

2023년도 나노 및 소재기술개발사업 하반기 2차 신규과제 (전략형) 공고 안내문

1. 사업개요

□ 사업목적

- 신시장·신산업 창출을 위한 글로벌 수준 나노 및 소재 원천기술 확보
- 향후 미래 유망 제품·서비스 구현의 핵심적인 위치가 예상되어 선제적 기술 선점이 필요한 분야 지원

□ 사업내용 ※ 지원규모 및 연구기간 등은 예산사정 및 평가결과 등에 따라 변경 가능

- (전략형) 차세대 주력산업 및 기술 패러다임 변화를 주도하고 미래 소부장을 선점할 수 있는 국가전략기술 확보 지원
- 지원기간 및 규모 : 5년(30개월+24개월) 이내, 과제당 연 10억원 내외

※ 사업특성

- ▶ (난제 해결형 R&D) 현재 전세계적으로 기술이 성숙되지 않았지만 미래의 유망한 기술 (또는 산업)분야에서 `세계 최고` 수준의 미래소재기술 선점을 목표로 기술난제를 제시하고 이를 해결하는 방식의 중장기 R&D 추진
- ▶ 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능) 지원 가능
※ 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정

□ 사업의 특징

- (기술난제 제시) 과제별 기술난제들의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년 이내) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시하여야 함
※ 연구개발제안요구서에서 확인
- (중간진입) 2단계 진입 시 공동과제 조정 및 신규 공동과제 중간 진입 허용
- (IP R&D) 원천특허 확보를 위한 맞춤형 특허전략 지원 및 특허 포트폴리오 구축·점검
- 특허전략 조기 수립을 위한 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 실시 예정
※ 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 연구비를 계산 (1차년도)하고, 선정과제는 별도 안내에 따라 IP-R&D 실시

- (데이터 관리) 연구데이터의 수집·공유·활용성 향상을 위한 연구데이터 관리 계획(DMP: Data Management Plan) 제출의무 대상 사업임
- 주관연구기관(연구책임자)은 연구 과제를 통해 산출된 연구데이터의 체계적인 관리 및 공유·활용을 위한 전문기관(국가소재데이터센터, <https://kmds.re.kr>)의 조치에 성실하게 응하여야 함
※ 연구수행 과정에서 창출된 연구데이터는 전문기관이 지정하는 시스템에 제출
- (가(假)선정제도 운영) 성과관리 체계화를 위해 필요시 PM과 연구자간의 연구목표 및 성과 등을 상세 논의하는 가(假) 선정단계 운영
※ 가선정→상세계획(수정·보완)→협약→실행→모니터링 및 통제→종료
- (성과인정 범위) 특허 출원 시 해당 과제와 직접적 연계성을 가져야 하며, 모든 성과는 기여율이 50% 이상인 경우에 한해 발생성으로 인정함
※ 단, 1개 이상의 주관/공동과제가 성과를 공유한 경우 각 과제의 기여율 합을 기준으로 함

2. 2023년도 하반기 2차 공고 과제

□ 지원규모 및 기간 ※ 과제제안요구서(RFP) 상세내용은 [붙임] 사업유형별 안내문 참조

【 전략형 】

번호	과제제안요구서(RFP) 명	총 연구기간	단계 연구기간	당해 연구기간	당해 지원규모	형태
1	과충전 열폭주 억제용 산소안정형 양극산화물 소재 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위
2	거시적 위험 상태 구현용 켈렐럼 양자 자성체 소재 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위
3	30% 이상 내재적 신축성을 지닌 300 ppi급 고해상도 디스플레이 Frontplane 소재 및 공정 기술 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위
4	6G 통신용 초저유전손실 고분자 원천 소재 및 이중접합기술을 통한 저유전손실 고분자 기판 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위
5	고효율 동력부품용 고가 희토류 저감 소재 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위
6	착용형 로봇 모터소재 및 모터모듈 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위
7	나노-마이크로 아키텍처 기반 초극저온용(20 K) 고엔트로피합금 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위
8	위성체용 고방열저열변형 고인성경량 금속소재 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위
9	인공지능조절이 가능한 조직 맞춤형 고효율 약물전달용 소재기술 개발	23.7.~27.12 (4년 6개월)	23.7.~25.12 (2년 6개월)	23.7.~23.12 (6개월)	5억원 (6개월 분)	단위

※ 연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

□ 과제구성

- 1개의 과제제안요구서(RFP) 당 1개의 단위과제로 구성하여야 함
- 주관연구개발기관은 비영리기관으로 한정함(기업은 주관연구개발기관이 될 수 없음)
- 원활한 연구단 성과관리를 위해 기술적 대응이 가능한 참여연구원 중 1명 이상을 전담인력으로 필수 지정(해당인력의 연락처를 연구계획서 1페이지(실무담당자)에 추가)
- (필요 시) 주관연구개발기관은 공동/위탁과제를 포함하여 구성 가능

3. 평가지표(안)

※ 평가계획 수립 시 일부 변경 가능

평가항목	평가지표	배점
창의성·도전성 (45)	○ 기술난제 해결방안(극복기술)의 적절성 ○ 기술개발 구현을 위한 아이디어의 창의성 ○ 기술개발 목표의 도전성 및 명확성(검증 가능성) ○ 연구수행 방법론의 적합성 ○ 원천기술(특허포트폴리오) 확보 계획의 구체성	45
연구개발 역량 (35)	○ 연구책임자의 역량 및 경험 ○ 목표 달성을 위한 연구팀 구성의 적절성	20
	○ 연구팀 운영 계획의 효율성 ○ 기술개발 및 기술사업화 동향 모니터링 계획의 구체성 ○ 연구기반 구축 수준 및 주관 기관의 지원 의지	15
	○ 연구데이터 전주기 관리 자체계획의 충실성 ○ 해당 분야 연구의 특성을 반영한 자체 데이터 관리 템플릿 제시	10
연구데이터 관리계획(DMP) (10)		10
파급효과 (10)	○ 신산업 창출 가능성 등 산업경제적 파급효과 ○ 사회적 문제 해결 등 사회적 파급효과	10

※ 동점과제의 경우, 높은 배점의 평가항목 평가점수가 높은 순으로 우선순위 부여(창의성·도전성(45점)
→ 연구개발 역량(35점) → 연구데이터 관리계획(DMP)(10점) → 파급효과(10점))

4. 향후일정(안)

※ 공고일: 2023. 5. 23. (화) ~ 6.21.(수) / 30일

일정	내용
2023. 6. 2.(금) ~ 6.21.(수) 18:00	연구계획서 접수(신청 마감일)
2023. 6. 2.(금) ~ 6.22.(목) 18:00	주관연구기관 검토·승인기간
2023. 7월 중	선정평가 실시
2023. 7월 중	사업 추진위원회 심의
2023. 7월 (예정)	상세계획회의 후 협약체결 및 연구개시

※ 상기 일정은 추진 상황에 따라 향후 변동될 수 있음

붙임

과제제안요구서

2023년도 하반기 나노 및 소재기술개발사업 _전략형 RFP_[최종본]

1. 신규 과제 및 사업 규모

- (지원기간) : 5년(30+24개월)<‘23.7 ~ ‘27.12(30개월/24개월)>
- (지원규모) : 신규과제 9개, ‘23년 5.0억원/‘24~‘27년 10억원/년 (총 45억원 내외)

RFP명	연구비 규모	선정 과제수 (안)	페이지
(1) 과충전·열폭주 억제용 산소안정형 양극산화물 소재 개발	과제당 10억원/년 내외	1	1
(2) 거시적 얽힘 상태 구현용 절절매 양자 자성체 소재 개발		1	7
(3) 30% 이상 내재적 신축성을 지닌 300 ppi급 고해상도 디스플레이 Frontplane 소재 및 공정 기술 개발		1	13
(4) 6G 통신용 초저유전손실 고분자 원천 소재 및 이종접합기술을 통한 저유전손실 고분자 기반 개발		1	19
(5) 고효율 동력부품용 고가 희토류 저감 소재 개발		1	24
(6) 착용형 로봇 모터소재 및 모터모듈 개발		1	30
(7) 나노-마이크로 아키텍처 기반 초극저온용(20 K) 고엔트로피합금 개발		1	36
(8) 위성체용 고방열저열변형·고안정경량 금속소재 개발		1	42
(9) 인자자가조절이 가능한 조직 맞춤형 고효율 약물전달용 소재기술 개발		1	48

RFP번호	23_전략형_하반기_01	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	과충전·열폭주 억제용 산소안정형 양극산화물 소재 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- 리튬 이차 전지는 1991년 SONY에 의해 최초로 상용화된 이후 30여년 동안 모바일 IT에서부터 전기자동차(EV) 및 에너지 저장 장치(ESS)에 이르기까지 고신뢰성 전원 장치로서 이차전지 시장의 대부분을 점유하고 있음
- 현재 리튬 이차 전지 시스템의 경우, 전지 사용 시간의 증대 및 동일 에너지 설계 시스템하에서의 전지 적재량 최소화를 위하여 지속적인 에너지밀도의 증진이 필수적이고, 이를 달성하기 위한 연구의 대표적인 방향이 고용량-고전압 양극재의 개발이라고 할 수 있음
- 그러나 해당 고용량을 지니면서도 고전압에서 반응하여 고에너지 밀도의 전지를 구현할 수 있는 양극재의 대표격이라 할 수 있는 리튬 전이금속 산화물 기반의 양극재의 경우, 전지 소재로서의 우수한 특성을 보이는 장점이 있으나, 양극이 고온 및 고전압 환경하에 노출될 시 양극 표면에서의 산소의 탈리가 가속화 되어 열폭주 현상의 원인이 된다는 문제가 존재하고, 전지 시장의 선점과 경쟁국 대비 초격차를 공고히 하기 위해서는 이러한 기술적 난제를 해결하여 보다 안전하면서도 고에너지를 가지는 전지를 개발할 필요성이 있음
 - 현재까지 확인된 양극 소재의 표면 개질의 경우 양극의 출력/수명 개선을 위한 도핑 수준에서의 접근성이 대부분이며, 전지의 열폭주를 개선하기 위한 메커니즘 해석과 이해에서 기반한 양극재 설계는 이루어지지 않고 있음
 - 일반적으로 양극재의 발열 특성을 개선하기 위한 접근 방식은 전해질과의 계면 반응을 억제하는 방향으로 이루어져 전지의 특성을 저하시키면서 열 안전성을 개선하는 방식으로 개선이 이루어져 성능과 안전성의 트레이드-오프 관계의 문제가 존재함
 - 더하여 전지의 사용 중에 발생하는 양극의 열화로 인하여 열안전성이 떨어지는 문제가 존재하여 수명 중에도 양극의 열안전성을 유지시킬 수 있는 기술의 개발이 중요함
 - 그러나, 고용량 층상계 양극 소재의 안전성을 개선할 수 있는 방안이 도출

된다면, 기존의 고안전성 리튬 인산철 전지와 같이 Cell-to-Pack 설계와 같은 전지의 시스템단에서의 에너지밀도 개선 설계가 가능하기에 리튬이차전지의 복합적인 성능 개선이 기대됨

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 기존 층상계 리튬이차전지 성능(용량, 초기효율, 수명 특성, 출력 등)을 유지하면서도 안전성이 개선된 리튬 이차 전지용 양극 소재를 개발하고자 함
 - 실제 사용가능하거나 상용화되어 있는 고용량 층상구조 양극재를 기준으로 개발하는 것을 원칙으로 함. 실제 개발된 기술과 소재가 직접 리튬 이차 전지에 사용될 수 있는 소재를 기반으로 함
 - 새로운 난연성 전해질의 개발이나 새로운 고용량 음극 소재의 개발을 지양함. (전해질과 음극 소재의 경우 기존에 상용화된 것을 적용함) 주로 양극 소재의 개발에 집중이 필요함
 - 개발된 고용량 층상구조 양극 소재를 활용하여 과충전시와 고온에서 열폭주가 일어나지 않는 500 mAh 이상급 리튬 이차 전지에서의 성능 및 안전성을 검증하여야 함

○ 미래유망품목 및 기술난제 제시

- 미래유망품목: 고온-고전압에서도 열폭주가 발생하지 않는 고용량 층상계 양극 소재
표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표*
① 층상계 양극재 본연의 산소 탈리 기인 발열 기작에 대한 이해 및 개선 방안의 부재	- 열폭주 시작온도, 발열량 - 고온 고전압 노출에 따른 가스 발생량
② 고온 안전/안정성이 확보된 양극재가 적용된 극판의 복합 성능 구현 기술 부재	- 전극/전해질 계면 안정성 - 양극 변화에 따른 출력/수명 특성 유지
③ 열안전/안정성이 확보된 양극재를 적용하여 구현한 리튬 이차 전지 기술의 부재	- 모노셀 성능 - 파우치 셀 레벨 안전성 평가

※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함

* 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표 (4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

2. 연구개발목표

○ 최종목표 : 과충전 상태 하 온도 상승에 따른 산소발생이 억제된 고용량 장수명 충상구조 산화물계 양극 소재 개발

- 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시

○ 단계별목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)> : 충상계 양극재의 열폭주 현상에 대한 소재 관점에서 이해에서 기반한 과충전 상태의 양극재의 고온 안전/안정성 개선 기술 개발 및 전지 성능 검증

