

관리번호	2026-정보·융합기술-7- 품목공모-08		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형	
				R	1	1	
				원천연구	시작품·시제품 제작 및 검증(TRL 5~6)	일반연구개발	
국가전략연구 기획평가전문분야	PM분야	정보·융합기술	RB분야	나노·소재 기반기술 탄소 자원화	RB 세부분야	-	
사업명		미래개척융합과학기술개발사업 - 미래유망융합기술파이오니어(도전형)					
RFP명		초소형 온칩(On-Chip) 일렉트로 칼로릭 냉각 기술 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 5단계)					
지원 정보	지원기간	2026.07 ~ 2031.12	정부지원금	3,800백만원			
	1단계 (1차년도)	2026.07 ~ 2027.12 (2026.07 ~ 2026.12)	1단계 (1차년도)	600백만원 (200백만원)			
	2단계	2028.01 ~ 2029.12	2단계	1,600백만원			
	3단계	2030.01 ~ 2031.12	3단계	1,600백만원			
	주관기관유형	<input checked="" type="checkbox"/> 제한없음 <input type="checkbox"/> 대학/출연(연)/국·공립연/특정연 <input type="checkbox"/> 기업 <input type="checkbox"/> 기타 비영리법인(병원 등) <input type="checkbox"/> 외국법인					
	주관기관 외 필수참여기관	<input checked="" type="checkbox"/> 제한없음 <input type="checkbox"/> 기업 <input type="checkbox"/> 기타 비영리법인(병원 등) <input type="checkbox"/> 외국법인					
키워드	한글 영문	고체 냉각, 전기열량, 고효율, 온칩 Solid State Cooling, Electro Caloric, High Efficiency, On-chip					

1. 추진배경
<p>○ 추진근거</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진)</li> <li>- 과학기술기본법 제17조(협동·융합연구개발의 촉진)</li> <li>- (국정과제 28) 세계를 선도할 넥스트(NEXT) 전략기술 육성</li> <li>- 제4차 융합연구개발 활성화 기본계획('23.12)</li> <li>- 혁신적·도전적 R&amp;D 육성 시스템 체계화 방안('24.03, 혁신도전형 R&amp;D)</li> </ul> <p>○ 세부 추진배경</p> <p>1. [목표가 되는 분야의 개요(정의, 특징 등)]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고체(Solid-State) 냉각 기술은 기존 증기압축식 냉각을 대체·보완할 수 있는 차세대 비증기압축식 냉각 기술로, 냉매 누출 및 온실가스 배출 문제를 줄이고 무소음·저진동 냉각 시스템 구현이 가능하다는 점에서 주목받고 있음. 본 기술은 고체 소재 내부의 엔트로피 변화로 인해 흡·발열하므로 기존 열전 기반 펄티어 냉각과 원리가 상이함. 본 과제 고체 소재에 전계 인가 시, 가역적 엔트로피 변화가 유도되는 일렉트로 칼로릭 고체냉각 원천 기술 확보를 목표로, <b>고체 소재와 이를 둘러싼 열교환기, 소자 구동 및 냉각 성능 측정을 위한 시스템화 기술</b>까지 망라함.</li> </ul> <p>2. [목표가 되는 분야의 유망성·필요성]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 점차 강화되는 국제 환경 규제(기갈리 개정서 등)에 대응하기 위해 지구온난화지수(GWP)가 높은 가스 냉매를 완전히 배제하는 친환경 냉각 기술 확보가 시급하며, 급증하는 AI·데이터 산업에서의 온칩 냉각 (On-Chip Cooling) 수요에 대응하기 위한 차세대 기술 확보가 시급함.</li> </ul> <p>*우리나라의 경우, 24년 HFC계열 냉매 소비량 동결을 시작으로, 2045년까지 80% 감축 대상.</p> <p>** 공·수랭 방식을 통한 전통적인 열교환이 아닌, 칩과 통합(패키징)된 냉각 소자가 열이 발생하는 칩에서 즉시 열을 제거하는 기술. 본 RFP에서 정의하는 온칩 냉각은 칩 내부 완전 내장으로 국한하지 않으며, 칩 위 부착형,</p>

패키지 통합형, 칩 근접형 또는 고집적 전자소자 열부하 모사 환경에서의 국소 냉각 구현을 모두 포함함.

