

2023년도
에너지기술개발사업
연구개발과제기획보고서

신재생에너지핵심기술개발
- 태양광 -

무단 전재 및 재배포 금지

한국에너지기술평가원의 허락 없이 본 문서를 온라인 사이트 등에 무단 게재, 전재하거나 유포할 수 없습니다.

제3자의 기획보고서 및 관련자료의 재 활용 시 따를 수 있는 책임소재는 한국에너지기술평가원에 없음을 알려드립니다.

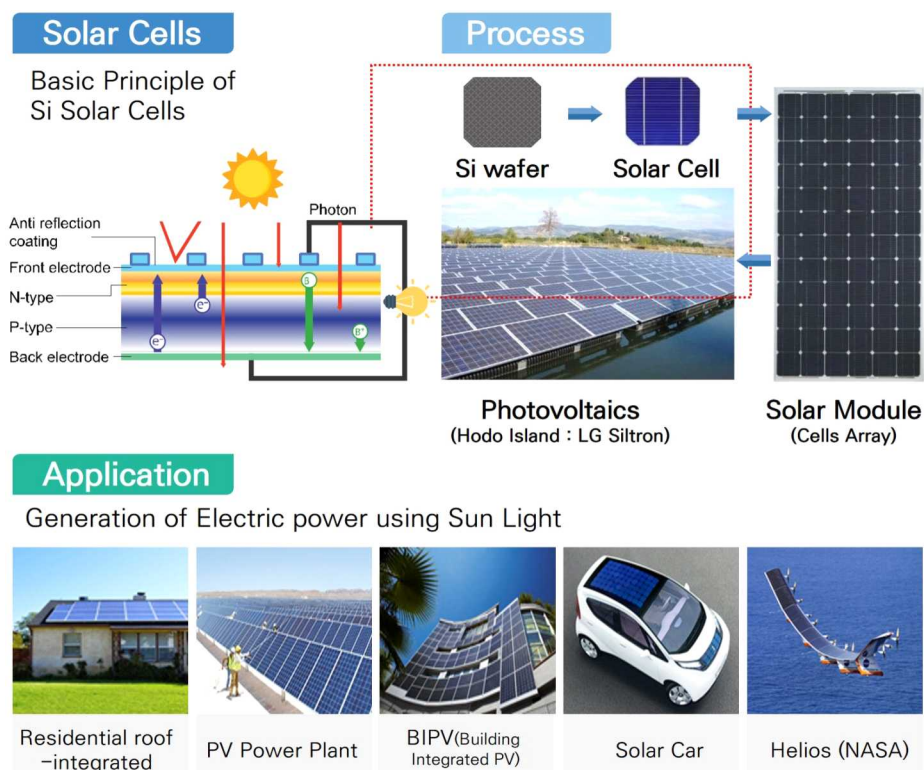
목 차

I . 동향분석	1
1. 개 요	
2. 산업·기술동향	
3. 특허동향	
4. 표준화동향	
5. 정부R&D 지원현황	
6. 시사점	
II . 기획대상연구개발과제 도출	29
1. 연구개발과제기획방향	
2. 개발위험 관리방안	
3. 기획연구개발과제 기술개요서	

1. 개 요

□ 개 념

- 태양광 발전 시스템은 태양광을 흡수하여 광기전력 효과를 통해 전기를 생산하는 장치로, 태양전지(셀), 모듈, 인버터, BOS 등으로 구성
- 태양광 산업은 소재/셀/모듈 및 태양광 발전 시스템과 직접적으로 관련된 분야뿐만 아니라 장비·설계·시공·운영·모니터링 등 태양광 발전 시스템 기반 기술을 포함한 종합엔지니어링 기술 산업임

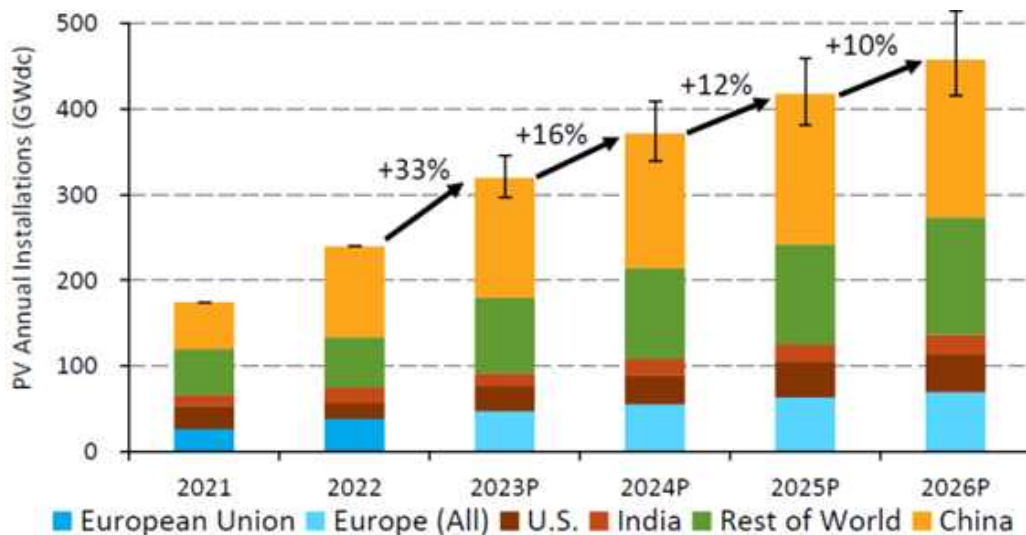


- 동 사업은 태양광 발전 시스템을 구성하는 소재-부품-장비-시스템 등의 성능을 개선하고 가격을 낮추는 데 필요한 기술과 태양광 발전 시스템을 활용한 에너지 융합기술을 개발하는 것을 목표로 함
- 「태양광 R&D 혁신전략(20.9)」과 「탄소중립 에너지기술 로드맵(21.12)」에 근거, 고효율·신시장·단가저감·순환경제·수용성제고 분야 집중 투자

- 태양광 산업은 역사적으로 고효율, 저원가화 및 규모 경쟁을 기반으로 성장해 왔으며, 특히 새로운 산업형 고효율 태양전지 기술의 등장과 양산 기술 고도화로 산업의 성장이 더욱 가속화되었음
- 탠덤 태양전지는 결정질 실리콘 태양전지 위에 페로브스카이트 박막 태양전지를 적층하여 다양한 파장의 광 이용률을 극대화한 구조
 - 국내외 태양전지 제조기업들은 기존 실리콘 산업 인프라를 최대한 활용하면서 고효율의 장점을 최대한 살리고 장수명과 제조단가의 약점을 극복할 수 있는 탠덤 태양전지를 차세대 전지 중 가장 유망한 후보로 전망
- 후면전극(back contact) 태양전지는 모든 금속 전극을 태양전지 후면에 구현하여 태양전지의 유효면적을 최대화할 수 있는 태양전지 구조
 - 복잡한 공정과 높은 제조단가로 인해 시장에 진입하지는 못하였으나 높은 효율과 심미성, 낮은 온도계수 등의 장점을 보유하고 있으며, 최근 확대되는 n형 TOPCon과 HJT 태양전지를 활용한 후면전극 태양전지가 차세대 결정질 실리콘 태양광 기술로 기대 중
- 태양광 모듈의 전주기 탄소배출량을 산출하기 위한 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)는 태양광 모듈 제조부터 수명 종료까지 시스템 전체 수명주기 내 재료 및 에너지 관련 배출량을 정량화하여 산출
 - 원 소재 및 제품생산에 소비되는 전력의 탈탄소화가 탄소배출량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석

□ 주요 이슈

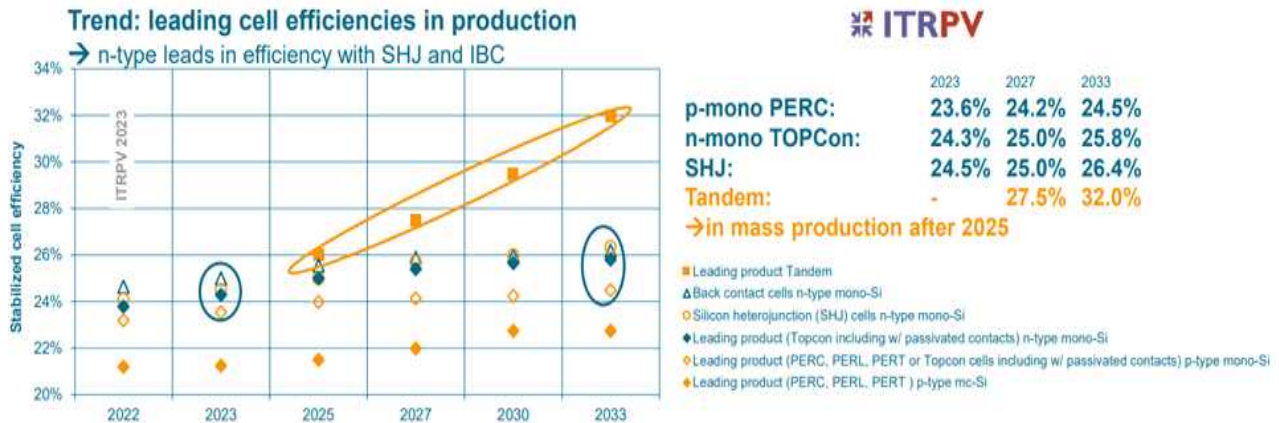
- '23년 글로벌 태양광 수요는 전년(240GW) 대비 33% 증가한 320GW, '25년까지 글로벌 연간 수요 400GW 돌파할 것으로 전망
- '23년 글로벌 에너지 투자 총액 2.8조 달러의 13.6%인 3,800억 달러가 태양광 분야에 투자될 것으로 예상



[그림] 글로벌 태양광 설치 전망
(출처 : NREL, 2022)

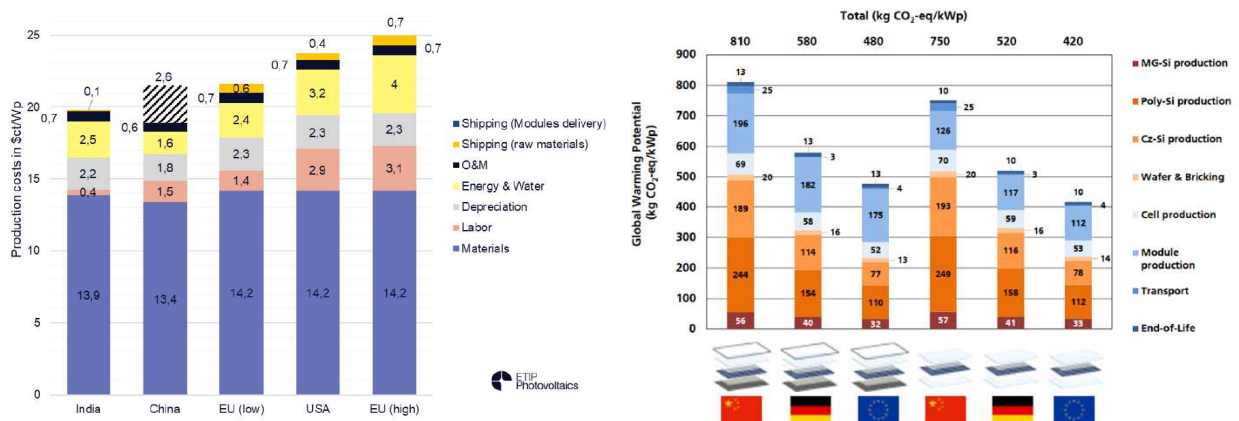
- 지속되는 기후 위기와 우크라이나-러시아 전쟁 등 국제적 이슈로 인해 세계 각국은 탄소배출량 저감과 단기적인 에너지 자립도 확보를 위해 재생에너지로의 전환정책을 빠르게 추진 중
- 전통적인 에너지원들의 급작스러운 LCOE 상승과 각국의 재생에너지 지원 정책으로 인해 글로벌 태양광 수요는 지속적으로 증가하고 있으며, 공급자가 태양광 모듈의 가격을 결정할 수 있는 환경으로 변모하고 있음
- 미국의 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act) 통과에 따라 태양광 수요 지원과 생산설비 확보로 미국 내 태양광 수요가 대폭 확대될 전망
- 유럽은 최근 급등한 에너지 비용을 낮추고 러시아산 석유·가스에 대한 의존도에서 독립하기 위해 재생에너지 비중을 확대하는 'REpowerEU' 계획을 발표하고, 관련 산업 지원을 위한 그린딜 산업 계획(Green Deal Industrial Plan)과 넷제로산업법(Net Zero Industrial Act)을 제안하여 유럽 내 태양광 생산설비 투자 점차 증가 중

- 태양광 주요 국가들은 차세대 태양광 기술로 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양광을 주목하고 있으며, '22년 소면적 탠덤 태양전지 효율 30%를 돌파한 후 '23년 33.7%를 달성하며 기술개발 가속화
- 獨 ITRPV는 탠덤 태양전지 양산 시기를 '26년에서 '25년으로 앞당겨 전망



