

관리번호	2026-정보·융합기술-7- 품목공모-10		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형
				R	0	1
				원천연구	이론·기술의 정립 및 검증 (TRL 2~4)	일반연구개발
국가전략연구 기획평가전문분야	PM분야	정보·융합기술	RB분야	원자로시스템 후행	RB 세부분야	-
				핵연료주기		
사업명		미래개척융합과학기술개발사업 - 미래유망융합기술파이오니어(도전형)				
RFP명		토륨 용융염 원자로 핵심 융합원천 기술개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 4단계)				
지원 정보	지원기간	2026.07 ~ 2031.12		정부지원금	3,800백만원	
	1단계	2026.07 ~ 2027.12		1단계	600백만원	
	(1차년도)	(2026.07 ~ 2026.12)		(1차년도)	(200백만원)	
	2단계	2028.01 ~ 2029.12		2단계	1,600백만원	
	3단계	2030.01 ~ 2031.12		3단계	1,600백만원	
	주관기관유형	■ 제한없음 □ 대학/출연(연/국공립연/특정연 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인				
주관기관 외 필수참여기관	■ 제한없음 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인					
키워드	한글	토륨용융염 제조, 용융염 물성치 실험 DB 확보, 내부열원 유체특성, 핵확산저항성				
	영문	Thorium molten salt manufacture, Material property DB, Internal heat source fluid characteristics, Proliferation resistance				

