

2023년도 나노 및 소재기술개발사업 1차 통합공고 재공고 미래기술연구실(전략형) 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(33개월+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
※ 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 계상 (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 전문기관의 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 발생성과로 인정함
※ 단, 1개 이상의 주관/공동과제가 성과를 공유했을 경우 각 과제의 기여율 합을 기준으로 함

2. 2023년도 1차 통합공고 재공고 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	용융염원자로용 고온 내부식 금속 구조소재 개발	234~27.12 (4년 9개월)	234~25.12 (2년 9개월)	234~23.12 (9개월)	7.5억원 (9개월 분)	단위
2	미래 모빌리티용 고온(200 °C 이상) 고분자막 연료전지 소재 개발	234~27.12 (4년 9개월)	234~25.12 (2년 9개월)	234~23.12 (9개월)	7.5억원 (9개월 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 (50)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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 	50
연구개발 역량 (35)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구책임자의 역량 및 경험 ○ 목표 달성을 위한 연구팀 구성의 적절성 	20
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구팀 운영 계획의 효율성 ○ 기술개발 및 기술사업화 동향 모니터링 계획의 구체성 ○ 연구기반 구축 수준 및 주관 기관의 지원 의지 	15
파급효과 (15)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신산업 창출 가능성 등 산업경제적 파급효과 ○ 사회적 문제 해결 등 사회적 파급효과 	15

※ 동점과제의 경우, 높은 배점의 평가항목 평가점수가 높은 순으로 우선순위 부여(창의성·도전성(50점)
→ 연구개발 역량(35점) → 파급효과(15점))

4. 향후일정(안)

일정	내용
2023. 3. 6.(월) ~ 3.13.(월) 14:00	연구계획서 접수(신청 마감일)
2023. 3. 6.(월) ~ 3.13.(월) 18:00	주관연구기관 검토·승인기간
2023. 3월 ~ 4월	선정평가 실시
2023. 4월 중	사업 추진위원회 심의
2023. 4월 (예정)	협약체결 및 연구개시

※ 상기 일정은 추진 상황에 따라 향후 변동될 수 있음

붙임

과제제안요구서

2023년도 제1차 나노 및 소재기술개발사업 _전략형 RFP_[최종확정]

1. 신규 과제 및 사업 규모

- (지원기간) : 5년(3+2년)<'23.4 ~ '27.12(33개월/24개월)>
- (지원규모) : 신규과제 2개, '23년 7.5억원/'24~'27년 10억원/년 (총 47.5억원 내외)

RFP명	연구비 규모	과제수 (안)	페이지
(1) 용융염원자로용 고온 내부식 금속 구조소재 개발	'23년 7.5억원/9개월	1	1
(2) 미래 모빌리티용 고온(200 ℃ 이상) 고분자막 연료전지 소재 개발	'24년~'27년 10억원/년 내외	1	8

RFP번호	23_전략형_01	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	용융염원자로용 고온 내부식 금속 구조소재 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