[그림] 태양전지 기술별 양산효율 전망
(출처 : ITRPV 2023)

- 그간 태양광발전은 기존의 화석연료를 사용한 발전 시스템을 대체하면서 감축되는 온실가스 배출량을 강조하였으나, 최근 태양광 보급 확대로 폐모듈이 급증하면서 최종 처리를 포함한 전주기 탄소배출량에 주목
- 상대적으로 청정한 전력망으로 인해 유럽산 태양광 모듈 제품은 중국산 태양광 모듈은 대비 제조단가가 15~33% 높지만, 전주기 탄소배출량은 40%가량 더 낮은 것으로 분석

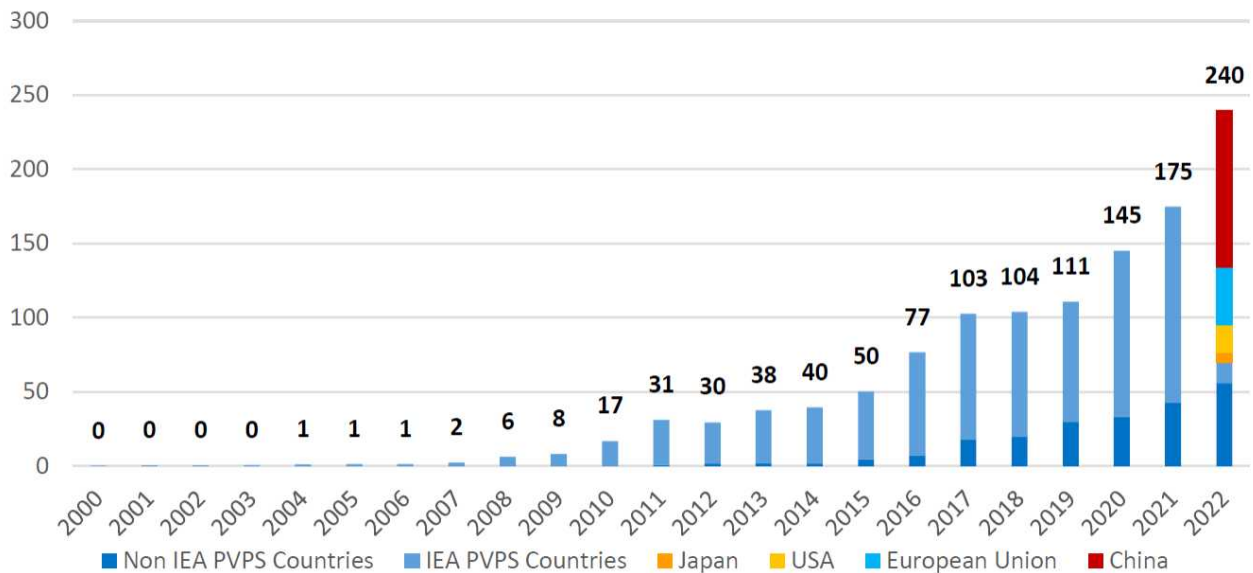


[그림] 지역별 태양광 제조단가(좌) 및 생애주기에 따른 탄소배출량(우)
(출처 : ETIP Photovoltaic, 2023)

2. 산업·기술 동향

□ 해외 동향

- 전 세계적인 탄소중립 정책과 에너지 안보 강화 기조에 따라 태양광 보급 확산 지속, '22년 태양광 신규 보급 용량 240GW를 달성하여 누적 보급 용량 1.2TW 돌파



[그림] 연도별 태양광 신규 보급 용량(GWp)
(출처 : IEA PVPs, 2023)

- 현재 태양광 산업의 주류 기술인 PERC 태양전지는 효율 한계치에 도달함에 따라 기존의 결정질 실리콘 산업을 활용하는 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양광 기술개발 및 투자가 확대되고 있음
 - 美 DOE는 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 및 모듈 개발을 위해 MIT와 CU Boulder에 각각 900만 불 지원 발표
- 지속적인 차세대 태양전지 기술에 대한 투자로 인해 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 R&D 성과가 연이어 발표되는 중
 - '22.7월 스위스 로잔공대(EPEL)에서 효율 31.25%를 달성한 후, '22.12월 獨 베를린공대(HZB)가 32.5%를 기록하였으며, 사우디아라비아 KAUST가 '23.4월 33.2%, '23.5월 33.7% 효율을 발표하며 세계 최고효율 갱신
 - 獨 Oxford PV는 M4 웨이퍼 기반 28.6%, M6 기반 26.8% 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지를 발표함

- 현재까지 페로브스카이트 단일 접합 태양전지는 용액공정 기반으로 개발, 상용 규모의 대면적 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 제조공정 및 설비 개발은 전혀 없는 상태임
- 상업용 페로브스카이트 광 흡수층, ETL/HTL에 대한 최적화된 공정 기술, 설비, 소재/부품 개발이 필요
- 결정질 실리콘 태양광 분야에서는 효율 향상을 위해 n형 웨이퍼 기반의 TOPCon(양산 한계효율 28.7%)과 HJT 태양전지(양산 한계효율 28.5%)의 기술개발 및 투자가 주목받고 있음
- 향후 TOPCon 및 HJT 태양전지의 업그레이드를 위해서는 각각의 후면 전극 기술을 적용한 TBC 및 HBC 기술이 주목받고 있으며, 미국, 유럽 및 중국기업 중심으로 R&D 및 모듈 출시 중
 - 中 LONGi Solar는 M6 기반 HJT 후면전극(HBC) 태양전지효율 26.8% 달성하여 상용 태양전지 세계 최고효율 등극
 - 中 Aiko solar는 M10 기반 n형 후면전극 ABC(All Back Contact) 태양전지 효율 26.5% 달성 및 세계 최고 24% 효율의 후면전극 모듈 발표
 - 中 SPIC은 M10 기반 n형 TOPCon 후면전극(TBC) 태양광 모듈(23.4%) 발표
 - 네덜란드의 TNO는 HJT 셀과 MWT(Metal Wrap-Through) 모듈 기술을 접목하여 고출력 모듈을 개발하는 Whooper 프로젝트 수행
- 태양광 모듈 전주기 탄소배출량 저감을 위한 친환경 저탄소 소재 개발 및 폐모듈 재활용 관련 기술개발 활발히 진행 중
 - 佛 CEA-Liten은 다이아몬드 와이어를 사용하는 태양광 폐모듈 재활용 방식과 100% 재활용 가능 바이오 기반 태양광 모듈 개발
 - 佛 CEA-INES에서는 박형(130 μ m) 웨이퍼와 비불소계 열가소성 봉지재·백시트, 얇은 유리(2mm), 목재 프레임 등 유럽산 소재·부품을 사용하여 n형 HJT 모듈(22.9%, 566Wp) 전주기 탄소배출량 317kgCO₂eq/kWp 달성 홍보
 - 利 Coveme, 美 Endurans, 中 Cybrid 등 친환경 재활용을 고려한 PET, PP 등 활용한 비 불소수지 및 저탄소 백시트 개발 활발

□ 국내 동향

- Solar Power Europe(2022.03) 보고서에 따르면, 국내는 '26년까지 지속적으로 연간 17%씩 태양광 시장이 확대될 것으로 전망
 - 우리나라 BIPV 시장은 2020년 1억 1,000만 달러에서 연평균 성장률 21.19%로 증가하여, 2026년에는 3억 6,000만 달러에 이를 것으로 전망
- '22년 국내 태양광 보급 실적은 전년 대비 소폭 감소하여 3.1GW로 잠정 집계되었으며, '23년에도 감소할 것으로 전망
- 고려대학교와 한국화학연구원에서 용액공정을 이용한 소면적 페로브스카이트 태양전지로 25% 이상의 고효율 태양전지를 발표한 이래 '22.12월 UNIST에서 효율 25.8%로 최고효율을 자체 갱신함
- 한화솔루션은 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 효율 29.3% 달성을 발표하였으며, '26년 하반기 양산을 목표로 탠덤 태양전지 및 모듈 파일럿 라인 구축 계획을 발표
- LG전자는 자체적으로 IBC 태양광 모듈(22.1%)을 개발하여 출시하였으나 '22년 사업 철수, 한화솔루션과 현대에너지솔루션은 과거 국가연구개발사업 지원을 통해 후면전극형 태양전지 기술개발
- 국산 태양광 산업의 경우, 대부분의 소재·장비를 대부분 중국으로부터 수입하고 있어, 전주기 탄소배출량 분석 시 중국과 비슷한 수준으로 예측
- '23년 한국에너지공단에 표준배출량 산정방식으로 탄소검증 신청한 태양광 모듈 제품의 평균 탄소배출량은 658.26kgCO₂eq/kWp이며, 웨이퍼 두께가 140μm인 모듈 제품의 평균 탄소배출량은 672.31kgCO₂eq/kWp
- '23.1월 국정현안관계장관회의를 통해 태양광 폐패널 재활용·재사용률을 제고하고 환경성보장제(EcoAS) 사전관리 대상에 포함하는 “태양광 폐패널 관리 강화방안” 심의·확정
 - 연간 폐모듈 발생량은 '20년 37.4t, '21년 261t, '22년 150t, '25년 1천223t, '32년 9천632t 증가 전망(재사용 비율 0%일 경우), 공공기관은 환경성보장제 적격 모듈을 사용하도록 하는 등 재활용이 쉬운 모듈을 생산하도록 유도

3. 특허 동향

(1) 차세대 탠덤 상부셀용 전식공정과 소재를 적용한 MW급 장비 개발

□ 국내/외 트렌드

- 페로브스카이트 탠덤과 관련된 특허는 전 세계적으로 1,430건이며, 그중 미국 640건(45%), 유럽 149건(10%), 일본 284건(20%), 중국 11건(0.7%) 및 국내 72건(5%)을 차지
- 이 중 증착법과 관련된 특허는 전 세계 1,065건으로, 이중 미국 542건, 유럽 118건, 일본 116건, 한국 30건을 차지함



□ 해외 동향

- (미국) 탠덤형 페로브스카이트 태양전지 제작 및 이를 위한 상부 또는 하부셀의 특성과 관련된 특허가 417건으로 가장 많으며, 소자의 직,병렬 연결 또는 배선 구조와 관련 있는 119건의 특허를 확인함. 이외 안정성을 위한 태양전지, 하이브리드 강유전성 디스크틱 태양광 전지와 같은 특허가 공개됨
- 증착 장비 및 기술과 관련된 특허로는 저압 화학 기상 증착 시스템과

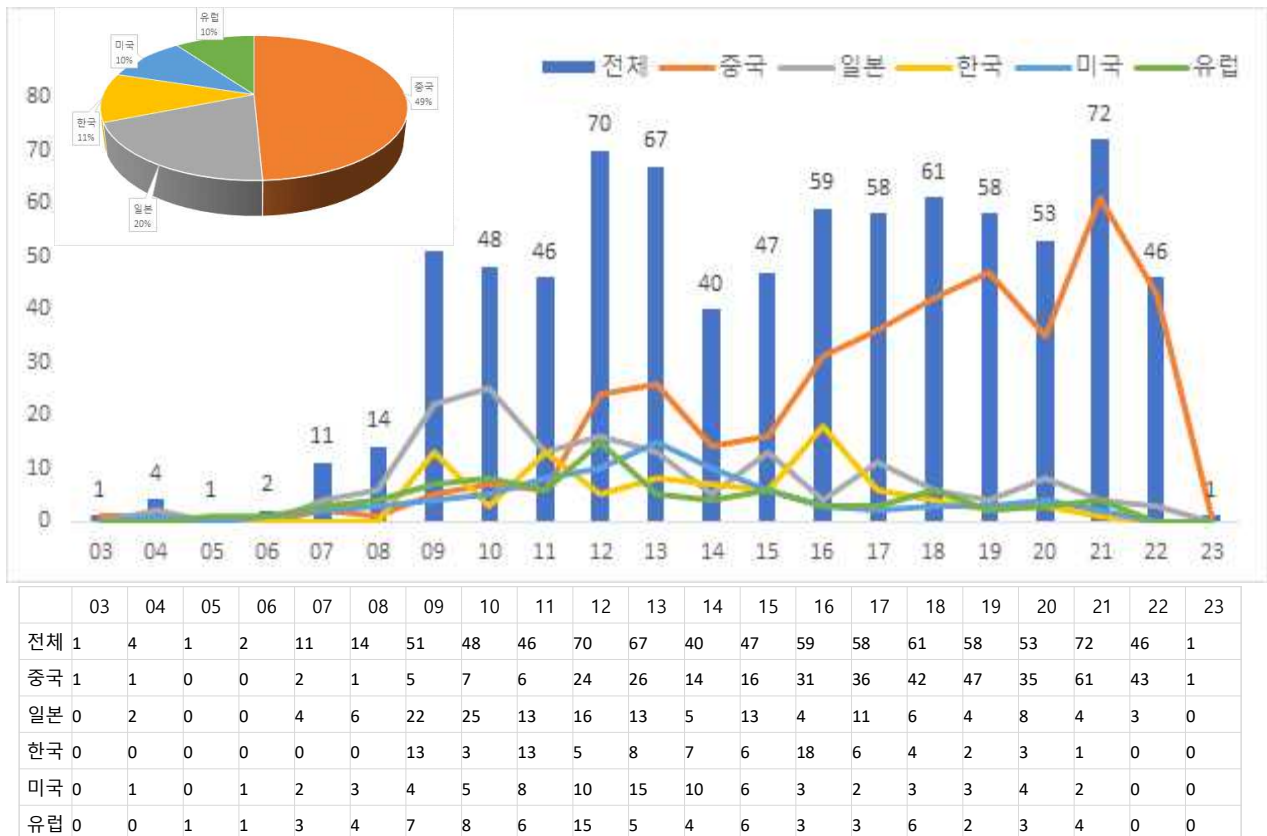
방법, 다중 소스를 이용한 시스템과 증착법, 나노 합금 제작을 위한 레이저 어블레이션 시스템과 방법, 변경이 가능한 멀티 소스 증기 증착법 등이 확인됨.

