 시스템 실증		▪('30) 적용대상 바이오 고형연료 발전 시설 용량 : 100 톤/일 이상, 에너지 회수율 증가 : 10% 이상, TRL : 8
바이오 중유	TRL : 6	발전용 바이오중유의 내연기력 발전기의 연계기술 및 적용성 기술개발 및 실증		이전확산	▪('30) 내연력 발전기용 바이오중유 품질 기준 항목 : 100% 만족, 내연력 발전소 전소/혼소기술 실증, TRL : 8
	TRL : 6	열원용(보일러) 바이오중유의 연료개발, 적용성 및 실증기반 기술개발	상용화	이전확산	▪('35) 내연력 발전기용 바이오중유 품질 기준 항목 : 100% 만족, 산업용/열원용 전소/혼소기술 실증, TRL : 8
	TRL : 5	목질계 바이오오일 생산 기술개발	전력/열 적용 기술개발 및 실증	이전확산	▪('35) 목질계 바이오오일 전력/열 생산 시스템 실증 - 분산형 공정 100 톤/일, TRL 8
바이오 가스	광역형급 100개 플랜트 운영, TRL : 6	분산형 바이오가스 플랜트 구축	상용화	보급확산	▪('30) 바이오가스 연계 전력/열 생산 실증 - 분산형 공정: 100 톤/일 - TRL: 8단계
		마이크로 biogas plant 모델공정 구축	상용화	보급확산	

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술　민간 부문에서 개발 예정인 기술

기술개발 추진방향

1 바이오고형연료

주요 이슈사항

- 탄소중립원인 바이오 고형연료의 에너지 활용 극대화를 통하여 국가 탄소중립 목표달성에 기여
- 국내 미활용 저급 바이오매스의 에너지 자원화 기술 확보 및 지역 여건에 부합되는 분산형 바이오 고형연료 발전 및 열 생산 기술의 확보
- 바이오 고형연료의 연료전환 청정에너지화 기술개발을 통하여 바이오 고형연료를 사용하는 에너지 생산 시설에 대한 주민 수용성 확보
- 실증플랜트(사업화 가능 상용 규모 플랜트) 개발 추진에 대한 기술개발 위험성으로 인하여 민간독자 개발의 어려움

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 국내 미활용 바이오매스의 발전용 연료화 기술 및 기존 발전소의 혼소를 위한 연계기술 개발
  - · 국내 미활용 저급 바이오매스의 전소/혼소 발전용 연료화 기술개발
  - · 기존 상용 발전소의 실증 혼소기술 개발
- 바이오 고형연료의 가스화 연료전환 기술을 이용한 청정 발전기술 개발
  - · 바이오매스 가스화 연료전환 기술개발
  - · 합성가스 엔진발전 기술개발
- 바이오 고형연료 발전시설의 발전효율 증가를 위한 융·복합 기술개발
  - · 발전효율 증가를 위하여 기술권 확보가 가능한 융·복합 기술개발
  - · 기존 상용 발전소의 실증 적용기술 개발

목표달성전략

- 국내 바이오매스의 생산, 수송 및 사용이 지역 단위로 활용될 수 있도록 통합 활용체계의 구축
- 국내 바이오매스의 관리 부처 다양화에 따른 활용 및 제도적 장애요인의 극복을 위하여 다부처 참여를 통한 협력체계 구축
- 바이오 고형연료의 에너지화 시설에 대한 주민 수용성 확보를 위하여 지역별 특성에 맞도록 연소기반의 기술과 연료전환 기술을 동시에 개발
- 국내 바이오 고형연료의 안정적 확보를 위한 국내 수요와 공급 그리고 국외 수입의 통합 관리체계 구축

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
국내 미활용 바이오매스의 발전용 연료화 기술 및 혼소발전 연계기술 개발	· 고품질 연료화 생산용량 : 10 톤/일, TRL 6 · 선도국 대비 기술수준 : 80% (에너지연, 기계연, 생기연, 고등기술원)	· 300 톤/일 규모의 바이오 고형연료의 고품질화를 위한 반탄화 플랜트 상업운전, TRL 8~9(캐나다)	· ('30) 고품질 연료화 생산용량 : 100 톤/일, TRL 8 · ('30) 기존 상용 발전소 혼소기술 실증
바이오 고형연료의 가스화 연료전환 기술을 이용한 청정발전기술 개발	· 바이오 고형연료 가스화 용량 : 10 톤/일, TRL 6 · 가스화 냉가스 효율 : 55% · 선도국 대비 기술수준 : 70% (에너지연, 기계연, 생기연, 고등기술원)	· 200 톤/일 규모의 바이오 고형연료 가스화 플랜드 상업운전, TRL 8~9 (네덜란드)	· ('35) 바이오 고형연료 가스화 용량 : 50 톤/일, TRL 8 · ('35) 가스화 냉가스 효율 : 63% 이상
바이오 고형연료 발전시설의 발전효율 증가를 위한 융·복합 기술개발	· 용량 : 1 톤/일 미만(파일럿 플랜트 규모), TRL 6 · 선도국 대비 기술수준 : 70%(에너지연, 기계연, 생기연)	–	· ('30) 적용 대상 바이오 고형연료 발전시설 용량 : 100 톤/일 이상, TRL 8 · ('30) 에너지회수율 증가 : 기존 에너지회수율의 10% 이상

