2027년도 미래개척융합과학기술개발사업 기술수요조사

- 미래유망융합기술파이오니어 -

□ 조사 개요

○ (목적) 「미래유망융합기술파이오니어사업」의 **혁신·도전적 R&D 지원 강화**를 위한 **신규 융합원천연구 수요 발굴 및 기획 연계**

- 국내 산·학·연 연구자 등을 대상으로 **2027년 신규 R&D과제 공모**에 **적합**하고 **유망**한 **연구 아이디어 발굴, 의견 수렴**

※ 기술수요 조사를 통해 접수된 아이디어, 의견은 사업 목적, 기술수요조사 분야 연관성 등을 종합 고려하여 신규 과제 기획 내용에 반영 또는 활용 가능

○ **(대상 분야) 차세대 핵심 기반 융합기술 5대 분야** 기반 미래유망융합기술파이오니어사업의 **지원유형별**(① 도전형, ② 유망신기술형) 기술수요 제시(별첨)

- **특기 사항** : ②**유망 신기술형**(2+3년)의 경우 2단계 **기업 참여 필수**

◈ **사업 개요**

○ **미래개척융합과학기술개발사업** : 다양한 기술·분야·주체 간 시너지를 통해 미래사회 패러다임을 바꿀 수 있는 핵심 원천기술 확보를 위한 창의·도전적 융합연구 지원

○ **미래유망융합기술파이오니어사업**(적용 대상사업) : 붙임1 참조

※ 관련: 제4차 융합연구개발 활성화 기본계획('23~'27), 차세대 핵심 기반 융합기술 도출(안)('26.10) 등

□ 제안 안내

○ **(작성 요령)** [별첨] 기술수요조사서 양식, **5페이지 내외 작성**

※ 작성 방법은 본 안내문 및 기술수요조사서 양식 참조

○ **(제출 방법)** 한국연구재단 기획마루 접수 (KRI 아이디로 접속)

※ 한국연구재단 기획마루(https://plan.nrf.re.kr)「특정 기술수요조사」제안 → <2027년도 미래개척융합과학기술개발사업(미래유망융합기술파이오니어) 기술수요조사 공시> 클릭 / 맥 os 이용 시 첨부파일이 업로드되지 않을 수 있음

○ **(접수 기간)** 2026. 11. 4.(수) ~ 11. 25.(수) 18시까지

※ 상기 일정은 접수 상황에 따라 연장 가능

○ 문의처

소속 및 부서	구분	성명	연락처	이메일
한국연구재단 정보·융합기술단	① 도전형	박철순 연구원	042-869-7838	cheolsoon.park @nrf.re.kr
	② 유망신기술형	한보경 연구원	042-869-7737	hbk @nrf.re.kr

□ [참고] 추진 절차 및 일정

기술수요 조사	➡	상세 기획	➡	RFP 도출
기술수요조사서 접수 (약 3주간)		제안 내용 적절성 검토 및 상세 기획보고서 작성 ('27.12월)		주제별 RFP 기획 ('27.12~1월)

➡	연구기관 공모	➡	선정 평가	➡	선정
	연구계획서 접수 ('27.1~2월)		서면 / 발표평가 ('27.2~3월)(예정)		신규과제 수행 연구기관 최종 선정 ('27.5월)(예정)

※ 추진 일정은 진행 상황에 따라 변동 가능

붙임 1 미래유망융합기술파이오니어사업 개요

□ 사업 개요

○ (목적) 미래 사회 변화 및 시장개척 효과가 큰 **미래유망 융합 신기술 분야 발굴 및 R&D 지원**을 통한 **원천기술 확보**

▪ 현재 기술로 해결이 어려운 임무에 대한 기술적 해결책을 제시할 수 있는 기술·집단 간 융합연구 과제 지원 (과기정통부 혁신도전형 사업 지정 사업)

○ (기간 및 예산) '08~계속 / '27년 91,050백만원

○ (지원 분야) **다양한 기술·분야·주체 간 시너지**를 통해 미래사회 변화 및 시장개척 효과가 큰 **12대 미래개척융합 분야*** 기반 **차세대 핵심 기반 융합기술 5대 분야****

* **인류**(건강수명·디지털 정신건강·인류생존·인구소멸), **사회**(사람-기계-디지털휴먼 공존·가상공간·사회안전망·모빌리티), **지구**(기후변화·에너지·환경·극한영역)

** **①광융합·포토닉스, ②초전도·극저온, ③플라즈마, ④열·계면 제어, ⑤극한·능동 물질**

□ 지원 유형

❶ 도전형

○ **(목적)** **미개척 분야**의 **도전적 연구 주제**에 대한 **지속 가능성**을 **제시**하고, 검증된 연구개발에 대한 **활용성 스케일업 연구개발 지원**

○ **(과제별 예산/기간)** 총 6년(2+2+2년) 내외, **(1단계)** 과제별 평균 4억 내외/년, **(2·3단계)** 과제별 평균 8억 내외/년

○ **(지원 분야)** 12대 미래개척융합 분야 **도전형 연구**

❷ 유망 신기술형

○ **(목적)** **10년 내 미래 신산업**을 **창출**하거나 **미래사회 패러다임**을 **근본적**으로 **전환**할 기업이 참여하는 **도전적 융합원천연구 지원**

