

지속 가능한 초전도 양자 컴퓨팅을 위한 mK 극저온 실현

- 헬륨3^{극희귀} 자원 공급망 한계를 뛰어넘어, 초전도 양자컴퓨터의 극저온 심장을 지킨다 -

MiRAE: Millikelvin Refrigeration Enabling Sustainable Quantum Computing

문서번호

ASTRA02_2601PPR1

담당PM

백영진 책임PM

세부사업명 [내역사업명]	미래개척융합과학기술개발사업[미래유망융합기술파이오니어(도전형 - 한계돌파 R&D)]				
지원정보 (과제별)	[기간] 6년 (3단계: 2+2+2) [규모] 연간 18억원 내외	공모유형	☐ 지정공모 ☒ 품목공모(분야공모) ☐ 자유공모	보안과제 여부	☐ 보안 ☒ 일반
지원 과제 수	1개 내외	세부 프로그램	-	연구개발기관 구성요건	-

1. 프로젝트 개요

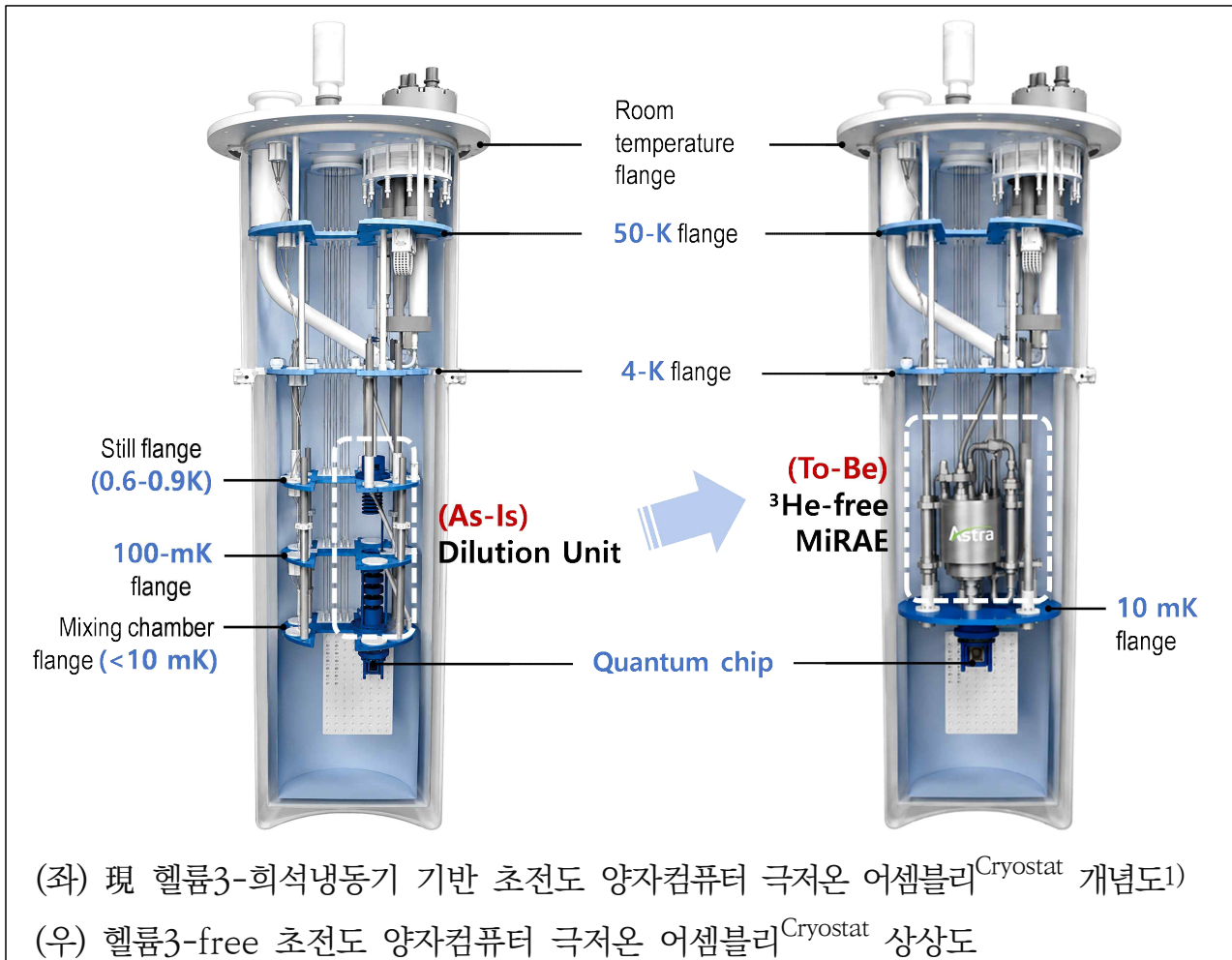
☐ 목적 및 한계돌파 질문

본 프로젝트는 “헬륨3^{극희귀} 원소”를 사용하지 않고 초전도 큐비트 방식 양자 컴퓨팅을 지속 가능하도록 하는 10~20 mK의 극저온을 실현할 방법은 없을까?” 라는 한계도전적 문제를 제시하며, 그 해결 방법을 찾고자 함.

☐ 목표 및 도전성

- (최종 목표) 상기 한계도전적 문제 해결을 위해 본 프로젝트에서는 상용 4 K급 극저온 냉각기술과 연계하여, 헬륨3(³He) 기반 희석냉동기(Dilution Refrigerator)를 대체할 수 있는 10~20 mK급 연속 극저온 냉각 원천기술 및 시스템을 개발하고 실험적으로 검증함. (그림 1. 참조)
