

**혁신형 SMR 기술개발사업 '23년도 신규연구개발과제(과기부) 기술개요서
(품목공모형)**

RFP번호	2-7-과	공모유형	품목공모형
사업명	혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 기술개발사업 - 혁신기술 사업		
RFP명	자율 운전 성능과 안전성 향상을 위한 다목적 고정밀 계측시스템 개발		
PM분야	원자력	보안과제 여부	일반
1. 추진배경			
☐ 추진배경 ○(제안 배경 및 사유) - 소형모듈원자로(Small Modular Reactor, SMR)는 APR1400, OPR1000 등 기존 대용량 발전원자로와 달리 원자로, 증기발생기 등 주요기기를 일체화하여 안전성, 활용성 등 여러 측면에서의 장점으로 인하여, 전 세계적으로 주목을 받고 있으며, 총 71개의 노형이 개발 중에 있음 - 국내의 경우 한국원자력연구원(KAERI)을 주축으로 SMART 원자로를 개발하였으며, 안전성 및 경제성이 대폭 향상된 혁신형 SMR(i-SMR)을 개발중임 - 혁신형 SMR의 소형화를 위해서는 공정변수/상태감시 계측 센서의 소형화, 집적화, 최적화가 필수적임 - 혁신형 SMR에서는 인공지능 기술을 적용한 고장진단 기능이 도입될 것으로 예상되며 이를 지원하기 위한 설비의 상태 진단용 센싱 최적화 기술이 요구됨 - 노외중성자속감시는 노심의 출력상태를 감시하며, 원자로 제어 계통과 보호계통에 신호를 제공하는 원전의 안전운영에 중요한 설비임. - 이에 따라 발전소 내 자율운전 성능 및 안전성 향상을 위해 광섬유 분포형 센서, 저전력 무선센싱, IoT 센서, 혁신형 SMR용 중성자 계측 및 상태진단 계측 시스템 등의 기술개발을 통해 다목적 고정밀 계측 시스템을 개발함으로써 혁신형 SMR의 안전성, 경제성향상을 도모하고자 함 ○(기술개발의 시급성 측면) - 혁신형 SMR은 대형 원자로와 달리 주요기기가 일체화된 설계와 작은 크기가 특징으로, 특히 기존 상용로 대비 NSSS 계통에 설치될 계측/상태감시 센서의 작동 환경과 조건이 매우 상이하여 새로운 센서 혹은 계측방법을 개발하여 사용하여야 함 - 특히, 혁신형 SMR은 SMART 대비 작은 직경으로 인하여, 해상운반만 가능하던 SMART의 한계를 극복하여 도로운반을 가능하게 하는 것이 중요한 이슈이기 때문에, 주요기기를 비롯한 여러 구성요소들의 소형화 및 최적화가 필수적임 - 또한, 자율운전 성능 향상을 위해서는 입력 데이터의 정밀성 및 많은 계측 데이터의 확보가			

중요하며, 이러한 데이터들이 하드와이어(Hard Wire) 또는 유선 네트워크를 통해 전달될 경우 시스템 복잡도를 증가시키며 많은 공간을 차지하게 되므로, 무선기술의 개발 및 적용이 필요함

- 원자력 NSSS계통의 안전등급에 적용할 계측기술을 개발하는 것은 장기간의 연구와 실험, 검증 등의 과정이 필요하므로 조속한 기술개발의 착수가 요구됨

2. 연구개발목표

- 최종 목표: 혁신형 SMR용 다목적 고정밀 계측시스템 개발을 통한 자율 운전 성능과 안전성 향상 (목표 TRL: 7 (현재 TRL 수준 3))