2 바이오중유

주요 이슈사항

- 세계 최초 전력용으로 상용화 중인 국내 바이오중유는 선박용 및 열원용으로 확대 가능하여 국가 탄소중립 달성 기여 가능
- 바이오중유의 경제성 제고를 위한 발전용 연료의 원료 다양화 기술과 열원 사용을 위한 보일러 최적화 연료 개발 필요
- 상용화 중인 발전용 바이오중유 시장을 기반으로 열원용 바이오중유로 확대를 통한 신규 시장 창출 가능
- 현재 정부 의무화 제도 중 전력부문의 RPS 제도에서 열부분의 RHO 제도(도입 예정)에 이르기까지 확장성 큰 바이오연료 개발 필요
- 국내 부존량이 많은 목본계, 초본계 바이오매스 기반 바이오 중유 생산 기술 개발 필요
- 미활용 바이오매스의 분산 발전 및 열에너지 생산 기술 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 발전용 바이오중유의 내연기력 발전기의 연계기술 및 적용성 기술개발
  ※ 기존 대형 및 중·소형(분산전원용) 내연기관 발전기 적용성 기술개발
- 열원용(보일러) 바이오중유의 연료개발과 적용성 및 실증기반 기술개발
  ※ 기존 산업용 보일러 적용 가능한 바이오중유 연료개발 및 보일러 부품개발 및 적용성 실증 기반연구
- 산발적 발생 특성을 고려한 미활용 목본계/초본계 바이오매스 수집 시스템 및 분산형 바이오중유 생산시스템 구축
  · 지역주민의 수익창출 연계한 바이오매스 수집 시스템 구축
  · 운전이 용이한 이동형 목질계 바이오매스 급속 열분해 시스템(1~3톤/일) 구축
- 목질계 바이오오일 분산 발전/열에너지 생산 시스템 구축
  · 분산형 소규모 바이오오일 발전 시스템(~500 kWh) 구축
  · 지역 시설하우스 등 열 에너지 수요와 연계한 바이오오일 보일러 시스템(100~200 kWh 소형)구축

목표달성전략

- 기존 발전용 바이오중유의 산업을 기반으로 열원용(보일러) 적용을 위한 관련 업계와의 협업체계 구축
- 기존 발전용 바이오중유의 기력발전기에서 내연기력발전기로의 확대를 위한 산업부의 RPS 제도 개선 필요
- 바이오중유의 신규 사용처인 산업용과 건물 열원 사용에 따라 환경부와 산업부의 관련 제도 및 법령 개선 필요
- 바이오중유의 적용 설비·장비(발전기, 보일러) 제조사와 연료공급자, 연료사용자 및 연구자간 테스트베드 구축 후, 산학연 얼라이언스 협의체 구성하여 추진
- 발전용 바이오중유의 열원용(보일러)로까지 사용 확대를 위해 적용 가능한 모든 폐바이오매스 발굴을 통해 원료수급 안정화 추진
- 농촌, 산촌 마을 단위의 미활용 바이오매스 수집 시스템 구축
- 소형 이동식 바이오오일 생산 장치 및 분산 발전장치 시범적용

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
발전용 바이오중유의 내연기력 발전기의 연계기술 및 적용성 기술개발	· TRL 6 · 선도국 대비기술수준 : 75%(한국석유관리원, 현대중공업, 한국선급, 중부발전)	· 소형 내연기력 발전기 적용 성공(핀란드) · 선도국 기술수준 : TRL 8~9 (상업운전기술 확보)	· ('30) 내연기력 발전기용 바이오중유 품질기준 전항목 100% 만족, 내연기력 발전소 전소/혼소기술 실증, TRL 8
열원용(보일러) 바이오중유의 연료개발과 적용성 및 실증기반 기술개발	· TRL 6 · 선도국 대비 기술수준 : 80%(한국석유관리원, 생기연, 한신보일러)	· 산업용 보일러 등에 식물성유지계 적용 상업 운전 중(독일) · 선도국 기술수준 : TRL 8~9 (상업운전기술 확보)	· ('35) 보일러용 바이오중유 품질기준 전항목 100% 만족, 산업용/열원용 전소/혼소기술 실증, TRL 8
목질계 바이오오일 생산시스템 구축	· 선도국 대비 기술수준 : 70%(대경에스코, 기계연, 에너지연)	· 1~2 톤/일급 이동식 바이오오일 생산 장치 운영 (미국)	· ('35) 분산형 공정 100 톤/일, TRL 8
목질계 바이오오일 분산 발전/열에너지 생산시스템 구축	· 선도국 대비 기술수준 : 70%(대경에스코, 에너지연)	· 목질계 바이오오일의 보일러 적용(캐나다, 미국)	· ('35) 태양광 등 타 신재생발전 설비와 연계된 목질계 바이오오일 분산 발전/열 시스템 구축