○ **(과제별 예산/기간)** 총 5년(2+3년) 내외, **(1단계)** 과제별 평균 6억 내외/년, **(2단계)** 과제별 평균 12억 내외/년

- **학·연** 주도의 **도전적 연구 선행**(1단계) → **기업 참여 연구**(2단계)

○ **(지원 분야)** 12대 미래개척융합 분야 **시장창출형 新 융합원천기술**

붙임 2 차세대 핵심기반 융합기술 5대 분야(안)

◈ **성능 및 경제성**을 **제약**하는 **핵심 공통 병목**을 **해소**하여 국가 대형 프로젝트의 투자 확대가 **첨단기술·제품**의 **성능 혁신**과 **글로벌 시장 선점**으로 이어질 수 있도록 **5대 핵심 기반 융합 원천기술 도출**

5대 분야	분야 개념 및 분야별 기술개발 방향
광융합·포토닉스 	• 빛의 생성, 전달, 제어, 검출 기술을 활용해 정보를 주고받거나 계산하고, 정밀하게 측정하는 등 기존 방식의 성능을 높이는 기술 → **3대 메가 및 7대 시드 전 분야의 정보·연결·센싱 병목을 해결**
① 데이터 전송·연산 병목 해소	▸ 광·전자 집적과 병렬 처리로 데이터 전송속도·전력효율·집적도 향상
② 감지·측정 한계 극복	▸ 미세신호 검출로 로봇 인식·반도체 검사·바이오 분석 정확도 향상
③ 빛을 이용한 정밀제어·성능혁신	▸ 빛의 파장·방향·분포를 조절하여 미세가공·양자제어·측정 성능 향상
초전도·극저온 	• 전기저항이 사라지는 초전도 특성과 극저온 환경을 활용하여 강한 자기장과 저손실·고감도 작동을 구현하는 기술 → **양자, 핵융합, 고감도 센서의 극한 성능에 대한 병목을 개선**
① 강한 자기장의 안정적 구현	▸ 고자기장·대전류용 선재·자석 개발로 핵융합 플라즈마 가둠 성능 향상
② 미세신호 검출·확장성 향상	▸ 잡음을 줄이고 센서 신호를 동시에 읽어 고감도·대규모 측정 구현
③ 냉각 부담, 온도 불안정 해소	▸ 열 유입·진동·냉각전력 소모를 줄여 극저온 유지와 안정운전 지원
플라즈마 	• 전자·이온 등이 섞인 플라즈마의 상태와 반응을 제어하여 초미세 가공, 물질 변환, 핵융합 등에 활용하는 기술 → **반도체, 핵융합, 첨단 공급망의 공정 기술의 병목 해소**
① 미세화에 따른 가공 한계 극복	▸ 원자층 단위 가공으로 반도체 미세구조의 손상·결함·공정 편차 저감
② 고온 유지 및 안정화	▸ 플라즈마 실시간 제어로 공정 재현성과 핵융합 운전 안정성 향상
③ 선택적 반응 조절·제어	▸ 플라즈마 반응을 조절해 소재의 조성·구조·결함 제어와 균일성 확보
열·계면 제어 	• 소재 내부와 서로 맞닿는 면에서 열의 이동, 축적, 방출을 조절하여 기기의 적정 온도와 안정적인 작동을 유지하는 기술 → **모든 고출력 시스템의 성능, 안전, 수명·내구성 한계를 돌파**
① 고집적·고출력에 따른 과열억제	▸ 열 발생 지점을 직접 냉각하여 국부 과열 억제와 집적도·출력 향상
② 접합면 사이의 열 배출 병목해소	▸ 소재 접합면의 열저항을 줄여 칩·부품 내부의 열을 빠르게 배출
③ 높은 열부하에서 안정운전구현	▸ 적은 에너지로 열을 배출·이송하고 온도를 조절해 효율·안정성 향상
극한·능동 물질 	• 고온·저온·방사선 등 가혹한 환경을 견디거나, 빛·열·압력 등에 반응해 성질을 바꾸고 손상을 복구하는 소재 기술 → **우주, 핵융합, 바이오, 에너지의 HW 성능 한계를 극복**
① 가혹한 환경 내 성능 저하 억제	▸ 열·방사선·부식에도 강도·기능을 유지해 사용환경·수명 한계 극복
② 환경에 맞춘 기능 조절 구현	▸ 빛·열·전기로 형태·성질을 바꾸어 로봇·바이오 기기의 적응성 향상
③ 손상 누적과 기능 상실 극복	▸ 손상 감지와 균열·기능 복구로 성능 저하와 유지보수 부담 저감

1 광융합·포토닉스

□ 기술 개요

○ (개념) 빛을 활용해 **더 많은 정보**를 **더 적은 전력**으로 **전달**하고, **미세 변화**까지 **측정**하여 **데이터 전송**과 **정밀 관측**의 **한계**를 **극복**하는 기술

○ (**전략기술 연계성**) 반도체 및 AI DC의 **저전력 광연결**, 피지컬 AI의 **공간인지**, 바이오 **정밀 관측**, 양자의 **정보전달·연산 확장**의 기반