- (도전적 기술 목표 설정 필수) 본 프로젝트는 “목표달성의 불확실성은 높으나 과제 수행 결과의 파급효과가 상당히 큰 연구개발”을 대상으로 하는 「한계도전 R&D」* 프로젝트로서, 향후 기술 완성 시점을 기준으로 글로벌 선도기업^{Bluefors, Kiutra} 등의 예상 기술 수준을 상회하고 기술·시장 우위 확보를 위해 필요한 수준의 도전적 기술 목표 설정 필수

*(관련규정) 한계도전 R&D 운영규정(과학기술정보통신부훈령 제268호, '24. 5. 17.)



〈그림 1. 본 프로젝트 성공이 가져올 mK 극저온 냉각기술의 패러다임 전환〉

2. 추진배경 및 기대효과

□ 글로벌 현황

- (글로벌 양자컴퓨팅 패권 경쟁 본격화) 양자컴퓨팅은 기존 컴퓨팅 기술의 한계를 뛰어넘는 초고속·대용량 연산 잠재력으로 인해 주요국이 국가 차원의 대규모 지원과 제도 마련을 통해 기술 확보 경쟁*을 벌이고 있으며, 세계 시장은 2046년까지 연평균 26.7% 성장하여 210억 달러(약 30조원) 이상 규모로 확대될 전망2)

* (美)국가 양자 이니셔티브^{NOI}(`18.12), (EU)유럽 양자 플래그십(`18.10), (日)양자 이노베이션 전략(`20.1), (英)국가 양자 전략(`23.3), (中)‘14차 5개년 계획’에서 ‘양자’를 최우선 전략 과제로 선정(`21.3), (韓)퀀텀 이니셔티브 추진 전략(`25.3), 7대 SEED 프로젝트(`26.8) 등

1) Science 2026 Apr 16;392(6795):246-250, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aei0561>

2) IDTechEx Reports, <https://www.idtechex.com/en/research-report/quantum-computing-market/1110>