- (유럽) 탠덤형 태양전지 및 적층 구조 제작 방법과 관련된 특허가 103건으로 가장 많으며, 전지 및 모듈 제작 방법과 관련 있는 특허가 14건 확인
 - 물 전기 분해와 관련된 특허 1건 및 투명 광기전성 패널을 갖는 차량 지붕 구조 특허 1건 등이 제작법 및 태양전지 적용 특허로 확인됨
- (일본) 탠덤형 페로브스카이트 물질 및 소자 제작 일반에 관한 특허가 116건으로 가장 많으며, 이 중 모듈제작과 관련된 특허가 28건
 - 저압 화학 기상 성장법, 멀티 소스를 이용한 제조 시스템 및 방법 및 페로브스카이트 진공 증착법에 대한 특허가 공개되어 있음
- (국내) 탠덤형 페로브스카이트 물질 제조 및 소자 제작법에 관련된 특허가 30건, 소자 안정성, 유기 나노 물질 제조 및 응용과 관련된 특허가 5건
 - 탠덤형 증착 기술과 관련하여 11건의 특허가 있으며 저압 화학 증착법, 화합물 막의 후처리 방법, 광처리 단계를 포함하는 태양전지 제작 방법, 진공 챔버 시스템 및 방법 등

(2) 박막 패시베이션 기반 고효율 후면전극 결정질 실리콘 태양전지 기술 개발

□ 국내외 트렌드

- 전 세계적으로 중국(49%), 일본(20%), 한국(11%), 미국(10%), 유럽10%) 순으로 특허 출원 비중을 차지



□ 해외 동향

- (중국) MWT 태양전지 구조 또는 제조 기술, IBC 후면접합 태양전지 구조 또는 제조 기술, HBC 태양전지 구조 또는 제조 기술, TBC 태양전지 구조 또는 제조 기술, EWT 태양전지 구조 또는 제조 기술 관련 특허가 다수 출원
- * MWT 태양전지 구조 또는 제조 기술(148건), IBC 후면 접합 태양전지 구조 또는 제조 기술(113건), HBC 태양전지 구조 또는 제조 기술(40건), TBC 태양전지 구조 또는 제조 기술(9건), EWT 태양전지 구조 또는 제조 기술(5건) 순
- (일본) 배선 시트 부착 후면전극형 태양전지 모듈 제조 기술, IBC 태양

전지 제조 기술, EWT 태양전지 제조 기술, 페로브스카이트형 화합물을 이용한 태양전지 모듈 기술 관련 특허가 출원됨

- * 배선 시트 부착 후면전극형 태양전지 모듈 제조 기술(43건), EWT 태양전지 구조 기술(3건), IBC 태양전지 제조 기술(1건), 페로브스카이트 모듈 기술(1건) 순
- (미국) IBC 후면접합 태양전지 구조 또는 제조 기술, MWT 태양전지 구조 또는 제조 기술, EWT 태양전지 구조 또는 제조 기술 관련 특허가 다수 출원
- * IBC 후면접합 태양전지 구조 또는 제조 기술(54건), MWT 태양전지 구조 또는 제조 기술(22건), EWT 태양전지 구조 또는 제조 기술(3건) 순
- (유럽) MWT 태양전지 구조 또는 제조 기술, IBC 후면접합 태양전지 구조 또는 제조 기술, TBC 태양전지 구조 또는 제조 기술, EWT 태양전지 구조 또는 제조 기술, HBC 태양전지 구조 또는 제조 기술 관련 특허가 다수 출원
- * MWT 태양전지 구조 또는 제조 기술(20건), IBC 후면접합 태양전지 구조 또는 제조 기술(16건), TBC 태양전지 구조 또는 제조 기술(9건), EWT 태양전지 구조 또는 제조 기술(6건), HBC 태양전지 구조 또는 제조 기술(1건) 순

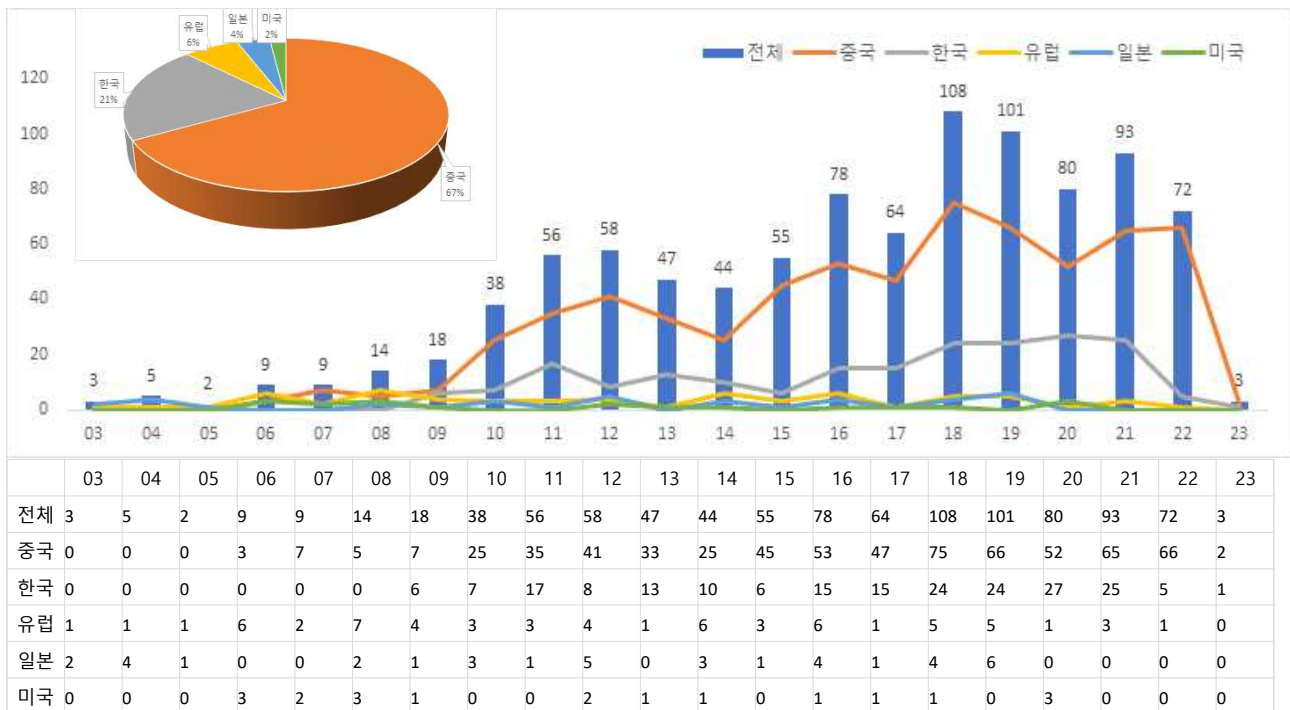
□ 국내 동향

- 후면전극 태양전지 제조 기술, 후면접합 태양전지 제조 기술, MWT형 양면수광 태양전지 제조 기술, EWT 태양전지 기판용 실리콘 박막 제조 기술, 탠덤 페로브스카이트형 태양광 모듈 소자 기술 관련 특허 출원
- * 후면전극 태양전지 제조 기술(34건), 후면접합 태양전지 제조기술(9건), MWT형 양면수광 태양전지 제조 기술(5건), EWT 태양전지 기판용 실리콘 박막 제조기술(4건), 탠덤 페로브스카이트형 태양광 모듈 소자 기술(1건) 순

(3) 탄소배출이 적고 재활용이 용이한 모듈 소재 및 공정 기술개발

□ 국내외 트렌드

- 전 세계적으로 중국(67%), 한국(21%), 유럽(6%), 일본(4%), 미국(2%) 순으로 특허 출원 비중을 차지



□ 해외 동향

- (중국) 폐태양광 모듈로부터 기계적 분리 또는 분쇄에 의한 태양광 모듈 해체 또는 실리콘 회수 기술, 열분해를 이용한 폐태양광 회수 기술, 화학적 에칭을 이용한 태양광 모듈 회수 기술, 태양광 모듈에서 배터리 물질 분리 회수 기술, 태양광 실리콘 로드 폐수 재활용 공정 기술, 실리콘 웨이퍼로부터 은 회수 기술 관련 특허가 다수 출원
 - * 폐태양광 모듈로부터 기계적 분리 또는 분쇄에 의한 태양광 모듈 해체 또는 실리콘 회수 기술(25건), 열분해를 이용한 폐태양광 회수 기술(20건), 화학적 에칭을 이용한 태양광 모듈 회수 기술(13건), 태양광 모듈에서 배터리 물질 분리 회수 기술(10건), 실리콘 웨이퍼로부터 은 회수 기술(4건), 태양광 실리콘 로드 폐수 재활용 공정 기술(2건) 순
- (유럽) 기계적 방식에 의한 유리 기재의 분리 기술, 복합 처리(열처리와

초음파처리, 기계적 및 열적)를 재활용 기술, 열처리에 의한 실리콘과 유리의 분리 또는 열분해를 이용한 유기물 회수 기술, 열분해를 이용한 폐태양광 회수 기술, 화학적 식각에 의한 은 재활용 기술 관련 특허 출원

- * 기계적 방식에 의한 유리 기재의 분리 기술(3건), 복합 처리(열처리와 초음파처리, 기계적 및 열적)를 재활용기술(3건), 열처리에 의한 실리콘과 유리의 분리 기술(2건), 열분해를 이용한 유기물 회수 기술(2건), 열분해를 이용한 폐태양광 회수 기술(2건) 순

○ (일본) 폐태양광 모듈의 화학적 처리를 통한 Si 추출 기술, 가열에 의한 복합 부재의 분리로 유기물 회수하는 기술, 기계적 분쇄-열분해를 이용한 재활용 기술, 분리성이 향상된 태양전지용 백시트 제조, 발포제를 이용하여 발포 유리 제조 기술 관련 특허가 다수 출원

- * 화학적 처리에 의한 Si 추출 기술(5건), 가열에 의한 복합 부재의 분리에 의한 유기물 회수 기술(4건), 기계적 분쇄-열분해를 이용한 재활용(2건), 태양전지 모듈에서 수지제를 제거한 유기물 회수 기술(1건), 발포제를 이용하여 발포유리 제조 기술(1건), 분리성이 향상된 태양전지용 백시트 제조 기술(1건) 순

○ (미국) 화학적 처리 방식에 의한 Si 집진 회수, 유기물 회수, 은선 추출, 질산 열수 처리에 의한 폐태양광 셀 모듈의 재활용 기술, 황산 용매 침지와 초음파 조사로 실리콘 추출 기술 관련 특허가 출원

- * 염소화 프로세스에 의한 Si 집진 회수 기술(1건), 질산 열수 처리에 의한 폐태양광 셀 모듈의 재활용 기술(1건), 화학적 처리에 의한 유기물 회수 기술(1건), 황산 용매 침지와 초음파 조사로 실리콘 추출 기술(1건), 화학적 방식으로 은선 추출 기술(1건) 순

□ 국내 동향

○ 태양광 모듈 해체 기술, 태양광 폐패널로부터 실리콘 분말 회수 기술, 태양광 폐패널로부터 회수된 실리콘을 이용한 상압소결용 탄화규소분말 제조 기술, 태양광 폐패널의 화학적-기계적 식각 또는 기계적 공정을 이용한 물질 회수 기술, 폐실리콘 웨이퍼로부터 EVA 제거 기술, 폐태양광 패널의 파쇄 및 선별 기술 관련 특허가 다수 출원