병목 영역	해결 방향		전략기술 적용 및 활용
데이터 전달 한계 극복	•빛으로 대용량 정보를 적은 전력으로 전달	➜	▸반도체·AI DC의 **데이터 이동 병목 해소** 및 **전력·발열 부담 완화**
정밀 인지·관측 구현	•빛으로 거리·형상과 미세 변화 정밀하게 측정	➜	▸피지컬 AI의 **공간인지**, 바이오 분야 **정밀 관측**, 양자의 **정보 연결** 지원
정밀 제어 및 다분야 성능 혁신	•광원·광소자·광집적회로를 다양한 분야에 융합	➜	▸여러 전략분야의 **연산·센싱·진단 성능 향상** 및 **새로운 제품** 구현

□ 연구 동향

국외

○ (**시장**) 초고속·저전력 데이터 전송을 위한 **첨단 광기술**로 **실리콘 포토닉스**, **포토닉 집적회로**, **양자**가 연 20% 이상, **바이오**는 연 10% 이상 **고성장 전망**

○ (**기술**) **전자·광 집적 기반 고속·저전력 정보전달, 광 기반 탐지·식별·관측, 생체 제어·측정** 기반 **광바이오** 등 **원천기술** 개발 확대 중

초고속·저전력 전송	• 빛과 반도체를 결합한 **광반도체·광연결 기술개발** 및 **제품 적용 확대 중**
정밀 관측·탐지	• 빛을 통해 **거리·형상·미세 변화**를 **측정** 및 **위험물 탐지·식별** 등 **광센싱**, **생체 내부, 우주** 등을 관찰하는 **광영상 원천기술 개발** 활발
성능혁신	• 빛에 반응하는 단백질을 세포에 도입하여 특정 **신경·세포의 활동을 빛으로 제어**하는 **광유전학 분야 연구**가 활발하며 **응용 연구로 확장 중**

○ (**정책**) 광기술을 반도체, 양자 등 **첨단기술 분야와 융합되는 공통 기반기술**로 **인식**하고 **연구-제조-실증** 등 **전략적 통합 지원 시작**

	미국	▸ OSTP에서 광융합기술을 차세대 반도체·컴퓨팅·국방기술의 공통 기반 및 미래 기술 병목을 해결할 핵심 신흥 분야 세부 기술로 선정(`26.8) ▸ AI·국방·양자산업과 연계하여 NIST와 DARPA를 중심으로 이종집적, 광컴퓨팅, 양자 광센서 및 대규모 광집적회로 연구 추진 지원 ☞ AIM Photonics 등을 통해 300㎜ 공정, PDK·MPW, 패키징·시험 및 인력양성 지원
	유럽	▸ 광기술을 기술주권과 전략적 자율성 확보 수단으로 육성 ☞ Horizon Europe의 Photonics Partnership과 Chips JU를 통해 광집적회로, 레이저 제조, 바이오포토닉스, 양자 포토닉스, 자동차·환경센서 등 R&D 지원
국내		○ (기술) **반도체 병목 해결** 등 **수요**가 큰 분야는 **민간 위주**로 추진, **광소자·나노광학** 등은 연구역량은 축적되었으나 **생태계**는 **초기** - 대학·출연연 중심으로 **실리콘 포토닉스, 메타 광학, 광센서, 양자 포토닉스, 바이오포토닉스** 등 **개별적 기초 수준 연구** 추진 ○ (정책) **법·정책**(`19) 등 **기반 조성 노력**을 해왔으나, 이미 **성숙된 제품·기술**을 넘어 **첨단기술 병목**을 해소할 **원천기술 발굴·지원 필요**

□ 핵심 분야 및 세부기술 예시(안)

※ 세부기술의 경우 단순 예시 기술이므로, 기술수요 제안시 자유롭게 기술 제시 요망

핵심 분야	세부기술 예시(안)
① 초고속·저전력 전송	• 광집적·광반도체
	• 광네트워크
② 정밀 관측·탐지	• 광센싱·정밀계측·탐지
	• 광영상·바이오 센싱
	• 광양자 센싱
③ 성능혁신	• 광AI·광연산
	• 메타포토닉스
	• 첨단 광원
	• 광유전학·생체제어

2 초전도·극저온

□ 기술 개요

○ (**개념**) 전기저항이 **사라지는 특성**과 **극저온 환경**을 활용해 **강한 자기장**을 구현하고 **미약신호 검출**과 **양자상태 유지 한계**를 **극복**하는 기술

○ (**전략기술 연계성**) 핵융합의 **강자기장 구현**, 양자의 **저잡음 연산**, 바이오의 **고감도 분석**, 우주 **미약신호**의 **고감도 관측 시스템**

병목 영역	돌파 방향		전략기술 적용 및 활용
강한 자기장 구현	•초전도를 활용하여 강한 자기장을 생성·제어	➜	▸**핵융합**의 고온 플라즈마를 가두고 안정적 운전 지원
저잡음·고감도 성능 확보	•매우 낮은 온도로 열에 의한 잡음, 방해 저감	➜	▸초전도 **양자** 상태 유지 및 **바이오·우주**의 **미약신호** 검출 지원
성능 및 안정성 확보	•초전도 소재·자석·냉각·보호기술을 연계	➜	▸**핵융합·양자시스템·정밀 분석** 장비의 **성능 확장** 및 **운전 신뢰성** 향상