### 3. [목표가 되는 분야의 한계성(현재 시점)]

- 본 냉각 기술은 고체 소재에 전계 인가시, 내부 엔트로피 변화에 기초해 열을 흡수·방출하는 차세대 냉각 기술로, 각 기술은 구동 방식과 적용 가능한 시스템 규모, 소자화 병목이 서로 다름. 유사 기술(자기장 인가방식의 마그네토 칼로릭)로는 상용 냉장고 (독일 'Magnotherm', '24.11)를 선보인바 있음.
- 이 중 전계 구동 방식인 일렉트로 칼로릭 기술은 자기장 또는 기계적 외력 기반 고체 냉각방식 대비 소재 자체의 전력 소모가 낮고 전하 회수(Charge Recovery)를 통한 에너지 재활용이 가능하여 높은 성능계수(Coefficient of Performance, COP)를 가질 수 있으며, 냉각기 구성을 위한 부가 장치가 최소화되어 초소형·고효율 고체 냉각기로 활용 가능성이 높음.
- 기존 관련 연구는 소재 단위의 온도 변화( $\Delta T$ ), 엔트로피 변화, 분극 특성 분석 중심으로 소재의 냉각특성을 향상시키는 데 집중되어 왔으며, 냉각기 효율 향상을 위해서는 소재 내 엔트로피 활성화영역을 극대화하고 계면 비활성층 및 비가역 손실을 억제할 수 있는 소재·소자 설계 접근이 필요함. 나아가 고전계 반복 구동에 따른 내전압 특성 및 하드웨어 손실 제어, 전하 회수 효율 향상 기술, 고속 구동 열스위치·열교환 패키지 기술, 그리고 냉각소재·구동부·열전달부를 연계한 통합 제어 기술의 공백으로 인해 시스템 레벨의 COP 향상을 위한 기술 개발이 전 세계적으로 필요한 상황임.

### 4. [국내·외 현황(기존 추진경과, 기술수준, 정부/민간 투자현황, 시장규모 등)]

- 국외에서는 미국 DOE와 EU Horizon Europe 등에서 비증기압축식 친환경 냉각 기술 연구가 지속 지원되고 있으나, 여전히 고체 냉각 기술은 소재 단위의  $\Delta T$ , 엔트로피 변화, 분극·자화·변형·이온 이동 특성 평가에 집중되어 있음. 그 결과 실제 냉각 소자에서의 열교환 경로, 구동 손실, 반복 신뢰성, 시스템 COP를 정량화하는 연구는 부족한 상황임.

### ○ 기획의 주안점

- 국내에서는 관련 연구가 주로 개인 기초연구 또는 소재 중심의 R&D 과제로 진행되고 있으나, 기술 시급성을 고려했을 때 냉각 시스템의 고효율화(높은 성능계수), 소형화(작은 시스템 부피), 저소음화 등 차세대 온칩 냉각 (On-chip Cooling) 기술 목표에 부합한 기술 제시가 부족한 상황임. 따라서 냉각 소재-소자-열교환기-구동회로-성능평가를 연계한 **목적형 다학제 융합 R&D로 기획 필요**

## 2. 과제목표

- **최종 목표** : 온칩 냉각 (On-Chip Cooling)을 위한 100cc급 초소형·고효율 일렉트로 칼로릭 냉각 시스템 원천기술 개발 및 시작품 수준 성능 검증

### ○ 단계별 목표

1단계('26~'27)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 일렉트로 칼로릭 소재후보군 스크리닝 및 엔트로피 활성화 향상 소재 기술 확보 및 성능 측정 기술 개발</li> <li>- 전산 재료과학 및 AI 기반 고체 냉각 소재 후보군 스크리닝 기술 확보</li> <li>- 소재 단위 성능이 실제 소자 열펌핑 성능으로 전환되는 과정의 주요 손실 요인 분석 기술 개발</li> <li>- 고체 냉각 소재 효율, 흡·발열량 직접(direct) 방식 측정 기술 확보</li> <li>- 고체 냉각 소재 성능 계수(소비전력 대비 흡·발열량) 최소 5 이상</li> <li>○ 일렉트로 칼로릭 냉각 시스템 구현을 위한 요소 기술 확보</li> <li>- 고체 냉각 소재, 열교환기, 냉각 성능 계측, 외부장 인가 시스템 등</li> <li>- 칼로릭 소재 특성에 적합한 열교환·열전달 요소 기술 확보</li> <li>- FEM 또는 분석모델 기반 열전달 해석 기술을 활용한 양단 온도차 (<math>\Delta T</math>)</li> </ul>
--------------	--