3 바이오가스

주요 이슈사항

- 온실가스 저감과 환경규제 강화에 따른 유기성 부산물 및 폐기물 등의 미활용 바이오매스의 활용을 극대화하는 추세
- 대규모 시설의 원료 투입을 위한 유기성 바이오매스의 타 지역 운송에 대한 주민수용성이 낮은 상황에서 지역 발생 바이오매스의 자체 원료 활용 기술 필요
- 태양광, 풍력 기반 재생에너지의 변동성을 유연하게 보완할 수 있으므로 전기, 산업 공정, 열 및 이동성 부문 및 저장 분야의 보완을 위한 섹터커플링 역할을 바이오가스에 기대

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 분산형 바이오가스 생산시스템 구축(병합소화)
  - · 2종 이상의 유기성 바이오매스의 병합소화 적용 바이오가스 생산시스템(전기: 500 kWh, 열: 1 MWh 이상의 중대형) 구축
- 지역 맞춤형 바이오가스 생산시스템 구축
  - · 지역별 미활용 유기성 바이오매스 이용을 위한 소규모 마이크로 바이오가스 생산시스템(전기: 25~50 kWh, 열: 50~100 kWh 소형)구축
- 바이오가스 생산 증대 및 고질화를 위한 Power to Methane 기술개발
  - · 저비용 고효율 고질화 기술개발을 통한 바이오연료 생산 20% 증대 기술개발

목표달성전략

- 다양한 미활용 바이오가스 원료의 공정 및 효율 검증을 통한 바이오가스 플랜트의 업그레이딩 기술개발로 지역 분산형 생산 및 이용시스템 구축
- 풍력, 태양광 등의 타 재생에너지원과의 융복합 기술 및 시스템 구축에 의한 지역맞춤형 재생에너지 섹터커플링 시스템 완성

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
분산형 바이오가스 생산시스템 구축 (병합소화)	· 선도국 대비 기술수준 : 75%(대우/현대건설, KEC, 부광, 에코바이오)	· 10,000개 이상의 분산형 시스템 운영(독일)	· ('30) 분산형 병합소화 바이오가스 플랜트(100 톤/일) 구축
지역맞춤형 바이오가스 생산시스템 구축	· 선도국 대비 기술수준 : 75%(대우/현대건설, KEC, 부광, 에코바이오)	· 농장, 축사별 micro-biogas 시스템 다수 운영	· ('30) 지역별 미활용원료 이용 micro-biogas plant 구축
바이오가스 생산 증대 및 고질화를 위한 Power to Methane 기술개발	· 1 MW 파일럿 구축 중 · 선도국 대비 기술수준 : 85%(한전(전력연), 한양대)	· 10개 이상의 P2G 공정운전(EU)	· ('30) 신재생발전 설비와 연계된 바이오가스 생산 증대 및 고질화 공정 개발

2) 수송용 연료 생산 기술

정의

- 화석연료가 사용되는 기존 내연기관을 추가적인 엔진 수리나 교체 없이 바로 사용이 가능한 다양한 바이오연료를 바이오매스로부터 생산하는 기술

바이오 CNG/LBM

유기성 바이오매스 및 부산물, 폐기물을 원료로 혐기소화를 통해 생성되는 바이오가스를 불순물 정제 및 이산화탄소 분리를 통해 메탄비율 98% 이상으로 고질화하여 수송용 연료를 생산하는 기술

바이오휘발유

바이오매스자원 활용화 기술을 통하여 기존 내연기관의 변경 없이 바로 사용이 가능한 Drop-in 바이오휘발유를 생산하는 기술

바이오경유

석유계 경유를 기능적으로 대체하고 기존연료와 교환(Drop-in) 또는 혼합(Blending)하여 사용할 수 있는 바이오매스로부터 경유 대체 연료 생산 기술

바이오선박유

친환경 선박의 연료로 사용이 가능한 바이오선박유(액상)와 바이오메탄(기상)을 생산하고 활용하는 기술

바이오항공유

화석연료 유래 상용 항공유(CAF)*를 기능적으로 대체하고 기존연료와 교환(Drop-in) 또는 혼합(Blending)하여 사용할 수 있는 바이오매스 유래 항공유

* CAF(Conventional Aviation Fuel)

기술개발 필요성

- 2050년 수송부문 탄소중립을 위해서는 모빌리티의 전기화 뿐만 아니라 기존의 내연기관차와 전기화가 어려운 수송수단(선박, 항공 등)에서 탄소 배출을 적기에 감축하기 위한 대안도 함께 마련할 필요

  ※ 세계 도로 승용차 부문에서 내연기관차(ICE)의 비중은 2040년에도 59.3%(9백만 대)를 차지할 전망 (BloombergNEF, '21)[17]

- 이에 석유계 연료와 특성이 유사하여 교환 또는 혼합 사용이 가능한 바이오연료를 보급 확대하기 위해 제도*를 개선하고, 더불어 바이오연료 가격경쟁력 확보 기술을 개발할 필요