□ 연구 동향

국외

○ (**시장**) 정밀 분석장비의 기존 수요에 **핵융합·양자컴퓨터** 등 **신규 수요 증대**로 초전도 선재·자석·극저온 냉각 기술의 기회 확대

○ (**기술**) **더 강한 자기장**, **더 낮은 잡음**, **더 큰 냉각 용량** 구현을 위한 초전도 소재, 자석, 극저온 제어·검출 기술의 융합연구 추진 중

강자기장 병목 돌파	• 고온초전도 선재와 자석 설계·보호기술을 결합하여 소형·고성능 핵융합 장치 구현 연구
저잡음 ·고감도 구현	• 극저온 냉각으로 검출기 자체 잡음을 줄이고, 양자소자 제어와 미약신호 관측 성능 향상 연구 추진
성능 및 안정성 확보	• 냉각·접합·전기적 연결·보호 기술을 실제 운전 조건에서 검증하여 대형 시스템의 신뢰성 향상 기술 개발

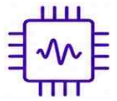
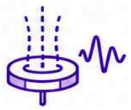
○ (**정책**) **핵융합, 양자**의 **성능 구현**에 필요한 **자석, 극저온 기술**을 지원하며 **공용 시험 시설**과 **산업 공급망 확충**을 병행

미국	▸DOE는 INFUSE를 통해 민간 핵융합 기업의 기술난제 해결을 지원 ▸기업과 국립연구소·대학을 연결해 기반기술의 시험·검증 역량 활용 ☞ '24년 17개 과제에 총 460만 달러 지원
영국	▸양자기술 확대를 위한 극저온 연구·시험 기반과 공급망 역량 강화 ☞ Daresbury 국가 극저온 시설에 5,120만 파운드 투자 발표('26) → 양자컴퓨팅 규모 확대를 위한 차세대 냉각 R&D 지원

국내	○ (기술) **초전도 자석·소자** 및 **냉각시스템**의 **기반 요소기술**은 **확보** - **핵융합, 양자** 분야에서 대형·고자장 **자석**의 **성능 유지**, 양자소자 **잡음·간섭 저감**, 장시간 **냉각 효율·안정성** 등 기술적 **병목 해결 필요** ○ (정부 R&D) **고온초전도 자석** 응용 분야(의료, 항공 등) 및 **시험설비 구축**을 지원 중이나, **기술 병목 돌파** 중심 **원천기술** 지원은 부족

□ 핵심 분야 및 세부기술 예시(안)

※ 세부기술의 경우 단순 예시 기술이므로, 기술수요 제안시 자유롭게 기술 제시 요망

핵심 분야		세부기술 예시(안)
① 강자기장 구현		• 초전도 소재·선재
		• 고자장 초전도 자석
		• 자석 보호·상태 진단
② 저잡음·고감도 구현		• 초전도 양자소자·회로
		• 고감도 초전도 검출
		• 차폐·극저온 제어회로
③ 성능 및 안정성 확보		• 고효율 극저온 냉각
		• 단열·열유입 제어
		• 저진동·고신뢰 운전

3 플라즈마

□ 기술 개요

○ (개념) 기체에서 분리된 전자와 이온의 움직임·반응을 제어하여 정밀 가공하거나, 핵융합에 필요한 고온 상태를 안정적으로 유지하는 기술

○ (전략기술 연계성) 반도체의 **원자수준 공정**, 핵융합 **안정적 운전**, 우주의 **고효율 전기추진**, 첨단공급망의 **고순도 소재** 생산 기반

병목 영역	돌파 방향		전략기술 적용 및 활용
초미세 공정 구현	•입자 에너지·방향을 제어해 정밀 가공	➜	▸반도체 식각·증착의 손상 감소 및 공정 정밀도 향상
고온 상태 안정화	•고온 플라즈마의 흔들림·손실 억제	➜	▸핵융합에 필요한 고온 플라즈마의 장시간 유지 지원
공정·제어 기술 확장	•입자 가속과 물질 반응 활용 추진·소재 공정	➜	▸바이오 저온 플라즈마 살균·표면처리, 우주 추진 효율, 첨단소재 순도 향상

□ 연구 동향

국외

○ (시장) **반도체 미세화·고층화**로 정밀 **식각·증착 수요**가 확대되고, **핵융합·우주 전기추진 분야**에서 **플라즈마 제어 기술**의 **활용 증가**

○ (기술) **플라즈마 입자 에너지**와 **반응**을 **정밀 제어**하는 미세 가공, 고온 플라즈마의 안정적 유지, 저온 표면처리·추진 연구 활발

초미세 가공 병목 돌파	• 깊고 좁은 구조를 균일하게 가공하고 소자 손상을 줄이는 원자층 식각·저손상 증착 기술 고도화 중
고온 유지·안정화	• 플라즈마의 흔들림과 열·입자 손실을 줄이는 실시간 진단·가열·제어 기술개발
저온반응·고효율 등 선택적 반응 제어 구현	• 재료의 열 손상을 줄이는 표면처리와 적은 추진제로 우주선을 움직이는 플라즈마 기술 개발