- * 태양광 모듈 해체 기술(9건), 폐태양광 패널을 용융하여 실리콘 회수 기술(8건), 태양광 폐패널로부터 실리콘 분말 제조 기술(6건), 태양광 폐패널의 기계적 공정을 이용한 물질 회수 기술(3건), 화학용액을 이용한 금속 추출 기술(3건), 폐태양광 패널의 파쇄 및 선별 기술(2건) 순

4. 표준화 동향

□ 해외 동향

○ 전반적 동향

- 현재 태양광 분야 국제 표준화는 주로 전기기술 분야 국제표준기구인 International Electrotechnical Commission(IEC) 산하의 82번 Technical committee(TC)를 통해서 이루어지고 있음
- IEC TC82내에는 모듈(WG2), 시스템과 주변기기(WG3&6), 집광형 모듈(WG7), 셀(WG8), 구조체(WG9) Working Group이 구성되어 분업 및 협업하여 태양광 국제표준화를 추진하고 있음
- IEC에서는 현재 산업화가 완전히 이루어져 있고, 표준에 대한 수요가 많은 기술 분야에 대해서만 국제표준(International Standard, IS)을 제정하고 있으며, 아직까지 산업화가 완벽하지 않거나, 수요가 적은 분야는 국제표준 이전 단계인 기술 규격(Technical Specification, TS) 또는 기술보고서(Technical Report, TR) 형태의 가이드 문서를 제작하여 발표하고 있음
- 태양광발전 소자의 발전성능 측정 : 태양광발전 소자의 기본적인 발전성능 평가 기준은 IEC 60891 및 60904 시리즈 표준으로 정립이 되어가고 있음. 60904 시리즈 표준에서는 태양광발전 소자의 IV 특성곡선 및 분광응답도 측정 원리, 그리고 이러한 측정을 위해 요구되는 각종 시험 장비 및 기준 태양전지(reference solar cell)의 요구조건 등을 다루고 있으며, 지난 2017년에는 다중접합 소자의 IV 특성곡선 및 분광응답도 측정 원리가 정식으로 시리즈 표준에 포함되었음. 또한 최근에는 양면형 태양광발전 소자의 IV 특성곡선 측정법(TS 60904-1-2: 2019), 태양광 모듈에 대한 전계발광(electroluminescence; EL) 측정 방법(TS 60904-13:2018), 그리고 생산라인에서의 모듈 출력 평가 방법(TR 60904-14:2020) 등이 TR 및 TS 문서로 포함되었으며, 이 문서들은 수년간의 시범 사용기간을 거친 후 정식 표준으로의 편입 여부가 결정될 예정임
- 기타 집광형 태양광발전 소자의 발전성능 측정을 위한 평행 빔(collimated beam) 솔라시뮬레이터의 성능 요구조건 또한 60904 시리즈 편입을 전제로 표준화가 진행되고 있음

- 태양광발전 소자에 대한 기타 분석법 : 태양광발전 소자의 발전 성능 측정 이외에, 개발, 생산 및 설치 현장에서의 요구도가 높은 적외선 열화상(infrared thermography) 측정이나, PID(potential induced degradation) 측정, LID(light induced degradation) 측정, 그리고 LeTID(light and elevated temperature induced degradation) 측정 등과 같은 기타 분석법들 또한 표준화가 완료되었거나 진행되고 있으며, 이 중에서 PID 측정의 경우 태양광 모듈 성능인증을 위한 표준인 IEC 61215 최신판(61215-1:2021)에 내구성 시험 항목으로 추가되었음
- 언급된 분석법들에 대한 현재까지 표준화 진행 상황은 아래와 같음
 - a. 태양광 모듈 및 발전소에 대한 야외 적외선 열화상 측정(IEC TS 62446-3:2017)
 - b. 결정질 실리콘 태양광 모듈에 대한 PID 측정(IEC TS 62804-1:2015 & TS 62804-1-1:2020)
 - c. 박막 태양광 모듈에 대한 PID 측정(IEC TS 62804-2:2022)
 - d. 결정질 실리콘 셀에 대한 LID 측정(IEC 63202-1:2019)
 - e. 결정질 실리콘 셀 및 모듈에 대한 LeTID 측정(IEC TS 63202-4:2022 & TS 63342:2022)
- 태양광 모듈 성능인증 : 태양광 모듈에 대한 발전 및 내구성능 평가 표준인 IEC 61215시리즈 표준이 2021년 개정되어 IEC TS 62782:2016의 동적 기계적 하중 시험(dynamic mechanical load testing), IEC TS 62804-1:2015 & 62804-2:2022의 PID 열화 시험 및 IEC TS 62915:2018의 재시험 형식승인과 안전요건 시험방법 등이 추가되었으며, 유연 태양전지 및 양면형 모듈 관련 시험들이 포함되었고, Nominal Module Operating Test(NMOT) 측정 및 관련 성능시험은 삭제되었음
- 태양광 모듈 안전성 인증 : 태양광 모듈에 대한 안전성평가표준인 IEC 61730시리즈 표준의 2판(2nd edition)이 2016년 발간되었으며, 2판에서는 보다 높은 모듈 안전성을 확보하기 위하여 기존 1판 보다 전반적으로 시험이 강화되었음
- 부품 시험평가 : IEC 62788시리즈를 통하여 태양광 모듈의 부품과 소재로 사용되는 고분자기반 전면재료, 봉지재, edge seal 물질들의 열적, 기계적,

전기적 내구성 및 내후성을 평가하고, 이를 통해 부품의 성능과 안전성을 강화하려는 표준들이 개발되고 있음. 이 분야 표준 개발에는 국외 유명 소재 기업의 참여도가 높음. 아울러 최근에는 결정질 실리콘 셀 제조용 웨이퍼에 대한 전기적 요구조건 또한 표준화가 진행 중임(IEC TS 63371-1 Ed.1 진행 중)

- 소형 태양광 모듈: 휴대용, 모바일용, 차량 부착용 중/단기 수명의 태양 전지 모듈의 성능인증을 위해 2021년에 IEC TS 63163:2021 (Terrestrial photovoltaic (PV) modules for consumer products - Design qualification and type approval) 이 개발 완료되었음
- BIPV : 건물적용 태양광 모듈 및 시스템과 관련하여 2020년에 IEC 63092-1:2020(모듈)와 IEC 63092-2:2020(시스템) 표준 개발이 완료되었음
- 태양광 모듈 관련 기타 표준화 이슈 사항 : 최근 차량에 직접화된 VIPV(Vehicle Integrated PV) 태양광 모듈의 출시가 점차 늘어남에 따라, 곡면형 태양광 소자(curved PV devices)의 발전성능 측정 방법에 대한 표준화 요구가 점점 커지고 있으며, 이에 대한 표준화가 논의되고 있음
- 태양광발전 시스템 : 태양광발전 시스템과 관련한 표준화는 아래의 분야들을 중심으로 이루어지고 있음
 - a. 피뢰시스템 : 건물 태양광을 직격뢰, 유도뢰, 간접뢰로부터 보호
 - b. 신뢰성향상 : 태양광 시스템의 강력한 신뢰성을 위한 로드맵 수립
 - c. 신뢰성절차 : 성능, 이윤 창출, 사고사례 분석 및 보완을 위한 세부 가이드라인 수립
 - d. 시스템 모니터링 : 모니터링 기기와 계량법, 양면형 태양광, 센서 제원 추가
 - e. 시운전 : 시운전 절차, 필요문서, 검사방법 표준화
 - f. 설계요건 : 양면형 태양광 반영, 기존 표준과의 부합화 및 안전 강화
 - g. 특수설비용 태양광 : 건축물 내 특수설비용 태양광 요구사항 반영
 - h. 연간 발전량 예측 : 일반적인 야외발전소용 단면 태양광발전 모듈의 설치 환경에 따른 연간 발전량 예측 방법이 IEC 61853 시리즈로 표준화 되어있음. IEC 61853 시리즈 표준은 1편 - 4편 까지 총 4편으로 구성되어 있으며, 이 중에서 61853-1 및 61853-2는 연간 발전량

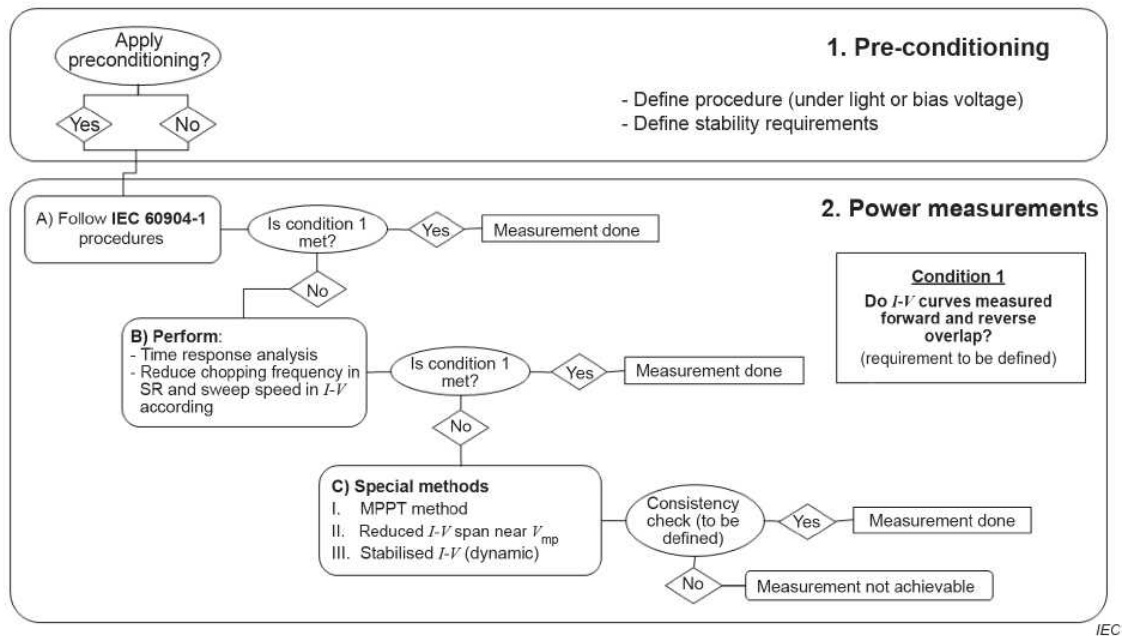
예측을 위한 모듈의 기본적 출력 특성, 태양광의 입사각도, 모듈의 동작 온도 및 분광응답도 등을 측정하는 방법을 다루고 있고, 61853-3과 61853-4는 발전량 예측을 위한 수학적 모델 및 표준 기후 데이터 세트 등을 제시하고 있음. 이러한 IEC 61853 시리즈 표준의 발전량 예측 방법론은 현재 다양한 상용 태양광 발전량 예측 소프트웨어들의 기본 틀이 되고 있으나, 아직까지 양면 모듈이나 BIPV 모듈 등에 대해서는 고려하고 있지 않기 때문에, 이에 대한 요구가 점점 커지고 있는 상황임

- 태양광발전 시스템 관련 기타 표준화 이슈 사항 : 교류 계통 연결 특성, 전계 발광시험 진단법, 플러그형 발전기, 수상 태양광, 태양광 구조물, 전자기적합성(EMC), 저압 태양광 시스템, 하이브리드 스위칭, 모듈 세정, PID(Potential Induced Degradation) 예방, IV곡선 추적 등

○ 탠덤 태양전지용 페로브스카이트

- 차세대 페로브스카이트 태양전지 장비 및 제조 기술의 경우, 셀 제조 기술 자체는 기관이나 기업의 고유 지재권이 인정되는 분야이기 때문에 표준화가 어려우나, 소자의 발전성능을 측정하는 부분에 대해서는 IEC 내에서 국제 표준화의 움직임이 있음
- 현재 IEC에서는 실리콘 및 III-V족 탠덤 태양전지의 IV 특성곡선과 분광응답도를 측정하는 방법에 대한 국제 표준화를 완료한 상태이며 (IEC 60904-1-1:2017과 60904-8-1:2017), 페로브스카이트 태양전지의 발전 성능 측정과 관련해서는 지난 2016년부터 IEC TC82 WG2 회의에서 신규 프로젝트가 시작되었음
- 신규로 시작된 페로브스카이트 태양전지 발전성능 측정 관련 프로젝트는, 아직 페로브스카이트 태양전지가 연구개발 단계에 있는 점을 감안하여, 정식 표준 대신 기술보고서인 TR을 만드는 것을 목표로 하였으며, 약 3년간 관련 학계와 연구계의 다양한 의견을 수렴하여 지난 2019년 IEC TR 63228:2019 (Measurement protocols for photovoltaic devices based on organic, dye-sensitized or perovskite materials)를 발표하였음
- 그러나 이 TR 단계 문서에 제시된 “페로브스카이트 태양전지를 준-안정상태(quasi steady state)에서 측정하기 위한 기준조건”에 대해서는

