

관리번호		2026-정보·융합기술-7- 품목공모-04		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형
					R	0	1
					원천연구	이론·기술의 정립 및 검증 (TRL 2~4)	일반연구개발
국가전략연구 기획평가전문분야		PM분야	정보·융합기술	RB분야	첨단 모빌리티 나노·소재	RB 세부분야	-
					나노·소재 기반기술		
사업명		미래개척융합과학기술개발사업 - 미래유망융합기술파이오니어(도전형)					
RFP명		우주 극한환경 대응형 결정성 광전소재 기반 AI 자율진화 태양전지 플랫폼 개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 4단계)					
지원 정보	지원기간	2026.07 ~ 2031.12		정부지원금	3,800백만원		
	1단계	2026.07 ~ 2027.12		1단계	600백만원		
	(1차년도)	(2026.07 ~ 2026.12)		(1차년도)	(200백만원)		
	2단계	2028.01 ~ 2029.12		2단계	1,600백만원		
	3단계	2030.01 ~ 2031.12		3단계	1,600백만원		
	주관기관유형	■ 제한없음 □ 대학/출연(연)/국공립연/특정연 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인					
	주관기관 외 필수참여기관	■ 제한없음 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인					
키워드	한글	우주용 태양전지, 결정성 광전소재, 다중 AI Agent, 합성 디지털 트윈, 극한환경 안정성 Space-Grade Solar Cells, Crystalline Photovoltaic Materials, Multi-Agent AI, Synthesis					
	영문	Digital Twin, Extreme Environment Stability					

1. 추진배경	
<p>○ 추진근거</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진) - 과학기술기본법 제17조(협동·융합연구개발의 촉진) - (국정과제 28) 세계를 선도할 넥스트(NEXT) 전략기술 육성 - 제4차 융합연구개발 활성화 기본계획('23.12) - 국가전략기술 육성에 관한 특별법 및 「국가전략기술 육성 기본계획(안)」, 「국가전략기술 체계고도화 방향(안)」 - 혁신적·도전적 R&D 육성 시스템 체계화 방안('24.03, 혁신도전형 R&D) <p>○ 세부 추진배경</p> <ul style="list-style-type: none"> - 뉴 스페이스(New Space) 시대가 도래함에 따라 우주 태양광 발전에 대한 글로벌 수요가 급속도로 높아지고 있음. 민간 중심의 대형 위성 군집(Constellation) 구축 및 대규모 우주 탐사 프로젝트가 활발해지면서, 우주 극한환경에서 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 태양전지의 중요성이 그 어느 때보다 증대된 상황임. - 하지만 기존 우주용 태양전지의 주류를 차지하던 III-V족 화합물 반도체 기반 소자는 제조 비용이 매우 고가일 뿐만 아니라, Ge, Ga, In 등 희토류의 글로벌 공급망 이슈 등과 맞물려 대량으로 수급하기가 점점 더 어려워지고 있음. 결과적으로 대규모 우주 미션을 지속 가능하게 뒷받침하기 위해서는 기존의 구조적·경제적 한계를 극복할 수 있는 차세대 우주 태양전지 소재 기술이 반드시 확보되어야 하는 시기임. - 이에 따라 우주 환경 특유의 고진공, 극심한 열사이클(Thermal Cycling), 그리고 강한 우주 방사선 	

등을 근본적으로 견뎌내며 장기적인 구조 안정성과 광전 변환 성능을 유지할 수 있는 무기 결정성 기반의 고안정성 소재를 개발하는 것이 핵심 과제로 대두됨. 지상의 효율 중심 평가 기준에서 탈피하여, 우주 환경에 최적화된 무기를 기반 차세대 우주 태양전지 제작 기술을 선제적으로 확보해야 하는 시점임.

- 그러나 이러한 무기물 기반 광전소재는 아직까지 상대적으로 선행 연구 개발이 많이 이루어지지 않은 초기 단계에 머물러 있음. 전구체 조성 및 열적 변수 등 공정 조건이 매우 복잡한 데다가, 막대한 비용과 장비가 소요되는 우주 극한환경 실험을 지상에서 완벽히 재현하고 스크리닝하는 것은 기존의 경험적인 접근만으로는 한계가 명확함.

- 이러한 공정 설계 및 데이터 공백의 한계를 돌파하기 위한 핵심 방법론으로 인공지능(AI) 기술을 전면에도입하고자 함. 물리적 합성 환경을 정밀하게 시뮬레이션하는 '합성 디지털 트윈(Digital Twin)'을 연계하여 가상 공간에서 공정 경로와 합성 성공 가능성을 사전에 예측하고, 후보 소재 탐색부터 물성 예측까지 전 과정을 자율적으로 담당하는 '다중 에이전트(Multi-Agent) 협업 체계'를 구축하여 무기물 기반 소재의 최적 합성 경로를 신속하게 도출하고자 함.