- 탄소중립과 미래 에너지 확보에 기여할 수 있는 방안으로 원자력 발전의 활성화가 대두되고 있는 가운데, 가동원전 대비 안전성, 경제성 및 지속가능성이 향상된 차세대 비경수형 원자로 개발을 추진 중에 있음
- 다양한 차세대 원자력시스템 중 핵연료를 포함한 고온의 용융염을 냉각제로 활용하는 용융염원자로는, 단순한 구조와 대기압 운전으로 인해 수소 폭발, 대량의 방사성 물질의 방출과 같은 중대사고를 원천적으로 배제할 수 있으며, 사용후핵연료가 거의 발생하지 않는 등 안전성이나 경제성 측면에서 큰 장점을 가지고 있음
- 용융염원자로의 개발 및 실증 단계에서는 다양한 요소기술들이 설계 개념에 부합하는지 여부를 단기간의 시험가동을 통해 검증하게 되며, 이 경우 비록 고온 용융염에 대한 부식저항성이 충분하지는 않지만 ASME 코드에 등재된 상용 소재(ASME Section III, Division 5에 등재된 2¼Cr-1Mo강, 9Cr-1Mo강, 304 내식강, 316 내식강, 800H강, Alloy 617 등)를 적용하여 실증이 가능함
- 용융염원자로의 상용화와 이를 통한 전력생산 효율성을 확보하기 위해서는 20년 이상의 설계수명을 만족시킬 수 있어야 하는데, 고온의 용융염에 대한 부식저항성이 열악한 상용 소재를 적용할 경우 빈번한 구조부품의 교체에 따른 경제성 저하는 물론 원자로 가동 중 구조 건전성 저하로 인한 사고 발생 등의 안전성 저하 문제가 발생할 수 있음
- 고온 용융염에 대한 내부식 금속 구조소재 개발의 대표적 사례는 미국의 Haynes사에서 상용화하였고 현재 ASME 코드 등재를 추진 중인 Hastelloy N이 있는데, 이 소재는 불화염에 대한 부식저항성이 우수한 것으로 확인되었으나 염화염에 대한 부식저항성은 떨어지는 것으로 알려져 있으며, 또한 핵분열 생성물에 대한 취화에 취약한 것으로 알려짐
- 용융염원자로 내 고온 용융염에는 핵연료가 포함되어 있기 때문에 용융염과 접촉하는 모든 부품은 고선량의 중성자 조사 환경에 놓이게 되며, 따라서 중성자 조사에 의한 취화에 대한 저항성이 요구됨. 또한 압력은 낮지만 700℃ 정도의 고온에 장기간 노출되어 있기 때문에 크리프저항성도 요구됨

- 용융염원자로용 내부식 금속 구조소재는 용융염을 담는 원자로 용기, 용융염이 열교환기까지 이동되는 배관, 및 열교환기 소재로 적용될 수 있기 때문에, 내부식성, 크리프저항성 및 조사저항성을 모두 겸비한 소재를 개발할 경우, 용융염원자로 내 대부분의 노내구조물 부품에 적용이 가능함
- 따라서 실증을 목표로 하는 용융염원자로의 개발 과정에서 고온 용융염에 대한 충분한 부식저항성을 가지면서도 다양한 구조 성능과 중성자 조사저항성을 겸비한 내부식 금속 구조소재의 개발이 함께 이루어져야 실증을 성공한 후 곧장 상용로 개발에 착수할 수 있음

□ 기획 주안점 및 난제 제시

- 700℃ 이상의 고온의 용융염 환경 하에서 20년 이상 부식저항성을 가지며, 이와 동시에 20년 이상 설계 수명을 만족하기에 충분한 수준의 고온 기계적 강도를 나타내며, 이와 동시에 고선량의 중성자조사 하에서 조사취화 저항성 및 핵분열 생성물에 의한 취화 저항성을 모두 겸비할 수 있는 소재의 합금조성과 제조공정법을 제시해야 함. 이러한 소재 개념은 자유롭게 제시 가능하지만, 부식성이 우수한 소재와 기계적 특성이 우수한 소재의 구조적 결합을 통해 내식성과 기계적특성을 만족시키는 즉, 공정기술에 기반한 방법론 제시는 허용하지 않으며, 개발된 소재 자체가 내식성과 구조성능을 겸비해야 함
- 용융염원자로용 구조소재에 요구되는 가장 중요한 성능은 고온 용융염에 대한 부식저항성으로, 본 연구를 통해 풀어야 할 핵심 난제임. 기존 Hastelloy N 소재는 불화염에서는 비교적 우수한 내식성을 보이나 염화염과 핵연료(UCl₃) 복합 용융염 환경에서 취약한 부식저항성을 나타내며, 또한 핵분열 생성물인 Tellurium에 의한 입계취성의 문제가 있기 때문에, 개발하고자 하는 고온 용융염 내부식 금속 구조소재는 이러한 환경에서 Hastelloy N 소재보다 우수한 성능을 나타내어야 함. 그러나 이러한 부식저항성 향상을 위해 적용된 방법론에 의해 타 요구 물성들의 trade-off가 나타나서는 안 되며, 따라서 조사취화 및 고온 기계적특성에 있어서는 Hastelloy N과 동등 또는 우수한 특성을 나타낼 수 있어야 함
- UCl₃ 핵연료를 포함한 복합염화염 환경에서의 장기 부식시험은 현실적으로 어렵지만 실제 이러한 환경에서 부식속도가 율속단계가 되기 때문에 단기시험으로 그 성능을 입증하며, 그 대신 UCl₃를 포함하지 않은 복합염화염 환경에의 상대적인 장기 부식시험을 수행하여 개발된 소재의 용융염 부식저항성을 입증함
- 중성자 조사취화 저항성의 경우, 장기간의 중성자 조사시험이 현실적으로 어렵기 때문에, 1단계와 2단계 연구 종료시점 타 목표물성을 달성한 소재에