- (10 mK 극저온 시스템·인프라 니즈) 양자컴퓨팅 분야에서 현재 상용화에 가장 근접한 방식 중 하나인 초전도 큐비트 방식^{IBM, Google 등 채택}의 핵심 소자인 초전도 조셉슨 접합(Josephson Junction) 기반 회로는 열적 여기(Excitation)와 잡음을 억제하고 양자상태를 안정적으로 유지하기 위해 약 10~20 mK의 극저온 환경을 요구함. 이에 따라 mK 극저온 시스템은 초전도 양자컴퓨터 구현을 위한 핵심 인프라로 자리매김.
- (희석냉동기 중심의 기술 독점) 현재 10 mK급 연속 냉각을 상용적으로 구현하는 사실상의 표준 기술은 헬륨3를 사용하는 희석냉동기^{dilution refrigerator}로, Bluefors 등 소수 해외 기업이 글로벌 시장과 핵심 기술을 선도. 희석냉동기의 세계 시장 규모는 2026년 1.36억 달러(약 1,900억원)로부터 2035년 6.33억 달러(약 8,900억원)로 연평균 14.5%(CAGR) 성장할 것으로 전망³⁾ 최근에는 양자컴퓨터의 대형화에 대응하여 냉각용량, 배선 수용성 및 시스템 규모를 지속 확대하는 방향으로 기술개발 진행 중.
- (큐비트 확장과 함께 극저온 인프라 중요성 증대) 큐비트 수 증가에 따라 극저온 영역으로 연결되는 제어·측정 배선과 전자소자가 증가하면서 mK단 열부하 및 요구 냉각용량이 동반 증가하고 있어, 대규모 초전도 양자컴퓨터 구현을 위해서는 큐비트 기술뿐 아니라 극저온 냉각기술의 혁신이 요구됨.

□ 현행 기술의 한계

- (헬륨3^{극희귀 원소} 의존에 의한 지속가능성 한계) 現 희석냉동기는 헬륨 동위원소인 헬륨3와 헬륨4의 혼합 과정에서 발생하는 흡열 효과(heat of mixing)를 이용⁴⁾하여 냉각하는 방식으로, 극희귀 동위원소인 헬륨3 사용이 필수적이나 가격 변동성*과 지정학적 공급망 리스크가 지속 증가하고 있음.

* (관련기사) “양자컴퓨터 식히는 1ℓ 2000달러 가스…기업들, 달 채굴까지 추진”⁵⁾

- (희소자원 의존에 따른 확장성 한계) 現 희석냉동기는 시스템 규모와 냉각용량 증가에 따라 상당량의 헬륨3를 필요*로 하며, 향후 초전도 양자컴퓨터가 대규모·산업용 시스템으로 확산될 경우 희소자원에 의존하는 現 방식은 초전도 양자컴퓨팅 산업의 지속가능성과 공급망 안정성을 제약할 잠재적 병목으로 작용 우려.

* Bluefors^{’08년 설립(핀란드)} XLD1000^{약 140개의 초전도 큐비트 처리} : 헬륨3 40리터 사용⁶⁾

3) <https://www.marketgrowthreports.com/ko/market-reports/cryogen-free-dilution-refrigerators-market-102910>

4) <https://bluefors.com/stories/how-does-a-dilution-refrigerator-work/>

5) <https://www.donga.com/news/Inter/article/all/20260616/134123395/1>

6) Bluefors 공식자료(헬륨3 사용량), <https://arxiv.org/abs/2502.01945>(큐비트 규모 추정)

- (脫헬륨3 극저온 냉각 기술의 부상, 그러나 실용적 대안 부재) 위와 같이 헬륨3 이용 기술의 지속가능성 한계가 예상됨에 따라, 헬륨3 의존성을 근본적으로 극복하면서 10~20 mK 극저온을 구현할 수 있는 새로운 냉각 원리와 소재·시스템 기술 확보가 미래 양자컴퓨팅의 지속가능성을 좌우하는 핵심 도전과제*로 부상. 관련하여 광학·레이저 냉각, 자기냉각 등 다양한 대안 기술이 연구되고 있으나, 현재까지 10~20 mK에서 양자컴퓨팅에 필요한 냉각용량과 연속 운전성을 동시에 확보한 실용적 脫헬륨3 냉각기술은 부재

*(관련기사) “Cold rush : As quantum computers get bigger, researchers scramble to chill hardware without rare helium-3”¹⁾