  * 바이오알코올 연료 RFS 지정 등 RFS 적용대상 연료 확대, 바이오경유 혼합비율 확대, 미활용 바이오매스 수거 방안 등

  ※ 現 바이오연료 원료 국산화율: 바이오 CNG/LBM 100%, 바이오경유 및 바이오중유 50~60%

17) BloombergNEF, Long-Term Electric Vehicle Outlook 2021

세부기술별 기술개발 목표

세부기술	현재국내 기술수준	단기 (~2025)	중기 (~2030)	장기 (~2050)	목표
바이오 CNG /LBM	고질화 공정 : 10 톤/일 TRL : 6	In-situ/ex-situ upgrading을 이용한 고효율 저비용 고질화시스템 구축			▪ ('35) 메탄 효율 20% 증대 고질화 비용 50% 절감
	생산 공정 : 14 gCO $kgVS^{-1}$ d^{-1} TRL : 6	생물학적 CO전환 반응을 통한 바이오 기체연료 생산기술			▪ ('35) 1.4 kgCO $kgVS^{-1}$ d^{-1}
바이오 휘발유	선진국대비 67% 처리기준 10 톤/일 TRL 6	바이오매스 자원 활용화 및 비식용 발효당생산 바이오화학 연계 지속적수행			▪ ('30) 바이오매스 처리기준 100톤/일 ▪ ('30) 발효당 가격 식용 대비 75%
	RFS 미적용 시범운전 완료, TRL 7	바이오에탄올 차량적용 및 대량생산 실증	RFS상향 적용		▪ ('30) RFS 혼합비율 3~5%
	선진국 대비: 80% TRL 5	바이오부탄올 생산 미생물 공정 설계 및 실증기술			▪ ('30) 생산 속도: 〉5 g/L/h
	선진국 대비: 70% TRL 5	유기산 기반 바이오탄화수소 생산 기술 개발			▪ ('30) 생산 속도: 〉5 g/L/h
	가스화 반응 용량: 10 톤/일 TRL : 5	바이오매스의 가스화 기술을 이용한 바이오 휘발유 생산 실증기술 개발			▪ ('35) 바이오매스 가스화 용량 : 50 톤/일, TRL : 8 ▪ ('35) 합성가스 촉매합성 용량 : 1 MW_{th}
바이오 경유	생산 용량: 1 톤/일 TRL 6	국내 미활용 폐유지 바이오경유(FAME) 전환기술개발			▪ ('25) 생산용량: 100 톤/일, 상용 실증, TRL 8
	생산용량 0.2 톤/일 TRL 6	Drop-in 바이오경유 (HVO) 생산 기술			▪ ('30) 생산용량: 60 톤/일, 상용 실증, TRL 8
	생산 용량: 2 톤/일 TRL 6	목질계 바이오경유 생산 기술 개발			▪ ('35) 목질계 바이오경유 용량 : 50 톤/일, TRL : 8
	생산 용량 0.3톤/년	목질계 F-T 바이오경유 생산 실증기술 개발			▪ ('40) 목질계 F-T 바이오경유 용량 : 50 톤/일, TRL : 8
바이오 선박유	사례 없음	바이오선박유 물성 분석	바이오선박유 엔진 시험 및 선박 적용 실증 평가		▪ ('40) 바이오선박유 (바이오경유, 알콜 및 CNG 등) 적용 기술 확보
	바이오중유 상용화	바이오중유 선박 적용 실증 평가			▪ ('25) 바이오중유 선박 적용 기술 확보
바이오 항공유	최고기술 대비 기술수준 50% 원천기술개발 단계	수소 저소모 바이오항공유 생산 기술			▪ ('30) 항공유 수율 100 L/BDT* * Bone Dried Ton(건조중량) ▪ ('50) 혼합비율 50%
	최고기술 대비 기술수준 30% 원천기술개발 단계	에너지 저소모 바이오항공유 생산 기술			▪ ('30) 항공유 수율 100 L/BDT* * Bone Dried Ton(건조중량) ▪ ('50) 혼합비율 50%

현재 수행 중 또는 수행 예정인 R&D　　향후 정부의 R&D투자가 필요한 기술

기술개발 추진방향

1 바이오 CNG/LBM

주요 이슈사항

- 국내에서 생산되고 있는 바이오가스 중 약 20~30%는 활용되지 못하고 소각 처리 되고 있는데 이는 바이오가스를 직접 활용하는데 있어 메탄 함량이 낮기 때문으로 바이오가스 고질화를 통한 수송용 연료 생산 등으로 활용도를 높이는 방법에 대한 검토 필요
- 고질화 기술의 핵심 요소는 유지관리 비용의 경제성 문제 해결이 가장 크다고 할 수 있으며, 안정적인 고순도 메탄생성 및 에너지소비 등 다양한 문제점에 대안을 해결
- 생물학적 수성가스 전환기술개발을 통해 저등급의 CO로부터 수소를 생산하는 기술을 개발하였으며, 최초의 상용급 공정 개발 추진 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 고순도메탄 생산 혐기소화 기술
  - · 혐기성 소화공정(Anaerobic Digestion)을 통한 CH_4 전환 등 분리된 CO_2/HCO_3^-의 활용기술을 이용한 메탄수율 향상시스템 구축
- 바이오가스 고질화 기술개발
  - · 전기화학적 기반 바이오가스 고질화 효율 향상 기술
- 생물학적 CO 전환 반응을 통한 바이오 기체연료 생산기술
  - · 해양 고세균 이용 바이오 기체연료 생산 실용화 기술 개발