	5K 이상 냉각 시스템 설계
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자율 제시 냉각 시스템 성능 지표 달성</li> </ul>
2단계('28~'29)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 일렉트로 칼로릭 소재 대량 합성 조건 확보 및 성능 측정 기술 고도화</li> <li>- 고체 냉각 소재 성능 계수(소비전력 대비 흡·발열량) 최소 8 이상</li> <li>○ 칼로릭 소재, 열교환 시스템을 포함한 통합 냉각 시스템 개발</li> <li>- 고체냉각소재·열교환기를 포함한 통합 시스템 부피 200cc* 미만의 초소형 냉각 시스템 구현</li> <li>- 냉각 시스템 양단 온도차(<math>\Delta T</math>) 10K 이상 달성</li> <li>* 표준 CPU 공랭팬(360cc, 120mm X 120 mm X 25mm) 보다 소형화를 통한 On-Chip Cooling 달성</li> <li>○ 냉각 성능 검증을 모사 통제 환경 냉각 성능 실증 필수</li> <li>- CPU, GPU 구동 환경 등 시나리오 기반 출력/구동 정량 목표 설정</li> <li>- 냉각소재, 열교환기, 구동부를 포함한 통합 시스템 기준 소비전력 대비 냉각파워(Coefficient of Performance, COP) 1 이상</li> <li>○ 이외 자율 제시 냉각 시스템 성능 지표 달성</li> </ul>
3단계('30~'31)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 일렉트로 칼로릭 소재 합성 및 성능 측정 기술 안정화</li> <li>- 고체 냉각 소재 성능 계수(소비전력 대비 흡·발열량) 최소 10 이상</li> <li>○ 칼로릭 소재, 열교환 시스템을 포함한 전체 냉각 시스템의 "초소형화"</li> <li>- 고체냉각소재·열교환기를 포함한 통합 시스템 부피 100cc* 미만의 초소형 냉각 시스템 구현</li> <li>- 냉각 시스템 양단 온도차(<math>\Delta T</math>) 15K 이상 달성</li> <li>○ 냉각 성능 검증을 위한 실제 온칩(On-chip) 조건* 실증 수행 필수</li> <li>- 시나리오 기반 실제 열부하 조건에서의 냉각소재·열교환기·구동부를 포함한 통합 시스템 기준 소비전력 대비 냉각파워 (Coefficient of Performance, COP) 최소 1.5 이상</li> <li>* 칩 내부 완전 내장형, 칩 위 부착형, 패키지 통합형, 칩 근접형 또는 고집적 전자소재 열부하 모사 환경에서의 국소 냉각 구현을 포함해 자율 제시</li> </ul>

3. 성과지표					
○ 성과지표					
항목		1단계	2단계	3단계 (최종목표)	비고
필수	고체 냉각 시스템 전체 용량(cc)	-	≤200	≤100	냉각소재·열교환기·구동부를 포함한 통합 시스템 기준
	구동전압(V)	자율제시	≤220	≤220	표준 전기 설비 활용가능 냉각 시스템 구현
	냉각 시스템 양단 온도차(ΔT)	자율제시	≥10	≥15	냉각 시스템 cold/hot side 온도구배 (단, 1단계는 시뮬레이션 결과 제시 가능)
	소재 성능계수 (COP <sub>mat</sub> )	≥5	≥8	≥10	냉각 소재 기준 소비전력 대비 흡·발열량
	시스템 성능계수 (COP <sub>sys</sub> )	-	≥1	≥1.5	냉각소재·열교환기·구동부를 포함한 통합 시스템 기준 소비전력 대비 냉각파워
자율	적용환경에 따른 냉각 성능 지표 (소재 온도변화, 출력, 효율, 저진)	단계별 목표에 명시한 5개의 필수 지표 이외에도, 3개 이상 정량적 성능 지표 추가 자율 제시			응용 및 구동 방식마다 상이하므로 자율 제시 필요하나, 이에 대한 글로벌 수준의 근거 (참고문헌, 기술/연구동향 등) 상세하게 제시 필요

동, 저소음, 동작 온도, 패키징, 구동 신뢰성 등)		
실증테스트	단계별 자율제시	실제 열부하 조건 (CPU 발열 등)
논문(JCR 상위 10% 이내), 특허, 기술이전 등	단계별 자율제시	

#### 4. 특기사항

기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" 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 의무화**하여, 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·평가·추진위원회의 의견에 따라 연구개발과제의 목표 및 내용, 과제 구성, 연구비, 계속 지원 여부 등 조정 가능