- 1) 고용량 고안정성 양극 활물질 소재 설계 및 구현
 - 산화물계 충상계 양극재의 고온-과충전 상태에서의 열화 기작을 기반으로 가역용량 200 mAh/g (= SOC 100%) 이상의 고용량이 구현 가능하면서 동시에 열안전/안정성이 대폭 개선된 고용량-고안정성 양극 활물질 개발
 - SOC 120% (양극 충전용량 기준 SOC 120% = 240 mAh/g) 이상의 과충전 상태에서 열폭주 반응 시작 온도가 300도 이상이며, 총 발열량 및 기체 발생량이 상용 소재 대비 저감된 양극 활물질 개발
 - DSC 사용한 발열량 평가시, Heating rate $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - 양극활물질과 전해질의 질량비 1:10 이상
 - 과충전 상태에서 열폭주시 양극활물질의 열화 메커니즘 규명
- 2) 고용량 고안정성 양극 활물질 적용 전극 설계 및 전지 성능 구현 기술 개발
 - 전극 밀도 3.2 g/cc 이상, 로딩 3.3 mAh/cm² 이상 조건에서 열폭주 및 산소 방출 현상이 억제된 양극판 개발
 - 45℃, 300사이클 (전지 설계 용량 100% 활용 조건, NP ratio 1.1 이하 제한) 이후 수명 특성, 초기 용량 대비 유지율 80 % 이상
 - 전지 초기 활성화 이후 SOC 110% (양극 충전용량 기준 240 mAh/g) 이상의 과충전 상태에서 60℃ 노출시 EU CAR HAZARD LEVEL 3 달성
 - 45℃, 100회 이상의 수명 평가 이후 SOC 110% (양극 충전용량 기준 240 mAh/g) 이상의 과충전 상태에서 60도 노출시 EU CAR HAZARD LEVEL 3 달성
 - 500 mAh급 이상에서의 풀셀 안전성 평가를 통한 과충전 시 발화 및 폭발 위험성이 낮은 전지 구현:
 - 전지 정격 용량 기준 SOC 110% 이상 과충전 및 (풀셀 0.3 C 정격 용량 대비 10 % 이상 과충전), 60 ℃ 이상의 온도 노출시
- 3) 리튬이차전지용 양극 소재의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)> : 열안전성/안정성이 획기적으로 개선된 충상계 양극재 개발 및 전지 적용 검증

- 1) 고용량 고안정성 양극 활물질 소재 설계 및 구현
 - 산화물계 충상계 양극재의 고온-과충전 상태에서의 열화 기작을 기반으로 가역용량 210 mAh/g (= SOC 100%) 이상의 고용량이 구현 가능하면서 동시에 열안전/안정성이 대폭 개선된 고용량-고안정성 양극 활물질 개발
 - SOC 130% (양극 충전용량 기준 SOC 130% = 273 mAh/g) 이상의 과충전 상태에서 열폭주 반응 시작 온도가 300도 이상이며, 총 발열량 및 기체 발생량이 상용 소재 대비 저감된 양극 활물질 개발
 - DSC 사용한 발열량 평가시, Heating rate $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - 양극활물질과 전해질의 질량비 1:10 이상
- 2) 고용량 고안정성 양극 활물질 적용 전극 설계 및 전지 성능 구현 기술 개발
 - 전극 밀도 3.2 g/cc 이상, 로딩 3.5 mAh/cm² 이상 조건에서 열폭주 및 산소 방출 현상이 억제된 양극판 개발
 - 45℃ 500사이클 (전지 설계 용량 100% 활용 조건, NP ratio 1.1 이하 제한) 이후 수명 특성, 초기 용량 대비 유지율 80% 이상
 - 전지 초기 활성화 이후 각각 SOC 110%, 130% (양극 충전용량 기준 240, 294 mAh/g) 이상의 과충전 상태에서 60℃ 노출시 EU CAR HAZARD LEVEL 3 달성
 - 45℃ 100회 이상의 수명 평가 이후 각각 SOC 110 %, 130 % (양극 충전용량 기준 240, 294 mAh/g) 이상의 과충전 상태에서 60℃ 노출시 EU CAR HAZARD LEVEL 3 달성
 - 500 mAh급 이상에서의 풀셀 안전성 평가를 통한 과충전 시 발화 및 폭발 위험성이 낮은 전지 구현:
 - 전지 정격 용량 기준 SOC 130% 이상 과충전 및 (풀셀 0.3 C 정격 용량 대비 30 % 이상 과충전), 60 ℃ 이상의 온도 노출시

3. 성과목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- JCR 5% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 양극 신규소재 관련 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 공인시험성적서 제출 (단계 평가시 제출)
- 리튬이차전지용 양극 소재의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- JCR 5% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 양극 신규소재 관련 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 공인시험성적서 제출 (최종년도)
- 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 리튬이차전지 파우치셀 시작품 제시
- 자율제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 변경하여 연구계획서를 제출해야 함
- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함
- 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)

◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)

* 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	• IF≥25 (IF≥20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	• 개별건당 계약금액 2억원 이상

- 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함

- 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야 하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨
[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	'27년 목표
① 층상계 양극재 본연의 산소 탈리 기인 발열 기작에 대한 이해 및 개선 방안의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 고온 안전/안정성이 확보된 양극재가 적용된 극판의 복합 성능 구현 기술 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 열안전/안정성이 확보된 양극재를 적용하여 구현한 리튬 이차 전지 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주안점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)
- 과제형식 : 단위과제
- 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)
- 선정 과제 수 : 1개 단위과제
 - ※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)
 - 연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_하반기_02	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	거시적 얽힘 상태 구현용 켈렐렐 양자 자성체 소재 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- 기존 컴퓨터 방식으로는 풀 수 없는 문제들이 양자컴퓨팅을 통해 풀릴 수 있다는 양자우월성이 제시되어 이를 실증할 양자컴퓨터를 구현하기 위한 연구개발의 필요성과 투자가 급증하고 있음
- 대규모 양자 컴퓨팅을 위한 기존 큐비트 플랫폼(초전도, 점결합, 이온트랩 등)들은 양자얽힘 상태를 유지하는 큐비트들의 숫자를 확장시키는데 기술적인 어려움을 동반하고 있어 이러한 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 새로운 플랫폼 소재 개발이 필요함
 - 근본적 문제를 해결하고 기술적 선점을 위하여 거시적 큐비트 얽힘 상태를 구현 및 유지 할 수 있는 양자 자성체 소재 개발이 필수임
- 스핀들 간의 켈렐렐(frustration)을 이용한 양자 자성체 소재는 거시적 양자 얽힘 상태로 인해 분수화된 준입자를 허용하고 이들을 큐비트로 이용한 양자 계산이 가능하다고 알려져 있어 해당 소재 개발은 대규모 큐비트 양자컴퓨팅 분야에 큰 파급력을 가져올 수 있음
- 전 세계적으로 양자 자성체 특성을 보이는 소재를 이론적으로 예측하고 이를 증명하는 소재 합성법과 얽힘 상태를 측정하는 실험방법에 대한 연구가 증가하고 있고 스핀의 켈렐렐 상태를 구현하는 양자 물질은 보고되고 있으나 스핀의 켈렐렐 상태를 조절 가능한 소재 설계 및 개발 기술은 초기 단계로 기술 선점이 가능한 부분임
- 양자 자성체 소재 개발 연구는 물리적인 이론 연구와 더불어 중성자 산란 실험 등 국가적 대형 연구 시설을 사용한 검증이 필요한 분야로 국내에서는 독자적인 우수한 연구는 있으나, 전주적인 협업체계는 구축이 안되어 있기에 세계 선도 연구 기관들과 협력하여 연구가 진행되고 있어 그룹과제로 연구를 진행할 수 있는 국가적 투자와 협업 플랫폼 형성 구성이 절실히 요구됨

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 스핀의 켈렐렐 상태를 이론적으로 기술하고 해당 상태를 실험적으로 구현하려는 노력이 수십년 간 진행되었고 최근에서야 해당 상태를 가지는 물질과 시스템이 보고되고 있어 세계적으로 관심도는 증가하고 있으나 차세대 대규모 양자 컴퓨터 개발을 위해 활용되기 위해서는 이러한 양자 물질에서 얽힘 상태를 조절하는 기술을 개발하는 것이 필수임
- 이미 잘 알려진 물질군들 (예를 들면, 삼차원 파이로클로어 스핀아이스, 카고메격자 카이랄 스핀 액체, 스핀-궤도 결합에 의한 다중극 모멘트 액체, 스핀 액체-(반)도체 이중접합)을 획기적으로 개선하거나 새로운 형태의 물질을 활용하여 거시적 얽힘 상태가 나타나리라 예측되는 소재군을 제시해야 함
 - 저온에서 스핀 간의 거시적 얽힘 상태를 효율적으로 조절할 수 있는 물질의 이론적인 (설계)원리를 제시하여야 함.
 - 이들 물질을 사용하여 새로운 소재군으로부터 양자 컴퓨팅을 구현할 수 있는 로드맵을 제시하여야 함.
- 켈렐렐 양자 자성체(양자스핀액체)를 실험적으로 식별하는 것도 매우 중요한 기반 기술임에 반해 상당한 난이도가 있는 도전적인 분야이며 현 시점에서는 분수화된 준입자를 관측하는 중성자 산란, 열용량 측정 등의 몇 가지 실험만이 좋은 예로 받아들여지고 있음
 - 비열 및 자화율 등의 거시적인 측정뿐만 아니라 켈렐렐 및 양자얽힘 현상의 미시적 물리현상을 측정할 수 있는 측정기술 및 측정기술 개발 로드맵을 제시하여야 함
 - 기존에 제시된 실험적 방법들 이외에도 새롭게 개발된 이론에 기반하여 예상되는 양자 자성체의 저에너지에서의 분수 준입자 및 얽힘 상태들을 특정할 수 있는 실험 방법론 및 관측치들을 예측하고 실제 실험으로 검증하는 내용이 필수적으로 포함되어야 함
- 켈렐렐 상태를 가지고 조절 가능한 물질을 모델링 및 설명하기 위해서는 단일자 근사법을 기반으로 하는 기존 이론으로는 불가능하며 다체계의 양자역학을 포함하는 새로운 이론들이 필요하고 더욱 나아가 외부 인자에 대한 얽힘상태의 조절 등을 기술하기 위하여 게이지장이론, 양자수송이론 등을 포함하는 이론 개발이 필요함
- 양자 자성 소재에서 켈렐렐 상태를 조절 가능한 물질을 설계하는 기술은 전 세계적으로 보고된 바 없는 기초적인 단계로 국내 소규모 연구진들이 협업 플랫폼을 구성하여 도전할 시 단기간에 세계적 초격차를 달성할 수 있을 것으로 기대되므로 이론, 모델링, 실험 그룹들이 협력하여 기술난제를 해결할 수 있는 방안들이 제시되어야 함

○ 미래유망품목 및 기술난제 제시

- 미래유망품목: 대규모 큐비트 양자 컴퓨팅을 위한 새로운 플랫폼 개발

표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술난제	난제 해결여부 판단지표
① 스핀 절절매 상태의 조절이 가능한 물질 설계(이론)과 제작 기술의 부재	양자 스핀 액체 모델링 및 이론 개발 및 이를 실험적으로 달성 여부 - 분수 준입자(마요라나 페르미온)가 나타나는 스핀액체 물질과 금속물질 계면합성 (예시: RuCl_3 -금속접합) - 희토류 자성 준결정 물질 합성을 통한 다중극자 모멘트간의 절절매 상태 실현 (예시: Yb-20면체 준결정 합성) - 기존 스핀액체물질 대비 5배이상 높은 온도에서 절절매 구현 (예시: $T > 10 \text{ K}$)
② 제시된 물질에서 양자 얽힘 상태 측정 이론 및 실험 기술의 부재	-기존 (1-tangle, 2-tangle)보다 다중(3-tangle 이상)의 얽힘 증거 확증 -스핀 아이스 물질의 중성자 산란을 통한 분수 준입자 검출 (예시: $\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 물질의 스핀파 관측) -기존 10배이상 해상도로 저주파수 영역에서의 스핀액체물질의 갭 유무 판별 (예시: 테라헤르츠 영역, 0.1 meV 해상도)
③외부 변수를 사용하여 양자 얽힘 상태 제어 이론 및 실험 기술의 부재	- 예시, energy resolution $\leq 0.1 \text{ meV}$ - 고자기장 라만 산란 실험을 통한 양자스핀 액체 상전이 확증 (예시: 자기장 10 T 이상) - 물질 변형, 압력에 따른 저에너지 게이지 장 분수 준입자 변화 이론 구축 (예시: 게이지 장 변화로 인한 모노폴 열 홀 효과) - 분수 준입자 간의 상호작용 조절에 의한 양자 상전이 모델 제시 (예시: 온도 변화로 인한 위상결함의 액체화 및 상전이 연구)

※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함

* 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표 (4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

2. 연구개발목표

○ 최종목표 : 스핀 사이에 기하학적인 절절매 상태를 구현하는 양자 자성체 소재 개발 및 스핀 얽힘 상태 측정 기술 개발

- 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 전세계 경쟁 그룹과 비교 수준을 자율 제시

○ 단계별목표

〈1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)〉

- 1) 스핀 절절매 상태를 구현하는 양자 자성체 소재와 이론 개발
 - 거시적인 스핀 절절매 상태를 보이는 소재 (스핀 액체, 스핀 아이스 등) 설계 및 개발(예시, 불순물 효과 정량적 검증)
 - 양자 스핀 액체 모델링 및 원리 규명
 - 기존 절절매 소재의 물성(중성자 산란, 열들이 등) 대비 목표 소재 물성 자율 제시