“脫헬륨 냉각 기술 찾아라... 양자컴 '콜드 러시’”⁷⁾

- (초전도 터널접합 극저온 기술) 에너지가 높은 전자들을 초전도체 트랩으로 끌어들이어 금속을 냉각시키는 방식으로, 계단식(cascading) 냉각기 적용시 수십 mK 극저온 구현 기대⁸⁾
- (고체 광학 극저온 기술) 안티-스토크스 형광⁹⁾(anti-Stokes fluorescence)을 이용, 이론적으로 mK 구현 가능하고 냉매·기계적 구동부가 없는 장점이 있으나 낮은 냉각효율·냉각용량으로 인해 향후 대규모 양자컴퓨터 적용에는 한계¹⁰⁾¹¹⁾
- (자기 극저온 기술) 고상^{solid state} 냉각기술 중 하나인 단열 탈자 냉동(ADR, Adiabatic Demagnetization Refrigeration) 기반 연속 mK 온도 생성 연구 착수¹²⁾¹³⁾
- (美 DARPA RFI) 미국 국방고등연구계획국(DARPA)은 헬륨-3를 사용하지 않는 모듈형 극저온 냉각기 기술이 국방·상업 분야에 획기적 변혁 가능성을 가질 수 있다고 평가하고, 관련 혁신기술 발굴을 위한 정보제공요청(RFI, Request for Information)을 공고¹⁴⁾(26.1)

□ 프로젝트 기획 방향

- (문제의 재정의 : Better 기존 기술 → Beyond 기존 기술) 기존 희석냉동기의 성능개선이 아니라, “헬륨3를 사용하지 않고도 초전도 양자컴퓨터를 안정적으로 운용할 수 있는 10~20 mK 연속냉각이 가능한가?”를 핵심 도전문제로 설정

7) <https://www.chosun.com/economy/science/2026/04/28/3AC2L52XKRDFZHN5MRBJLJ56KA/>

8) <https://doi.org/10.1063/5.0060652>

9) <https://www.nature.com/articles/s41377-018-0028-7>

10) <https://ieeexplore.ieee.org/document/9827605>

11) <https://www.youtube.com/watch?v=4sqPLbKsJlw>

12) EU Horizon LEMON project, <https://cordis.europa.eu/project/id/101161522>

13) CRYONEXT, <https://quantique.france2030.gouv.fr/recherche-innovation/programme-cryonext/>

14) DARPA-SN-26-40, <https://sam.gov/workspace/contract/opp/f7fbdcecd79b460eb9a65bcd7974b4f0/view>

- **(기술경로 개방)** 특정 냉동 원리 또는 사이클에 한정하지 않으며, 자기냉각, 양자·고체상태 냉각, 신개념 열역학 사이클 및 이들의 하이브리드化 등 기존 희석냉동 방식을 대체할 수 있는 다양한 혁신적 접근 허용
- **(한계도전적 목표 설정)** 현재 가능한 수준이 아닌 향후 기술 완성 시점을 기준으로 글로벌 선도기업^{Bluefors, Kiutra} 등의 예상 기술 수준을 상회하고 기술·시장 우위 확보를 위해 필요한 수준의 도전적 기술 목표를 설정함으로써, 향후 대규모 초전도 양자컴퓨터가 요구할 핵심 기술 역량을 선제적으로 확보

□ 기대효과

○ (사회경제적 효과)

- **(지속가능한 초전도 양자컴퓨팅 확장 기반 마련)** 10~20 mK 극저온을 헬륨3 없이 안정적으로 구현함으로써 초전도 양자컴퓨터의 핵심 인프라를 희소 동위원소 공급망으로부터 독립시키고 지속가능한 양자컴퓨팅 확장의 기반 확보
- **(차세대 극저온 냉동기 시장 선점)** 수십 년간 지배적인 헬륨3/헬륨4 희석냉동기 패러다임을 대체할 수 있는 Post-희석냉동기 원천기술을 확보하여, 해외 소수 기업이 주도하는 mK 극저온 장비 시장에 새로운 기술경로와 경쟁구도를 창출하고 차세대 시장 선점 기반 마련
- **(극저온 인프라 기술주권 확보 및 자원안보 강화)** 해외 장비와 희소자원에 대한 이중 의존도를 낮추고, mK 냉동기 및 Cryogenic Assembly의 핵심 설계·제작·운영 기술을 국내에 축적함으로써 양자컴퓨팅 핵심 인프라의 기술주권을 확보하고 자원안보를 강화
- **(첨단 극저온 분야로의 파급)** 확보된 脫헬륨3 mK 냉각 원천기술은 초전도 양자컴퓨팅뿐 아니라 양자센서, 초고감도 과학계측^{단일광자 측정}, 암흑물질 탐색, 양자물질 및 극저온 물성^{초전도 현상} 연구 등 첨단 과학·산업 분야로 확장
- **(국가 양자기술 전략목표 달성 기여)** 차세대 mK 냉동기 및 Cryogenic Assembly 핵심기술을 확보하여 국산 양자컴퓨팅 시스템 기술 내재화와 핵심 소부장 자립을 촉진하고, 국가 양자산업 육성 및 글로벌 양자 공급망 진입에 기여