아직까지 논란이 있는 상황이며, 앞으로 페로브스카이트 태양전지 기술이 완성되어 감에 따라, 이 부분에 대해서 수정/보완이 필요한 상황임



[그림] IEC TR 63228 문서에 제시된 페로브스카이트 태양전지 소자의 광변환 효율 권장 측정 절차

- 언급된 페로브스카이트 태양전지 발전성능 측정 관련 TR 문서는 향후 수정/보완을 거쳐 TS 단계의 문서로 업그레이드될 예정이며, TS 문서가 발표된 이후에는 약 2-3년의 시험 사용기간을 거쳐 정식으로 국제표준이 될 수 있는 자격을 부여받게 됨
- 한편, 페로브스카이트 단일 접합 태양광 모듈 및 페로브스카이트 상부 셀 기반의 탠덤 태양전지 모듈에 대한 내구성인증이나 안정성인증과 관련된 표준화는 (아직까지 페로브스카이트 태양전지 기술이 산업화 이전 단계에 있기 때문에) 전혀 진행된 바가 없음. 다만 향후 페로브스카이트 태양전지 기술이 성숙되면, 기존의 결정질 실리콘 모듈 및 박막 모듈에 적용되던 IEC 61215 시리즈와 IEC 61730 시리즈 표준에 제시된 것과 유사한 수준의 시험을 요구받게 될 것으로 예상됨

○ 양면형 태양광발전 소자

- 최근 p형 PERC, n형 TOPCon, n형 HJT 등 결정질 실리콘 기반의 고효율 태양전지 기술은 대부분 양면형 태양전지를 기본으로 개발되고

있음. 이에 따라 양면형 태양광발전 소자에 대한 표준화 요구가 꾸준히 제기되어 왔으며, 현재는 어느 정도 국제 표준화가 진행된 상태임

- 양면형 태양광발전 소자에 대한 표준화는 크게 2가지 분야로 나누어서 진행되고 있는데, 하나는 발전성능 측정원리 부분이고, 다른 하나는 양면형 태양광 모듈의 설계적격성 판단 및 형식 승인을 위한 내구성 시험 부분임
- 양면형 태양광발전 소자의 발전성능 측정원리는 앞서도 언급했듯이 IEC TS 60904-1-2를 바탕으로 진행되고 있으며, TS 60904-1-2에서는 양면형 태양광발전 소자의 단면 발전량 및 단면효율 측정 방법과 이를 이용한 양면발전 계수(bifaciality) 계산, 그리고 후면 입사광에 의한 발전량 이득을 측정하는 방법 등이 포함되어 있음
- 현재 TS 60904-1-2는 지난 2019년에 발표된 Ed.1의 개정 주기가 돌아와서 개정이 진행 중에 있으며, 이와 맞물려, 지난 2010년경 중국의 주도로 조직되었던 WG8이 양면형 태양전지 셀에 대한 발전성능 측정부분을 떼어서 별도로 표준화하려는 움직임이 있음
- 양면형 태양광 모듈의 내구성 시험과 관련된 내용은 지난 2021년에 개정된 IEC 61215-1:2021 시리즈와 61215-2:2021에 유연 태양광모듈의 내구성 시험과 함께 포함이 되었으며, 그 주요 내용은 아래와 같음
 - a. 양면형 태양광 모듈 제조사에서 단면형 모듈 대비 발전량 이득을 명시할 수 있도록 함과 동시에 과도한 발전량 이득을 주장하는 것은 방지하기 위해서, 발전량 이득 측정의 기준이 되는 조사강도 조건을 정의하였음 (bifacial name plate irradiance; BNPI = 1000 W/m^2 front + 135 W/m^2 rear)
 - b. 양면형 태양광 모듈의 양면 발전으로 인한 동작전류 상승효과를 반영하여, 동작전류와 관련된 내구성 시험 시 기준이 되는 스트레스 조사강도를 정의하였으며 (bifacial stress irradiance; BSI = 1000 W/m^2 front + 300 W/m^2 rear), 양면형 태양광 모듈의 경우 온도싸이클 시험, 열점내구성 시험 및 바이패스 다이오드 내구성 시험 시 BSI 조건에서 생성되는 전류를 시험 기준으로 사용하여야 함
 - c. 양면형 태양광 모듈의 경우 UV 전처리 시험을 앞/뒷면 모두 수행해야 함
 - d. 양면형 태양광 모듈의 경우, 형식 승인을 위한 “초기 출력 대비 최종

출력의 감소율(Gate No.2)” 계산을 BNPI 기준으로 수행해야 함. 즉, 모든 내구성 시험 종료 후 BNPI 조사강도에서 측정한 최대출력이 시험 초기에 측정했던 값 대비 5% 이내로 감소해야, 시험에 통과할 수 있음

$$P_{\max}(\text{Lab_GateNo.2}) \geq 0,95 \times P_{\max}(\text{Lab_GateNo.1}) \cdot \left(1 - \frac{r[\%]}{100}\right)$$

[그림] IEC 61215-1:2021에 제시된 내구성 시험 후
 “초기 출력 대비 최종 출력의 감소율(Gate No.2)” 관계식
 r = 시험 전/후 Pmax 값 재현성(reproducibility)

○ 후면전극 태양전지

- 후면전극 태양전지의 경우, 외부 회로로 연결되는 양전극과 음전극이 모두 셀의 뒷면에 배열되는 구조를 가지고 있으며, 이러한 전극 구조는 기존의 일반적인 태양전지(즉, 셀의 전면에 핑거와 버스바를 조합하여 전극을 형성한 태양전지)에 비하여 정확한 발전성능 측정을 어렵게 함
- 아울러 후면전극 태양전지의 전극 구조는 각 기관이나 기업의 고유 지재권이 인정되는 분야이기 때문에 표준화가 어려우며, 따라서 후면전극 태양전지의 정확한 발전성능 측정을 위해서는 각 셀의 후면전극 구조에 맞춘 전용 측정지그를 함께 개발하거나 또는 단일 태양전지를 봉지한 미니모듈 형태의 시험편을 만들어서 측정을 수행해야함
- 다만 이렇게 전용 측정지그를 개발하거나 발전성능 측정용 미니모듈 시험편을 제작하는 경우, 발전성능의 측정원리 자체는 기존 IEC 60891 및 60904 시리즈 표준에 제시된 것을 그대로 사용할 수 있기 때문에, 후면전극 태양전지 발전성능 측정을 위한 별도의 추가적인 표준화가 필요하지는 않음
- 마찬가지로 후면전극 태양전지를 이용한 태양광발전 모듈의 장기신뢰성이나 안전성 인증 시험의 경우에도, 기존의 IEC 61215 시리즈 및 61730 시리즈 표준을 그대로 사용할 수 있기 때문에, 추가적인 표준화가 진행되고 있지는 않음

○ 태양광발전 모듈용 소재

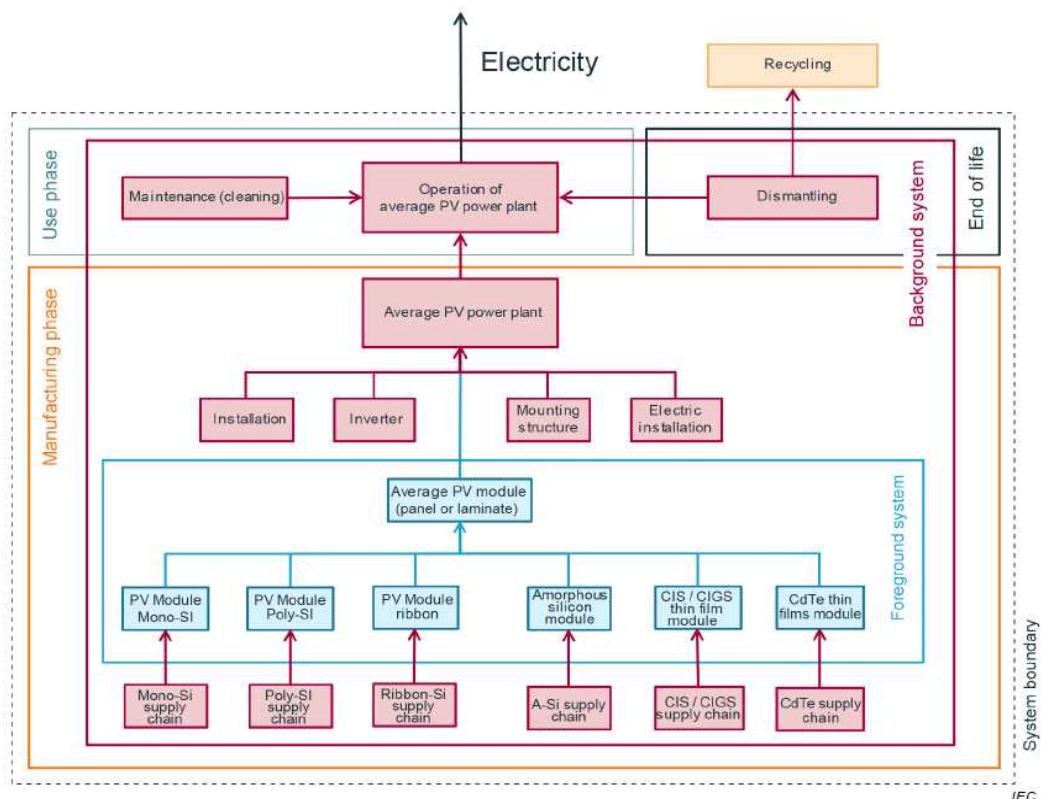
- 태양광발전 모듈용 소재와 관련된 표준화는 IEC 62788 (measurement procedures for materials used in photovoltaic modules) 시리즈를 통해

정립이 되어가고 있음

- 해당 시리즈 표준은 태양광발전 모듈에 사용되는 주요 소재들의 투습성(moisture permeation), 열에 의한 수축팽창 특성(change in linear dimensions), 투과도(optical transmittance), 황변 지수(yellowness index), UV 차단 파장(UV cut-off wavelength), 광학내구성(optical durability), 체적 저항(volume resistivity), 경화도(degree of cure), 접착성(adhesion) 등, 고유특성을 측정/평가하는 방법이나 필요한 경우 각 특성별 최소 요구조건 등을 다루고 있으며, 주요 내용은 아래와 같음
 - a. IEC 62788-1 (part1: encapsulant, 1-2, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7 등 하위 번호를 지정하여 봉지재용 소재들이 갖추어야 할 주요 특성 및 이들의 평가 방법 제시)
 - b. IEC TS 62788-2 (part2: polymeric materials - frontsheets and backsheets, 프론트시트와 백시트용 소재들이 갖추어야 할 주요 특성 및 이들의 평가 방법 제시)
 - c. IEC 62788-5 (part5: edge seals, 5-1 과 5-2(TS)의 하위 번호를 지정하여 테두리 밀봉재의 특성 평가방법 및 내구성 시험방법 제시)
 - d. IEC 62788-6 (part6: general tests, 6-2 와 6-3(TS)의 하위 번호를 지정하여 태양광발전 모듈에 사용되는 소재들의 투습성 평가방법 및 접착성 시험방법 제시)
 - e. IEC 62788-7 (part7: accelerated tests, 7-2(TS) 와 7-3의 하위 번호를 지정하여 태양광발전 모듈에 사용되는 소재들의 가속 내후성 시험방법 및 표면마모 시험방법을 제시)
- 언급된 바와 같이 태양광발전 모듈용 소재 분야의 표준화는 주로 모듈의 장기신뢰성이나 안전성 측면에서 각 소재들이 갖추어야 할 주요 특성 및 이들의 평가방법 위주로 진행되고 있으며, 아직까지 소재의 재활용이나 친환경성을 평가하기 위한 별도의 표준화는 진행되고 있지 않음
- 태양광발전의 환경, 보건 및 안전 위험성 평가
 - 지난 2019 년에 IEC TC82 WG2와 IEA PVPS Task 12의 협업을 통해서 태양광발전 모듈의 사용 전주기에 걸친 환경, 보건 및 안전 위험성 평가를 위한 IEC TS 62944:2019 (Photovoltaic (PV) modules through the life cycle - Environmental health and safety (EH&S) risk assessment -

General principles and nomenclature)가 제정되었으며, 이 문서는 향후 몇 년간의 시범 사용기간을 거쳐서 국제표준으로의 승격 여부가 결정될 예정이다

- 해당 기술규격서는 태양광발전 모듈에 대한 전주기 평가(LCA; Life Cycle Assessment) 방법과 환경 및 보건 위험성 평가(EHRA; Environmental and Health Risk Assessment) 방법, 그리고 이러한 분석을 토대로 「환경, 보건 및 안전 관리 시스템(EH&S management system)」을 구축하고자 할 때 지켜야 할 일반원칙 및 관련 절차들을 제시하고 있음



Processes of the foreground and background system are marked with blue and red colour, respectively (lighter coloured line and darker coloured line respectively for monochrome printed version).