목표달성전략

- 바이오가스 포함 이산화탄소의 포집, 재메탄화 기술개발을 통한 고효율 저비용 바이오메탄 생산기술개발에 의한 바이오 CNG 공급 확대
- 기존 바이오가스의 정제/고질화 시설의 소요부지 및 운영관리의 획기적 개선기술을 통한 경제성 극대화 도모

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
고순도메탄 생산 혐기소화 기술	· CH_4 함량 65%인 바이오가스 250 m^3/ton_{VS} (에코바이오)	· CH_4 함량 65%인 바이오가스 460 m^3/ton_{VS}(Avato Biogas(EU))	· ('35) CH_4 함량 90%인 바이오가스 500 m^3/ton_{VS}
바이오가스 고질화 기술	· 정제시설 건설부지 : 15 m^2/ton_{VS} (대전바이오센터)		· ('35) 정제시설 건설부지: 〈 10 m^2/ton_{VS}
CO 전환을 통한 바이오 기체연료 생산기술	· CO 전환율: 0.5 mmol $CO/g_{VS}\cdot d$ (한국해양과학기술원, 바이오-X, KIST)	· CO 전환율 : 15 mmol$CO/g_{VS}\cdot d$ (Wageningen University(네덜란드))	· ('35) CO 전환율: 50 mmol $CO/g_{VS}\cdot d$

2 바이오 휘발유

주요 이슈사항

- 다른 재생에너지원과 달리 바이오휘발유는 수송 연료의 수요를 충족시키기 위한 액체 연료로 기존 내연기관 자동차에 직접 사용 가능
- 현재 사용되고 있는 바이오휘발유의 가장 일반적인 유형은 바이오에탄올/부탄올 그리고 합성가스의 F-T 전환의 바이오탄화수소임
- 바이오휘발유는 옥수수 등의 식물 재료로 만든 재생연료로 에탄올 사용이 점점 증가하고 있으며, 미국의 경우 휘발유의 98% 이상이 에탄올을 함유
- 에탄올의 가장 일반적인 블렌드는 E10(10% 에탄올, 90% 가솔린)이며, E15 또한 다른 블렌드로 시장 입지를 강화 중
- 목질(초본포함)계 원료(2세대, 2G) 또는 바이오매스를 빠르게 생성하는 유기체(3세대, 3G) 또는 유전자 변형 미생물(4세대, 4G)을 이용하는 바이오휘발유 생산 기술에 대한 많은 연구들이 수행되었지만, 당질계나 전분질계와는 달리, 2G, 3G 및 4G 바이오휘발유 생산에 요구되는 공정 비용의 합당성은 불확실한 상황

※ 2G 에탄올계 바이오휘발유 개발 이슈는 전처리 단계의 높은 비용, 당화효소의 높은 비용 등
※ 3G 에탄올의 상용화의 어려움은 조류 수확 비용과 조류 오염이 야기하는 문제 등
※ 4G 에탄올은 유전적으로 변형된 식물의 행동 예측, 세대별 특성 유지 등에 대한 관련 정보 미흡

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 바이오매스 자원 활용화 기술을 통한 발효당 생산 공정 실증화
  - · 바이오매스로부터 바이오휘발유 생산공정에 있어 가장 큰 공정비용을 차지하는 발효당 생산을 위한 요소 기술들의 검토 필요

    ※ 전처리, 당화, 폐수처리 등의 소요비용을 감소시킬 수 있는 기술들이 뒷받침되어야 함
  - · 2세대 이상의 바이오휘발유 공정의 경제성 확보 방안으로 바이오휘발유 생산 공정에서 나오는 부산물들의 부가가치 확대를 들 수 있음. 에탄올/부탄올 발효 시 발생되는 가스의 활용, 다양한 바이오매스에서 얻어질 수 있는 부가가치 성분들 등에 대한 회수 전략 등이 포함되는 통합형 바이오화학(Integrated Biorefinery) 관련 연구들의 병행 추진 필요
- 바이오에탄올 차량적용 및 대량생산 기반 구축
  - · 전 세계적으로 수송용 연료의 80%는 바이오에탄올임. 국내의 경우 차량 시범운전도 이미 진행된 바가 있으며, 이를 근거로 에탄올에 대한 RFS 적용 및 의무혼합비율 상향을 정책적으로 지원하는 것이 요구됨
  - · 바이오에탄올 생산기술은 이미 국내 10여개 업체의 주정공장에서 확보하고 있으며, 비식용 발효성 당의 경제성만 확립된다면, 현재 국내 시설을 활용하는 데 큰 어려움이 없을 것으로 판단됨