대해 추가적인 3단계(3년)에서 그 성능을 입증하는 것을 목표로 함

- 다양한 방식의 중성자 조사취화 평가 방법이 있겠지만, 중성자 조사에 의한 팽윤(swelling)의 측정이나 He 취화 평가는 장기간의 조사시험을 필요로하기 때문에 현실적으로 불가능하며, 따라서 하나로(HANARO)를 이용하여 1 dpa 조사손상량까지 개발소재와 Hastelloy N에 대한 조사시험을 함께 수행한 후, 조사재에 대한 인장시험을 통해 비조사재 대비 연신율의 감소량 비교를 통해 개발소재가 Hastelloy N에 비해 조사취화가 적다는 것을 입증해야 함

○ 미래유망품목 및 기술난제 제시

- 미래유망품목 : 용융염원자로 용기, 내부구조물, 배관, 열교환기 등

표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표 (예시*)
① 700 ℃ 이상 고온 복합용융염 환경에서 부식저항성을 갖는 금속 구조소재의 부재	<ul style="list-style-type: none"> - 용융염 환경 부식속도 : < 20 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (700 ℃ 57mol%NaCl-43mol%MgCl₂ 복합용융염 환경 하 static 부식시험 기준, 최소 3,000 시간 이상 부식시험 후, 두께감소를 측정하여 부식속도를 제시) - 용융염료염 환경 부식속도 : < 30 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (700 ℃ 68mol%NaCl-12mol%MgCl₂-20mol%UCl₃ 복합용융염 환경 하 static 부식시험 기준, 최소 300 시간 이상 부식시험 결과를 기반으로 부식속도 측정값을 제시)
② 700 ℃ 이상 고온 복합용융염 환경에서 구조건전성을 유지할 수 있는 금속 구조소재의 부재	<ul style="list-style-type: none"> - 크리프 파단강도 : > 100 MPa (시험온도 : 700 ℃, 파단시간 : 3,000 h 기준, ASTM 규격) - 항복강도 : > 220 MPa (700 ℃ 시험 기준, ASTM 규격) - 연신율 : > 30 % (25 ℃ 시험 기준, ASTM 규격)
③ 700 ℃ 이상 고온 복합용융염 환경에서 중성자 조사 및 핵분열생성물(Te)에 의한 취화저항성을 갖는 소재의 부재	<ul style="list-style-type: none"> - (2027년까지 달성목표) Te (Tellurium) 반응층 깊이 : Hastelloy N 대비 50% 이하 (700 ℃ 57mol%NaCl-43mol%MgCl₂ 복합용융염에 Te이 0.1 wt.% 첨가된 조건 하에서, 개발소재와 Hastelloy N에 대한 Te 반응시험을 25, 100, 225 및 400 시간 동안 수행한 후, 반응층의 깊이를 측정 비교한 결과를 제시) ※ MgCl₂ 사용시 Te 반응층 형성 여부가 아직 검증되지 않았기 때문에 관련 메커니즘 규명이 필요 - (2030년까지 달성목표) 중성자 조사재 연신율 : Hastelloy N 대비 동등 또는 우수 (개발소재와 Hastelloy N를 1 dpa 이상 조사손상량까지 함께 조사시험을 한 후, 조사재에 대한 상온 연신율 감소량 비교)

※ 상기 기술난제 중 ①~②번은 2027년까지 100% 달성되어야 하며, ③번의 경우, Te 침투 깊이가 목표는 2027년까지 100% 달성되어야 하며, 중성자 조사취화 목표는 2030년까지 달성해야 함