- 2) 거시적 양자 얽힘을 측정할 수 있는 기술 개발
 - 저에너지 분수 준입자 검출 기술 개발: 실험과 이론 연구 병행 (예시, 양자 얽힘 측정 방법론과 기준 자율 제시)
 - 측정 기술 분해능 자율 제시 (예시, energy resolution $\leq 1 \text{ meV}$)
 - 스핀 양자 얽힘 측정 플랫폼 개발 (예시: 열들이, 자화율, 중성자 산란, 비국소성 실험)
- 3) 양자 절절매 자성체 기술의 특허 포트폴리오 구축

〈2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)〉

- 1) 거시적 양자 얽힘을 측정할 수 있는 기술 최적화
 - 거시적인 스핀 절절매 상태를 보이는 소재 및 측정 기술 최적화
 - 양자 스핀 액체 모델링 및 이론 확립
- 2) 온도 및 외부 인자에 의한 얽힘 상태 제어 기술 고도화
 - 외부 변수(온도, 전기장, 자기장, 압력)에 따른 양자 얽힘 상태 측정 및 제어 (예시, 스핀 액체-(반)도체 이중접합과 같은 새로운 소자를 이용한 제어 기술 자율 제시)
 - 저에너지 분수 준입자 제어 기술 개발 (예시, 브레이딩과 같은 제어 기술 자율 제시)
 - 측정 기술 분해능 자율 제시 (예시, energy resolution $\leq 0.1 \text{ meV}$)
 - 스핀 양자 얽힘 측정 플랫폼 고도화 (예시: 열들이, 자화율, 중성자 산란, 비국소성 실험 등)

3. 성과목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- JCR 5% 이내 SCIE급 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 양자 절절뿔 자성체 소재 관련 국내·외 원천 특허 2건 이상 출원(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 해당 양자 절절뿔 자성체 기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- JCR 2% 이내 SCIE급 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 총 사업기간 내 스마트지수 BB급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 양자 절절뿔 자성체 소재 관련 국내·외 원천 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 자율제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 변경하여 연구계획서를 제출해야 함
- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함
- 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)
 ◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)
 * 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	• IF≥25 (IF≥20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	• 개별건당 계약금액 2억원 이상

- 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함
- 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야 하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨

[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	'27년목표
① 스핀 절절뿔 상태의 조절이 가능한 물질 설계(이론)과 제작 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 제시된 물질에서 양자 얽힘 상태 측정 이론 및 실험 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 외부 변수를 사용하여 양자 얽힘 상태 제어 이론 및 실험 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주안점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)
- 과제형식 : 단위과제
- 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)
- 선정 과제 수 : 1개 단위과제
 - ※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)
 - 연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_하반기_03	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	30% 이상 내재적 신축성을 지닌 300 ppi급 고해상도 디스플레이 Frontplane 소재 및 공정 기술 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- 차세대 휴대용 전자기기, 메타버스, 스마트 시티, 증강현실, 가상현실 등을 위한 미래 디스플레이의 구현을 위해서는 시공간의 제약을 극복하는 스트레처블 디스플레이의 구현이 필수적으로 요구됨
 - 미래 디스플레이 소자에 있어서 초격차적인 기술력의 확보를 통해 지속적인 디스플레이 산업의 기술경쟁력 확보를 달성하는 것이 절실한 상황임
- 스트레처블 디스플레이의 구현을 위해서, 기존에는 경직된 소재를 활용하여 구조적으로 신축성을 구현하는 다양한 소자구조 및 전극구조가 연구되어 왔으나, 초고해상도의 스트레처블 디스플레이의 구현을 위해서는 물질 자체에 내재적인 (intrinsic) 신축성을 가지는 소재를 통해서 디스플레이 소자를 구현하는 것이 필수적임
- 디스플레이의 내재적 신축성의 구현을 위해서는, 발광소재, 반도체, 전극, 절연체, 기판소재, 봉지재와 같은 디스플레이를 구성하는 다양한 소재의 동시적인 내재적인 신축성의 구현이 필요하며, 또한 반복된 기계적인 변형에도 각 구성요소들의 물성 변화 및 디스플레이의 성능 변화의 최소화가 필요함
- 특히 직접적으로 화면을 표시하는 스트레처블 Frontplane 구동을 위해서는, 디스플레이 소자 구현에 적합한 안정성 및 공정성을 가지며 내재적인 신축성을 가지는 “표시소자, 전극소재, 기판소재, 봉지소재”의 소재 기술과 이를 이용한 고해상도 패턴 공정기술의 구현이 필수적임. 디스플레이 기술의 최근 해상도 발전 트렌드를 고려할 때, 최소 300 ppi (모노 기준)급의 구현이 가능해야 실용적 의의가 있을 것으로 판단됨
 - 표시소자는 해상도와 화질에 직접적 영향을 주는 디스플레이 Frontplane의 주요 요소로서, 중단기적 관점에서, 기존에 Rigid 디스플레이에 사용되고 있는 소재를 활용하여 단단한 아일랜드상에 발광부를 구성하고 주로 연결 전극 부가 인장에 대응하도록 하는 하이브리드 방법이 쓰일 것으로 예상되나, 궁극적인 스트레처블 디스플레이 구현을 위해서는 표시소자 자체도 내재적 신축성 (intrinsic stretchability)을 최대한 확보하도록 하는 것이 필요함
 - 신축성 전극은 다양한 신축성 전자소자의 구현을 위한 기본적인 전자소재임.

신축성 디스플레이의 구현을 위해서 신축성 전극은 기존 금속/투명 전극과 유사한 우수한 전도도, 투명도 및 반복 신축에도 물성 변화가 없는 우수한 신뢰성의 구현이 요구됨

- 신축성 디스플레이를 구현하는 가장 기본적인 것이 기판 소재로 팽창 및 수축에도 고유의 물성이 변하지 않으며 반복 신축에 대한 신뢰성을 가져야 함. 또한 기판 위에 구현하는 소자와 matching성이 우수하여야 함
- OLED 디스플레이 등 수분과 산소에 취약한 소자의 경우 이를 효과적으로 차단해 주는 봉지막이 필수적임. 기존의 유무기 적층막 기반의 봉지소재의 경우 신축 시 박막이 파괴되거나, 수분과 산소의 차단 특성이 저하되어서 소자의 장수명 안정성에 영향을 끼침. 따라서 신축/이완 반복 동작 시 수분과 산소의 차단 특성이 저하되지 않는 봉지막 소재 개발이 필요함
- 내재적 신축성을 가지는 전자소재는 국가전략 산업인 디스플레이 산업의 선도적인 기술경쟁력의 확보뿐만 아니라 웨어러블 기기, 헬스케어 기기, 생체삽입형 전자기기 및 스트레처블 센서와 같은 미래 전자산업 분야에 또한 필수적인 소재기술로 폭넓게 활용이 가능할 것임

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 본 과제는 고해상도의 신축성 디스플레이용 내재적 신축성의 Frontplane 개발을 위하여 내재적 신축성을 가진 표시소자, 전극소재, 기판소재, 봉지소재 등의 기술 개발에 있어서 아래의 과제에 대한 극복기술 제시가 필요함
 - 내재적인 신축성을 가지며 상용 디스플레이에 적용이 가능한 고효율의 표시소자 기술
 - 고전도도 및 낮은 기계적 변형률을 가지는 고신축성 전극/투명전극 소재 기술
 - 고내열성 및 낮은 기계적 변형률을 가지는 고신축성 기판 소재 기술
 - 신축성 Frontplane의 구동 신뢰성 확보를 위한 수분/산소 차단 봉지소재 기술
 - 고해상도 신축성 Frontplane 소자의 구현을 위한 미세패터닝 공정 및 소자 집적화 기술
- 차세대 신축성 디스플레이의 구현을 위해서는 상이한 기계적 화학적 특성의 신축성 전자소재의 접합 및 집적이 필요하며, 이의 높은 기계적 신뢰성 확보가 필요함. 단기적으로는 단단한 아일랜드와 신축성 전극을 통한 하이브리드 소자의 구현이 필요하나 고해상도 디스플레이의 구현을 위하여 궁극적으로는 내재적인 신축성을 가진 Frontplane의 구현이 필요하며, 이를 위한 새로운 소재 및 소자 구현을 위한 차별화된 전략이 필요함

○ 미래유망품목 및 기술난제 제시

- 미래유망품목: 웨어러블 디바이스용 신축성 디스플레이

표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표 (예시*)
① 높은 내열성 및 낮은 변형률을 가진 고신축성 기관소재 기술의 부재	- 기관 내열성 (예시, $\geq 200^{\circ}\text{C}$ 공정온도 기준) - 신축성 기관 소재 신뢰성 (예시, 변형률 $\leq 10\%$, @30% 신축 50,000회 반복)
② 기존 금속 전극 수준의 높은 전도도를 가지며 미세 패턴 및 대면적 공정 적합성을 가진 신축성 전극 기술의 부재	- 신축성 전극 소재 전도도 (예시, 금속 대비 불투명 전극 전도도 $\geq 40,000\text{ S/cm}$) - 기존투명 전극(면저항 10 ohm/sq, 투과도 90%) 대비 성능 $\geq 70\%$ - 신축성 전극 신뢰성 (예시, 소재 상능 및 수명 열화 $\leq 10\%$ @30% 신축 50,000회 반복) - 대량 양산공정 (예시, 포토리소그래피, 롤투롤 인쇄공정 등) 적용 가능한 미세전극 구현 타당성 (예시, 전극 패턴 두께 0.5 μm 및 최소 선폭 10 μm 이하)
③ 고발광 효율 및 고집적 내재적신축성 표시소자 기술의 부재	- 내재적 신축성을 가진 단위 발광소자 기술 및 소재 (예시, 발광소자 상능 열화 $\leq 10\%$ @30% 신축 50,000회 반복) - 고신뢰성 신축성 발광소자, 어레이 기술 및 소재 (예시, 발광소자 수명 열화 $\leq 10\%$ @30% 신축 50,000회 반복) - 고해상도 신축성 발광소자 어레이 (예시, 300ppi)

※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함

* 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표 (4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

2. 연구개발목표

○ 최종목표 : 30% 이상 내재적 신축성을 지닌 300 ppi급 고해상도 디스플레이 Frontplane 소재 및 공정 기술

- 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시

○ 단계별목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)> : 고신축성 Frontplane 소재 원천 기술 개발

- 1) 전도도 35,000 S/cm 이상의 금속 전극소재 및 기존 투명 전극소재 성능지수 (기관제외, 투과도 90% (가시광 파장 550 nm 기준) 및 면저항 10 ohm/sq)의 60% 이상을 유지하며 내재적 신축성을 가지는 고전도도 전극 및 투명 전극 소재 기술
 - 20% 신축 반복(10,000회 기준) 소재성능 열화율 $\leq 10\%$
 - 20% 신축 반복(10,000회 기준) 소재수명 열화율 $\leq 10\%$

2) 고신축성 기관소재기술 개발

- 공정온도 $\geq 150^{\circ}\text{C}$

3) 내재적 신축성을 갖는 단위 표시소자 기술 개발

- 20% 신축 반복(10,000회 기준) 소자성능 열화율 $\leq 20\%$
- 신축에 따른 상대적 효율 열화 외에도, 열화 전 목표 성능지표 (효율, 최대 휘도, 수명 등)을 자율적으로 제시함

4) 신축성 표시소자 어레이화 기술 개발 및 공기 중 동작 수명저하 저감기술 개발

- 20% 신축가능(radial) 200 ppi 해상도 (2D 방향의 신축 표시소자 화소 어레이의 인장 변화를 정밀하게 평가할 수 있는 기술 포함하여 제시)
- 20% 신축 반복(10,000회 기준) 대기중 어레이내 소자수명 열화율 $\leq 20\%$ (수명은 연속구동 후 초기 휘도 대비 95% 이하로 저감되는 시간을 기준으로 함)

5) Intrinsic 스트레처블 Frontplane 소재 기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)> : 고집적 Intrinsic 스트레처블 Frontplane 구현을 위한 고신뢰성 소재 기술 및 미세공정 기술 개발

1) 전도도 40,000 S/cm 이상의 금속 전극소재 및 기존 투명 전극소재 성능지수 (기관제외, 투과도 90% (가시광 파장 550 nm 기준) 및 면저항 10 ohm/sq)의 70% 이상을 유지하며 내재적 신축성을 가지는 고전도도 전극 및 투명전극 소재 기술

- (두께 0.5 μm 이하 및 최소크기 10 μm 이하)이 가능한 고전도도 전극 및 투명 전극 소재 기술
 - 30% 신축 반복(50,000회 기준) 소재성능 열화율 $\leq 10\%$
 - 30% 신축 반복(50,000회 기준) 소재수명 열화율 $\leq 10\%$

2) 고신축성 기관소재 기술 최적화

- 공정온도 $\geq 200^{\circ}\text{C}$

3) 내재적 신축성을 갖는 단위 표시소자 기술 최적화

- 30% 신축 반복(50,000회 기준) 소자성능 열화율 $\leq 10\%$
- 신축에 따른 상대적 효율 열화 외에도, 열화 전 목표 성능지표 자율제시 (효율, 최대휘도, 동작수명 등)