- 결과적으로 실제 무기물 합성 실험 데이터와 방사선·열사이클 등 우주극한환경 신뢰성 예측 데이터를 AI 모델에 지속적으로 피드백하는 자율 순환형(Closed-Loop) End-to-End 플랫폼을 지향함. 연구 개발이 다소 부족했던 무기 결정성 소재 중심의 우주용 태양전지 원천 기술을 최신 AI 방법론을 통해 빠르게 다지고, 관련 글로벌 기술 우위를 공고히 선점하고자 함.

○ 기획의 주안점

- 본 과제의 무기 결정성 광전소재는 결정성 무기 반도체뿐 아니라 결정성 유·무기 복합 광전소재를 포함하는 광의의 개념으로 정의함. 특정 소재군에 한정하지 않고, 우주 환경 적합성, 현장 제조 가능성 및 장기 신뢰성을 기준으로 유망 소재를 발굴하고자 함.
- 우주환경 실험은 비용과 시간이 크고 반복 수행이 제한되므로, AI 기반 후보 선별 및 실험 데이터 환류 체계 구축이 필수적임. 후보 발굴-합성경로 설계-물성 예측-신뢰성 평가를 연계하는 다중 AI Agent 기반 의사결정 체계 구축을 추진함.
- AI 및 Digital Twin의 실효성 확보를 위해 소재-공정-물성-환경 데이터를 통합하는 데이터 인프라 구축을 선행함. 비표준화된 소재 데이터를 자동 수집·표준화하고, 합성 조건-결과-환경 간 관계를 연결하는 Knowledge Graph 기반 플랫폼을 구축하여 학습 활용성을 높이고자 함.
- 합성 변수와 결과 간 관계를 정량화하고, 실험 및 우주환경 데이터를 지속 반영하는 Digital Twin 기반 공정 예측 체계를 구축함. 나아가 AI가 공정 변수를 능동 제어하고 최적 조건을 제안하는 AI 기반 자율 공정제어(AI-driven Process Control) 기술로 확장하여, 최소 실험으로 목표 물성을 구현하는 자율 제조 체계를 지향함.
- 결정성 광전소재는 열적 안정성, 낮은 휘발성 및 제조 적합성 측면에서 유망하나, 우주 극한환경에서 발생하는 결정상 변화, 결함 생성 및 계면 열화를 억제할 수 있는 소재-구조 설계 기술 확보가 필요함.
- 우주용 광전소자의 신뢰성은 두꺼운 봉지재 기반 수동적 보호보다 광흡수층·전하수송층·계면층 및 첨가제를 활용한 소재 내재형(Intrinsic) 안정화 기술 확보를 핵심으로 함. 봉지재·캡슐화 기술은 경량화와 현장 제조 한계로 인해 주요 연구범위에서 제외함.

2. 과제목표	
<p>○ 최종 목표 : AI-Digital Twin 기반 우주 극한환경 적응형 결정성 광전소재 및 고신뢰성 태양전지 개발</p> <p>○ 단계별 목표</p>	
1단계('26~'27)	<p>○ Agent별 학습 데이터·지식그래프 구축 및 후보탐색·합성경로설계·물성예측 agent 프로토타입 개발</p> <p>- (데이터·지식그래프) 소재 조성-구조-광전물성 DB 1,000종 이상, 합성</p>

			조건-결과 1,000쌍 이상 구축, 소재-공정-물성-환경 지식그래프 스키마 정의(노드 타입 5종 이상) - (Agent 프로토타입) 후보탐색(조성→광전물성·우주적합성 스크리닝, 밴드 갭 예측은 KPI 제외)·물성예측(소재→초기 물성) agent 프로토타입 개발 - (합성 예측) 합성 조건→성공·실패 예측 모델 분류 F1 0.8 이상, 후보탐색 추천 후보 실험 검증 일치율(hit rate) 30% 이상 ○ 우주용 태양전지 개발 - 우주용 태양전지 방사선 안정성: 열화율 20% (AM0 초기효율명시) - 우주용 태양전지 극한 열충격 안정성: 열화율 20% (AM0 초기효율명시) - 우주용 태양전지 진공 안정성: 열화율 15% (AM0 초기효율명시)				
2단계('28~'29)			○ 우주환경 노출 데이터 확장, 다중 AI agent 협업 구조 및 Digital Twin 고도화 - (데이터) 우주환경 노출(방사선·thermal·진공·UV·AO)-열화 데이터 추가, 자동 수집 파이프라인 1식 구축, 합성 조건-결과 누적 3,000쌍 이상 - (예측모델 고도화) 물성·안정성예측(환경→열화) R ² 0.9 이상+불확실도 정량화, 합성 Digital Twin(우주환경 변수 포함) 수율·물성 예측 R ² /F1 0.9 이상 - (협업 구조) 3개 agent+DT 통합 실험 우선순위 결정 협업 구조 1식 구현, 추천 후보 hit rate 50% 이상·실험 효율 5배 이상 개선 ○ 우주용 태양전지 개발 - 우주용 태양전지 방사선 안정성: 열화율 15% (AM0 초기효율명시) - 우주용 태양전지 극한 열충격 안정성: 열화율 15% (AM0 초기효율명시) - 우주용 태양전지 진공 안정성: 열화율 10% (AM0 초기효율명시)				
3단계('30~'31)			○ 자율 진화형 통합 플랫폼 완성 및 의사결정 agent 기반 자율 공정제어 실증 - (통합 플랫폼) 4개 agent-Digital Twin이 실험환경 데이터로 상호 학습·보정되는 End-to-End 플랫폼 완성(1식) - (자율 공정제어) 예측-실행 오차 반영해 다음 합성 조건 자동 제안·보정, 무인 페루프 10 사이클 이상 연속 수행 - (최종 KPI) 전 예측모델 정확도 R ² /F1 0.95 이상, 추천 후보 hit rate 70% 이상·실험 효율 5~20배 개선 ○ 우주용 태양전지 개발 - 우주용 태양전지 방사선 안정성: 열화율 5% (AM0 초기효율명시) - 우주용 태양전지 극한 열충격 안정성: 열화율 10% (AM0 초기효율명시) - 우주용 태양전지 진공 안정성: 열화율 5% (AM0 초기효율명시)				