기술개발

- 바이오부탄올 생산 발효 공정 설계 및 실증 기술
  - · 바이오부탄올 발효공정과 연계된 분리정제 기술 개발
  - · 준상용급 바이오부탄올 생산 공정 구축 및 운전기술 개발
- 유기산 기반 바이오탄화수소 생산 기술개발
  - · C_4~C_8 유기산 생산을 위한 발효공정 구축 기술
  - · 유기산의 바이오탄화수소화 전환공정 개발
- 바이오매스의 가스화 기술을 이용한 바이오 휘발유 생산 실증기술 개발
  - · 바이오매스 유래 합성가스의 바이오휘발유 전환을 위한 촉매 및 생산 공정 구축 기술개발

목표달성전략

- 바이오매스 원료 확보에서부터 바이오휘발유 전환기술 선정과 생산 및 활용을 위한 밸류체인 강화를 위해 산학연 융합연구단 및 기업 참여 컨소시엄 등을 구성해서 상용화 기술 간의 간극 극복
- 법제적으로 바이오휘발유의 품질인증을 석유관리원을 통해서 강화하고 RFS 적용대상에 포함시켜서 바이오휘발유의 신뢰성과 경쟁력을 강화
- 바이오휘발유 생산에서 인증단계까지의 기술은 과기부와 산업부, 바이오휘발유 공급을 위한 설비 구축 및 이니셔티브 구축 등의 인프라 구축은 국토부, 환경부의 역할이 중요하고, 바이오휘발유 이용에 따른 수송부문 온실가스 감축 관련 제도 및 정책 분야의 경우 국토부와 환경부의 공동 역할이 매우 중요함

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
비식용 발효당 생산 공정 실증화	· 10 톤/일 바이오매스 처리, TRL 6 · 선도국 대비 기술수준 : 67% (GS 칼텍스, CJ제일제당)	· 1,000 톤/일 바이오매스 처리, TRL 8(American process(미국), SucreSource(미국), Weyland(노르웨이), BioGasol(덴마크), SEKAB (스웨덴)	· ('30) 100 톤/일 바이오매스 혼합 바이오매스 처리 기술, TRL 8(데모급)
바이오에탄올 차량적용 및 대량생산 기반 구축	· 시범운전 완료(석유관리원), TRL 7	· 차량적용 운영 중(E10~E85) (POET-DSM(미국), Mascoma(미국), Beta Renewables(이탈리아), Inbicon(덴마크))	· ('30) RFS 혼합비율 3~5% ※ 에탄올에 RFS 적용 시, 우선은 해외에서 수입해야 하지만, 국내 에탄올 생산기술 잠재량은 매우 높음
바이오부탄올 생산 발효 공정 설계 및 실증기술	· TRL 5 · 선도국 대비 기술수준 : 80%(GS 칼텍스)	· 상용화 95% 수준의 기술 확보(미국 Gevo)	· ('30) 생산속도: 〉5 g/L/h
유기산 기반 바이오탄화수소 생산 기술개발	· TRL 5 · 선도국 대비 기술수준 : 70% (한양대, KIST)	· 상용화 95% 수준의 기술 확보(미국 Amyris)	· ('30) 생산속도: 〉5 g/L/h
바이오매스의 가스화 기술을 이용한 바이오 휘발유 생산 실증기술 개발	· 가스화 반응 용량 : 10 톤/일, TRL : 5	-	· ('35) 바이오매스 가스화 용량 : 50 톤/일, 합성가스 촉매합성 용량: 1 MW_{th}, TRL : 8

3 바이오 경유

주요 이슈사항

- 현재 보급중인 바이오디젤(FAME)은 경유와 물성 차이로 7% 이하 혼합사용이 가능하며, 탄소 중립 달성에 기여하기 위해 고함량 혼합 바이오경유 개발 필요
- 급증하는 바이오경유 수요 대응을 위해서는 식물유 외 비식용원료인 목질계 원료로부터 바이오경유 생산 기술 개발 필요

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 국내 미활용 폐유지로부터 바이오경유(FAME) 생산 기술
  - · 고산가 등으로 미활용 되는 저급 폐유지의 바이오디젤 전환 상용 실증 공정 개발
- 유지 원료로부터 Drop-in 바이오경유(HVO) 생산 기술
  - · 유지계 원료의 수소화 반응 핵심 촉매 개발 및 상용화를 위한 실증 공정 개발
- 목질계 열분해 바이오경유
  - · 목질계 원료 열분해유의 수소화 개질에 의한 바이오경유 생산 공정 개발 및 파일롯 실증
- 바이오매스 유래 합성가스 기반 바이오경유
  - · 목질계 원료 가스화로 생산된 합성가스를 촉매 합성하여 바이오경유로 전환하는 기술

목표달성전략

- 산학연 얼라이언스, 융합 연구단 등을 구성해서 바이오 경유 상용화 기술 간의 간극 극복
- 핵심 기술 적용 및 실증을 위한 데모 공정 인프라 구축·지원
- 수송용 바이오연료 시장 수요 창출을 위한 지원 정책 시행 필요
  - · 수송연료 판매/생산업체에 대해 저탄소연료 판매량 또는 CO_2 감축 목표 부과 등
  - ※ 캘리포니아주 LCFS 시행, 독일 2025년 기준 정유사 판매 연료 기준 CO_2 6% 의무 감축, 미달성분에 대해 $470/톤$CO_2$ 탄소세 부과)