[그림] IEC TS 62994:2019에 제시된 태양광발전 모듈을 이용한 전기 생산 체계

- 아울러서 2020년에는 IEC TS 62944:2019를 적용할 때 참고가 될 수 있도록, IEA PVPS Task 12에서 기술보고서(Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems) 및 팩트시트 (Fact sheet: Environmental life cycle assessment of electricity from PV systems)를 발간하였으며, 이를 통해 태양광발전 모듈에 대한 전주기 평가나 환경 및 보건 위험성 평가의 신뢰성 향상을 도모하고 있음

□ 국내 동향

○ 전반적 동향

- 큰 틀에서는 IEC와의 부합화를 따르고 있으나, 국내의 여건에 맞는 차별화된 표준화로 국내시장을 넘어서 국제표준을 선도하려는 기반이 다져지고 있음
- 현재 국내의 태양광 표준은 양면형 태양광 표준 IEC 부합화 및 고도화, KS C 8567 태양광 접속함 표준 고도화, KS C 8565 대용량태양광 인버터 인증영역 확대, 수상 태양광 및 영농형 태양광 확대·보급을 위한 KS C 8561 고내구성 친환경 태양광, KS C 8577 건물일체형 태양광(BIPV) 표준 고도화의 형태로 관련 연구 및 표준화가 이루어지고 있음
- 태양광 인버터 250kW 초과 제품은 수요처별 의뢰시험이 통용되고 있으나, KS인증제도 편입 예정
- 2020년 KS 8561 표준의 개정을 통하여 태양광 모듈의 최소 효율 등급을 적용하여 17.5% 이상의 모듈 효율에 대한 인증을 부여하기 시작하였음
- 태양광 모듈 안전성 인증 : 안전성 평가표준 IEC 61730시리즈 표준대응 국내 KS 표준이 있으나 아직 적용하지 않고 있음

○ 탠덤 태양전지용 페로브스카이트

- 차세대 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 측정에 대한 국내 표준은 아직 없는 실정이며, 그 바탕이 되는 탠덤 태양전지 측정이나 페로브스카이트 태양전지 측정에 대한 표준 또한 국내에는 없는 상황임
- 2020년 산업부 과제로 “차세대 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 효율측정 기술 국산화 개발” 연구가 진행 중이며 이 결과를 바탕으로 측정에 대한 IEC 및 KS 표준 제안이 진행될 것으로 판단됨
- 소재/장비/공정 기술은 기업활동 일부로서, 표준화 동향 없음
- 탠덤 태양전지의 효율 향상 및 안정성 확보에 따라 1~2년 내 국내 산업체에서 표준 및 인증제도에 대한 요구가 나타날 것으로 예상됨

○ 양면형 태양광발전 소자

- 양면형 태양광발전 소자와 관련된 국내의 표준화는 지난 2015 ~ 2017년

사이에 산업부 지원으로 수행된 “양면형 태양전지 및 태양광모듈 성능 검사 기반구축” 과제를 통해서, 양면형 태양광발전 소자의 발전성능 측정 부분에서 국내 표준안까지 마련이 되었었음

- 해당 국내 표준안 작성에는 당시에 IEC TS 60904-1-2:2019 제정을 위한 프로젝트 팀으로 참여하고 있던 국내 전문가들도 다수 참여하였기 때문에, 국제 부합화도 거의 완료되어있는 상태임
- 다만, 해당 국내 표준안 작성 이후, 국내의 양면형 태양광모듈 시험수요 부재와 국내 주요 제조사의 사업종료 등으로 인하여, 아직까지 정식 표준으로의 도입은 미루어지고 있음
- 아울러, 양면형 태양광모듈의 형식 승인을 위한 내구성 시험 부분에서는 아직까지 국내의 표준화 활동이 없으며, 지난 2021년 IEC에서 이 부분에 대한 국제 표준화가 이루어졌기 때문에, 향후 이에 대한 대응이 필요할 것으로 판단됨

○ 후면전극 태양전지

- 앞서서도 언급했듯이 후면전극 태양전지의 발전성능 측정 원리는 KS C IEC 60891 및 60904 시리즈 표준으로 대응이 가능하며, 후면전극 태양전지를 이용한 태양광발전 모듈의 장기신뢰성이나 안전성인증은 KS C 8561, 8562 및 8563 표준을 이용해서 대응이 가능하기 때문에, 국내에서도 해외와 마찬가지로 후면전극 태양전지만을 위한 별도의 표준화는 진행되고 있지 않음

○ 태양광발전 모듈용 소재

- 해외에서 태양광발전 모듈용 소재 분야의 표준화가 활발히 진행되고 있는 데 반하여, 아직까지 국내에서는 관련분야에 대한 독자적인 표준화 또는 IEC 표준에 대한 부합화가 진행되고 있지 않음
- 이는, 아직까지 국내의 태양광발전 모듈용 소재산업 규모가 작아서 관련 표준의 필요성이 대두되지 않기 때문인 것으로 판단됨

○ 태양광발전의 환경, 보건 및 안전 위험성 평가

- 태양광발전의 환경, 보건 및 안전 위험성 평가 분야도 아직까지 국내에서 태양광발전에 특화된 전용 표준화 움직임은 없으며, 다만 현재는

한국에너지공단이 운영하는 「태양광 모듈 탄소배출량 검증 신청」 제도에 신청하여 KS I ISO 14040 표준에 따른 전주기 평가(LCA)를 전문 평가기관을 통해서 받으면, 소정의 절차를 거쳐서 인정서를 발급받을 수는 있음

- 한편, 앞에서 언급한 국제표준 후보인 IEC TS 62944:2019의 경우, 지난 2014년 한국산업기술시험원(KTL)의 NWIP제안으로 프로젝트가 시작되었고 KTL의 다년간에 걸친 주도적 역할로 2019년에 발간된 것이기 때문에, 관련 표준에 대한 국내 수요가 생긴다면 IEC 표준에 대한 부합화는 국내에서도 바로 가능할 것으로 판단됨

5. 정부R&D 지원현황

□ 투자 동향

○ 신재생에너지핵심기술개발사업 태양광 분야 투자 동향

- '13~'22년 최근 10년간 6,567억원이 지원되었고, '22년에도 약 754억원 지원하여 지속적으로 투자 중

< 신재생에너지핵심기술개발사업의 태양광 분야 지원 내역 >

지원연도	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	합계
예산(억원)	636	597	513	558	593	672	729	717	798	754	6,567

□ 기술개발 현황

- 정부·민간의 지속적인 기술개발 노력을 통해 세계수준의 태양광 모듈 기술을 확보하였으나, 중국의 대규모 저가제품 공세에 따른 시장 위기를 극복하고자 태양광 모듈의 효율향상과 단가저감 기술 등 산업경쟁력 강화를 위한 기술개발 과제를 집중 지원 중
 - 현 시장 주력제품인 결정질 실리콘 분야 고효율, 단가저감, 소재장비 등 기술 경쟁력 강화를 위한 R&D 추진
 - 신소재 기반 차세대 태양광 모듈, 특수용도형 고부가 태양광 등 고부가 시장 진입을 위한 R&D 추진
 - 대면적 태양전지 핵심 소재·부품·장비 기술 확보를 위한 R&D 과제 지원
- 차세대 태양광 시장 선점을 위해 현 양산 제품의 한계효율인 23%를 극복하고 '30년 35% 효율 달성을 위한 차세대 전지 및 소재·장비 개발 추진
- **(태양광 R&D 혁신전략 발표)** '20년 9월 산업부는 차세대 선도기술 조기 확보를 위한 R&D 혁신전략을 발표하고 고효율·신시장·단가저감 3대 핵심 분야에 집중 투자하기로 발표
- **(탄소중립 에너지기술로드맵 발표)** '21년 12월 탄소중립 실현을 위해서, 태양광 R&D 혁신전략을 기반으로 합리적인 규제개선과 계통 유연성 확보 기술개발을 포함하는 중장기 로드맵 발표

비전

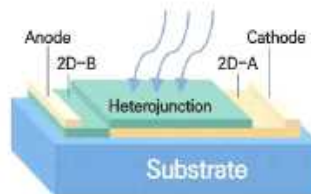
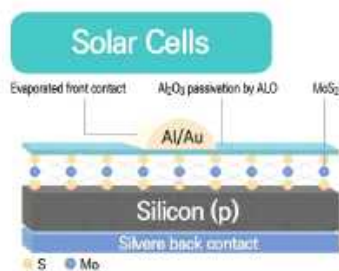
2050년 탄소중립 실현을 위한 태양광 발전의 안정적 전력공급 확대

목표

- ☑ 결정질실리콘 한계효율 극복 상용모듈 ('50) M6 크기 이상 모듈 36% 효율 달성
- ☑ 저단가 공정기술 및 제조공정 혁신 ('50) 모듈 제조단가 0.05\$/W
- ☑ 사용처 다변화 기술 ('50) 설비 이용률 영농, 수상 20%, BIPV 17%
- ☑ 저탄소 순환경제 구축 ('50) 모듈 재활용 100%
- ☑ 계통유연성 확보 및 규제개선 마련 ('50) 태양광 보급확대(400 GW이상) 기여



전략 방향



Application

Generation of Electric power using Sun Light



Residential roof-integrated



PV Power Plant



BIPV (Building Integrated PV)



Solar Car



Helios (NASA)



전략 방향



추진 전략

| 안정적 공급확대 |

- ☑ 기존 석탄발전 등 화석에너지 비중을 줄이고 태양광 발전을 안정적으로 확대, 공급함과 동시에 효율(출력)과 이용률(발전량)을 증가로 2050 탄소중립 달성
- ☑ 태양광 발전의 안정적 전력공급 확대를 위한 고효율 기술 혁신 및 공간 활용성 확보
 - 설치비용과 발전단가 저감을 위한 고효율 모듈 산업생태계 강화
 - 규제개선을 통한 태양광 적용처 확대
 - * 농지법 개정, 공유수면 적용 확대, 도로이격거리 통일화(예.100m), 자가소비 건물형 태양광 CDM 부여, 건축법 개정·건물형 태양광 의무사용, 리파워링 등
 - 태양광 적용처 확대를 위한 실증연구 강화
 - 디지털 기반 O&M 및 계통 안정화 기술개발

[그림] 태양광 분야 탄소중립 에너지기술로드맵 비전 및 목표

6. 시사점

□ 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 양산 핵심기술 개발 필요

- 차세대 태양전지 경쟁에서 우위 선점을 위한 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 공정 개발 필요
 - '28년까지 30%, '30년까지 35% 달성 및 모듈 효율 '30년까지 28% 달성을 위하여 우수한 전기·광학적 특성을 가지는 접합기술인 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양광 핵심기술 확보 추진 중
 - 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 양산 기반 기술이 전무한 상태에서 신속하게 차세대 태양전지 산업체계를 갖추기 위한 태양전지·모듈의 핵심 소재·부품·장비의 체계적인 개발 필요

□ 결정질 실리콘 태양전지 효율향상을 위한 후면전극 태양전지 기술 개발 필요

- n형 TOPCon 태양전지와 HJT 태양전지의 업그레이드된 후면전극 형태인 TBC와 HBC 태양전지의 경우에는 26% 이상의 태양전지 양산효율 달성 가능
- 결정질 실리콘 태양전지의 효율향상을 통한 국내산업 경쟁력 향상과 차세대 3T 탠덤 태양전지의 하부셀로 유망한 기술 발굴 목적으로 HBC와 TBC와 같은 산업 원천 기술개발 필요

□ 태양광 전주기 탄소배출량 파악 및 저탄소 태양광 모듈 개발 필요

- EU와 미국은 자국산 모듈의 가격경쟁력을 확보하기 위해서 수입 모듈에 대한 탄소국경세(CBAM) 부과방안에 긍정적이나, 한국 주요 소재 및 부품을 중국에 의존하고 있어서 전주기 탄소배출량 상대적으로 높음
- 향후 10년간 태양광 모듈의 제품경쟁력은 탄소발자국(carbon footprint) 기반 저탄소 전략에 의해서 결정될 전망, 기존의 모듈 소재를 친환경 소재로 대체하고 탄소배출 없이 분리하여 주요 자원을 효과적으로 회수하는 모듈 설계·소재·공정·재활용 기술개발 필요

II.