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

2. 연구개발목표

- 최종목표 : 700 ℃ 이상의 고온 용융염 환경에서 내부식특성, 기계적특성 및 중성자조사 저항성을 겸비한 고온 구조소재 개발

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

○ 세부목표 :

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 33개월)> :

- 1) 고온 용융염 환경 내부식성 향상 기술 개발
 - 고온 용융염 환경 하 부식 유발 인자 영향 분석
 - 내부식성 구조소재 합금설계
 - 내부식성 구조소재 판재 제조공정 기술 개발
 - 700 ℃ 용융염 환경에서 내식성이 우수한 구조소재 개발
 - 용융염 온도 및 조성 : 700 ℃, 57mol%NaCl-43mol%MgCl₂ 복합용융염
 - 부식속도 : 30 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 이하 (3,000 시간 이상 부식시험 평가 결과 기준)
 - 고온 용융염원자로 환경 모사 내부식성 평가 방법 및 장치 개발
 - 용융염에 내포된 불순물 영향 평가
 - 용융염 환경 내부식성 평가 장치 구축
- 2) 고온 기계적특성 향상기술 개발
 - 700 ℃ 대기 환경 크리프저항성 저하 억제기술 개발
 - 고온 용융염 환경에서 내부식성을 확보하면서도 고온 대기 환경에서 기계적 특성이 저하되지 않는 소재기술 개발
 - 항복강도 : 180 MPa 이상 (700 ℃ 일축인장시험 기준)
 - 연신율 : 25 % 이상 (상온 일축인장시험 기준)
 - 크리프파단 강도 : 80 MPa 이상 (700 ℃, 3,000 시간 파단 강도 기준)
- 3) 핵분열 생성물에 의한 취화저항성 향상기술 개발
 - 고온 용융염 환경에서 내부식성과 우수한 기계적특성을 유지하면서도 핵분열에 의해 생성되는 Te (Tellurium)에 의한 취화를 저감시킬 수 있는 합금원소 도출 및 합금설계
 - Te 취화 모사를 위한 시험 방법론 개발 및 시험장치 구축
 - Te이 포함된 용융염 (57mol%NaCl + 43mol%MgCl₂) + 0.1 wt.%Te 제조기술 개발
 - 반응층 깊이 : 상용 Hastelloy N 대비 비교평가 (Te이 포함된 700 ℃ 용융염 (57mol%NaCl-43mol%MgCl₂-0.1 wt.%Te)을 활용한 개발소재와 Hastelloy N 소재의 침지시험을 25, 100, 225 및 400 시간 수행한 후 Te 반응층 깊이에 대한 비교 평가를 수행함. 침지시험 과정에서 Te의 농도 저하 영향을 최소화하기 위해 시험시편의 부피가

용융염 부피의 0.05 % 이하가 되도록 충분한 양의 용융염에서
침지시험을 수행해야 함.)