○ (기술의 수혜자)

- **(초전도 양자컴퓨터 개발·운영기관)** 헬륨3 수급·가격 변동 및 해외 희석냉동기 의존에 따른 리스크를 낮추고, 안정적인 mK 극저온 환경을 확보함으로써 대규모 초전도 양자컴퓨터의 안정적 개발·운영 및 확장 가능

- (국내 극저온 장비·부품 기업) 차세대 mK 냉동기 및 Cryogenic Assembly의 핵심 설계·제작 기술을 확보하여 해외기업 중심의 mK 극저온 장비 시장 진입 및 신시장 창출
- (양자기술·우주·천문관측 등 첨단 과학 연구기관) 脫헬륨3 mK 극저온 플랫폼을 활용하여 양자센서, 단일광자·X선 초고감도 계측, 우주배경복사·극미약 천문신호 관측, 암흑물질 탐색, 양자물질·극저온 물성 연구 등 첨단 과학연구의 접근성·확장성 제고

3. 프로젝트 목표 및 범위

□ 최종 목표

- 상기 한계도전적 문제 해결을 위해 본 과제에서는 상용 4 K급 극저온 냉각기술과 연계하여, 헬륨3(³He) 기반 희석냉동기(DR)를 대체할 수 있는 10~20 mK급 연속 극저온 냉각 원천기술 및 시스템을 개발하고 실험적으로 검증함.
- 본 프로젝트는 “목표달성의 불확실성은 높으나 과제 수행 결과의 파급효과가 상당히 큰 연구개발”을 대상으로 하는 「한계도전R&D」* 프로젝트로서, 글로벌 기술·시장 우위 확보를 위해 필요한 수준의 도전적 기술목표를 설정함.

* (관련규정) 한계도전 R&D 운영규정(과학기술정보통신부훈령 제268호, '24. 5. 17.)

- 현 초전도 양자컴퓨터 사용자가 기존 희석냉동기(DR) 대비 운용상의 이질감 없이 MiRAE 연구결과를 적용·활용할 수 있는 수준의 성능 및 운용성 확보를 위해 대체 냉동기로서의 목표와 호환성 목표를 설정

(헬륨3^{극화귀 원소} 기반 희석냉동기^{DR} 대체 냉동기로서의 목표)

- Base temperature : ≤10mK (무부하 시)
- Cooling power at 20mK : ≥10 μW*
- *현 Bluefors社 LD350 모델¹⁵⁾ (수십 qubit급 / 12 μW@20mK) 참조
- Cooldown time to base temperature : ≤24 hrs
- 무중단 연속운전시간 : ≥30 days @100% duty
- 온도 안정도 : ~10 μK RMS^{*,**,* **} @20mK (정상상태 연속운전 시)
- *Leiden Cryogenics DR의 시험¹⁶⁾ 성능 9 μK RMS 참조

15) <https://bluefors.com/products/dilution-refrigerator-measurement-systems/ld-dilution-refrigerator-measurement-system/>

16) <https://link.springer.com/article/10.1007/s10909-022-02805-w>

**NIST 천체물리 관측용 DR 시험¹⁷⁾ 성능 10 μ K RMS 참조

***NASA 우주용^{Origins Space Telescope} ADR 요구조건¹⁸⁾ 2.5 μ K RMS 참조

(초전도 양자컴퓨터와의 호환성 목표)