4) 신축성 표시소자 어레이화 기술 개발 및 공기 중 동작 수명저하 저감기술 고도화

- 30% 신축가능(radial) 300ppi 해상도
- 30% 신축 반복(50,000회 기준) 대기중 어레이내 소자수명 열화율 $\leq 10\%$ (수명은 연속구동 후 초기 휘도 대비 95% 이하로 저감되는 시간을 기준으로 함)
- 다축 인장 정밀 평가 기준 자율적 제시

5) 신축성 소재의 성능 열화 없이 고집적 Intrinsic 스트레처블 Frontplane 어레이 구현을 위한 미세 공정 기술 및 픽셀 어레이 제작(예시, 10 \times 10) 및 구동 검증

3. 성과목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- JCR 5% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 소재별 목표 자율제시 (기관, 전극, 발광소재, 봉지재)
- 30% 이상의 신축성을 가지는 intrinsic 스트레처블 Frontplane 소재 요소기술 연구목표 달성을 증빙하는 요소기술 시험성적서 혹은 제3기관 성적서 제시 (단계 평가시 제출)
- Intrinsic 스트레처블 Frontplane 소재의 특허 포트폴리오

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- JCR 5% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 30% 이상의 신축성 및 300 ppi급 이상의 해상도를 갖는 intrinsic 스트레처블 Frontplane 어레이 시작품 (발광소자 종류, 발광효율, 안정성에 대해서는 자율 제시)
- 30% 이상의 신축성을 가지는 intrinsic 스트레처블 Frontplane 소재 요소기술 연구목표 달성을 증빙하는 요소기술 시험성적서 혹은 제3기관 성적서 제출 (최종년도)
- 자율 제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 변경하여 연구계획서를 제출해야 함
- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함
- 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)
 ◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)
 * 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	• IF≥25 (IF≥20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	• 개별건당 계약금액 2억원 이상

- 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함
- 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야 하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨

[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	*27년 목표
① 높은 내열성 및 낮은 변형률을 가진 고신축성 기판소재 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 기존 금속 전극 수준의 높은 전도도를 가지며 미세 패턴 및 대면적 공정 적합성을 가진 신축성 전극 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 고발광 효율 및 고집적 내재적신축성 표시소자 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주안점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)
- 과제형식 : 단위과제
- 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)
- 선정 과제 수 : 1개 단위과제
 - ※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)

연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_하반기_04	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	6G 통신용 초저유전손실 고분자 원천 소재 및 이종접합기술을 통한 저유전손실 고분자 기판 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- Sub-THz 영역의 초고주파대가 사용되는 6G급 통신을 실현하기 위해서는 통신부품(IC, 안테나, 필터, 수동소자, PCB 등)의 신호 전송 손실과 성능저하를 최소화할 수 있는 초저유전손실 특성의 소재가 필수적임
- 현재 고주파대역 통신부품에 사용되는 저유전 및 저유전손실 소재 및 고속 통신용 PCB, IC 기판 소재 등은 sub-THz의 초고주파대역에서 요구되는 성능을 충족시키지 못하는 실정임
- Sub-THz 영역의 “beyond 5G/6G” 통신기술에 전송 손실과 성능저하 없이 초고속, 초연결성을 만족하기 위한 저유전을 및 ≤ 0.002 급 초저유전손실 특성을 갖는 고분자 소재의 개발이 필요함
- 새로운 개념의 고분자 소재의 개발과 함께 고속통신용 부품에 주로 사용되는 동박(배선소재)과 고분자 소재와의 계면에서의 손실 특성을 제어하기 위한 계면제어 기술 및 동박형성 기술의 개발도 필요함
- 저유전기판으로 활용하기 위하여 저유전손실/열전도 특성을 저해하지 않으며 동박(배선소재)과 우수한 접착성을 통하여 굽힘등의 외력에 저항성을 가지는 고신뢰성 계면제어 기술의 개발이 필요함
- 이를 통하여 초고주파수 통신대역에서 IoT, EoT를 구현하는 것이 핵심 산업가치로 부상하는 상황 속에서 폴더블 및 웨어러블 기기뿐만 아니라, 미래 모빌리티용 다양한 전장 부품에 적용될 수 있는 초저유전손실의 유연 기판 소재 및 제조공정 개발이 시급함

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 6G 등 차세대 통신주파수인 sub-THz 대역에서 전자부품의 전송 손실을 최소화할 수 있는 저유전손실을 만족하며 고열전도성을 만족하는 고분자 소재 및 동박(배선소재)과의 (배선소재) 우수한 접착력을 발현하는 이종접합 계면제어 원천기술 개발을 통한 저유전손실 기판 개발을 목표로 함
- 현재, 사용되고 있는 PI, PTFE, 및 LCP의 경우 공정 및 접합 문제 등으로

인하여 단점을 가지고 있으며, 이를 극복할 수 있는 새로운 개념의 저유전손실 고분자 소재가 필수적으로 요구됨

- PFAS 규제에 대응할 수 있는 소재의 개발이 필요함

- 기술 난제별로 일본/선진국 수준을 비교하여 자립화 및 미래 경쟁력 확보가 가능하며 차별성 및 독창성을 고려한 도전적인 개발 스펙을 제시함
- 핵심 요소기술별 보유기술 분석을 통한 각 핵심기술별 전문연구그룹의 융합연구팀을 구성함
- 각 소재/부품별 안정적인 성능과 재현성을 구현할 수 있는 방안을 제시함

미래유망품목: 저유전손실 고분자 기반 6G 통신용 기판 소재

표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표 (예시*)
① 초고주파수 대역(sub-THz)에서 PI, PTFE, LCP를 능가할 수 있는 저전송손실 고분자 원천 소재의 부재 ※ 측정방법 : 기판 스펙을 기준으로 측정	- 유전율 : ≤ 2.5 (@0.1 THz) (IEC 63185) - 흡수율 : $\leq 0.04\%$ (@0.1 THz) (ASTM D570 또는 IPC-TM-2.6.2.1A) - 유전손실 : ≤ 0.002 (@0.1 THz) (IEC 63185) - 전송손실, 표면조도 : 자율제시
② 초고속 통신용 고분자 소재와 동박(배선소재)과의 이중접합 특성을 확보하기 위한 이중 접합 기술의 부재	- 접착 강도 ≥ 1 N/mm - Thermal cycle (-55도~125도, 200 cycle) 후 접착 강도 변화 예시 : ≥ 0.6 N/mm (신뢰성 지표)
③ 초고속 통신용 고분자 기판소재의 온습도 변화에 따른 유전율 및 유전손실 변화 최소화 기술의 부재	- Thermal cycle (-55도~125도, 200 cycle) 후 성능 변화 예시 : $\leq 10\%$ 이내 (신뢰성 지표)

※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함

* 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표 (4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

2. 연구개발목표_모두

- 최종목표 : 초고주파수 대역(@0.1 THz)에서 저유전손실을 갖는 고분자 원천 소재 및 동박(배선소재)과의 우수한 접착성을 확보할 수 있는 계면 제어 기술을 통한 저유전손실 고분자 기판 원천 기술 개발
 - 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시

○ 단계별목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- 1) 초고주파수 대역 저유전손실 특성 고분자 원천 소재 설계 및 합성 기술 개발
 - 신규 저유전손실 특성 고분자 소재 합성 기술 개발
 - 저유전손실 특성 고분자 소재 내흡수성 향상 기술 개발
 - 유전율 : ≤ 3.0 (@0.1 THz) (IEC 63185)
 - 흡수율 : $\leq 0.1\%$ (@0.1 THz) (ASTM D570 또는 IPC-TM-2.6.2.1A)
 - 유전손실 : ≤ 0.005 (@0.1 THz) (IEC 63185)
 - 전송손실, 표면조도 : 자율제시
 - 등방성 열팽창 계수 및 기계적 강도를 갖는 고분자 소재 기술
- 2) 초고주파수 대역 저유전손실 특성을 위한 이중접합 기술 개발
 - 동박과의 우수한 접착 특성을 위한 이중접합 기술 설계
 - 접착 강도 ≥ 1 N/mm
 - Thermal cycle (-55도~125도, 200 cycle) 후 접착 강도 변화
예시 : ≥ 0.4 N/mm (신뢰성 지표)
 - 우수한 접착 특성을 가지는 동박(배선소재) 형성 및 접합을 위한 고분자 표면 계면 제어 설계 및 동박(배선소재) 형성 기술 설계
- 3) 초고주파수 대역 저유전손실 특성이 확보된 고분자 기판 적용 기술 개발
 - 초고속 통신 주파수 대역, 온도, 및 습도 변화에 따른 안정적인 유전율 및 접착 특성을 갖는 고분자 기판 기술
 - Thermal cycle (-55도~125도, 200 cycle) 후 성능 변화
· 예시 : $\leq 20\%$ 이내 (신뢰성 지표)
- 4) 초저유전손실 고분자 신규소재 기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 1) 초고주파수 대역 저유전손실 특성 고분자 소재 설계 및 합성 기술 최적화
 - 신규 저유전손실 특성 고분자 소재 합성 기술 최적화
 - 저유전손실 특성 고분자 소재 내흡수성 향상 기술 최적화
 - 유전율 : ≤ 2.5 (@0.1 THz) (IEC 63185)
 - 흡수율 : $\leq 0.04\%$ (@0.1 THz) (ASTM D570 또는 IPC-TM-2.6.2.1A)
 - 유전손실 : ≤ 0.002 (@0.1 THz) (IEC 63185)
 - 전송손실, 표면조도 : 자율제시
- 2) 초고주파수 대역 저유전손실 특성이 확보된 고분자 기판 적용 기술 최적화
 - 우수한 접착성의 배선소재 형성을 위한 고신뢰성 계면 제어 기술 확보

- 접착 강도 ≥ 1 N/mm
- Thermal cycle (-55도~125도, 200 cycle) 후 접착 강도 변화
 - 예시 : $\leq 10\%$ 이내 (신뢰성 지표)
- 3) 초고속 통신용 고분자 기판소재의 온습도 변화에 따른 유전율 및 유전손실 변화 최소화 기술 최적화
 - Thermal cycle (-55도~125도, 200 cycle) 후 성능 변화
 - 예시 : $\leq 10\%$ 이내 (신뢰성 지표)

3. 성과목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 초저유전손실 고분자 신규 원천 소재 관련 국내·외 원천 특허 출원 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 단일 시작품에서 제시한 연구목표를 모두 달성하는 공인기관의 시험성적서 제출
- 초저유전손실 고분자 신규소재의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 초저유전손실 신규소재 관련 국내·외 원천 특허 등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 단일 시작품에서 제시한 연구목표를 모두 달성하는 공인기관의 시험성적서 제출
- 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 초저유전손실 고분자 기판 시작품 제시
- 자율제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로

변경하여 연구계획서를 제출해야 함

- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함
- 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)
 ◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)
 * 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	• IF ≥ 25 (IF ≥ 20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	• 개별건당 계약금액 2억원 이상

- 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함
- 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야 하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨
[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	'27년 목표
① 초고주파수 대역(sub-THz)에서 PI, PTFE, LCP를 능가할 수 있는 저전송손실 고분자 원천 소재의 부재 ※ 측정방법 : 기판 스펙을 기준으로 측정	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 초고속 통신용 고분자 소재와 동박과의 이종접합 특성을 확보하기 위한 이종 접합 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 초고속 통신용 고분자 기판소재의 온습도 변화에 따른 유전율 및 유전손실 변화 최소화 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주관점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)
- 과제형식 : 단위과제
- 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)
- 선정 과제 수 : 1개 단위과제

※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)
연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_하반기_05	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	고효율 동력부품용 고가 희토류 저감 소재 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

□ 추진배경

- 친환경 모빌리티* 내 동력 부품인 영구자석 모터는 탄소중립 사회 구현을 위한 핵심 품목으로, 관련 시장은 2030년까지 896억 달러*로 연평균 8.0% 성장할 것으로 전망 (Precedence Research, 2022.6)
 - * (친환경 모빌리티) 전 세계적인 탄소중립구현 기조에 따라 영구자석 모터는 전기 자전거, 드론 등 LEV (Light Electric Vehicles)부터 xEV, 전기추진선박 등
 - * 미래 모빌리티 품목의 다양화로 인해 2030년 207.6kt 수준으로 사용될 것으로 추정
- 동력 변환 장치의 소형화 고출력화를 위해서 영구자석 내 핵심 소재인 희토류는 내각에 위치한 4f 궤도 전자들에 의한 높은 자력 특성 발현에 필수적이며 특히 내열 특성을 위해 Tb, Dy 등 고가 희토류 함유 필수
- 희토류는 여러 가지 희토류가 함께 생산되는 반면, 원소별 수요는 기술과 산업 발전에 따라 빠르게 변화하고 있어 수요와 공급이 일치하지 않는 문제 발생. 특히 고가 희토류는 자원의 편재성으로 인해 중국 이외에는 거의 생산되지 않는데다 빠른 수요의 증가에 따른 수급 불일치에 의해 공급망 위기에 직면
 - * 희토류는 광상에서 함께 존재하는 경향이 있어, Nd, Tb, Dy 등 기존 자석용 고가 희토류 제·정련 후 Ce, La 등의 풍부 희토류는 공급 과잉 상태임
- 모빌리티의 전동화에 따라 높아지는 수요에 대응하기 위해 공급망 불안정성으로 인해 발생하는 원자재 수급 안정화를 위해 풍부 희토류를 활용하거나 고가 희토류를 대체 또는 저감 연구는 필수적임
- 이에 따라 일본, 독일, 중국 중심으로 희토류 대체·저감 연구 관련 사업화 성과를 선도하고 있으며 구동 모터 설계 기술의 고도화를 통한 고효율 희토 자석의 저감을 시도하거나 소재 내 추가 원소 장입 또는 치환을 통하여 고가 희토류 50% 저감 기술 확보
 - * (독일) 유도 전동기를 활용한 전자석에 기반하여 희토류 영구자석 활용 없이 모터 개발에 성공하였으나 발열문제 및 고자기장에 필요한 무게로 인한 모빌리티 적용 한계
 - * (일본) T社는 결정립계 확산법을 활용하여 중희토함유 영구자석을 생산중에 있으며 전기자동차에 최대자기에너지 기준, 42~49 MGOe(보자력 2.3~3.0 T) 기준 성능을 보유한 자석 납품중