- MgCl₂ 사용시 Te 반응층 형성 메커니즘 규명
- 4) 용융염 환경에서 내식성이 우수한 구조소재 관련 특허 포트폴리오

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 1) 고온 용융염 환경 내부식성 향상 기술 최적화
 - 내부식성 구조소재 합금조성 최적화
 - 용융염 온도 및 조성 : 700 °C, 57mol%NaCl-43mol%MgCl₂ 복합용융염
 - 부식율 : 20 μm/yr 이하 (3,000 시간 이상 부식시험 평가 결과 기준)
 - 내부식성 구조소재 판재 제조공정 기술 최적화
 - 용융염/염 환경 내부식성 평가
 - 용융염/염 온도 및 조성 : 700 °C, 68mol%NaCl-12mol%MgCl₂-20mol%UCl₃
 - 용융염/염 환경 부식속도 : 30 μm/yr 이하 (300 시간 이상 침지시험한 결과를 기반으로 부식속도 제시)
- 2) 고온 기계적특성 향상기술 최적화
 - 700 °C 대기 환경 크리프저항성 향상기술 개발
 - 고온 용융염 환경에서 내부식성을 확보하면서도 고온 대기 환경에서 기계적 특성이 상용 Hastelloy N보다 향상될 수 있는 소재기술 개발
 - 항복강도 : 220 MPa 이상 (700 °C 일축인장시험 기준)
 - 연신율 : 30 % 이상 (상온 일축인장시험 기준)
 - 크리프파단 강도 : 100 MPa 이상 (700 °C, 3,000 시간 파단 강도 기준)
- 3) 핵분열 생성물에 의한 취화저항성 향상기술 고도화
 - 고온 용융염 환경에서 내부식성과 우수한 기계적특성을 유지하면서도 핵분열에 의해 생성되는 Te (Tellurium)에 의한 취화저항성을 향상시킬 수 있는 합금설계, 공정설계 및 미세조직 최적화 기술 개발
 - 반응층 깊이 : 상용 Hastelloy N 대비 50% 이하
 - ※ Te이 포함된 700 °C 용융염 (57mol%NaCl-43mol%MgCl₂-0.1 wt.%Te)을 활용한 개발소재와 Hastelloy N 소재의 침지시험을 25, 100, 225 및 400 시간 수행한 후 Te 반응층 깊이에 대한 비교 평가를 수행함
 - ※※ 침지시험 과정에서 Te의 농도 저하 영향을 최소화하기 위해 시험시편의 부피가 용융염 부피의 0.05 % 이하가 되도록 충분한 양의 용융염에서 침지시험을 수행해야 함

3. 성과목표

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 33개월)> :

- JCR 10% 이내 SCIE급 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 용융염 환경에서 내식성이 우수한 구조소재 관련 특허 포트폴리오 구축

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록 (기여율 50% 이상만 인정됨)
- JCR 10% 이내 SCIE급 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 내부식성 구조소재 시제품 제작
- 제시한 연구목표 달성을 증빙하는 공인시험성적서 제출
- 자율제시된 난제별 연구목표 [①~②]의 달성도

4. 특기사항

- 중성자 조사시험과 용융염/염 부식시험은 한국원자력연구원에서만 수행이 가능하며, 따라서 한국원자력연구원은 복수의 컨소시엄에 참여가 가능함 (C/P 천영범박사님)
- 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속지원 여부를 결정하고, 지원 예산은 당해 연도 예산 상황에 따라 협의하여 변경될 수 있음
- 최종 종료평가 결과 최우수(S) 등급 과제에 대해 후속연구(3년, 추가 갱신 가능)를 지원
 - ※ 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

[난제별 연구목표 달성도]

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표	‘27년 목표
① 700 ℃ 이상 고온 복합용융염 환경에서 부식저항성을 갖는 금속 구조소재의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
② 700 ℃ 이상 고온 복합용융염 환경에서 구조건전성을 유지할 수 있는 금속 구조소재의 부재	[연구자 판단 자율지표 1]	
	[연구자 판단 자율지표 2]	
	[연구자 판단 자율지표 3]	
③ 700 ℃ 이상 고온 복합용융염 환경에서 중성자 조사 및 핵분열생성물(Te)에 의한 취화저항성을 갖는 소재의 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 : '23.04 ~ '27.12(33개월/24개월)

○ 과제형식 : 단위과제

○ 연구비 : 총 47.5억 원 내외('23년 7.5억원 / 9개월)

○ 선정 과제 수 : 1개 단위과제

※ 연구기간: (1단계)'23.04~'25.12(33개월) / (2단계)'26.01~'27.12(24개월)

연차별 연구비 규모 및 연구기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

RFP번호	23_전략형_02	공모유형	품목·공모형
사업명	나노 및 소재기술개발사업 - 미래기술연구실 - 전략형		
RFP명	미래 모빌리티용 고온(200 ℃ 이상) 고분자막 연료전지 소재 개발		
PM분야	소재·부품	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