3. 성과지표

○ 성과지표

항목			1단계	2단계	3단계 (최종 목표)	성과수준			비고
						국내 최고수준	세계 최고수준	기타	
필수	AI-Digital Twin	합성·열화 예측모델 정확도	합성 F1 ≥ 0.8	합성 F1-R ² ≥ 0.9, 열화 R ² ≥ 0.9	≥ 0.95 (양 모델)	-	합성분류 F1 0.90, 복합환경 열화 R ² 0.88		통과/추천 상위 10개
		AI 추천 후보 실험 검증 일치율	≥ 30%	≥ 50%	≥ 70%	-	단일모델 미보고		-
		다중 agent 통합 플랫폼·자율 공정제어	개별 agent 3종 프로토타입	협업 구조 1식	End-to-End 1식·무인 페루프 10사이	-	글로벌 초기 단계		-

극한 환경 안정성 지표	방사선 내구성 (열화율, %)	20%	15%	5%	-	5%	양성자(1 MeV, 10 ¹³ - 10 ¹⁴ cm ²)조사
	극한 온도순환 내구성 (열화율, %)	20%	15%	10%	-	-	열주기 300회 (-100°C~+100°C)
	진공 내구성 (열화율, %)	15%	10%	5%	-	5%	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷ torr에서 1000 hrs
	태양전지 효율 (%)	단계별 자율제시					AM0 조건 공인인증서 제출
자율	필수지표 외 우주 극한환경 안정성 지표	단계별 자율제시					
	논문/JCR 상위 10% 이내, 특허 기술이전 등	단계별 자율제시					

4. 특기사항

기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	<input checked="" type="checkbox"/> Y (혁신·미래소재/미래소재 및 설계·평가 플랫폼)	<input type="checkbox"/> N
		혁신도전형 R&D	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
		특허로 R&D(舊 IP-R&D)	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> N
		경쟁형 R&D	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
		보안과제	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> N
		기술료 징수	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
		3책5공 적용	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
		국제공동연구 의무	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> N
		지자체 예산매칭 의무	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> N
		DMP 수립·이행 의무	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
	ESG	<input type="checkbox"/> E(환경) <input type="checkbox"/> S(사회) <input type="checkbox"/> G(지배구조) <input checked="" type="checkbox"/> 해당없음		

○ (융합연구) 융합기술 분야의 연계성이 과제 연구목표 및 내용에 명확하게 적시 필수

○ 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 연구계획서 제출

○ 미개척 분야의 도전적 연구 주제에 대한 지속 가능성을 제시하고, 검증된 연구개발에 대한 활용성 스케일업 연구개발 지원을 위한 이중 이상 분야 융합 연구진 구성 권고

○ (경쟁형) 단계평가를 통해 2단계 계속 지원 여부를 결정

- 단계평가 시 과제책임자는 1단계 성과 및 2·3단계 계획을 바탕으로 과제 조정 제안 가능

- 차 단계 계속지원 과제의 경우 경쟁형중단 과제(경쟁기관)의 연구내용 및 방법, 연구기관(연구자) 등 일부 흡수 가능

- 평가위원회는 이를 고려하여 2단계 계속 지원 여부 결정 가능

※ 경쟁형 과제로 1단계 평가 후 2단계 진입 (RFP별 1개 과제 내외 계속지원 예정)

※ 평가 결과에 따른 과제중단 및 연구비 조정 가능

○ 본 사업은 데이터 관리계획(DMP) 제출을 의무화하여, 구축 데이터의 범위·공개 수준·활용 방안을 명시해야 하며, 과제 선정 및 단계/최종 평가 시 DMP 이행 여부를 주요 평가 항목으로 반영

○ 연차점검(필요 시) 및 단계평가를 통해 연차별·단계별 추진 현황 및 성과를 점검받고, 점검·평가추진위원회 의결에 따라 연구개발과제의 목표 및 내용, 과제 구성, 연구비, 계속 지원 여부 등 조정 가능