* (중국) Y社は 50% 가량 중희토 저감 또는 배제 자석 생산중에 있으며 전기자동차에 최대자기에너지 기준, 36~54 MGOe(보자력 1.3~2.7 T) 기준 성능을 보유한 자석 납품중

○ 이처럼 기존 연구는 모터 설계 고도화, NdFeB 기반 자석의 공정 미세조직 제어 및 일부 원소 치환 등 합금공정 및 부품에 초점을 맞춰 진행되었으나 효율 향상에 한계가 있어, 원소재 수준에서의 저가 희토류 활용을 위한 원천기술 개발이 필요함

○ Nd/Dy/Tb 등 공급망 이슈가 존재하는 희토류 원소 사용량을 획기적으로 감소시키기 위한 신조성 개발, 원자가전자 제어, 미세조직 최적화 등 원소재 단위에서의 원천기술 개발이 시작단계에 있음

- Ce는 3+/4+가 혼재된 전자구조를 가지고 있으나 두개의 이온은 각각 다른 이온 반경과 물리적 성질을 가지고 있어 기존 자석 제조 공정에 투입시 자기적 불순물 상으로 인한 자석 특성 저하 요인
- 최근 연구결과에서 선택적 선호 자리 배치(site preference)를 통하여 Nd 자리에 Ce^{3+} 를 선택적으로 배치시킬 경우 자기적 불순물 상 없이 $Ce_2Fe_{14}B_1$ 의 자석 특성 향상 가능하다고 보고됨
- Ce^{3+} 의 공간 배열을 유도하기 위해 상대적으로 이온 반경이 큰 La을 활용하여 Ce과 함께 치환하는 방법 혹은 Ga, Cu, Al 등 저융점 금속 첨가를 통한 결정학적, 자기구조적 제어 초기 단계 연구 진행 중*

* 美 AMES Lab, 中 Jiangxi 대학 IREMMD 연구소 등

- 국내의 경우 결정립계 확산 방법을 통한 기존 NdFeB계 희토자석 기반 미세조직 제어를 통한 고가 희토 원소(Dy, Tb 등) 대체 기술력을 확보하고 있음

○ Nd 등 고가 희토류를 저감하기 위한 자석 신조성 개발 및 기존 자석과 동일한 효율을 달성할 수 있는 전자구조 제어 원천기술의 개발 등 세계적인 난제 해결이 필요한 상황임

□ 기획 주안점 및 난제 제시

○ (난제) 개발대상 소재는 희토류 저감형 자석 신조성과 원자가 전자제어를 통한 원자가 제어도 두 가지를 만족하는 소재이며, 고효율 동력부품에 활용할 수 있는 최소 성능 수준을 만족시는 새로운 소재 및 공정임

○ 미래유망품목 및 기술난제 제시

미래유망품목: 고효율 동력부품용 고가 희토류 저감 소재 개발

표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표
① 희토류 내 혼합 원자가 전자 구조에 의한 풍부 희토 저감 대체의 근본적 한계	- 고가 희토류 대체 · 저감도 - 상온, 고온 자성 특성 - 벌크화 수준
② 열역학적으로 meta-stable 상이거나 원자간 결합시 주변 원소와의 상호작용에 의한 근본적 한계	- 고가 희토류 저감도 - 상온, 고온 자성 특성 - 벌크화 수준
③ 이론적 한계치의 구현을 위한 조성, 전자구조 제어를 통한 신소재 제조 기술 부재	- 첨단 모빌리티 적용을 위한 각 요소부품별 맞춤형 희토류 자석 소재 제조 기술 확보

※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함

* 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표 (4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

2. 연구개발목표

○ **최종목표** : 모빌리티 구동모터에서 작동이 가능한 고가 희토류 저감형 자석소재 개발 (하기 성능 및 wt%목표 동시 만족)

- 1) BHmax(30 MGOe@25℃) 이상
- 2)보자력 1.3T @ 25℃ 이상
- 3) 감자율(β_{Hc} @150℃), -0.8 %/K 이하
- 4) 중희토(Tb, Dy) 0%, Nd+Pr wt% 전체 자석중량의 5wt% 이하

- 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시

○ 단계별목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)> : 고가 희토류 대체 · 저감 자석 소재 개발을 위한 통합적 핵심 원리 제시 및 검증

- 1) 기존 소재 내 풍부 희토류 활용 저감 또는 대체된 합금 물성 한계 돌파를 위한 핵심 기술 원리 제시 및 검증
 - 고가 희토류 대체 · 저감 및 동력 부품용 활용가능 물성 만족을 위한 공통 핵심 기술 원리 제시
 - 고가 희토류 대체 · 저감 소재 기술 확보를 위한 신조성 합금설계 및 미세조직 설계방안 제시
 - 제안된 조성 및 미세조직 구현을 위한 소재 제조공정 제안

- 2) 신조성 및 전자구조 설계 자유도 확장을 위한 물성 확보 소재 데이터베이스 구축
 - 밀도함수 이론, 평균장 이론 등 계산과학이 접목된 high throughput screening을 통한 소재 데이터 생성 프로토콜 개발
 - 데이터 표준 체계와의 정합성 확보를 위한 소재 데이터 처리 기술 개발
- 3) 고가 희토류 대체·저감된 소재 및 자석 개발
 - 고가 희토류 저감·대체 : 풍부 희토류 활용하거나 신조성 활용 기존 조성 내 중희토(Tb, Dy) 0%, Nd+Pr wt% 전체 자석중량의 5wt% 이하 대체
 - 원자가 제어 목표 및 측정 방법 자율 제시 (예시, 90% 이상, XPS 등)
 - 자석 특성 : BHmax 20MGOe @ 25°C 이상, 보자력 1.0T @ 25°C 이상
- 4) 고가 희토류 저감·대체 동력 부품용 소재의 특허 포트폴리오 구축

〈2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)〉 : 고가 희토류 대체·저감 자석 벌크 소재 제조 가능성 제시

- 1) 풍부 희토류 활용 자석 소재 벌크화 구현 및 재현성 검증 기술 고도화
 - 합금 설계 및 미세조직 설계 모델 활용 전자구조 제어 기반 자석 특성 한계 확장 (BHmax 30MGOe, 보자력 1.3T @ 25°C 이상)
 - 벌크화 소재 제조에 필요한 미세조직 최적화 설계 및 내부 결함 제어를 위한 공정 기술 개발
- 2) 풍부 희토류 활용 자석 벌크화 재현성 및 물성 확보를 위한 소재개발 플랫폼 구축
 - 데이터 기반 물성 예측 및 설계 모델 개발
- 3) 동력 부품으로 활용되기 위한 소재 및 자석 개발 최적화
 - 고가 희토류 저감·대체 : 풍부 희토류 활용하거나 신조성 활용 기존 조성 내 중희토(Tb, Dy) 0%, Nd+Pr wt% 전체 자석중량의 5wt% 이하 대체
 - 원자가 제어 목표 및 측정 방법 자율 제시 (예시, 90% 이상, XPS 등)
 - 자석 특성 : BHmax 30MGOe @ 25°C 이상, 보자력 1.3T @ 25°C 이상
 - 감자율(β_{HC} @150°C), -0.8 %/K 이하

3. 성과목표

○ 1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 고가 희토류 저감·대체 동력 부품용 소재 관련 2건 이상 출원(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 공인시험성적서 제출(관련 성능평가 지표)
- 고가 희토류 저감·대체 동력 부품용 소재의 특허 포트폴리오 구축

○ 2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 고가 희토류 저감·대체 동력 부품용 소재 관련 특허 2건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 상기 성능목표가 달성된 내열특성이 확보된 원자가 제어를 통한 고가 희토류 저감·대체 동력 부품용 시작품 제작
- 단일 시편내 연구목표를 모두 만족하는 공인시험성적서 제출
- 자율제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 변경하여 연구계획서를 제출해야 함
- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함
- 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)
 ◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)
 * 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	<ul style="list-style-type: none"> • IF≥25 (IF≥20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	<ul style="list-style-type: none"> • 개별건당 계약금액 2억원 이상

- 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함
- 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야 하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨

[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	‘27년 목표
① 회토류 내 혼합 원자가 전자 구조에 의한 풍부 회토 저장 대체의 근본적 한계	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 열역학적으로 meta-stable 상이거나 원자간 결합시 주변 원소와의 상호작용에 의한 근본적 한계	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 이론적 한계치의 구현을 위한 조성, 전자구조 제어를 통한 신소재 제조 기술 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주안점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)
- 과제형식 : 단위과제
- 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)
- 선정 과제 수 : 1개 단위과제
 - ※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)
 - 연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_하반기_06	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	착용형 로봇 모터소재 및 모터모듈 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- 재활/의료/웨어러블/서비스 로봇 등 인간과 직접적으로 상호작용을 목적으로 하는 다양한 로봇이 출현하고 있으며 로봇에 대한 활용도와 시장규모는 지속적으로 증가 추세에 있음*
 - *2030년 세계 로봇시장 예상규모: 1600억 달러(출처: 보스턴컨설팅그룹)
- 무게 대비 낮은 토크 성능을 지니는 기존 모터와 고마찰 감속기를 사용하여 인간과 물리적인 상호작용을 했을 경우 오작동으로 인해 인간의 안전을 위협하는 경우가 발생할 수 있음
- 특히, 인간과 로봇의 안전한 물리적 상호작용과 초경량성을 요구하는 착용형 로봇의 혁신을 위해서는 무게 대비 높은 토크 출력이 필요함
- 하지만, 현재 고효율 모터 개발에 활용 가능한 혁신소재 기술의 부재로 모터 효율의 성능적 한계가 존재
- 혁신적인 차세대 착용형 로봇 개발을 위해 경량 모터의 핵심 소재 개발이 미래 산업의 중추적인 역할을 할 것으로 예상되며, 그 중 모터를 구성하는 경자성체(영구자석), 연자성체(철심), 코팅제(기어치), 윤활제(기어박스) 소재 개발이 시급한 상황임
- 모터 경자성체에 활용되는 소재인 희토류는 채굴과 정제 비용이 높고 심각한 환경오염을 일으킬 수 있기 때문에 에너지적의 성능 제고가 필요함
- 연자성 소재는 모터내 큰 부피를 차지하고 있는 철심으로서 규소강판을 대표적으로 사용하고 있으며 최적자로 설계 및 와전류 손실 최소화를 위한 3D 자유형상 공정 가능한 소재 기술이 필요함
- 감속기에 필수적인 소재인 코팅제와 윤활제 기술은 감속기의 마찰을 최소화시켜 현시점의 기계적 효율 한계를 극복할 수 있는 기술임
- 또한, 점차 복잡해지는 착용형 로봇의 요소부품으로 활용할 수 있는 자유형상 제작 가능한 자성체 소재기술은 미래 로봇 기술의 다양성과 확장성 측면에서 핵심적인 역할을 할 것으로 기대됨

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 착용형 로봇용 모터 모듈의 핵심소재인 경자성체, 연자성체, 코팅제, 윤활제 신소재 기술 제시
- 개발되는 소재는 그 목적이 실질적인 고성능 모터 구현에 있으므로 연구 결과검증을 위해 착용로봇 시작품에 적용하여 개발된 모터 모듈의 성능을 명확히 검증해야 함
- 고토크 성능을 갖는 희토류 저감형 자성체 소재 개발
 - 영구자석소재에서 자기특성 저하가 급작스럽게 발생하는 지점이 희토류 함량 30% 부근이므로 주요 희토류 함량을 기존대비 50% 이상 절감하며 착용형 로봇에 실질적으로 적용이 가능한 수준의 고성능 (최대 자기 에너지적 50 MGOe 이상)이 구현될 수 있는 소재 기술
 - 주요 희토류를 저감할 수 있는 방법으로는 자기특성에 최소한의 영향을 미치는 영역에만 선택적으로 원자를 배치하여 미량 희토류의 사용 효율을 극대화 할 수 있는 초정밀 pin-point 원자배치 제어기술 개발이 제시되고 있음
 - 연자성 소재의 경우 로봇의 형태에 따라 시스템 구현이 용이할 수 있도록 기계식 감속기 모듈이 없거나 일체화 되어 복잡한 구조를 구현 할 수 있는 3D 형상 가공이 가능한 소재 개발이 필수이며, 고출력/고효율 서보모터 실현을 위해 투자율 및 철손 특성이 보장될 수 있는 2.0 T 이상의 포화자속밀도와 1000이상의 투자율을 가지고 있어야 함.
- 감속기 발열 최소화와 신속한 냉각 성능
 - 로봇 구동기는 로봇의 관절내에 내장되어 구동됨. 특히 감속기, 모터와 제어기가 하나로 일체화된 로봇용 모터 구동 모듈이 선호되고 있음.
 - 이와 같이 감속기와 제어기가 로봇관절부에 내장된 경우, 발열에 의한 모듈 온도 상승이 연속운전을 저해하는 등의 문제를 야기하므로, 발열의 최소화과 신속한 냉각문제를 구현해야 함
- 초경량 저감속·고토크형 모터 모듈 시작품과 착용형 로봇 적용으로 기술 성능을 증명
 - 인간과 상호작용이 용이한 로봇의 관절은 저속도 고토크 성능이 요구됨
 - 하지만, 현재까지는 모터 모듈은 회전속도가 높은 모터와 높은 감속비를 갖는 기어로 구성되어 전기-기계 에너지 변환에서 손실을 야기하며 로봇의 부피와 무게를 증가시킴
 - 이러한 문제를 해결하기 위해 저감속형 고토크를 발생시킬 수 있는 착용형 로봇용 저중량 모터 모듈을 구현해야 함