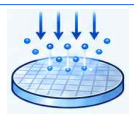
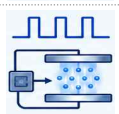
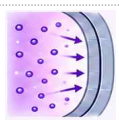
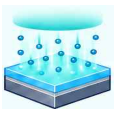
○ (정책) **핵융합** 및 **저온 플라즈마 연구**를 지원하고, **반도체 제조**나 **우주 추진 기술** 등 **응용 분야**와 **연계**한 **연구 기반 확충** 중

미국	▸ DOE의 General Plasma Science를 통해 저온 플라즈마 및 기초연구 지원 ☞ '24년 발표한 ELMIC 연구센터에 플라즈마 나노가공·EUV 광원 연구 지원
유럽	▸ EUROfusion의 지원 아래 독일 IPP의 Wendelstein 7-X에서 플라즈마 성능·장시간 운전 연구 추진 ☞ ESA는 위성 임무의 추진제 효율 향상을 위한 전기추진 기술개발 지원

국내	○ (기술) **반도체 공정 정밀화, 핵융합 플라즈마 제어, 저온 반응 활용 분야**에서 **장비·공정 기술**과 **현장 검증 기반 확보** - **대면적·복잡 구조**에서 **정밀·저손상 제어**, 고온 플라즈마의 **예측·능동 제어**, 저에너지 플라즈마의 **응용 영역 확장** 등 **원천기술 확보 필요** ○ (정부 R&D) **출연연 사업** 등을 통해 **플라즈마 장비·운전** 기술 위주로 지원 중이며, **플라즈마 미세가공·제어** 등 **병목 원천연구**는 **기반 부족**

□ 핵심 분야 및 세부기술 예시(안)

※ 세부기술의 경우 단순 예시 기술이므로, 기술수요 제안시 자유롭게 기술 제시 요망

핵심 분야		세부기술 예시(안)
① 초미세·저손상 가공		• 원자층 식각
		• 전손상 증착
		• 펄스 플라즈마·전원
② 고온·고밀도 상태 제어		• 실시간 진단·제어
		• 플라즈마 가열·전류 구동
		• 플라즈마·벽 상호작용
③ 선택적 반응·표면 제어		• 저온 반응 제어
		• 표면개질·보호막
		• 저침식 플라즈마 추진

4 열·계면 제어

□ 기술 개요

○ (**개념**) 열의 **발생, 이동, 방출** 등의 **경로**와 **소재 간 계면**을 **개선**하여, **부품**이 **밀집**하거나 **많은 열**이 **발생**하는 **시스템**의 **과열**을 줄이는 기술

○ (**전략기술 연계성**) 반도체·AI DC의 **고밀도 연산**, 우주의 **정밀 관측**, 핵융합의 **장시간 운전**, SMR의 **안전한 열 제거**를 지원

병목 영역	돌파 방향		전략기술 적용 및 활용
국소 과열 해소를 통한 고집적·고출력 한계 극복	•열 이동경로와 소재 접합면 개선으로 과열 완화	➜	▸반도체·AI 데이터센터의 연산 성능과 집적도 향상
계면 개선을 통한 열전달 효율 향상	•고효율 냉각과 열수송으로 발생·잔류 열을 안정적으로 제거	➜	▸핵융합의 집중 열부하, SMR 잔열, 재생에너지 전력변환 장치 발열 대응
정밀 열제어를 통한 성능·수명 향상	•온도 변화를 제어하여 장치의 성능 유지 및 열 손상 감소	➜	▸고출력 시스템 운영비 절감 및 부품 수명·신뢰성 향상

□ 연구 동향

국외

○ (**시장**) AI 연산, 반도체 적층 확대로 칩·패키지·서버의 통합 냉각 수요 증가, 직접 액체냉각과 열계면 소재의 중요성 확대

○ (**기술**) **미세한 발열 지점**부터 **시스템**까지 **열을 연결**해 **제거**하고, **접촉면**의 **열저항**과 **온도 변화**를 함께 **낮추는 연구** 추진

국소 과열 해소	• 열원 가까이에 미세 냉각통로를 만들고 액체흐름·상변화를 활용해 좁은 면적에 집중된 열 제거 기술 개발
계면 열손실 저감	• 칩·접합층·방열부 사이의 열저항을 줄여 적층 구조 내부에 열이 갇히는 문제를 해결하는 연구 추진
정밀·극한 열제어	• 열을 수송·분산하고 외부 방출 기능을 연계하여 우주장비의 온도 변화와 고열부품의 손상 억제 기술 연구

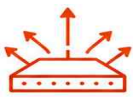
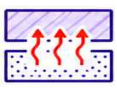
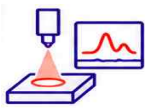
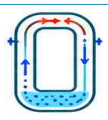
○ (**정책**) **전자소자, 우주, 원자력**의 **성능 한계 해결**을 위해 **열전달·계면·냉각 기술**을 **임무별 연구개발**과 **실증**에 연계

미국	▸DARPA는 Minitherms3D·THREADS를 통해 3차원 집적소자와 고출력 전자소자의 열 병목 해소 연구 지원 ▸DOE는 ARDP를 통해 히트파이프 냉각 방식 eVinci 초소형 원자로 개발 지원 ▸NASA는 우주 임무에 필요한 열수송·복사 방열·정밀 온도제어 기술 체계화
유럽	▸Horizon 2020의 TIPS를 통해 광전자 집적 플랫폼의 열관리 통합 연구 지원 ☞ 미세유체 냉각통로·펌프·밸브와 미세 열전냉각 기술의 소자 통합 결과 보고