○ 고온 고분자막 연료전지 개발의 필요성

- 연료전지는 10개 국가필수전략 기술 중 하나인 수소를 활용하는 에너지 전환 시스템으로 화석 연료 대체 및 이산화탄소 저감을 통해 기후변화 대응, 탄소중립 실현, 에너지 자립도 향상에 기여할 수 있음
- 장거리 운행 및 큰 적재용량을 필요로 하는 수송기기용 전원으로는 충전이 빠르고 완충 시 주행거리를 쉽게 늘릴 수 있는 연료전지가 배터리보다 장점이 있음
- 고온 고분자막 연료전지는 저온 고분자막 연료전지에 비해 높은 출력, 무게 및 부피 감소, 열관리 시스템 가격/무게 절감 측면에서 장점이 있어 수송기기 응용에 적합함
- 저온 고분자 연료전지에 주로 산업화되어 있는 불소계 고분자막의 경우 국내 자립화가 어려운 불소계 소재를 사용하고 있어서 전량 해외에서 수입하고 있으나 고온 고분자막은 원소재에 대한 국내 수급이 가능하여 기술 확산에 유리함
- 차세대 연료전지인 고온 고분자막 연료전지는 연구개발 초기 단계로 원천소재 확보를 통한 국산화 및 응용 분야 다변화를 통한 보급 확대가 가능함

○ 고온 고분자막 연료전지 소재 개발의 필요성

- 고분자막 및 이오노머 바인더는 연료전지의 성능 및 내구성을 결정하는 핵심 소재임
- 기존 고분자막 연료전지에서 사용되는 불소계 고분자막은 유리전이온도가 낮아 고온에서 사용할 수 없으며 열적 안정성을 갖는 신규 고분자 전해질 소재 개발이 필요함
- 또한 200도 이상의 고온에서는 이온 전달에 중요한 역할을 하는 물이 존재하기 어렵기 때문에 무가습 조건에서 이온을 전달할 수 있는 새로운 이온 전달체 개발이 필요함
- 고온·무가습 환경에서 이온 전달 메커니즘 및 소재의 내구성 저하 메커니즘이 정확하게 규명되지 않아 연료전지 성능 및 내구성 향상을 위한 소재 설계

방향이 명확하지 않음

- 고온 고분자막 연료전지 응용을 위한 고분자막 및 이온도머 바인더 상용 소재가 제한적이며 기존 상용 소재들의 성능 및 내구성이 낮아 미래 모빌리티용 고분자막 연료전지를 위한 핵심 소재 개발이 필요함

□ 기획 주안점 및 난제 제시

○ 고성능·고내구성 고분자 전해질막 소재 및 이온 전달체 개발

- 기존에 고온 PAFC에서 사용중인 인산계 연료전지의 경우 약 158 ℃ 이상의 고온에서 인산계 이온 전달체가 무수물을 형성하거나 인산의 기화로 인해 이온전도도가 급격히 감소함
- 또한 현재 고온 고분자막 연료전지에 사용되는 폴리벤즈이미다졸 및 인산 기반의 고분자막은 인산 누출 등의 안정성 문제가 있어 고분자 전해질과 이온 전달체 사이의 결합력을 향상시킬 수 있는 소재 개발이 필요함
- 200 ℃ 이상의 고온은 이온 전달 매개체인 물이 없는 환경이므로 새로운 이온 전달체의 개발이 필요하며 고온·무가습 환경에서의 이온 전달 메커니즘 규명이 필요함

○ 이온 전도성 이온도머 바인더 소재 개발

- 고온 고분자막 연료전지에는 테프론(polytetrafluoroethylene, PTFE)이 주로 사용되고 있으나 이온 전도성이 결여된 구조로 전극층 내 이온 전달이 원활하지 않은 문제가 있으므로 이를 해결하기 위하여 신규 이온도머 바인더 소재 설계 및 합성 기술 개발이 필요함
- 차세대 고온 고분자막 연료전지 응용을 위하여 고온에서의 이온 전도성, 기체 투과성, 열적 안정성 및 물리적 접착 기능을 갖는 이온도머 바인더 소재 개발이 필요함

○ 고온 고분자막 연료전지용 막-전극 접합체 개발

- 고온형 수송기기용 연료전지에서 적용될 고분자막이 포함하는 이온도머의 양은 고분자막과 전극의 조성에 영향을 받을 수 있어서 이러한 전극에 사용되는 바인더와의 양적 비율, 가스 확산층의 구조 등이 단위 전지의 성능 구현에 중요한 인자이므로 이를 해결할 수 있는 기술이 필요함
- 전극의 친수성은 전극 내에 이온도머 양을 조절하는 데 큰 요인이며, 전극 내 이온도머 분포를 제어할 수 있는 기술 및 전극 내 이온도머가 균일 분포를 가질 수 있게 조절하는 기술의 개발이 필요함
- 산업에서 주로 사용하고 있는 막-전극 접합체의 경우 열과 압력으로 전사하는 공정을 사용하고 있으나 고온 이온도머의 사용하는 환경에서 제작에 어려움이 있으므로 전해질막에 직접 코팅할 수 있는 제작 방법에 대한 개발이 필요함