표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술난제	난제 해결여부 판단지표
① 희토류 저감형 초고에너지밀도 영구자석(경자성체)소재 기술의 부재	- 희토류 Nd가 30% 저감된 50 MOe 이상 에너지적을 갖는 경자성체
② 고평화자속 특성을 갖는 연자성체 소재기술의 부재	- 포화자속밀도 2.0 T 이상, 투자율 1000 이상의 자유형상 SMC 연자성체 - 다양한 로봇에 적용 가능한 (SMC 기반의) 자유형상 연자성체
③ 극저마찰 감속기 내장형 초경량 저감속·고토크 모터 설계 및 제작기술의 부재	- 37 Nm/kg** 이상의 자중대비 높은 회전토크

※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함

* 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표 (4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

** 제시된 지표는 상용화된 Quasi-Direct Drive Motor 성능임

2. 연구개발목표

- 최종목표 : 착용형 로봇에 사용가능한 신소재 기반의 모터 모듈 기술 개발
 - 소재별 독립된 목표를 각각 달성해야 하며, 목표를 달성하기 위한 공통 핵심 기술의 원리 및 검증 결과를 제시하여야 하고, 모터 모듈을 개발하여 실현 가능한 모터 소재의 성능을 입증해야 함
 - 고토크/저속 모터 모듈이 적용된 착용형 로봇: 개발된 모터 모듈의 성능을 다각적으로 보여 줄 수 있는 도전적 착용형 로봇 시스템을 연구자가 제시
 - 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시

○ 단계별목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)> : 착용형 로봇을 위한 모터소재 및 경량 모터모듈 개발

- 1) 희토류 저감형 초고에너지밀도 경자성체 소재 개발
 - 큰 보자력, 높은 에너지적 소재 구현을 위한 개념 제시
 - 결정립 미세화 기술개발
 - 보자력 온도계수, 보자력 자율제시
 - 예시, 보자력 온도계수 $\leq 0.6 \% / ^\circ\text{C}$
 - 예시, 보자력 $\geq 15 \text{ kOe}$
 - 희토류 저감형 자석 개발

- 예시, 최대 자기에너지적 ≥ 50 MGOe
- 주요희토류(Nd) 사용량 극저감을 위한 방법론 제시 및 검증
 - 예시, 주요희토류(Nd) 저감/대체율 30% 이하
- 주요희토류 저감형 자성분말 제조기술 컨셉 확립 및 구현 가능성 검증
- 고순도의 최종물질을 제조하기 위한 자성분말 제조공정 제시
- 2) 고평화자속 특성을 갖는 자유형상 연자성체 소재 개발
 - Trade-off 관계를 갖는 고평화자화, 고투자율 특성을 동시구현 할 수 있는 방법론 제시 및 검증
 - 고평화자속밀도 및 저손실 특성을 갖는 소재 개발
 - 예시, 포화자속밀도 ≥ 2.0 T
 - 예시, 투자율 ≥ 1000
 - 예시, 성형밀도 $\geq 90\%$
- 3) 고평크/저속/경량 모터 모듈 개발
 - 1)에서 2)까지 제시된 소재를 적용한 경량 모터모듈 개발
 - 모듈중량(로터+스테이터+감속기) 대비 토크 밀도 ≥ 37 Nm/kg
 - 감속기를 포함한 모터모듈 효율 $\geq 96\%$
 - 모터와 감속기 각각의 성능을 측정하고 통합된 시스템의 예측 효율
 - 예시, 고효율 토크 성능을 갖는 극저마찰 기어 코팅제 및 윤활제 기술
 - 예시, 전류 대비 토크 손실 ≤ 0.1 Nm/A
- 3) 해당 소재 기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 1) 착용형 로봇용 고평크/저속/경량 모터모듈 개발
 - 신소재가 적용된 모터 모듈 개발 및 실증
 - 희토류 저감형 초고에너지밀도 경자성체 소재 최적화
 - 모듈중량(로터+스테이터+감속기) 대비 토크 밀도 ≥ 37 Nm/kg
 - 고평화자속 특성을 갖는 자유형상 연자성체 소재 최적화
 - 예시, 모터 모듈 기준으로 기존 상용제품의 향상목표제시
 - 감속기를 포함한 모터모듈 실측효율 $\geq 96\%$
 - 모터 감속기가 통합된 실제 시스템의 측정효율
 - 예시, 고효율 토크 성능을 갖는 극저마찰 기어 코팅제 및 윤활제 기술
- 2) 고성능 모터모듈이 적용된 착용형 로봇 개발
 - 2자유도 이상을 갖는 착용형 로봇 개발
 - 착용형 로봇 크기, 무게, 기능 자율제시

3. 성과목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 공인기관 시험성적서 제출
- 해당 소재 기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 자율제시된 모든 성능지표를 만족하는 모터모듈이 적용된 착용형 로봇 시제품제작
- 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 공인시험성적서 제출
- 자율제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 변경하여 연구계획서를 제출해야 함
- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함
- 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)
 ◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)
 * 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	• IF≥25 (IF≥20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	• 개별건당 계약금액 2억원 이상

- 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함
- 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야 하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨

[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	'27년 목표
① 회도류 저감형 초고에너지밀도 영구자석(경자성체) 소재 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 고평화자속 특성을 갖는 연자성체 소재기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 극저마찰 감속기 내장형 초경량 저감속·고토크 모터 설계 및 제작기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주안점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)
- 과제형식 : 단위과제
- 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)
- 선정 과제 수 : 1개 단위과제
 - ※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)
 - 연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_하반기_07	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	나노-마이크로 아키텍처 기반 초극저온용(20 K) 고엔트로피합금 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- 최근 심해, 극지방 및 우주분야로 산업의 범위가 확장됨에 따라 초극저온 극한환경에서 활용 가능한 구조재료의 필요성이 대두되고 있으며, 특히 77 K 미만에서 우수한 기계적 특성을 갖는 소재 개발 및 평가체계는 크게 부족한 상황에 있음
- 기존 극저온(77 K) 소재로는 3XX 계열 스테인리스강이 주로 활용되고 있으나, 20 K의 환경에서 구조체의 변형 불안정성을 야기하여 파괴인성의 저하가 발생할 수 있음
- 최근 고엔트로피합금은 높은 혼합 엔트로피에 기반해 격자 뒤틀림, 확산 지연, 각테일 효과 등에 의해 우수한 기계적/열적/화학적 특성을 획득할 수 있어 기존 소재의 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대되나, 높은 희소금속(Ni, Co, Cr 등) 함량으로 인한 가격 경쟁력 저하가 발생하므로 이를 극복하기 위한 나노-마이크로 아키텍처 및 선택적 조성제어 등 신전략의 구상이 필요함
 - 나노-마이크로 아키텍처는 금속 기지 내 고강도의 나노구조와 고연성의 마이크로구조가 혼합된 미세조직을 설계하여 초고강도-고연신율을 갖는 소재를 개발할 수 있는 신방법론으로 주목받고 있음
- 20 K 환경에서의 강도, 연성, 파괴인성 등 기계적 특성 평가의 수행을 위해서는 실제 초극저온 환경을 모사한 환경시험 평가 기술이 필수적이지만 국내에서는 77 K (액화질소) 환경에서의 시험평가 인프라는 갖춰진 기관이 많은 반면, 20 K (액화수소) 환경에서 신뢰성 평가가 가능한 기술은 체계적으로 확립되어 있지 않음
 - 해외에서는 우주/항공 및 액화가스 수송을 위한 초극저온 신소재 개발을 위해 전폭적인 지원이 되고 있으며, 해당 소재들의 물성 평가를 위해 20 K 환경에서 인장 및 파괴인성 등의 물성 평가가 가능한 시스템 구축이 진행되고 있음
- 20 K 초극저온 환경에서 활용 가능한 구조재료는 우주항공 분야에 국한되지 않고 수소에너지 밸류체인 구축에 필수적인 액화가스 이송/저장체계에도

적용이 가능하므로 미국, 일본, 중국, 유럽 등 관련 기술 선도국에서도 기술개발 및 인프라 구축 경쟁이 치열하게 진행되고 있음

- 정부는 2031년까지 달 탐사 계획을 구상하고 있으며, 향후 장기간 우주 탐사를 위한 심우주(40 K) 탐사용 구조체 개발 등에 대응해 극한환경에서 기존 소재의 기계적 특성의 한계를 뛰어넘는 선도적인 기술개발이 필요함
 - SPACE X에서는 유인 심우주 탐사를 위한 스타십 체계 개발이 수행되고 있으며, 우주인의 생존성 보장을 위해 20 K 초극저온 환경에서 3XX SS의 물성을 뛰어넘는 구조체의 적용이 필요함
- 상기와 같이 국가전략/계획에 따른 핵심기술에 해당하나 국내의 경우 기술기반이 성숙하지 않고 소재 기술 및 평가 인프라를 획득하는데 장기간 소요되는 초극저온 극한소재의 특성상 기초 연구 단계부터 개발 착수가 시급한 상황이며 대한민국의 장기적인 우주 탐사 계획과 연동하여 정부 주도의 긴 호흡형 R&D를 통해 소재 원천 기술을 확보할 필요가 있음

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 우주, 극지방 및 액화가스 등 극한환경에 노출된 소재는 77 K 이하의 환경에 노출되어 있어 파괴인성 등 소재 신뢰성 저하가 발생하므로 초극저온 환경에 안정적으로 활용할 수 있는 소재의 개념 및 극한환경을 반영한 신뢰성 평가 방법을 제안해야 함
 - 기존 소재는 3XX 계열 스테인리스강 등 철강소재가 주로 활용되어왔으나, 20 K 초극저온 환경에서의 구조체의 변형 불안정성을 완화하기 위해 아래와 같은 난제를 극복할 수 있는 소재 원천기술이 필요함
 - 20 K 초극저온 환경에서는 심한 serration을 포함한 변형 불안정성이 관찰되므로 전산모사 기반 선택적 조성제어 및 미세조직의 설계를 통한 소재의 안정성 향상이 중요함
 - 기존 소재를 월등히 상회하는 기계적 특성을 가지면서도 안정적인 변형이 가능한 고엔트로피 신합금의 획득을 위해 소재 내 나노-마이크로 아키텍처를 설계하고 구현하는 기술이 필요함
 - 20 K 초극저온에서 소재의 강도, 연신율 및 파괴인성 등 소재 신뢰성을 평가하기 위한 극한환경 모사 및 특성 평가 기술이 필요함
 - 미래유망품목 및 기술난제 제시
 - 미래유망품목: 심우주 탐사, 초극저온 액화가스 저장 및 이송체계 등
- 표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표
① 20 K 초극저온 환경 하에서 변형 불안정이 발생하지 않는 소재 개발의 한계	- 인장강도 : ≥ 2 GPa @ 20 K - 연신율 : $\geq 80\%$ @ 20 K - 파괴인성 : ≥ 500 MPa/m ^{0.5} @ 20 K - 20 K 환경에서 소성변형 시 고엔트로피합금의 변형 불안정성 억제
② 20 K 초극저온 한계를 극복하기 위한 소재 내 선택적 조성제어 및 나노-마이크로 아키텍처 설계기술 부재	- 합금 조성의 선택적 제어에 의한 초극저온용 고엔트로피 신합금 제시 - 나노-마이크로 아키텍처를 구현하기 위한 공정 및 시제품 제시
③ 20 K 초극저온 극한환경에서 인장, 파괴시험 등의 소재 신뢰성 평가 수행기술 부재	- 초극저온 환경 모사: 신뢰성 평가 중 시험편 표면 온도 20 K 유지기술 - 20 K 환경에서 인장(ASTM E1450) 시험체계 구축 및 신뢰성 평가 - 20 K 환경에서 파괴인성 시험체계 구축 및 신뢰성 평가

- ※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함
- * 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표
(4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

2. 연구개발목표

- 최종목표 : 20 K 이하의 초극저온 환경에서 우수한 신뢰성을 갖는 구조용 금속 소재/부품 원천기술 개발
 - 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시