국내	○ (기술) **반도체 칩 냉각**, **방열 패키징**, **위성 열제어** 등 산업·임무 수요에 대응한 **기술개발**과 실증 등 **적용 경험·역량** 축적 - 첨단기술의 **공통 기반 병목**인 **고집적 장치**의 **국소 과열**, **열저항 저감**, 환경 변화 대응 **정밀·능동 열제어** 등 **원천기술 고도화** 시급 ○ (정부 R&D) 고발열 **냉각**, 열계면 **소재**, 내구성 **핵심부품**에 대한 **기초연구**, **출연연 사업**, **소재개발사업** 내 **개별 과제**로 일부 지원

□ 핵심 분야 및 세부기술 예시(안)

※ 세부기술의 경우 단순 예시 기술이므로, 기술수요 제안시 자유롭게 기술 제시 요망

핵심 분야		세부기술 예시(안)
① 국소 과열 해소		• 미세유로·직접 냉각
		• 상변화·2상 냉각
		• 열확산·국소 방열
② 계면 열손실 저감		• 열계면 소재·접촉 제어
		• 이종재료 접합·계면 설계
		• 계면 열측정·신뢰성
③ 정밀·극한 열제어		• 히트파이프·피동 열수송
		• 복사 방열·열흐름 조절
		• 센서 연계 정밀 열제어

5 극한·능동 물질

□ 기술 개요

○ (개념) 고온, 방사선 등 **가혹한 환경**을 견디거나, **환경 변화**에 맞추어 성질을 바꾸고 **손상**을 **스스로 회복**하여 **필요한 기능**을 **유지**하는 기술

○ (전략기술 연계성) 우주·핵융합·SMR의 소재 **수명**과 **안전성**, 피지컬 AI의 **유연한 움직임**, 바이오 소자의 **생체 적응성** 향상을 지원

병목 영역	돌파 방향		전략기술 적용 및 활용
극한환경 내구성 확보	•높은 열·방사선·부식에도 물성 유지	➜	▸우주·핵융합·SMR의 소재 손상과 교체 부담 완화
환경 적응·기능 변화	•빛·전기·온도에 따라 형태·기능 변화	➜	▸로봇의 유연한 동작과 생체 소자의 밀착·적응 지원
손상 복구·수명 확장	•미세 균열과 반복 손상을 복구	➜	▸부품 수명과 신뢰성 향상, 유지·보수 부담 경감

□ 연구 동향

국외

○ (시장·수요) **우주 귀환체·차세대 원자로**의 **고내구성 소재**와 **로봇·바이오 분야**에서 **유연·자가복구 소재 수요**가 확대 중

○ (기술) 극한환경 **내구성**, 주변 **변화·자극**에 **반응**, 손상 후 기능을 회복하는 **소재 설계**와 **제조·실증 연구** 등을 활발히 추진 중

극한환경 내구성	• 고열·열충격·방사선·부식에 견디는 복합재와 보호층 개발
환경 반응·적응	• 외부 자극에 따라 형태·강성·기능이 변하는 능동 소재 연구
손상 복구	• 가역 결합·생물학적 작용을 활용해 균열과 손상을 복구하는 소재 연구

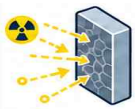
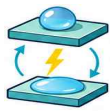
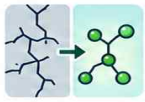
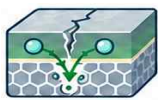
○ (정책) 외부 자극에 따라 형태·기능을 바꾸는 **능동물질 관련 소재 설계**와 **우주·로봇·바이오** 등과 연계한 융합연구 지원

미국	▸NASA는 우주 진입용 극한환경 열보호 소재 개발 및 기업 기술이전 추진 ▸DARPA는 ELM·BRACE를 통해 자가복구·환경 적응 소재 연구 지원 ☞ 내구 소재와 능동·복구 소재를 서로 다른 목적의 프로그램으로 지원
영국	▸자극 반응형 고분자 연구 지원 및 생체재료·약물전달 등 의료 응용과 연계 ※ 영국연구혁신기구(UKRI) 공학·자연과학연구위원회(EPSRC)는 고분자 소재 연구의 지원 범위에 반응형 고분자 명시 및 임상 적용으로의 연계 추진

국내	○ (기술) **출연연·대학** 중심으로 **극한환경 내구성 소재**와 **형태 변화·자가복구 물질**를 개발하고, **로봇·센서** 등으로 **응용 확대** 중 - **실제 적용 환경** 내에서 **내구성**, **반응 속도**, **복구 성능**의 **동시 확보** 및 **반복 사용**에도 **기능**을 **유지**하는 **소재·센싱·제어** 기술 고도화 필요 ○ (정부 R&D) 나노·소재, 의료·국방 사업을 통해 기초-응용 지원 중 - 공통 시험조건, 복합 환경 내 평가, 재현성 확보 등 **전략분야**의 **공통적 성능 한계**를 해결하는 원천연구로 연계·확장 필요

□ 핵심 분야 및 세부기술 예시(안)