- 현행 희석냉동기(DR) 기반 초전도 양자컴퓨터 운용환경과 동등 수준의 실장·운용 호환성 확보
 - mK flange 기계적 진동*
 - *상용 mK급 DR의 진동 성능 요구사례(NIST)¹⁹⁾ 참고
 - 0~200 Hz에서 수직 $<1 \mu\text{m}$ 및 반경방향 $<5 \mu\text{m}$
 - 전자기 노이즈
 - mK단 가용 공간* (QPU 및 주변 구성품을 실장할 수 있는 공간·인터페이스)
 - *현 Bluefors社 Preconfigured Systems (LD System for Superconducting Qubits) 모델²⁰⁾ 동등 수준 이상
 - MXC Flange Diameter: 294 mm, Experimental space: 510 mm
 - 배선 수용성 (제어·readout을 위한 RF/DC 배선 및 열적 anchoring 수용)
- (cADR* 방식 제안 시 추가 사항) 자기냉각 운전 환경에서도 현행 희석냉동기(DR)와 동등 수준의 QPU 성능(T_1/T_2 등) 확보 가능 수준
 - *continuous Adiabatic Demagnetization Refrigeration
 - QPU 위치 잔류 자기장 및 자기장 변동
 - 자석 구동·stage 전환 등에 따른 전자기 간섭(EMI)

□ 단계별 목표 방향

※ 단계/연차별 확정 마일스톤은 과제 선정 후, 책임PM과의 협의로 확정

○ (1단계) Sub-K 연속냉각 핵심원리 검증 및 QPU 호환성* 리스크 평가

- 최종 10~20 mK 연속냉각 실현을 위한 핵심 한계기술(Critical Bottleneck) 식별 및 돌파
- 헬륨3 없이 Sub-K급 연속냉각을 구현할 수 있는 핵심 냉각원리 및 기술경로의 실험적 타당성 입증

17) https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=935116

18) <https://asd.gsfc.nasa.gov/firs/docs/OriginsVolume2TechDevelopmentPlanREDACTED.pdf>

19) NIST, Statement of Work: Cryogenic Dilution Refrigerator (DR), Solicitation No. NB687080-20-0180, 2020, <https://imlive.s3.amazonaws.com/Federal%20Government/ID161118142617707251367157497664570392146/NB687080-20-01810%20Draft%20SOW.pdf>

20) <https://bluefors.com/products/dilution-refrigerator-measurement-systems/preconfigured-systems/>

- 제안 냉각기술 고유의 진동·전자기 간섭·자기장 등 QPU 호환성 저해요인을 조기에 식별하고, 초전도 QPU 적용을 제한할 수 있는 치명적 기술장벽의 해결 가능성 검증

*희석냉동기(DR) 대체 냉동기로서의 냉각 성능을 최종적으로 달성하더라도 진동, 자기장, 전자기 간섭 등으로 인해 QPU 호환성을 확보하지 못할 경우 초전도 양자컴퓨터 적용이 불가능할 수 있음. 이에 장기간의 연구개발 이후 이러한 치명적 한계가 확인되는 위험을 최소화하기 위해, 1단계부터 QPU 호환성 저해 요인을 식별하고 기술적 해결 가능성을 검증함.

▶ 단계 관문 :

(냉동 성능)

- Base temperature : ≤ 50 mK (무부하 시)
- Cooling power at 100mK : ≥ 10 μ W
- 무중단 연속운전시간 : ≥ 30 days @100% duty
- 온도 안정도 : ~ 1.0 mK RMS @100mK (정상상태 연속운전 시)

(호환성)

- 초전도 QPU 적용을 저해하는 치명적 기술장벽의 해결 가능성 입증

○ (2단계) DR 대체급 연속냉각 시스템 구현 및 QPU 운용환경 확보

- 1단계에서 검증된 기술경로를 기반으로 DR 대체급 연속냉각 시스템 구현
- QPU 운용 시 발생하는 실제 열부하를 고려한 냉각성능, 온도 안정도, 연속 운전 성능 확보

▶ 단계 관문 :

(냉동 성능)