○ 단계별목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- 1) 초극저온용 선택적 조성제어 고엔트로피합금 제조 기술개발
 - 초극저온 환경(20 K)에서의 물성을 고려한 고엔트로피 신합금 개발
 - 20 K 인장 시험 (인장강도 ≥ 1.8 GPa, 연신율 $\geq 70\%$)
 - 20 K 파괴인성 시험 (≥ 475 MPa/m^{0.5})
 - 고엔트로피 신합금 1개 이상 자율제시
- 2) 선택적 조성제어 기반 초극저온 변형 안정성 향상 기술개발
 - 열역학적 조성 DB 및 전산모사 기반 고엔트로피합금 설계 기술 개발 (조성 DB 및 전산모사 기반 설계를 통해 고엔트로피합금의 초극저온 변형 불안정성을 억제시킬 수 있는 방법론 1가지 이상 자율제시)
 - 20 K 초극저온에서 개발소재의 인장 시험 중 변형 불안정 현상(serrated flow)이 효과적으로 완화됨을 제시

(예시, SS316L 대비 변형 불안정 현상 50% 이상 감소)

- 3) 초극저온 환경에서의 상용소재 및 개발소재 물성평가 및 DB 구축
 - 20 K 초극저온 환경의 구현을 통한 초극저온 물성평가 체계 구축
 - 상용소재(예시: SS316, SS304) 및 개발소재의 20 K 이하 환경 물성 DB 구축을 통한 비교군 확보 및 물성 평가 시스템의 신뢰성 검증
- 4) 고엔트로피 합금 소재 기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 1) 초극저온용 나노-마이크로 아키텍처 고엔트로피합금 제조 기술 최적화
 - 초극저온 환경(20 K)에서의 물성을 향상시키기 위해 나노-마이크로 아키텍처를 포함한 고엔트로피합금 개발
 - 20 K 인장 시험 (인장강도 ≥ 2 GPa, 연신율 $\geq 80\%$)
 - 20 K 파괴인성 시험 (≥ 500 MPa/m^{0.5})
- 2) 나노-마이크로 아키텍처 설계 기반 초극저온 물성 향상 기술 최적화
 - 나노-마이크로 아키텍처 구성모델에 기반한 전산모사 구현 기술 개발
 - 나노-마이크로 아키텍처 설계를 통해 고엔트로피합금의 초극저온 기계적 특성을 향상시킬 수 있는 방법론 1가지 이상 자율제시
 - 고엔트로피합금 내 나노-마이크로 아키텍처를 구현 가능한 신공정 및 개발 기술을 활용한 시작품 제시
- 3) 초극저온 환경에서 고엔트로피합금의 물성 DB구축을 위한 평가 기술 고도화
 - 20 K 초극저온 환경에서 인장 및 파괴인성의 정량화를 위한 시스템 구축, 정확한 물성 평가를 위한 기준 제시
 - 20 K 환경에서 인장(ASTM E1450) 시험체계 구축 및 신뢰성 평가
 - 20 K 환경에서 파괴인성 시험체계 구축 및 신뢰성 평가
 - 상기 연구목표를 모두 만족하는 최적화 개발소재의 20 K 이하 환경 물성 DB 구축
 - 예시: 소재 표면 온도 20 K 이하, 인장강도, 연신율 및 파괴인성 측정을 위한 시험조건 정립

3. 성과목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 고엔트로피 합금 소재 관련 국내·외 원천 특허 2건 이상 출원 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 공인기관 입회하 시험성적서 제출
- 고엔트로피 합금 소재 기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 고엔트로피 합금 소재 관련 국내·외 원천 특허 1건 이상 등록 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 제시한 연구목표를 모두 달성하는 고엔트로피 합금 시작품 제시
- 제시한 연구목표를 모두 달성하는 공인기관 입회하 시험성적서 제출
- 자율 제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 변경하여 연구계획서를 제출해야 함
- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함
- 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)
◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)
* 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	• IF ≥ 25 (IF ≥ 20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	• 개별건당 계약금액 2억원 이상

- 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함
- 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야

하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨

[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	'27년 목표
① 20 K 초극저온 환경 하에서 변형 불안정이 발생하지 않는 소재 개발의 한계	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 20 K 초극저온 한계를 극복하기 위한 소재 내 선택적 조성제어 및 나노-마이크로 아키텍처 설계기술 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 20 K 초극저온 극한환경에서 인장, 파괴시험 등의 소재 신뢰성 평가 수행기술 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주안점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)
- 과제형식 : 단위과제
- 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)
- 선정 과제 수 : 1개 단위과제
 - ※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)
 - 연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_하반기_08	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	위성체용 고방열·저열변형·고인성·경량 금속소재 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- 전세계적으로 우주산업 및 인공위성 관련 시장은 꾸준히 성장세에 있으며 2040년 전체 우주산업은 1.1조 달러, 인공위성 시장은 312억 달러로 성장할 것으로 예상됨 (모건스탠리, 2022.05).
- 국내의 경우 인공위성 시스템 설계 및 제작에 강점을 보이고 있는 반면 사용되는 핵심 부품이나 소재는 전량 수입에 의존하고 있으며 인공위성 구조체용 금속소재의 경량화 개발 사례는 사실상 전무한 상황임
 - 인공위성 구조체 소재로서 필수물성인 고방열·저열변형·고인성을 지니면서 운용궤도 온도환경에서 안정성이 확보된 장수명 금속소재의 경량화 개발이 필요
- 인공위성 구조체 중 복잡한 형상의 허니컴 코어, 전도성 및 방열성이 요구되는 안테나 패널, 고인성이 필요한 연결부 부품 등은 필연적으로 금속소재로 제작되어야 하나 운용궤도상 온도변화(-200~100℃)에 대하여 금속소재는 복합소재 대비 높은 열변형을 나타내는 문제가 있음
 - 현재 인공위성에 사용중인 경량금속의 선팽창계수는 알루미늄(23ppm/℃), 타이타늄(8.5ppm/℃), 마그네슘(25ppm/℃) 등으로 near-zero 열변형 거동을 보이는 탄소섬유강화플라스틱(CFRP)과 큰 차이를 보이며, 이중 부품간 열변형 및 열응력 문제가 발생
- 인공위성 구조체용 금속소재의 열변형은 탑재체 및 각종 센서의 지향 방향 변화 및 피사체 관측 품질 저하를 야기하며, 최근 위성 관측 성능 고도화에 따라서 구조체용 금속소재의 열변형이 임무 수행 실패의 주요 원인이 되고 있음
- 기존 저열변형 금속소재 관련 연구는 주로 Fe-Ni, Fe-Ni-Co 등 철계 합금에 대하여 이루어졌으나, 낮은 비강도로 인하여 우주항공 분야 부품 적용에 한계가 있음
 - 고방열, 고인성, 저열변형 특성을 동시에 지닌 고비강도소재 설계 및 연구가 필요한 상황임

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 인공위성을 설계하는 과정에서는 항상 태양과 우주환경에 의한 극단적인 온도변화, 방사선의 침투, 발사과정에서의 가속력과 진동 등으로 인한 기계적 부하를 염두에 두고 각각의 부품의 역할에 적합한 소재를 선택하게 됨. 특히 인공위성 구조체 용도의 각 부품은 경량성·고인성·고방열성을 가지면서 열변형이 적은 재료의 사용이 필수적임
 - 본 연구개발은 복잡한 형상의 Honeycomb core, 전도성 및 방열성이 요구되는 안테나 패널, 고인성이 필요한 연결부 부품 등, 필연적으로 금속소재로 제작되어야 하는 부품의 성능을 비약적으로 향상시키는 것을 목적으로 하게 됨
 - 이러한 요구치를 달성하기 위한 연구 과정에서는 특히 일반적인 금속소재의 상반특성(저열팽창성 vs. 고인성, 저열팽창성 vs. 고방열성)라는 난제를 극복하기 위한 아이디어 도출과 이를 현실화 하는 원천기술 개발을 목표로 함
 - 개발대상은 Near-zero 열변형과 고인성 및 고방열&저열팽창의 상반관계 극복을 균형있게 달성한 소재이며, 각각에 해당하는 최소 성능 수준을 만족시킬 수 있는 새로운 소재를 제시해야 함
 - Near-zero 열변형 소재: 열팽창계수, 비충격인성, 비강도 동시 만족
 - 저열팽창&고방열 소재: 비강도, 열전도도, 열팽창계수 동시 만족
 - 또한 유지보수가 불가능한 장시간 극한 환경에서의 사용을 감안하여, 사용 환경에서의 신뢰성 향상을 위한 소재 내 결함 및 불균일성 제어 기술에 대한 아이디어를 제시하고 이를 구현할 필요가 있음
 - 금속소재가 가지고 있는 한계 물성을 돌파하는 기술적 난제 극복의 어려움과 해당 소재의 용도(우주산업)를 감안하여, 합금조성과 제조공정의 선택 및 이에 따른 비용적인 제한은 없음
 - 단, 제안된 합금계 및 공정을 통해 표준규격 물성 평가에 적합한 크기의 소재 제작이 가능하여야 함(예시, ASTM sub size 이상)
 - 미래유망품목 및 기술난제 제시
 - 미래유망품목 : 위성체용 상반특성 돌파 경량 금속소재
- 표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표 (예시*)
① 위성체용 경량금속 Near-zero 열변형 구현 기술의 부재	- 열팽창율 - 비충격인성 - 비강도
② 상반특성 (저열팽창&고인성, 열팽창&고방열) 동시 확보 기술의 부재	- 열팽창율 - 열전도도 - 인성
③ 사용 환경에서의 신뢰성 향상을 위한 소재 내구성 평가 기술의 부재	- 장시간 / 가혹환경에서의 테스트 · high-cycle 및 low-cycle 피로특성 - 온도변화(-200~100 ℃) 사이클 테스트 후 물성변화율(예시, ≤ 10% 이내 자율제시) - 스케일업 가능성 제시

- ※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함
- * 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표 (4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

2. 연구개발목표

- **최종목표** : 위성체용 고방열·고인성·저열변형 경량 금속소재 개발
 - 금속소재의 열전도도 및 열팽창계수 제어
 - 우수한 비강도 및 비충격인성을 갖는 소재 설계
 - 위성 구조체 부품화 공정 기술: 사용 환경에서의 신뢰성 향상을 위한 소재 내 결함 및 불균일성 제어 기술 개발
 - 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시
- (1) Near-zero 열변형 고인성 금속 경량화
- -200~100 ℃ 열팽창계수 ≤ 3 ppm/℃
 - 비충격인성 (Charpy) @RT ≥ 30 J/(g/cm³)
 - 비강도 @RT ≥ 120 MPa/(g/cm³)
- (2) 고방열 저열변형 경량 금속소재
- 비강도 @RT ≥ 100 MPa/(g/cm³)
 - 열전도도 ≥ 150 W/m·K
 - -200~100 ℃ 열팽창계수 ≤ 10 ppm/℃

○ 단계별 목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- 1) 위성체용 경량금속 Near-zero 열변형 구현 소재 기술개발
 - 비강도 및 비충격인성 향상을 위한 합금조성 및 공정제어 기술 확보
 - 열변형량을 최소화할 수 있는 최적 미세조직제어 기술 확보
 - 신뢰성 향상을 위한 소재 내 결함 및 불균일성 제어 기술 확보
 - -200~100 °C 열팽창계수 ≤ 3 ppm/°C
 - 비충격인성 (Charpy) @RT ≥ 30 J/(g/cm³)
 - 비강도(인장) @RT ≥ 100 MPa/(g/cm³)
- 2) 상반특성 (저열팽창&고인성, 열팽창&고방열) 동시 확보 기술 개발
 - 비강도 확보를 위한 합금 조성 및 공정 제어 기술 확보
 - 열변형량을 최소화 할 수 있는 미세조직 제어 기술 확보
 - 열전도도 극소화를 위한 균일성 제어 기술 확보
 - 비강도(인장) @RT ≥ 100 MPa/(g/cm³)
 - 열전도도 ≥ 150 W/m · K
 - -200~100 °C 열팽창계수 ≤ 15 ppm/°C
- 3) 해당 기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 1) 위성체용 경량금속 Near-zero 열변형 구현 소재 기술 최적화
 - 비강도 및 비충격인성 향상을 위한 합금조성 및 공정제어 기술 최적화
 - 열변형량을 최소화할 수 있는 최적 미세조직제어 기술 최적화
 - 신뢰성 향상을 위한 소재 내 결함 및 불균일성 제어 기술 최적화
 - -200~100 °C 열팽창계수 ≤ 3 ppm/°C
 - 비충격인성 (Charpy) @RT ≥ 30 J/(g/cm³)
 - 비강도(인장) @RT ≥ 120 MPa/(g/cm³)
- 2) 상반특성 (저열팽창&고인성, 열팽창&고방열) 동시 확보 기술 최적화
 - 고인성 & 저열팽창 및 고방열 & 저열팽창 특성 최적화
 - 물성향상에 영향을 미치는 미세조직적 인자 규명
 - 소재-공정-물성 상관관계 규명 및 소재/공정 최적화
 - 비강도(인장) @RT ≥ 120 MPa/(g/cm³)
 - 열전도도 ≥ 150 W/m · K
 - -200~100 °C 열팽창계수 ≤ 10 ppm/°C
- 3) 사용 환경에서의 신뢰성 향상을 위한 소재 내구성 신뢰성 평가 기술 개발
 - 장시간 / 가혹환경에서의 테스트
 - high-cycle 및 low-cycle 피로특성