※ 세부기술의 경우 단순 예시 기술이므로, 기술수요 제안시 자유롭게 기술 제시 요망

핵심 분야		세부기술 예시(안)
① 극한환경 내구성 확보		• 초고온·내열 소재
		• 내방사선 소재
		• 내식·내마모 소재
② 환경 적응·기능 변화		• 형상기억·가변 강성
		• 반응형 표면·계면
		• 가변 기능 소재
③ 손상 복구·수명 확장		• 자가치유 고분자
		• 자가복구 코팅·복합재
		• 생체적응·신축성 소재

참고 1 12대 미래개척융합분야와의 연계 세부 기술 예시

12대 미래개척융합분야		광융합·포토닉스	초전도·극저온	플라즈마	열·계면 제어	극한·능동 물질
Ⅰ. 자유롭고 상생하는 인류	1 건강수명 증진 플랫폼	생체영상·광전융합	초전도 뇌신호 계측	생체접면 표면처리	삽입기기 발열 제어	자극반응 생체소재
	2 디지털 정신건강 통합 솔루션	광학 생체신호 측정	-	-	뇌삽입기기 열 제어	자극반응 신경접면
	3 복합적 인류생존 요소 확보	복합감각·위기 탐지	-	작물·생활환경 살균	-	감각전환·촉각 소재
	4 인구소멸·변화 대응	돌봄·생체신호 센싱	-	-	생식·돌봄기기 온도 제어	-
Ⅱ. 한계와 제약이 없는 스마트 사회	5 미래사회 주체의 공존	라이다·고속 광센싱	-	-	로봇·연산부 발열 제어	극한작업 내구소재
	6 시·공간의 확장과 연결	공간인식·실감 광학	-	-	XR 기기 발열 제어	가변·촉각 인터페이스
	7 사회 안전망의 자율 진화	광전자 감지·정밀 계측	-	-	열에너지 저장·전달	구조물 자가감지·복구
	8 미래형 모빌리티 시스템	이동체 정밀 탐지	-	-	전동구동부 냉각	자동변형 휠·구조
Ⅲ. 지속가능한 지구	9 기후변화 대응	분광·원격 관측	-	오염가스 분해	탄소포집 공정 열 제어	-
	10 청정에너지 융합	태양광 흡수 제어	액체수소 저장	수소·연료 전환	열폭주 억제·열 회수	고내구·자가복구 소재
	11 지구환경 회복 및 치유	오염·산림 광탐지	-	난분해 오염물 분해	-	자극반응 분리소재
	12 극한 미지 영역 개척 (우주/심해/지하)	우주 레이저 통신	탐사 검출기 냉각	내환경 소자·코팅	극한온도·계면 제어	내열·내압·내방사선

참고 2 10대 프로젝트 분야별 공통 병목·한계 기술

전략기술		핵심 병목·한계 요소	돌파 목표 기술		핵심 기반 융합원천기술
3대 Mega	반도체	• 초미세화, 발열, 데이터 이동, 신소재 집적	▸초미세 공정, 광인터커넥트, 고방열, 능동소재	→	광융합, 플라즈마, 열관리, 극한·능동물질
	피지컬 AI	• 환경·접촉 인지, 정밀·유연 구동, 전력소모·발열	▸광·촉각센싱, 인공근육·능동소재, 저손실 구동·열제어	→	광융합, 열관리, 극한·능동물질
	AI 데이터 센터	• 전력공급, 고밀도 발열 ,네트워크	▸광통신, 액침냉각, 고효율 전력소재	→	광융합, 열관리, 초전도, 극한·능동물질
7대 SEED	우주	• 진공, 방사선, 온도변화, 원격운용	▸극한센싱, 내방사선 소재, 열제어	→	광융합, 초전도, 플라즈마, 열관리, 극한·능동물질
	바이오	• 미약 생체신호, 비침습 관찰, 정밀자극	▸바이오센싱, 광자극, 능동 바이오소재	→	광융합, 플라즈마, 초전도, 극한·능동물질
	핵융합	• 플라즈마 불안정, 초고열, 중성자 손상	▸플라즈마 제어, 고자장, 열배출, 내중성자 소재	→	광융합, 초전도, 플라즈마, 열관리, 극한·능동물질
	SMR	• 붕괴열, 방사선 계측, 피동안전, 소재열화	▸자율 열제어, 극한센싱, 내방사선 소재	→	광융합, 플라즈마, 열관리, 극한·능동물질
	재생 에너지	• 간헐성, 저장, 계통연계, 소재열화	▸고효율 변환, 에너지 저장, 자가반응 소재	→	광융합, 초전도, 플라즈마, 열관리, 극한·능동물질
	양자	• 양자오류, 극저온, 잡음, 소재결함	▸양자광원, 초저온 제어, 양자 능동소재	→	광융합, 초전도, 열관리, 극한·능동물질
	첨단 공급망	• 소재·장비 편중, 대체재, 재활용, 수율	▸대체소재, 고순도 정제, 소재 순환, 자립 생산	→	광융합, 플라즈마, 열관리, 극한·능동물질