○ 미래유망품목 및 기술난제 제시

- 미래유망품목: 미래 모빌리티용 고성능·고내구성 고온 고분자막 연료전지

표. 미래유망품목 구현을 위해 해결해야 할 기술난제

기술 난제	난제 해결 여부 판단지표 (예시*)
① 200 ℃ 이상의 고온·무가습 조건에서 운전 가능한 고분자막 및 이온 전달체 소재 기술 부재	- 이온전도도 (mS/cm @ 200 ℃) ≥ 100 - 화학적내구성(@ 200 ℃) - 저장 탄성률 (MPa @ 200 ℃) ≥ 1,000
② 200 ℃ 이상의 고온·무가습 조건에서 운전 가능한 바인더용 이온도머 소재 기술 부재	- 이온전도도 (mS/cm @ 200 ℃) ≥ 100 - 화학적내구성(@ 200 ℃)
③ 고온 고분자막 연료전지용 막전극 접합체 (MEA) 기술 부재	- 출력밀도(mW/cm ² @ 200 ℃, 2 bar, H ₂ /Air) ≥ 600 - 내구성 (WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) 등 적절한 주행 패턴 적용하여 5만 시간 이상 - 초기 1,000~2,000시간 측정 후 열화를 계산) - 유효면적 (cm ²) ≥ 25 - 백금 사용량 (mg _{Pt} /cm ²) ≤ 0.2

※ 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 : 미래 모빌리티 응용을 위한 고성능·고내구성 고온(200 ℃ 이상) 고분자막 연료전지 핵심 소재 기술 개발

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

○ 세부목표 :

<1단계 목표 ('23 ~ '25, 33개월)> :

- 1) 200 ℃ 이상의 고온·무가습 조건에서 운전 가능한 고분자막 및 이온 전달체 소재 개발
 - 고성능·고내구성 신규 고분자 전해질 및 신규 이온 전달체 구조 설계
 - 열적 안정성 및 이온 전달체와 우수한 결합력을 갖는 고분자 전해질 합성 기술 개발
 - 고이온전도성 및 고분자 전해질과의 결합력 향상이 가능한 신규 이온 전달체 소재 개발

- 고분자 전해질 및 이온 전달체를 이용한 균일한 고분자막 제조 기술 개발
 - 예시, 이온전도도 ($\text{mS/cm @ } 200^\circ\text{C}$) ≥ 80
- 고분자막 내구성 향상기술 개발
 - 200°C 이상 고분자막 및 이온전달체의 화학적 내구성에 대한 평가 방법은 연구자 자율 제시 (예시, OCV평가 등)
 - 예시, 저장 탄성률 ($\text{MPa @ } 200^\circ\text{C}$) ≥ 800
- 고온·무가습 환경에서 이온 전달 메커니즘 및 소재의 내구성 저하관련 메커니즘 규명

- 2) 200°C 이상의 고온·무가습 조건에서 운전 가능한 바인더용 이오노머 소재 개발
 - 높은 이온전도도 및 기계투과도를 갖는 이오노머 구조 설계 및 합성 기술 개발
 - 예시, 이온전도도 ($\text{mS/cm @ } 200^\circ\text{C}$) ≥ 80
 - 바인더 응용을 위한 이오노머 분산 기술 개발
 - 이오노머 내구성 향상기술 개발
 - 200°C 이상 이오노머의 화학적 내구성에 대한 평가 방법은 연구자 자율 제시 (예시, OCV평가 등)
 - 고온·무가습 환경에서 운전 가능한 바인더용 이오노머 소재의 내구성 저하관련 메커니즘 규명