1. 추진배경
<p>○ 추진근거</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진)</li> <li>- 과학기술기본법 제17조(협동·융합연구개발의 촉진)</li> <li>- (국정과제 28) 세계를 선도할 넥스트(NEXT) 전략기술 육성</li> <li>- 제4차 융합연구개발 활성화 기본계획('23.12)</li> <li>- 국가전략기술 육성에 관한 특별법 및 「국가전략기술 육성 기본계획(안)」, 「국가전략기술 체계고도화 방향(안)」</li> <li>- 혁신적·도전적 R&amp;D 육성 시스템 체계화 방안('24.03, 혁신도전형 R&amp;D)</li> </ul> <p>○ 세부 추진배경</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 용융염원자로의 고온특성/소형화 및 토륨 핵연료주기 활용을 위한 기반구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 용융염원자로(MSR)은 소형화할 수 있으며 고온/대기압 운전이 가능하므로 선박용, 추진체, 군용 등 다양한 용도로 활용될 수 있는 원자로형임</li> <li>- 토륨핵연료주기는 토륨(Th-232)을 장전하여 핵분열성물질인 우라늄-233을 생산할 수 있으므로 토륨자원을 활용하고 고품위의 우라늄 핵연료를 생산할 잠재력이 있음</li> <li>- 그러나 용융염의 제조방법 그리고 물성치 등에 대해 기술축적이 부족한 바 기초기술을 시급히 확보하여야 함.</li> </ul> </li> <li>2. 용융염원자로의 개발현황 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 용융염 원자로는 핵연료가 원자로냉각재에 용해된 형태로 노심구조가 단순하며 대기압 운전이 가능하며 강한 음의 반응도계수를 가지고 사고발생시 용융염을 원자로 외부탱크로 배수하여 원자로를 안전하게 정지시킬 수 있음.</li> </ul> </li> </ol>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- 덴마크 SALTFOSS(사)가 선박설치용 SMR을 개발중이며 최근 국내외적으로 많은 연구가 수행되고 있음</li> <li>- 우리나라에서도 용융염 원자로 개발이 K-문샷 프로젝트의 하나로 추진될 예정임</li> </ul> <p>3. 토륨 용융염원자로의 기술적 우위 요소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 토륨 핵연료 주기를 활용하는 용융염 원자로는 중국과학원(CAS)의 TMSR-LF1(2 MWth, LiF-ThF<sub>4</sub>, 간수성 우레이 건설)이 있으며 2023년 원자로 임계달성 및 2024년 10월 토륨주입에 성공하여 토륨 핵주기의 가능성을 실증함.</li> <li>- 장수명 방사성폐기물 발생량이 우라늄 경수로 대비 수백 분의 1 수준</li> <li>- 토륨 용융염원자로는 플루토늄은 생산하지 않으나 U-233을 생산하므로 핵확산의 우려가 있음. 따라서 핵비확산성을 입증하기 위해 핵확산저항성 설계를 적용해야 함</li> <li>- 글로벌 SMR 시장 급성장 속 토륨 MSR은 미래적 틈새시장</li> <li>- 토륨 핵연료 주기를 적용한 용융염 원자로 개념을 아직까지 많이 시도되지 않은 개념으로 향후 우라늄 자원의 고갈, 국내 생산연료의 사용, 고품위 우라늄 획득 등이 가능함.</li> </ul> <p>○ 기획의 주안점</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 용융염 원자로는 타 과제로 개발되고 있는바, 본 과제에서는 '토륨'을 위한 핵심 원천기술에 주목</li> <li>- 미래 토륨 원자로 개발을 위하여 용융염 제조, 물성치 측정, 현상론 규명 등 기초 자료 축적이 중요</li> <li>- 향후 기술개발의 걸림돌로 작용할 수 있는 핵확산 저항성 설계에 대한 선제적 연구수행 필요</li> <li>- 본 과제는 원자력분야 뿐만 아니라 재료, 화공 분야와의 융합이 필요하며 토륨 MSR 개발을 위한 기초 기반을 다지는 것을 목표로 함.</li> <li>- 타 국가 사례인 중국과학원(CAS)의 TMSR-LF1 제시가 필요하며 핵확산저항성 설계 및 내부열원 유체를 고려한 개념설계가 필요함</li> </ul>	<p>2. 과제목표</p> <p>○ 최종 목표 : 토륨 용융염 원자로 개발을 위한 기초기반 기술 축적 및 개념설계</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (용융염 제조) LiF-ThF<sub>4</sub> 국내 제조기술 (원료회수율 화학적 순도, 조성정밀도, 휘발성억제 등)</li> <li>- (용융염 물성치 DB구축) 열수력 물성치(밀도, 점도, 열전도도, 용융점, 증기압 등), 핵적물성치(중성자 단면적, 핵분열생성물 용해도), 부식특성(재료건전성, 산화환원 전위), U-233 조성 및 핵분열생성물 증가에 따른 물성치 변화 등</li> <li>- (내부열원 유체거동) 내부열원이 있는 유체의 거동특성 기초연구 및 내부열원을 고려한 증기발생기 등 계통 설계</li> <li>- (연료순환·핵비확산) 중성자 경제학적 최적화 연료 순환 계통 개념 수립, 통합 핵연료주기 해석 및 방사선 자기방호 특성 기반 핵확산저항성 설계 정량 평가</li> <li>- (피동안전) 동결밸브 기반 피동안전계통 개념설계 및 사고 해석체계 구축</li> <li>- (구조재료) 고온 환경 내식 구조재료 후보재 선정 및 원자수준 조사손상 DB 구축</li> <li>- (개념설계) 내부열원, 피동안전개념, 중성자경제, 핵확산저항성 설계 반영</li> </ul> <p>○ 단계별 목표</p> <table border="1"> <tr> <td>1단계('26~'27)</td><td> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토륨 용융염 제조기술 개발</li> <li>○ 내부열원 유체의 거동특성</li> <li>○ 고온 LiF-ThF<sub>4</sub> 환경 내식성 재료 데이터 구축 계획</li> </ul> </td></tr> <tr> <td>2단계('28~'29)</td><td> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토륨 용융염 물성치 DB 개발</li> <li>○ 내부열원 유체 적용 유체계통 설계 (증기발생기 설계, 계통 설계원칙)</li> <li>○ 핵확산저항성 확보 방안</li> <li>○ 고온 LiF-ThF<sub>4</sub> 환경 내식성 재료 데이터 측정</li> </ul> </td></tr> <tr> <td>3단계('30~'31)</td><td> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원자로 연소에 따른 토륨 용융염 물성치 DB (U-233 및 FP함량 변화)</li> </ul> </td></tr> </table>	1단계('26~'27)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토륨 용융염 제조기술 개발</li> <li>○ 내부열원 유체의 거동특성</li> <li>○ 고온 LiF-ThF<sub>4</sub> 환경 내식성 재료 데이터 구축 계획</li> </ul>	2단계('28~'29)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토륨 용융염 물성치 DB 개발</li> <li>○ 내부열원 유체 적용 유체계통 설계 (증기발생기 설계, 계통 설계원칙)</li> <li>○ 핵확산저항성 확보 방안</li> <li>○ 고온 LiF-ThF<sub>4</sub> 환경 내식성 재료 데이터 측정</li> </ul>	3단계('30~'31)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원자로 연소에 따른 토륨 용융염 물성치 DB (U-233 및 FP함량 변화)</li> </ul>
1단계('26~'27)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토륨 용융염 제조기술 개발</li> <li>○ 내부열원 유체의 거동특성</li> <li>○ 고온 LiF-ThF<sub>4</sub> 환경 내식성 재료 데이터 구축 계획</li> </ul>						
2단계('28~'29)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토륨 용융염 물성치 DB 개발</li> <li>○ 내부열원 유체 적용 유체계통 설계 (증기발생기 설계, 계통 설계원칙)</li> <li>○ 핵확산저항성 확보 방안</li> <li>○ 고온 LiF-ThF<sub>4</sub> 환경 내식성 재료 데이터 측정</li> </ul>						
3단계('30~'31)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 원자로 연소에 따른 토륨 용융염 물성치 DB (U-233 및 FP함량 변화)</li> </ul>						