참고 3 5대 핵심기반 분야별 국가 전략기술 연계 방향

1 광융합·포토닉스

10대 분야	병목·한계	기술 방향
반도체	• 칩과 GPU 사이의 데이터 전송속도·전력 한계	▸ 칩에 광소자를 결합해 칩 사이의 데이터를 빛으로 빠르게 전달
피지컬 AI	• 로봇이 어둠·가림·고속환경 내 정확한 인식의 한계	▸ 레이저로 주변을 측정하고 여러 센서 정보를 합쳐 어둠·빠른 움직임에도 인식 정확도 향상
AI 데이터 센터	• GPU 간 데이터 병목과 구리배선 거리·발열 한계	▸ GPU·스위치 가까이에 광소자를 배치해 전기배선을 줄이고 대용량 데이터를 빛으로 전달
첨단 바이오	• 생체 내부의 미세 변화 관찰과 특정 세포의 선택적 제어 한계	▸ 약한 빛 신호를 검출해 생체 변화를 관찰하고, 빛에 반응하는 단백질로 특정 세포 활동 제어
양자	• 양자정보를 멀리 전달하고, 서로 다른 양자소자 연결 한계	▸ 양자정보를 빛에 실어 손실을 줄여 전달하고, 서로 다른 양자소자를 연결

2 초전도·극저온

10대 분야	병목·한계	기술 방향
핵융합	• 강한 자기장 유지와 대형 자석의 발열·손상 한계 전송속도·전력 한계	▸ 고성능 초전도 선재와 냉각·보호기술로 플라즈마를 가두는 강자기장 구현
양자	• 열잡음으로 양자상태가 흐트러지고 소자 증가 시 냉각·배선 부담 확대	▸ 극저온에서 초전도 소자를 제어하고 열유입·간섭을 줄여 연산 안정성 향상
첨단 바이오	• 단백질 구조 분석과 뇌·심장의 미약 신호 측정 한계 구리배선 거리·발열 한계	▸ 초전도 자석으로 정밀 분석하고 고감도 센서·차폐로 생체신호 검출
우주 바이오	• 미약한 천체 신호가 검출기 자체 열잡음에 묻히고 장기 냉각에 제약	▸ 극저온 검출기와 저진동 냉각으로 미약신호 관측 성능·운전 수명 향상
첨단 공급망	• 고성능 초전도 선재·냉각부품의 품질 균일성과 장기 신뢰성 확보 한계	▸ 선재 제조·접합과 극저온 성능평가를 연계해 핵심 소재·부품 공급 기반 확보

3 플라즈마

10대 분야	병목·한계	기술 방향
반도체	• 깊고 좁은 구조의 균일 가공과 소자 손상 억제 한계	▸ 입자 에너지·방향과 표면반응을 제어해 필요한 부분만 정밀 가공
핵융합	• 플라즈마 불안정과 열·입자 손실로 고온 유지 한계	▸ 상태를 실시간 측정하고 가열· 제어해 고온 플라즈마 안정화
우주	• 위성의 탑재 연료와 추진장치 수명 한계	▸ 입자를 전기장으로 가속해 추진제 소모를 줄이고 부품 마모 억제
바이오	• 열에 약한 표면의 살균과 생체 손상 억제 한계	▸ 저온 플라즈마의 반응성 입자를 조절해 표면 미생물 제거
첨단 공급망	• 소재 표면의 오염·접착 불량과 공정 부품 열화	▸ 표면을 정밀 세정·개질하고 보호막을 형성해 품질·수명 향상

4 열·계면 제어

10대 분야	병목·한계	기술 방향
반도체	• 칩 내부에 열이 갇히고 접합층에서 열 흐름 저하	▸ 칩 내부 열을 냉각부로 전달하고 접합면의 열저항 저감
AI 데이터 센터	• 고출력 GPU의 과열과 냉각용 전력 증가	▸ 칩 가까이에서 액체로 열을 제거하고 유량을 부하에 맞게 조절
우주	• 진공에서 공기 대류가 없어 열 방출과 온도 유지 곤란	▸ 열을 방열판으로 옮기고 복사로 방출하여 장비 온도 안정화
핵융합	• 플라즈마 대면부품에 열이 집중되어 손상·운전시간 제약	▸ 고열부품의 열을 냉각통로로 고속 전달하고 접합부 손상 억제
SMR	• 작은 공간에서 운전·잔열을 안정적으로 제거할 필요	▸ 원자로 유형에 맞춰 자연순환·열수송으로 안전한 열 제거

5 극한·능동 물질

10대 분야	병목·한계	기술 방향
우주	• 재진입 고열과 급격한 온도변화로 구조재 손상 전송속도·전력 한계	▸ 고열과 열충격에 견디는 복합재·보호층 개발
핵융합	• 중성자와 반복 열부하로 내부 구조재 성능 저하	▸ 방사선 손상과 균열을 줄이는 구조재 개발
SMR	• 고온·방사선·냉각재 부식으로 부품 수명 제한 구리배선 거리·발열 한계	▸ 원자로 유형별 환경에 견디는 합금·코팅 개발
피지컬 AI 바이오	• 단단한 구동부의 유연성 부족과 반복 변형 손상	▸ 자극에 반응해 움직이고 손상을 복구하는 소재 개발
바이오	• 생체와의 강성 차이, 소자 변형·손상으로 기능 저하	▸ 조직에 밀착하고 변형에도 기능을 유지하는 소재 개발