- Base temperature : ≤ 20 mK (무부하 시)
- Cooling power at 50mK : ≥ 10 μ W
- Cooldown time to base temperature : ≤ 24 hrs
- 무중단 연속운전시간 : ≥ 30 days @100% duty
- 온도 안정도 : ~ 0.1 mK RMS @50mK (정상상태 연속운전 시)

(호환성)

- 현행 희석냉동기 기반 초전도 양자컴퓨터 운용 환경에 준하는 운용 호환성 확보

○ (3단계) 초전도 양자컴퓨터 실장(實裝)-ready DR 대체 시스템 완성

▶ 최종 관문 :

(냉동 성능)

- Base temperature : $\leq 10\text{mK}$ (무부하 시)
- Cooling power at 20mK : $\geq 10\text{ }\mu\text{W}$
- Cooldown time to base temperature : $\leq 24\text{ hrs}$
- 무중단 연속운전시간 : $\geq 30\text{ days @100\% duty}$
- 온도 안정도 : $\sim 10\text{ }\mu\text{K RMS @20mK}$ (정상상태 연속운전 시)

(호환성)

- 현행 희석냉동기(DR) 기반 초전도 양자컴퓨터 운용환경과 동등 수준의 실장·운용 호환성 확보

□ 연구개발계획서 필수 포함 사항

- (그림을 포함한 최종 산출물의 상세 설명) 책임PM은 본 과제계획요청서(PPR) 2 페이지 〈그림 1〉 우측의 “헬륨3-free 초전도 양자컴퓨터 극저온 어셈블리^{Cryostat} 상상도”와 같이 초전도 양자컴퓨터 실장(實裝)-ready product 형태의 시작품을 본 과제의 바람직한 최종 산출물로 권고드립니다. 다만 제안자께서 이와 상이한 형태의 최종 산출물을 제안하시는 경우, 최종 산출물의 구체적 형태와 구현 수준·성능·완성도 및 향후 실제 초전도 양자컴퓨터 실장 시험까지 연계하기 위한 실장·시험 전략 등을 그림을 포함하여 상세히 제시 요망
- (초격차 전략) (美)NASA, (獨)Kiutra 및 (佛)CRYONEXT 개발 현황·전략 분석 및 차별화·경쟁우위 전략 제시 요망
- (QPU 호환성 정량 목표 및 검증 방안) 기계적 진동, 전자기 노이즈, mK단 가용 공간, 배선 수용성 및 (cADR 제안 시) QPU 위치 잔류·변동 자기장, 자석 구동·stage 전환 등에 따른 전자기 간섭(EMI) 등 초전도 QPU 실장·운용 호환성에 대한 단계별 정량 목표와 설정 근거 및 검증 계획을 제안 기술의 원리 및 시스템 구성에 맞추어 제시 요망
- (핵심소재 공급망 리스크 대응 전략) ^3He 의존성 해소 과정에서 희소·특정국 의존 소재 등 새로운 공급망 리스크가 발생하지 않도록, 제안 기술에 사용되는 핵심소재의 공급망 현황 및 잠재 리스크를 분석하고, 대체소재 개발·활용·조달

다변화 등 공급망 리스크 저감·회피 방안 검토·제시 요망

- (Scale-up 전략) 본 연구의 최종 목표 달성 이후, 향후 1,000 큐비트 이상의 대규모 초전도 양자 컴퓨팅 적용을 타겟으로, 확보된 기술의 공학적 Scale-up을 통해 20 mK에서 30 μ W급^{Bluefors KIDE Cryogenic Platform²¹⁾} 구성 단위 유닛 수준 으로 냉각 능력을 확장하기 위한 전략·경로 검토·제시 요망. 단, 동일 냉각모듈의 단순 병렬연결을 통한 냉각능력 증대는 지양하고, 냉각재료·열교환·열스위치·자석 등 핵심 구성요소 및 시스템 차원에서의 Scale-up 가능성·경로 검토·제시 요망