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
국내 미활용 폐유지로부터 바이오경유(FAME) 생산 기술 개발	· 파일롯 실증(3 톤/일), TRL 6(에너지연)	· 생산용량 : 100 톤/일 (오스트리아 BDI) · 선도국 기술 수준: TRL 9	· ('25) 바이오디젤 생산 용량 100 톤/일, TRL 8
유지계 원료 활용 Drop-in 바이오경유(HVO) 생산 기술 개발	· 파일롯 실증, TRL 6 (SK 이노베이션)	· 플랜트 용량: 300 톤/일 (핀란드 Neste oil) · 선도국 기술 수준: TRL 9	· ('30) 상용 데모 공정 실증 (60 톤/일), TRL 8, 연료 생산가: $550/톤
목질계 열분해 바이오경유	· 목질계 바이오오일 파일럿 실증(20 톤/일), TRL 6 (대경에스코, 기계연, 에너지연)	· 파일롯 실증 및 상업 운전 기술 확보(미국 Envergent) · 선도국 기술 수준: TRL 8	· ('35) 바이오매스 급속 열분해 시설 용량 : 50 톤/일, TRL : 8
바이오매스 유래 합성가스 기반 바이오경유	· 연료 생산 용량 1 톤/일 (에너지연, 화학연)	· 상업 운전기술 확보 및 상용 플랜트(용량: 10만 톤/년) 구축 추진(미국 Velocys) · 선도국 기술 수준: TRL 8	·('40) F-T 바이오경유 생산 용량: 50 톤/일, TRL 8

4 바이오 선박유

주요 이슈사항

- 해상 부문은 전 세계 화물 수송의 80% 이상을 차지하며 연 3.3억 톤의 연료를 소비하며 CO_2 배출량은 전 세계 배출량의 약 3%임
- IMO에서는 2050년까지 선박 CO_2 배출량 50% 감축 목표 발표. 동 목표 달성을 위해서는 전기 등 타 재생에너지 적용이 어려운 선박에 대해서는 바이오선박유가 유일한 대안
- 바이오선박유는 선박용 중유에 비해 1.5배 이상 가격이 높아 경제성 개선 필요
- 연료별 가격 변동에 대응하기 위해 다양한 선박연료의 적용 가능한 multi-fuel 선박 엔진 개발이 진행 중

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발	• 주 연료인 중유, 경유 등과 직접 혼합사용 가능한 바이오연료 적용을 위해 연료 생산 보다는 선박 연료로 적용하는 기술개발 필요 • 바이오선박유 엔진 시험 : 바이오선박유 물성 분석 및 안정성 시험, 연료 펌프 적용성 시험, 선박 적용 엔진 시험 • 바이오선박유 선박 적용 장기 실증 : 선박 적용 시험
목표달성전략	• 바이오선박유 도입을 위한 산학연 연구단 등 구성 및 연료 적용 실증 연구 지원 • 바이오선박유 품질 기준 마련

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
바이오선박유 엔진 시험	· 바이오선박유 물성 분석 (한국석유관리원)	· 바이오디젤(FAME) 혼합유 선박 엔진 시험(영국 Lloyd's Register)	· ('30) 바이오선박유별 엔진 시험 성적 확보 · ('30) 바이오선박유별 품질 기준 확보
바이오선박유 장기 실증 운전 연구	· 바이오중유 선박 적용 연구 추진(바이오에너지협회)	· 바이오선박유 연료 시험 (덴마크 Maersk)	· ('25) 바이오중유 선박 적용기술 확보 · ('40) 바이오연료별 대형화물 선박 적용 기술 확보, TRL 9

5 바이오 항공유

주요 이슈사항

- 기존 항공유(Jet A1) 국제규격*과 바이오항공유 국제규격**을 만족하는 바이오 항공유는 매우 제한적이고 바이오매스원료와 전환공정에 따른 경제성, 기술개발성숙도***, 연료특성 및 혼합가능비율(10~50%)**** 등이 매우 상이함

  * ASTM D6165 / **ASTM D7566 / *** FRL(Fuel Readiness Level) / **** 최대혼합가능비율 50%

- 생산 기술 확보를 통한 연료수급 뿐만 아니라 공급망(Supply Chain) 등의 인프라의 구축이 요구되나 국내시장과 민간항공사의 규모 등을 고려했을 때 자체적인 개발이 어려움
- 유럽 및 선진국이 이미 시행하고 있는 국제인증 등록, 법제도 개편, 세제 혜택 등의 직간접적인 인센티브를 부여함으로써 바이오항공유를 포함한 다양한 바이오연료 시장을 선점 또는 추격할 수 있음

기술개발 핵심내용 및 목표달성 전략

기술개발

- 수소 저소모 바이오항공유 생산 기술
  - · 당질계나 목질계 원료의 촉매전환 공정을 통해 탄화수소로 업그레이딩하여 항공유를 생산하는 기술
  - · 산소제거공정(탈수, 수소화, 가수소분해 등), 탄소중합공정(알돌축합, 케톤화, 올리고머화, 하이드록시알킬화 등), 코킹 등 부반응 억제 공정 및 수소생산공정(액상 개질)으로 구성되는 단위 공정(원천기술) 및 총괄공정(실증기술)
  - · 리그닌을 제외한 5탄당과 6탄당 및 그 유도체의 총괄적인 활용 및 바이오매스(리그닌 포함)로부터 수소 자급을 통한 경제성 확보 가능