기획대상연구개발과제 도출

1. 연구개발과제기획 방향

□ 연구개발과제기획 기본방향

- 글로벌 태양광 시장에서의 국내기업 경쟁력 강화를 위해 차세대 고효율 태양전지 기술개발과 저탄소 태양광 순환경제 기술개발 지원

□ 신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	계
지정공모	-	-	-
품목지정	30.3	30	60.3
자유공모		-	-
계	30.3	30	60.3

□ 기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
건식공정 적용 탠덤 상부셀용 핵심소재 개발에 기반한 MW급 공동연구 장비 개발	차세대 탠덤 상부셀용 건식공정과 소재를 적용한 MW급 장비 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (소재부품장비 85대 핵심전략기술) 태양전지(셀) ○ (탄소중립) 재생에너지 ○ (새정부 국정과제) 태양광·풍력 산업 고도화 ○ (소부장 미래선도품목) 그린 에너지 건식공정용 페로브스카이트 소재 조기반영 <input type="checkbox"/> 산업기술 R&BD전략 <ul style="list-style-type: none"> ○ 태양광 R&D 혁신전략 “고효율 태양전지 개발” ○ 탄소중립 R&D 로드맵 “고효율 태양전지” ○ 신재생(태양광) 패키지모델 “산업생태계 활성화” <ul style="list-style-type: none"> - (박막형 고성능화 및 보급) 페로브스카이트 박막 대면적화, 장수명화 - (부품/소재/장비) 핵심 공정/장비 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Perovskite-Si 태양전지 제조용 ALD·CVD·Evaporation 장비 개발 ○ M10급 고재료효율 및 고생산성 페로브스카이트 태양전지 진공 증착기 개발 ○ 전 공정 진공 건식 증착 사용 대면적(M6급) 페로브스카이트 태양전지 모듈(셀) 제작 기술 ○ 페로브스카이트 기반 이중접합 태양전지용 봉지막 양산 소재·공정 개발
박막 패시베이션 기반 고효율 후면전극 결정질 실리콘 태양전지 기술개발	박막 패시베이션 기반 고효율 후면전극 결정질 실리콘 태양전지 기술개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (소재부품장비 85대 핵심전략기술) 태양전지(셀) ○ (탄소중립) 재생에너지 ○ (새정부 국정과제) 태양광·풍력 산업 고도화 <input type="checkbox"/> 산업기술 R&BD전략 <ul style="list-style-type: none"> ○ 태양광 R&D 혁신전략 “고효율 태양전지” ○ 탄소중립 R&D 로드맵 “고효율 태양전지” ○ 신재생(태양광) 패키지모델 “산업 생태계 활성화” <ul style="list-style-type: none"> - (결정질 고효율화) 양산효율 향상, 고출력 모듈
탄소배출없이 95% 이상 재활용이 가능한 친환경 모듈 소재와 공정 기술개발	탄소배출이 적고 재활용이 용이한 모듈 소재 및 공정 기술개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (제14회 국정현안관계장관회의) 태양광 폐패널 관리 강화방안 ○ (탄소중립) 재생에너지 ○ (새정부 국정과제) 태양광·풍력 산업 고도화 <input type="checkbox"/> 산업기술 R&BD전략 <ul style="list-style-type: none"> ○ 태양광 R&D 혁신전략 “신시장 신기술 창출” ○ 탄소중립 R&D 로드맵 “저탄소 순환경제 구축” ○ 신재생(태양광) 패키지모델 “국민 수용성 제고” <ul style="list-style-type: none"> - (안전 확보 기술) 친환경 설비 및 공정, 국민 건강 대응 - (보급 확대 기반) 폐모듈 재활용 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 리사이클링이 용이한(100% 재활용) 신개념 태양전지 모듈 기술 개발

2. 개발위험 관리방안

□ 기술개발 위험요인

- 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지의 양산기술은 아직 완전히 정립되지 않은 R&D단계에 있어 양산을 위한 건식기반 공정 기술 확립 필요
- M10, M12 웨이퍼를 사용한 태양전지는 국내기업에서 기술개발 중이므로 탠덤 태양전지 및 모듈의 개발·실증을 위해서는 국내기업이 시험 생산한 태양전지를 확보하거나 해외 제품을 구입하여 사용하여야 함
 - * 태양광기업공동활용연구센터 혹은 HJT, TOPCon 태양전지 양산기술 고도화 관련 신재생에너지 R&D 과제 주관연구개발기관과 협의하여 공급 가능
- 후면전극 태양전지의 전극 구조는 각 기관이나 기업의 고유 지재권이 인정되는 분야이기 때문에 표준화가 어려우며, 적절한 효율 평가 방법과 측정 장비가 확립되어 있지 않아 국내외 기관에 효율 평가 환경에 대한 사전 확인 및 검사 장비 구축 필요
- 후면전극 태양전지의 정확한 발전성능 측정을 위해서는 각 셀의 후면 전극 구조에 맞춘 전용 측정지그를 함께 개발하거나 또는 단일 태양 전지를 봉지한 미니모듈 형태의 시험편을 만들어서 측정을 수행해야 함
- 태양전지 관련 국내 공백 기술의 경우 필요시 해외 선도기관을 용역 기관으로 포함하여 기술을 확보하는 방안 필요
- 국산 태양광 모듈 제품의 경우, 폐모듈 처리 단계까지 고려한 LCA 분석이 이루어지지 않아, 상용모듈에 대한 LCA 분석 선행 필요

□ 사업화 애로사항

- 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지는 독일, 스위스 등 해외 기관에서도 투자가 확대되고 있어 핵심 특허, 표준 등 기술 선점이 필요
- 후면전극 태양전지의 경우, 다수의 중국기업이 기술개발 및 제품 출시 하고 있어 기존 특허에 대한 분석과 회피방안 제시 필요

- 포토리소그래피(photolithography)와 이온 임플란트(ion implant) 등 양산 공정 적용이 어려운 고가의 기술은 연구개발내용에서 제외 필요

□ 사회환경 위험요인

- 페로브스카이트 탠덤 태양전지에 필수적으로 사용되어야 하는 Pb는 장기적으로 모듈 폐기시 오염물질로 작용할 가능성이 있어 제거하거나 향후 폐기 방법에 대한 기술개발 혹은 제도 정비 필요함
- 기존의 폐모듈 재활용 방법은 열·화학적 처리로 인한 배기가스와 폐수 발생, 이를 저감하기 위한 소재 및 공정 개발 필요

□ 기술영향 검토

- 고효율 페로브스카이트/실리콘 탠덤 소자 개발을 통해 화석연료 기반의 사회에서 신재생에너지 기반의 사회로의 에너지 패러다임 변환을 가능케 하는 토대가 될 것이며, 또한 관련 기술 분야의 고급 인력 양성 및 일자리 확보가 가능할 것이라 예상됨
- 상업용 초고효율 탠덤 태양광 모듈의 상업화와 핵심 소재·부품·장비의 국산화 원천기술 확보를 통해 중국과의 가격 및 성능 경쟁에서 경쟁력 확보가 가능하며, 태양광 산업 가치사슬 강화 가능
- 향후 10년간 태양광 모듈의 제품경쟁력은 탄소발자국(carbon footprint) 기반 저탄소 전략에 의해서 결정될 전망이므로, 저탄소 태양광 핵심 소재와 공정 기술을 선점하면 미래 글로벌 태양광 시장에서의 국내기업 경쟁력 강화 가능함

3. 기획연구개발과제 기술개요서

[품목지정공모 (기술개요서)]

품목명 : 차세대 탠덤 상부셀용 건식공정과 소재를 적용한 MW급 장비 개발 ...	34
품목명 : 탄소배출이 적고 재활용이 용이한 모듈 소재 및 공정 기술개발	37
품목명 : 박막 패시베이션 기반 고효율 후면전극 결정질 실리콘 태양전지 기술 개발	39

'23년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2023-신재생-태양광-품목-1	
연구개발과제유형	원천기술형()	혁신제품형(○)
		실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	차세대 탠덤 상부셀용 건식공정과 소재를 적용한 MW급 장비 개발 (TRL : [시작] 5단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	<p>○ 향후 글로벌 태양광 시장에서 초격차를 확보 가능한 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 양산 기반 기술이 전무한 상태에서 신속하게 차세대 태양전지 산업체계를 갖추기 위한 태양전지·모듈의 핵심 소재·부품·장비의 체계적인 개발 필요</p> <p>○ 차세대 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 양산성을 증대시키고 기업 공동의 인프라에 적용하여 활용할 건식기반 페로브스카이트 상부셀 MW급 장비 개발 필요</p> <p>○ 고효율 탠덤 태양전지 제조를 위한 고품질 페로브스카이트 상부셀 박막 증착 장비와 열충격에 의한 페로브스카이트 열화를 최소화하기 위한 저온 전극을 위한 소재·공정·장비 개발이 동시에 이루어져야 함</p>	
2. 품목정의	<p><input type="checkbox"/> (최종목표) 고효율 페로브스카이트/결정질 실리콘 탠덤 태양전지 상용화를 위한 상부셀용 건식공정과 핵심소재를 적용한 MW급 공동연구 장비 개발</p> <p><input type="checkbox"/> (연구내용)</p> <p>○ (공통 사항) 대면적(M6(166mm) 이상), 고효율(초기효율 26% 이상) 탠덤 태양전지 제조를 위한 MW급 장비 개발(수율과 생산성, 전략특허 확보방안 제시)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기관이 보유한 실 제조(생산)라인에서 장비 구축 후 탠덤 태양전지(최고효율, 효율 분포, 재현성) 검증 가능 * 개발할 탠덤 태양전지 구조는 2단자(2T) 모놀리식(monolithic) 구조로 제한 * 웨이퍼를 프리컷(pre-cut)하여 제작된 하프셀(half-cell)도 하부셀로 적용가능한 장비설계 지향 * 연구개발계획서, 평가자료 등 컨소시엄이 제시하는 모든 셀 효율은 후방에서의 입사광·산란광·반사광을 제거한 전면 입사광 기준 측정이며, 측정기관과 측정면적을 포함한 측정방법을 명기해야 함, 과제목표 효율은 태양광 기업 공동활용 연구센터에서 측정 및 검증 필수 - 개발한 건식공정 장비로 제작한 페로브스카이트 태양전지 목표 제시 - 개발 장비는 과제 종료 시점까지 태양광 기업 공동활용 연구센터에 구축하여 다수의 기관이 활용할 수 있도록 해야 함 * 태양광 기업 공동활용 연구센터와 협의하여 장비 설치 및 셋업 비용을 사업비에 반영 가능 <p>○(장비1) 건식기반 페로브스카이트/ETL/HTL 상부셀 전구체 증착장비</p> <ul style="list-style-type: none"> - 건식공정용 전구체 공정 기술개발 - 건식공정용 전구체 소재 국산화 방안 제시 	

- MW급 대면적 건식기반 페로브스카이트 태양전지 증착장비 개발(CVD, PVD, ALD, Co-evaporation 등)
- 고품질 페로브스카이트 수광층, 전자·정공 수송층 대면적 균일도($\leq 5\%$) 확보 기술개발
- * 9지점 이상 측정값의 균일도 계산, 균일도(%) = $\frac{\text{최대값} - \text{최소값}}{2 \times \text{평균값}} \times 100$
- 페로브스카이트 수광층의 경우 필요시 습식장비도 혼용 개발 가능

○(장비2) 플라즈마 손상 최소화 상부셀 투명전극 증착장비

- 저가 투명전극 소재 국산화 방안 제시
- MW급 대면적 플라즈마 손상 최소화 투명전극 증착장비 개발
- 고품질 투명전극 대면적 균일도($\leq 3\%$) 확보 기술개발
- * 9지점 이상 측정값의 균일도 계산, 균일도(%) = $\frac{\text{최대값} - \text{최소값}}{2 \times \text{평균값}} \times 100$
- 고 투과도($\geq 92\%$) 및 저 저항(면저항 $\leq 80\Omega/\square$) 동시 확보 기술개발
- 플라즈마 손상 최소화 방안 및 평가지표 제시

○(장비3) 금속 그리드 미세패턴 장비

- 페로브스카이트 수광층 열손상 최소화를 위한 방안 및 평가지표 제시
- 전극 소재 국산화 방안 제시
- MW급 대면적 금속 그리드 미세패턴 형성 장비 개발
- 고 종횡비(aspect ratio), 저 접촉저항($5\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 이하), 저 선저항($1.0 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 이하)을 갖는 금속 그리드 미세선폭($35\mu\text{m}$ 이하) 기술개발

□ 개발위험 극복방안

- HJT, TOPCon 등 결정질 실리콘 하부셀은 개발내용에는 포함되지 않으며, 태양광 기업 공동활용 연구센터 혹은 HJT, TOPCon 태양전지 양산기술 고도화 관련 R&D과제 주관 연구개발기관과 협의하여 공급 가능
- 국내 공백기술의 경우 필요시 해외 선도기관을 용역기관으로 포함 가능
- 각 공정별 소재의 확보 및 국산화 방안 제시(기술개발 가능)
- 효율검증의 신뢰성 제고를 위하여 산업부 지원으로 국내공인시험 개발 중인 KIER나 KTL에서 효율 검증하고 NREL 등 국제공인 검증기관의 교차검증 필수
 - 교차검증이 진행되는 동안 샘플의 열화 여부를 확인하기 위해 다음의 절차 준수
 - ① KIER/KTL 측정 → ② 동일샘플 해외기관 측정 → ③ 동일샘플 KIER/KTL 재측정