□ 지원 제외 범위

- 본 과제에서는 아래에 해당하는 기술 개발을 지원 대상으로 고려하지 않음.
 - 연구목표(최종·단계 목표)와 필요 성능지표가 정량적으로 제시되지 않는 연구
 - 선행된 연구를 반복하거나 유사 연구의 중복, 후속 또는 이것을 확장하는 연구 (독보적인 지식재산권 창출이 어려운 연구)
 - 최종 성과물로 시스템 수준의 시작품 구현을 목표로 하지 않는 연구
 - 냉각 사이클의 재생·복구 등을 위해 냉각이 주기적으로 중단되는 등 원리적으로 연속냉각 구현이 불가능한 기술 연구 (Single-shot ADR 등)
 - 상용 4K급 극저온 냉각기와 연계·통합이 어렵거나, 이를 위해 별도의 비현실적인 극저온 인프라를 요구하는 기술 연구

■ 4. 연구개발 수행 및 관리 방안

□ 연구개발 지원 규모 및 수행기간

- 선정 예상 과제 수 : 1개 내외
- 예산 규모 : 연간 18억 원 내외
- 연구 기간 : 최대 72개월 이내
- 연구 진행 단계 : 최대 3단계 (각 단계 24개월)
- 연구개발기관 구성 : 기업이 주관연구개발기관으로 지원하는 경우, 대학 또는 정부출연연구기관이 공동연구개발기관으로 참여 필수
- 책임PM과 한계도전전략센터는 프로젝트의 최종목표 달성을 위해 연구성과 및 기술적 리스크를 지속적으로 점검하고, 그 결과에 따라 과제의 범위와 목표 등을 조정할 수 있음

21) <https://bluefors.com/products/kide-cryogenic-platform/>

□ 마일스톤 기반 연구관리 및 단계(Go/No-Go) 점검

- 연구 제안자께서는 각 단계 목표 달성을 위한 각 단계 내 복수의 마일스톤*을 구체적으로 제시 요망
 - *마일스톤 : 연구개발 최종·단계목표 달성 과정에서 확보·구현·입증되어야 하는 산출물(Deliverable: 시작품, 시험성적서, 설계도, 데이터셋, 소프트웨어, 검증보고서 등)을 객관적으로 점검할 수 있도록 설정하는 이정표로서, 연구내용이나 수행행위가 아닌 ‘확인 가능한 산출물과 그 달성 수준’을 기준으로 설정
 - (예시1) ...공정개발(×) → 단위공정·물질수지·운전조건이 확정된 공정도(○)
 - (예시2) ...알고리즘 개발(×) → ...알고리즘(예측정확도≥90%)(○)
 - (예시3) ...소재 개발(×) → ...소재 샘플(순도≥99%, 100g)(○)
- 마일스톤 설정 시에는 과제 수행 중간단계에서 적용할 수 있는 성능지표와 관련 세부 업무내용이 포함되어야 함. 제안자께서는 전체 프로그램 일정을 준수하시고 모든 프로그램 목표, 지표, 중간단계 및 최종 성과물을 문제 해결 관점에서 제시 요망
- 본 한계도전 R&D에서는 목표 달성을 위해 책임PM이 수시로 연구수행자와 소통하며, 매 분기 현장방문과 전문가 패널 리뷰 미팅을 통해 연구과정의 지식화와 진화적 위험 관리를 추진함
- 책임PM은 단계(Go/No-Go) 점검을 통해 연구자께서 설정하신 마일스톤 목표의 달성 여부 및 최종목표 달성 가능성을 확인하고 다음 단계 연구과제의 진행 여부를 결정함

□ 연구성과 및 결과물 제출

- 연구책임자께서는 연구 수행기간 동안 최소한 다음과 같은 연구 결과물을 제공하셔야 하며, 책임PM의 요청에 따라 추가 자료 및 데이터를 제공하셔야 함
 - 분기별 책임PM과의 회의(현장방문, 전문가 리뷰)에서 연구수행의 진척상황을 파악할 수 있는 실험데이터 및 결과 요약자료
 - 성과 수준을 판단할 수 있는 연구결과 산출물
 - 연구수행 과정에서의 의미 있는 성과물 또는 시행착오에 대한 대응방안 등 연구자의 목표 달성 노력을 입증할 수 있는 자료 등