- 온도변화(-200~100 °C) 사이클 테스트 후 물성변화율(예시, $\leq 10\%$ 이내 자율제시)
- 스케일업 가능성 제시
 - 주) 100mm x 100mm 이상(subsize 규격 시험편 5개 이상 채취 가능)

3. 성과목표

○ 1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)

- JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내 · 외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- Near-zero 열변형 고인성 금속 경량화 관련 특허 2건 이상 출원(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 고방열 저열변형 경량금속 관련 특허 2건 이상 출원(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 해당 기술의 특허 포트폴리오 구축

○ 2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)

- (1) 열팽창계수, 비충격인성, 비강도를 동시에 만족하는 금속 소재 시작품 제시 및 공인시험성적서 제출(시편크기 자율제시)
- (2) 비강도, 열전도도, 열팽창계수를 동시에 만족하는 금속 소재 시작품 제시 및 공인시험성적서 제출(시편크기 자율제시)
 - JCR 10% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
 - 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
 - 국내 · 외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
 - Near-zero 열변형 고인성 금속 경량화 관련 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
 - 고방열 저열변형 경량금속 관련 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
 - 자율제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 변경하여 연구계획서를 제출해야 함

- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함

- 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)
 ◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)
 * 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	• IF≥25 (IF≥20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	• 개별건당 계약금액 2억원 이상

- 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함
- 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야 하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨

[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	'27년 목표
① 위성체용 경량금속 Near-zero 열변형 구현 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 상반특성 (저열팽창&고인성, 열팽창&고방열) 동시 확보 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 사용 환경에서의 신뢰성 향상을 위한 소재 내구성 평가 기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주안점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)
- 과제형식 : 단위과제
- 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)
- 선정 과제 수 : 1개 단위과제

※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)

연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_하반기_09	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	인지·자가조절이 가능한 조직 맞춤형 고효율 약물전달용 소재기술 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- 약물전달시스템 (Drug Delivery System, 이하 DDS) 기술은 필요한 양의 약물을 원하는 표적에 효율적으로 전달하고 부작용을 최소화할 수 있도록 하여 약물 치료를 최적화하는 기술임. 현재 약물전달 소재는 모든 조직에 일괄적 적용이 되고 있어 전달하고자 하는 목표 부위에 도달하는 약물의 양이 극히 한정되어 있음. 또한, 그동안 많은 약물전달 연구가 종양 특이적 약물전달 연구에 매우 집중되어 있었고, 특정 장기 및 조직을 표적하는 약물전달 연구는 미진하였음
- 약물전달시스템의 표적 세포 및 조직으로의 전달효율을 획기적으로 증가시킬 수 있는 기술 개발이 필요함. 동시에 약물전달 소재 자체가 외부 환경 인지·자가조절*을 통해 치료효율을 향상할 수 있어야 함
 - 이러한 기술 개발은 질병을 효과적이고 경제적으로 치료할 수 있게 함으로써 전세계적인 고령화 시대에 각종 질환으로 인해 발생하는 사회적 비용을 줄일 수 있음. 표적 조직에 대한 선택적 약물전달이 가능하면서도 뛰어난 생체안전성을 가지는 약물전달체 기술 개발은 초고령화 사회의 미래 핵심 기술이 될 것으로 판단됨
- * 인지·자가조절: 약물전달소재가 생체 내 환경변화를 감지하고 상황에 맞게 약물의 방출량/약물전달체 자체의 활성화 정도를 조절
- 약물전달 효율을 향상하기 위해 기존의 알려진 수용체와 전달체 (carrier)를 단순 접합하거나, 다양한 수용체 물질들을 개별적으로 적용하여 최종 전달효율을 평가하는 귀납적 접근방법이 아닌, 원하는 병변 조직에 약물을 전달할 수 있는 표적인자*를 생물/화학적 근거를 기반으로 설계하고 엔지니어링 하여, 조직 선택성 향상, 표적인자의 구조/모양 변화, 이를 통한 전달효율 향상 및 예측할 수 있는 플랫폼 기술 개발이 필요함
- * 표적인자: 단백질, 항체, 펩타이드, 유전체 등 특정 조직 및 그 병변 부위를 표적할 수 있는 요소로 약물전달체에 도입할 수도 있고, 약물전달체 자체의 특성일 수도 있음
- 같은 조직 내에서도 생체 내 환경에 따라 필요한 약물의 종류 및 양이 상이하므로, 약물전달을 능동적으로 조절할 필요성이 큼

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 약물전달의 선택성을 높이고 동시에 병변 부위의 조직 및 세포 환경변화*를 감지하여 약물방출/활성화 정도를 조절할 수 있는 인지·자가조절 약물전달 소재의 개발로 불필요한 약물전달에 의한 부작용 최소화, 치료효율의 한계를 극복하고자 함
 - 병변 표적조직에 대한 선택적 약물전달 기술이 필요함
 - * 조직 및 세포 환경변화: pH, 이온 농도, 리간드 구조, 효소 변화 등
- 조직별 특화된 표적인자를 새롭게 설계/개발하여 라이브러리화하고, 필요시 선택하여 원하는 전달체와 융합 가능한 기술을 확보하고자 함
 - 약물전달체 전달효율의 획기적 향상을 위한 표적인자의 설계 기술 및 라이브러리화 필요
- 약물전달체에 대한 면역반응 최소화 및 생체 내 안전성 확보가 요구됨
- 미래유망품목 및 기술난제 제시
 - 미래유망품목: 조직 맞춤형 고효율 약물전달 및 인지·자가조절 소재

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표 (예시*)
① 인체 조직별 표적화된 고효율 약물전달 소재 및 설계기술의 부재 - AI 기반 고효율 조직 표적형 표적인자의 설계 기술 및 라이브러리의 부재	- 예시, 조직 특이적 약물 전달율 50% 이상 확보 - AI 기반 조직별 표적인자 설계, 엔지니어링 및 합성 기술 확보, 이를 통한 약물전달 효율 향상
② 약물전달체가 병변 부위의 환경변화를 인지하고 자가조절을 통한 약물방출/활성화의 어려움	- 생체 내 병변 부위(in vivo)의 환경변화 정도에 따라 약물방출/활성화 정도 조절 (예시, 최종 약물방출/활성화 정도 ≥ 10 배 이상)
③ 실제 질병에 적용되기 위한 약물전달체의 기능성, 면역반응 및 안전성 실증기술의 부재	- 비임상 시험을 통해 소재의 생분해성 및 독성/주변 조직 안전성 평가 - IND filing을 위한 준비

- ※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번은 달성시기(년도)와 2027년까지의 목표수준을 자율제시하여야 함
- * 예시된 판단지표는 기획위원회의 의견이며 연구자의 자율판단지표 (4. 특기사항 난제별 연구목표 달성도 참조) 제시 가능함

2. 연구개발목표

- 최종목표 : 치료약물을 표적조직에 고효율 및 선택적으로 전달하고, 병변 부위의 환경변화를 인지하여 자가조절 기능을 통해 약물방출/활성화를 조절할 수 있는 약물전달 원천소재기술 개발

- 기획주안점에 제시된 난제의 해결 방안을 제시하고, 본 과제기간(5년) 동안 달성할 수 있는 수준을 자율 제시
- 제시한 목표치에 대한 과학적 근거 제시 필수

○ 단계별목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- 1) 표적 조직 선택적 약물전달 소재기술 개발
 - AI 기반 병변 조직 표적인자 설계기술 개발 및 라이브러리화
 - 약물전달체의 생체내(in vivo) 병변 표적조직 전달효율 평가
 - 표적 세포 및 조직 특이적 전달률 50% 이상
 - 약물전달체 형태 및 구조 균일성 95% 이상
 - 약물전달체 기능·메커니즘의 화학/생물학적 근거 제시
 - 병변 조직과 약물의 종류 (화학물질, 펩타이드, 단백질, DNA, RNA 등) 연구자 자율 제시
- 2) 환경변화에 따라 인지·자가조절이 가능한 약물전달체 기술 개발
 - 약물전달체가 체내 병변 부위 환경변화를 인지하여 활성/비활성 상태를 조절할 수 있는 소재 개발
 - 예시1) 체내 병변 부위의 내·외부 인자/발현량 변화를 약물전달체가 감지하여 약물 방출양 조절, 구조변화에 의한 활성도 변화 등
 - 예시2) 약물전달체가 환경변화를 감지하여 가역적으로 약물 방출량 혹은 활성화도를 조절할 수 있는 소재
 - 인지·자가조절 약물전달체의 구동 메커니즘 제시 및 규명
 - 병변 부위(in vivo)의 환경변화정도에 따라 약물방출/활성화 정도 조절 (예시, 1단계 약물방출/활성화 정도 ≥ 5 배 이상)
- 3) 해당 약물전달체 소재기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 1) 표적 조직 선택적 인지·자가조절이 가능한 약물전달 소재기술 최적화
 - AI 기반 조직별 고효율 약물전달 소재 최적화
 - 조직별 활용 표적인자 라이브러리 최적화
 - 약물전달체의 생체 내(in vivo) 병변 표적조직 전달효율 고도화
 - 스케일 업 가능성 제시 및 공정의 안정성/재현성 확보
 - 병변 조직에 적합한 최적 약물의 종류 제안
 - 생체 내 병변 부위(in vivo) 환경변화 정도에 따라 약물방출/활성화 최적화 (예시, 최종 약물방출/활성화 정도 ≥ 10 배 이상)

- 2) 개발된 약물전달체의 치료 효능 평가
 - 동물질환 모델을 이용한 치료효과 검증
 - 기존 치료기술 대비 성능 비교 평가
 - 약물방출/활성화 특성 및 치료 효과에 대한 지표 자율제시
- 3) 개발된 약물전달체의 생체 안전성 및 적합성 평가
 - 비임상 시험을 통해 약물전달체 전달 후 조직학적 독성 평가, 배출, 생분해 메커니즘 확인, long-term 생체적합성 평가
 - IND filing을 위한 준비

3. 성과목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 30개월)>

- JCR 5% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 해당 약물전달체 소재 관련 국내·외 원천 특허 2건 이상 출원 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 해당 약물전달체 소재기술의 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- JCR 5% 이내 SCIE 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원/등록 건수 자율 제시 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- 해당 약물전달체 소재 관련 국내·외 원천 특허 1건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 공인시험기관에서의 해당 약물전달체 소재의 안전성, 유효성 검증
- 자율제시된 난제별 연구목표 [①~③]의 달성도

4. 특기사항

- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원 가능
 - 후속연구 추진이 확정될 경우 해당과제 관련 새로운 RFP(연구목표 및 성과목표 등) 기획 예정
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 변경하여 연구계획서를 제출해야 함
- 해당 과제는 최종 선정 시 IP-R&D 의무 과제로써, 단위과제 책임자는 정부지원 특허전략지원(IP-R&D) 소요비용(45백만원 내외)을 포함하여 단위과제 연구비(연구활동비)를 계상(1차년도)하고 실시하여야 함

○ 추후 연구성과의 학술지 논문 게재시 해당 논문에 사사*를 반드시 표기

◆ 영문 : This research was supported by the Nano & Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by Ministry of Science and ICT(과제번호)
 ◆ 국문 : 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호)
 * 과제번호는 한국연구재단에서 부여한 과제번호(IRIS시스템에서 확인)를 사용하며 과제종료 시까지 유지되는 것이 정상임

- 연구성과의 언론홍보시 사전(논문게재전, 최소2주)에 반드시 논의 요청, 우수 연구성과는 정부(과학기술정보통신부), 한국연구재단을 통해 언론홍보 진행 예정

구분	성과홍보 기준(예시)
SCI논문	<ul style="list-style-type: none"> • IF≥25 (IF≥20 이상의 표지논문) • 분야내 상위 5% 이내 논문(JCR기준)
기술이전	• 개별건당 계약금액 2억원 이상

○ 과제 종료된 해의 다음 해부터 5년 동안은 과제 종료 후 발생한 논문, 특허, 기술이전 등의 성과 정보를 국가연구개발사업 통합정보시스템에 등록 하여야 함

○ 해당 연구의 데이터는 자체수립된 연구데이터 관리계획(DMP)에 따라 구축되어야 하며, 자체제시된 템플릿 및 관리방안의 우수성은 선정평가 기준에 포함됨

[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	'27년 목표
① 인체 조직별 표적화된 고효율 약물전달 소재 및 설계기술의 부재 - AI 기반 고효율 조직 표적형 표적인자의 설계 기술 및 라이브러리의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 약물전달체가 병변 부위의 환경변화를 인지하고 자가조절을 통한 약물방출/활성화의 어려움	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 실제 질병에 적용되기 위한 약물전달체의 기능성, 면역반응 및 안전성 실증기술의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	

※ 기획 주안점 및 난제 제시 표의 판단지표를 참고하여 각 기술 난제별 필요지표를 자율 제시

※ 난제 해결 여부 판단지표는 기술 난제당 1개 이상의 판단지표를 자율 제시

※ 해당 파일은 하나의 파일로 작성하여 연구계획서에 별첨으로 제시해야 함

5. 연구개발기간 및 연구개발비

○ 총 사업기간 : '23.07 ~ '27.12(30개월/24개월)

○ 과제형식 : 단위과제

○ 연구비 : 총 45.0억 원 내외('23년 5.0억원 / 6개월)

○ 선정 과제 수 : 1개 단위과제

※ 연구기간: (1단계)'23.07~'25.12(30개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)

연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능