□ 안전관리 사항

- 안전관리형 연구개발과제 여부 : 미해당
- 위험물질 취급 여부 : 미해당

※ 장비 도입, 반출, 운용시 작업자의 끼임이나 감기에 의한 사고나, 전기적 요인에 의한 감전·화재 사고, 공정용 가스나 반응성 화학물질의 누출에 의한 화재나 사고 등이 일어날 가능성이 있으므로 산업안전보건규칙 등 법규에 따른 안전관리를 철저히 하고 실험실 안전환경 및 작업자 안전사고 비상대응 매뉴얼 등 안전관리대책 수립

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 36개월 이내
(1차년도 정부지원연구개발비 : 30억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수
총 정부지원연구개발비 : 140억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 기업(중소·중견기업 참여 필수)
- 기타사항 :
 - 수행기관별 기존 수행연구와의 차별성(중복·유사성 회피 방안) 및 성과 극대화 방안 제시 필수
 - 기관별(대학은 연구실별) 사업계획서 1건 제출로 제한(사전 지원제외 가능)
 - 사업화 성과 제고를 위하여, 참여하는 기업들의 정부지원연구개발비 총합을 총 정부지원연구개발비의 70% 이상으로 구성 필수

'23년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2023-신재생-태양광-품목-2		
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형()	
		실증형()	
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()		
품목명	탄소배출이 적고 재활용이 용이한 모듈 소재 및 공정 기술개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 4단계)		
1. 지원필요성	<p>○ EU와 미국은 태양광 시장의 중국 의존도 낮추는 수단으로 자국산 모듈의 가격 경쟁력을 확보하기 위해서 수입 모듈에 대한 탄소국경세(CBAM) 부과방안에 긍정적</p> <p>○ 글로벌 모듈 소재의 대부분을 중국이 점유 중, 한국도 모듈 소재의 95% 이상 중국에 의존하고 있어서 한국산 모듈의 전주기 탄소배출량은 중국산 모듈과 비슷한 수준 * 중국산 모듈 소재 점유율('20) : 봉지재(90% 이상), 백시트(70% 이상), 유리(93%)(출처: TaiyangNews, '22)</p> <p>○ 향후 10년간 태양광 모듈의 제품경쟁력은 탄소발자국(carbon footprint) 기반 저탄소 전략에 의해서 결정될 전망, 기존의 모듈 소재를 친환경 소재로 대체하고 탄소배출 없이 분리하여 주요 자원을 효과적으로 회수하는 모듈 설계·소재·공정·재활용 기술개발 필요</p>		
2. 품목정의	<p><input type="checkbox"/> (최종목표) 전주기 탄소배출량 535kgCO₂eq/kWp* 이하 태양광 모듈 개발, 폐모듈 주요 유가금속 회수율 95%** 달성 * '23년 하반기 RPS 고정가격 입찰에 적용될 모듈의 탄소배출량 630kgCO₂eq/kWp(표준배출계수 기준) ** 유리, 구리, 실리콘, 알루미늄 등(업사이클링 포함, 무게 기준)</p> <p><input type="checkbox"/> (연구내용)</p> <p>○ 태양광 모듈 전주기 탄소배출량 산출 및 탄소배출 저감 기술개발 전략 제시</p> <ul style="list-style-type: none"> - 550W(웨이퍼 두께 140μm) 이상 상용 모듈의 전주기 탄소배출량을 산출하고 본 과제를 통해 개발한 모듈에 대한 탄소배출량 산출 및 저감량 평가 * 태양광 모듈의 전 생애주기(제조, 운송 및 폐기)에 대한 전과정평가방식(LCA)으로 탄소배출량 산출 - 전주기 탄소배출량 15% 저감을 위한 모듈 소재·생산공정·폐기 기술개발 전략 제시 <p>○ 저탄소 모듈 소재와 생산공정 기술개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 재활용이 용이한 구조를 갖는 저탄소 태양광 모듈 설계 및 소형 태양광 모듈 제작 * (예) 저탄소 모듈 소재(봉지재, (비불소계)백시트, 리본와이어, 가장자리 실란트 등) 개발 및 재활용이 용이한 모듈 공정 기술(유리-셀 접합, 셀-셀 연결, 정선박스 연결 방안 등)과 같은 모듈 설계·공정·장비 기술개발을 통한 태양광 모듈 전주기 탄소배출량 감소 기술 적용 * (모듈 조건) 130μm 이하 대면적(M10 이상) 웨이퍼 사용, 두께 2mm 이상 전면 강화유리 적용, 모듈 크기는 4셀 면적 이상(40cmX40cm 이상) * 태양전지는 개발하지 않고 국내외 수급 가능 - 모듈 성능과 KS 기준 장기신뢰성 등 품질 확보, 72셀 면적 기준 모듈 제조단가 목표 제시 		

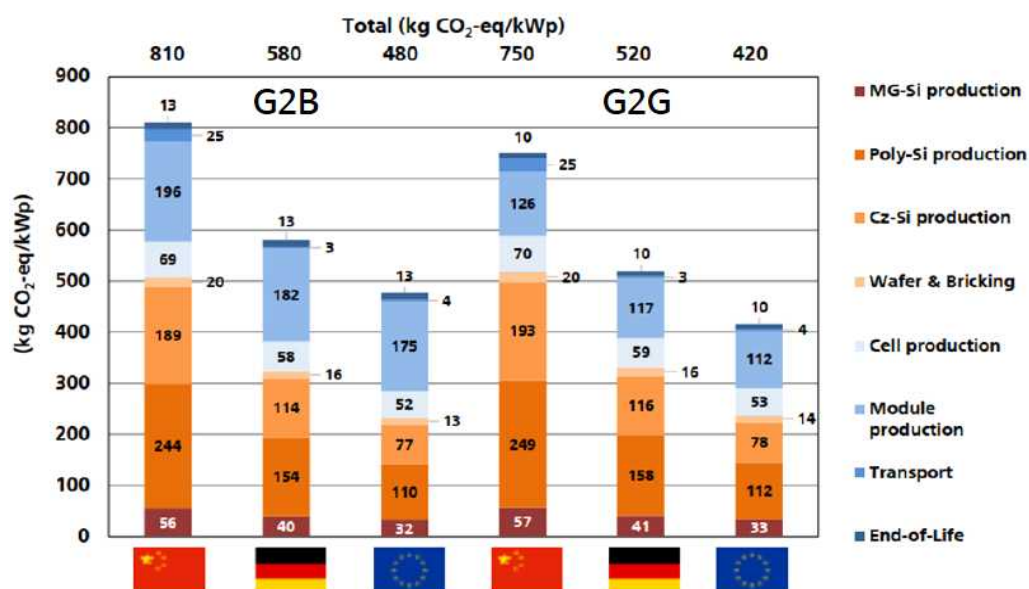
○ 개발한 모듈의 저탄소 재활용 공정 기술개발

- 유해가스/폐수 및 탄소 발생이 적은 재활용 공정* 기술개발
- * 유리, 태양전지, 정선박스 분리 및 유가금속 회수 등
- 유리, 구리, 실리콘, 알루미늄 등 주요 유가금속 회수율 증대 기술개발
- 은(Ag)의 경우 효율적인 회수 방안 제시
- 개발된 모듈의 재활용 경제성 확보방안 제시

□ 개발위험 극복방안

○ 태양광 모듈 LCA 분석 및 평가를 위한 기관 참여 또는 연구용역 추진 가능

- 태양광 모듈 LCA 분석은 제조부터 수명 종료까지 시스템 전체 수명주기 내 재료 및 에너지 관련 배출량을 정량화하여 산출



< 생산국별 태양광 모듈 수명단계별 탄소배출량 분석(출처: Fraunhofer ISE) >

□ 안전관리 사항

○ 안전관리형 연구개발과제 여부 : 미해당

○ 위험물질 취급 여부 : 미해당

3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 36개월 이내

(1차년도 정부지원연구개발비: 17억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수
총 정부지원연구개발비 : 47억원 내외)

○ 주관연구개발기관 : 비영리기관

○ 기타사항 :

- 수행기관별 기존 수행연구와의 차별성(중복·유사성 회피 방안) 및 성과 극대화 방안 제시 필수
- 기관별(대학은 연구실별) 사업계획서 1건 제출로 제한(사전 지원제외 가능)
- 기업이 공동연구개발기관에 반드시 포함되어야 하며, 특히 모듈 제조업체가 수요기업으로 참여해야 함(기업 참여가 없을 경우 사전지원제외 대상)

'23년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리 번호	2023-신재생-태양광-품목-3	
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형() 실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품 목 명	박막 패시베이션 기반 고효율 후면전극 결정질 실리콘 태양전지 기술개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 4단계)	
1. 지원필요성	<p>○ p형 PERC 태양전지가 글로벌 시장점유율 80% 이상을 차지하고 있으나 지속적인 기술개발을 통해 양산 한계효율(24.5%)에 근접, 효율 향상을 위하여 n형 TOPCon과 HJT 태양전지의 기술개발 및 투자가 주목받고 있음</p> <p>○ n형 TOPCon 태양전지와 HJT 태양전지의 업그레이드된 후면전극 형태인 TBC와 HBC 태양전지의 경우에는 26% 이상의 태양전지 양산효율 달성 가능</p> <p>* 태양전지 26.5% (n형 ABC, 중국 Aikosolar, M10), 26.8% (HPBC, 중국 LONGi Solar, M6)</p> <p>* 태양광 모듈 24.0% (n형 ABC, 중국 Aikosolar, 620W 제품), 23.6% (n형 TBC, 프랑스 Recom, 460W 제품), 23.4% (n형 TBC, 중국 SPIC, 460W 제품), 23.2% (HPBC, 중국 LONGi Solar, 600W 제품)</p> <p>○ 결정질 실리콘 태양전지의 효율 향상을 통한 국내산업 경쟁력 향상과 차세대 3T 탠덤 태양전지 하부셀로 유망한 기술 발굴 목적으로 HBC 또는 TBC 등 원천 기술개발 필요</p>	
2. 품목정의	<p><input type="checkbox"/> (최종목표) 고효율 박막 패시베이션 기반 후면전극(TBC 혹은 HBC) 태양전지 구조와 공정 기술개발</p> <p><input type="checkbox"/> (연구내용)</p> <p>○ 단결정 후면전극 태양전지 효율 26% 이상 달성(면적 2cmx2cm 이상)</p> <p>* 개발할 후면전극 태양전지 기술은 TBC와 HBC 중 1가지 선택하여 제시</p> <p>- TBC의 경우에는 폴리실리콘(poly-Si) 에미터 박막의 레이저 도핑 기술개발 필수</p> <p>- HBC의 경우에는 마스크(유리 및 금속)-프리(free) 후면 비정질 실리콘 도핑(p & n) 및 패터닝 기술개발 필수</p> <p>- 태양전지간 직렬연결(interconnection)과 제조단가를 고려한 전극물질과 구조 최적화</p> <p>○ 개발한 단결정 후면전극 태양전지 효율에 관한 이론 해석(numerical simulation)</p> <p>- Ray-tracing 기법 등을 적용한 정밀한 광학적 분석 필수</p> <p>○ 개발한 단결정 후면전극 태양전지의 KS 기준 장기신뢰성 분석</p> <p>- 개발한 후면전극 태양전지에 봉지 기법 적용(glass-to-glass 혹은 glass-to-backsheet) 후 광조사 시험, 고온고습시험(damp heat test), 온도사이클시험(thermal cycling test), 고온가습-동결시험(humidity freeze test) 실시(KS C 8561:2020 표준 기준)</p> <p>- 후면전극 태양전지 효율검증 및 장기신뢰성 분석 방안 제시</p> <p>○ 전략특허 및 핵심소재·장비 확보방안 제시</p>	

☐ 개발위험 극복방안

- 개발한 후면전극 태양전지의 정확한 광변환 효율 평가를 위해서, 셀의 후면전극 구조에 맞춘 전용 측정 지그(jig)를 제작하거나 단일 태양전지를 봉지 후 KOLAS 공인시험기관에서 효율 검증
- 포토리소그래피(photolithography)와 이온임플란트(ion implant) 등 양산공정 적용이 어려운 고가의 기술은 지양
- 국내 공백기술의 경우 필요시 해외 선도기관을 용역기관으로 포함 가능

☐ 안전관리 사항

- 안전관리형 연구개발과제 여부 : 미해당
- 위험물질 취급 여부 : 미해당

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 36개월 이내
(1차년도 정부지원연구개발비: 14억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수
총 정부지원연구개발비 : 35억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 비영리기관
- 기타사항 :
 - 수행기관별 기존 수행연구와의 차별성(중복·유사성 회피 방안) 및 성과 극대화 방안 제시 필수
 - 기관별(대학은 연구실별) 사업계획서 1건 제출로 제한(사전 지원제외 가능)
 - 기업이 공동연구개발기관에 반드시 포함되어야 함(수요기업 참여 가능하며, 기업 참여가 없을 경우 사전지원제외 대상)