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토륨 용융염 원자로 개념 설계</li> <li>○ 핵확산저항성 적용 개념 설계</li> <li>○ 고온 LiF-ThF<sub>4</sub> 환경 내식성 재료 데이터 DB</li> </ul>
--	--

### 3. 성과지표

#### ○ 성과지표

항목	1단계	2단계	3단계 (최종목표)	비고
필수	용융염 제조 계획 수립	성공판정기준 달성계획	-	-
	조성 정밀도	-	±2.0mol%	±1.0mol%
	미반응 원료 및 이물질상	-	0.5 wt 이하	0.1 wt 이하
	화학적순도	-	50 ppm 이하	10 ppm 이하
	취발성 억제	-	0.2% 이하	0.05% 이하
	용융염 DB	물성치 DB 조사계획	물성치 DB 조사결과 70% 달성	물성치 DB 조사결과 100% 달성
	내부열원유체	MSR 운전 조건 확보, 기초현상 해석	모의유체 실험/검증	운전 조건하 실제 유체 거동 평가
	핵확산저항성	저항성설계 원칙 수립	핵물질 거동 추적 및 평가 방법론 정립	핵확산저항성 개념설계
	개념설계	Th-MSR 설계 조건확보	계통별 기본 요구조건 및 개념 원형 도출	Th-MSR 개념설계 완료
	논문(ICR 상위 10% 이내), 특허, 기술이전 등	단계별 자율제시		
자율	용융염제조원료 회수율	단계별 자율제시		

#### ※ 물성치 DB

- 열역학 및 상평형 물성치 측정 (용융점, 상태도, 증기압)
- 열유체 및 수송 물성치 측정 (밀도, 점도, 비열, 열전도도)
- 핵적 물성치 문헌평가 (중성자 흡수/산란 단면적, 핵분열생성물 용해도)
- 화학 및 부식물성치 측정 (산화환원 전위DB, 고온 전기화학 분석 기술 연계)

### 4. 특기사항

기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	■ Y (미래에너지·원자력/선진원 자력시스템·폐기물관리)	□ N
		혁신도전형 R&D	■ Y	□ N
		특허로 R&D(舊 IP-R&D)	□ Y	■ N
		경쟁형 R&D	■ Y	□ N
		보안과제	□ Y	■ N
		기술료 징수	■ Y	□ N
		3책5공 적용	■ Y	□ N
		국제공동연구 의무	□ Y	■ N
		지자체 예산매칭 의무	□ Y	■ N
		DMP 수립·이행 의무	■ Y	□ N
	ESG	□ E(환경)   □ S(사회)   □ G(지배구조)   ■ 해당없음		

- (융합연구) 융합기술 분야의 연계성이 과제 연구목표 및 내용에 명확하게 적시 필수
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 연구계획서 제출
- 미개척 분야의 도전적 연구 주제에 대한 지속 가능성을 제시하고, 검증된 연구개발에 대한 활용성 스케일업 연구개발 지원을 위한 이중 이상 분야 융합 연구진 구성 권고
- (경쟁형) 단계평가를 통해 2단계 계속 지원 여부를 결정
  - 단계평가 시 과제책임자는 1단계 성과 및 2·3단계 계획을 바탕으로 과제 조정 제안 가능
  - 차 단계 계속지원 과제의 경우 경쟁형중단 과제(경쟁기관)의 연구내용 및 방법, 연구기관(연구자) 등 일부 흡수 가능
  - 평가위원회는 이를 고려하여 2단계 계속 지원 여부 결정 가능
- ※ 경쟁형 과제로 1단계 평가 후 2단계 진입 (RFP별 1개 과제 내외 계속지원 예정)
- ※ 평가 결과에 따른 과제중단 및 연구비 조정 가능
- 본 사업은 데이터 관리계획(DMP) 제출을 의무화하여, 구축 데이터의 범위·공개 수준·활용 방안을 명시해야 하며, 과제 선정 및 단계/최종 평가 시 DMP 이행 여부를 주요 평가 항목으로 반영
- 연차점검(필요 시) 및 단계평가를 통해 연차별·단계별 추진 현황 및 성과를 점검받고, 점검·평가추진위원회 의견에 따라 연구개발과제의 목표 및 내용, 과제 구성, 연구비, 계속 지원 여부 등 조정 가능