- 에너지 저소모 바이오항공유 생산 기술
  - · 당질계, 전분질계 및 목질계 바이오매스로부터 선택적 전처리/당화/발효공정을 통해 생성된 알코올류를 원료로 항공유를 생산하는 기술
  - · 전처리(물리적, 화학적, 생물학적), 발효(에탄올 및 부탄올), 올레핀화(탈수), 올리고머화(중합) 및 연료생성(수소화) 으로 구성되는 단위공정(원천기술) 및 총괄공정(실증기술)
  - · 기존 상용 공정(발효, 올레핀화, 올리고머화) 및 제지산업 등과의 설비와 밸류체인 연계를 통한 경제성 확보 가능

목표달성전략

- 비식용작물, 동(식)물성 유지 등의 바이오매스 원료 확보에서부터 전환기술 선정과 바이오항공유로의 생산 및 활용에 있어서 밸류체인 강화를 위해 산학연 융합연구단 및 기업 참여 컨소시엄 등을 구성해서 상용화 기술 간의 간극 극복
- 법제적으로 바이오항공유의 품질인증을 석유관리원을 통해서 강화하고 RFS 적용대상에 포함시켜서 바이오항공유의 신뢰성과 경쟁력을 강화
- 바이오항공유 생산에서 인증단계까지의 기술은 과기정통부와 산업부, 바이오항공유 공급을 위한 설비 및 이니셔티브 등의 인프라 구축은 국토부의 역할이 중요하고, 바이오항공유 이용에 따른 항공부문 온실가스 감축 관련 제도 및 정책 분야의 경우 국토부와 환경부의 공동 역할이 매우 중요

[중점과제 및 기술개발 목표]

중점과제	현재 국내 수준 (기술보유자·기관)	선도국 기술 수준 (기술보유자·기관)	목표
수소 저소모 바이오항공유 생산 기술	· 원천기술개발 단계 (KIST, 에너지연, 한양대) · 선도국 대비 기술수준: 50%	· 상용화 80% 수준의 기술 확보 (미국 Virent社) – BioForming (Sugar-to-Jet) Process, ASTM 인증완료 – 바이오항공유(LS9)개발 및 항공기 실운전 테스트 완료 – APR* 등을 이용한 수소사용량 최소화 * Aueous Phase Reforming	· ('30) 항공유 수율: 100 L/BDT* * Bone Dried Ton(건조중량) · ('50) 혼합비율 50%
에너지 저소모 바이오항공유 생산 기술	· 원천기술개발 단계 (희성금속) · 선도국 대비 기술수준: 30%	· 상용화 60% 수준의 기술 확보 (미국 US Air Force) – A-10C(Alcohol-to-Jet) Process, ASTM 인증 진행 중 – 에탄올/부탄올 발효공정과 연계	· ('30) 항공유 수율: 100 L/BDT* * Bone Dried Ton(건조중량) · ('50) 혼합비율 50%

| 탄소중립 기술혁신 추진전략 |

전문분과위원회

분야	소속		직위	성명
태양광·풍력	분과장	한국에너지기술연구원	단장	윤 재 호
	간사	한국에너지기술연구원	책임연구원	이 정 인
	녹색에너지연구원		실장	정 득 영
	고려대학교		교수	이 해 석
	신성이엔지		이사	이 은 주
	한화솔루션		팀장	김 기 홍
	한국과학기술원		교수	서 장 원
	한국에너지기술연구원		책임연구원	김 석 우
	광운대학교		교수	송 승 호
	인하대학교		교수	정 준 모
	유니슨		연구소장	방 조 혁
	한국선급		책임연구원	이 상 래
수소	분과장	한국에너지기술연구원	본부장	양 태 현
	간사	한국에너지기술연구원	연구원	김 혜 진
	경일대학교		교수	박 진 남
	한국에너지기술연구원		책임연구원	정 성 욱
	포항공과대학교		교수	윤 창 원
	㈜헥사		대표이사	강 대 임
	㈜두산퓨얼셀		상무	문 상 진
바이오에너지	분과장	한양대학교	교수	상 병 인
	간사	한국연구재단	연구원	문 경 은
	공주대학교		교수	오 세 천
	한국해양과학기술원		책임연구원	강 성 균
	한국에너지기술연구원		센터장	이 진 석
	㈜바이오테크서비스		이사	방 기 연
	슈가엔		대표	오 경 근

| 탄소중립 기술혁신 추진전략 | 10대 핵심기술 개발 방향

발 행 일	2021년 9월
발 행 인	김 종 남
발 행 처	한국에너지기술연구원
주 소	(34129) 대전시 유성구 가정로 152
디 자 인	레드포인트
인 쇄	신광사

본 보고서는 www.ctpp.re.kr 에서도 보실 수 있습니다.
무단 전재 및 복사를 금합니다.