- 3) 고온 고분자막 연료전지용 막전극 접합체 개발 및 평가 기술 확보
 - 막전극 접합체 설계 기술 개발
 - 막전극 접합체 제조 기술 개발
 - 고온 고분자막 연료전지 성능 및 내구성 평가 기술 개발
 - (예시, 출력 밀도 $\geq 300 \text{ mW/cm}^2 @ 200^\circ\text{C}, \text{H}_2/\text{Air}$)
 - (예시, (WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) 등 적절한 주행 패턴 적용하여 5만 시간 이상 - 초기 1,000 시간 측정 후 열화를 계산)

- 4) 수송기기용 고온 고분자막 연료전지 관련 특허 포트폴리오 제출

<2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)>

- 1) 200°C 이상의 고온·무가습 조건에서 운전 가능한 고분자막 및 이온 전달체 소재 최적화
 - 고분자 전해질 및 이온 전달체 구조 최적화
 - 예시, 이온전도도 ($\text{mS/cm @ } 200^\circ\text{C}$) ≥ 100
 - 고분자막 내구성 향상기술 최적화
 - 200°C 이상 고분자막 및 이온전달체의 화학적 내구성에 대한 평가 방법은 연구자 자율 제시 (예시, OCV평가 등)

- 고분자막의 이온전도도 및 내구성 확보 기술 최적화
 - (예시, 이온전도도 $\geq 100 \text{ mS/cm}$)
- 고온·무가습 환경에서 이온 전달 메커니즘 및 소재의 내구성 저하관련 메커니즘 규명

- 2) 200°C 이상의 고온·무가습 조건에서 운전 가능한 바인더용 이오노머 소재 최적화
 - 이오노머 구조 최적화
 - 이오노머 분산액의 조성 최적화
 - 이오노머 내구성 향상기술 최적화
 - 200°C 이상 이오노머의 화학적 내구성에 대한 평가 방법은 연구자 자율 제시 (예시, OCV평가 등)
 - 이오노머의 이온전도도, 기계투과도, 내구성 확보 기술 최적화
 - 예시, 이온전도도 ($\text{mS/cm @ } 200^\circ\text{C}$) ≥ 100
 - 고온·무가습 환경에서 운전 가능한 바인더용 이오노머 소재의 내구성 저하관련 메커니즘 규명

- 3) 고온 고분자막 연료전지용 막전극 접합체 제조 기술 최적화
 - 막전극 접합체 제조를 위한 전극 조성 최적화
 - 막전극 접합체 제조 공정 최적화
 - 고온 고분자막 연료전지 성능 및 내구성 확보
 - <유효면적 (cm^2) ≥ 25 , 백금 사용량 (mgPt/cm^2) ≤ 0.2 >
 - (예시, 출력 밀도 $\geq 500 \text{ mW/cm}^2 @ 200^\circ\text{C}, \text{H}_2/\text{Air}$)
 - (예시, (WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) 등 적절한 주행 패턴 적용하여 5만 시간 이상 - 초기 2,000시간 측정 후 열화를 계산)

3. 성과목표

○ 1단계 목표 ('23 ~ '25, 33개월)

- JCR 5% 이내 SCIE급 논문 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 국내·외 원천 특허 출원 건수 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 해당 고온 고분자막 연료전지의 신규 고분자막 및 신규 이오노머 소재 관련 특허 포트폴리오 구축
- 해당 고온 고분자막 연료전지의 신규 고분자막 및 신규 이오노머 소재 관련 물질특허 2건 이상 출원(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 공인시험성적서 제출(관련 성능평가 지표)

○ 2단계 목표 ('26 ~ '27, 24개월)

- 총 사업기간 내 스마트지수 A급 이상 특허 1건 이상 등록
(기여율 50% 이상만 인정됨)
- JCR 5% 이내 SCIE 논문 자율 제시(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 해당 고온 고분자막 연료전지의 신규 고분자막 및 신규 이오노머 소재 관련 물질특허 2건 이상 등록(기여율 50% 이상만 인정됨)
- 상기 성능목표가 달성된 고온($\geq 200^{\circ}\text{C}$) 고분자막 연료전지 시제품 제작
- 공인시험성적서 제출(관련 성능평가 지표)
- 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
 - ※ 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