- 단계별 또는 기술별 목표

기술개발 내용	1단계('23~'25)	2단계('26~'28)
고정밀 내환경 분포 센싱 기술	○ 내환경 분포센서 모듈 및 다물리 분포센싱 기술 개발	○ 분포센싱 기반 SMR 배관 상태 감시 기술 개발 및 적용시험
무선 저전력 복합센싱 기술	○ SMR 무선센싱 기술 구현	○ SMR 무선센싱 성능 검증
공정 계측 센서 기술	○ SMR 공정계측 방법 예비 기본개념 설정 및 공정계측기 설계	○ 시작품 성능 평가분석 및 실용화 계획 수립
기기건전성 상태감시 계측시스템 개발	○ SMR용 상태감시 센싱 및 신호 계측/처리/분석 요소기술 개발	○ 안전성 향상을 위한 SMR용 상태감시 계측시스템 개발 및 인허가 자료 확보를 위한 기기검증
노외중성자속 감시기술	○ SMR 노외핵계측 기본 설계 개념 수립 및 중성자속 감시 요소기술 개발	○ SMR 중성자속 감시기술 적용성 검토 및 시작품 평가

3. 성과목표

□ 연구개발내용

1. 세부기술별 기술개발 내용

(세부기술 1)

- 고정밀 내환경 분포 센싱 기술
 - 고정밀 분포 센서 광학계 설계 기술
 - 내환경 센서 모듈 제조 기술
 - 복합/대용량 분포 센서 신호수집 및 처리 기술
 - 분포 센싱 핵심모듈 제어 기술
 - SMR 배관 분포형 상태감시(누출, 변형) 기술

(세부기술 2)

- 무선 저전력 복합센싱 기술

- SMR용 무선 스마트센싱 기술
- SMR용 무선통신기술
- 무중단-실시간 진단기술
- 전자기파적합성(EMC) 평가

(세부기술 3)

- 공정 계측 센서 기술
 - SMR 적용 공정계측기기(압력, 유량, 수위) 개발
 - 공정센서 장주기 Drift 평가
 - 공정계측센서 시험 방법 개발

(세부기술 4)

- 기기건전성 상태감시 계측시스템 개발
 - 혁신형 SMR용 구조상태 감시 센서 기술 개발
 - 센싱최적화를 위한 혁신형 SMR 해석모델 개발
 - 혁신형 SMR의 결합별 비정상 신호탐지 계측시스템 개발

(세부기술 5)

- 노외 중성자속 감시 기술
 - 극한 환경(고온, 고압, 고습) 노외중성자속 감시기술 개발
 - 혁신형 SMR 전체 중성자속 분포 평가
 - 노외중성자속 감시 기술(유지보수, 성능, 요건, 사양) 개발
 - 노외중성자속 신호탐지 기술
 - 혁신형 SMR 노외중성자속 감시 장치개발 및 검증

2. 연차별 기술개발 내용

(1차년도)

- 고정밀 내환경 분포 센싱 기술
 - 혁신형 SMR 환경 및 설계 요건을 고려한 분포 센싱 기술의 적용성 분석 및 평가
 - 내환경 센서 소재 특성평가
- 무선 저전력 복합센싱 기술
 - 저전력 무선 스마트센싱 요소기술 분석
 - EMC 관련 기술기준 및 기술보고서 분석
- 공정 계측 센서 기술
 - 공정센서 환경요건 및 설계요건 분석
 - 계측기의 Drift 교정, 계측기의 시험방법 개념 수립
 - 국내외 제작사 기술 역량 비교 및 SMR용 신개념 계측 변수/기기 종류 수립
- 기기건전성 상태감시 계측시스템 개발
 - 혁신형 SMR용 상태감시 센서 기술 분석 및 수행 방법론 수립
 - 혁신형 SMR 상태감시 계측시스템 기술 사양 조사/분석/선정

- SMR용 내방사선 센서부품선정
- 노외 중성자속 감시기술
 - 노외 핵계측기 사례 및 특성평가
 - 노외 핵계측기 설치 환경 평가
 - 혁신형 SMR 전체 중성자속 분포 평가

(2차년도)

- 고정밀 내환경 분포 센싱 기술
 - 분포 센서 기술 구현 및 복합 신호수집
 - 내환경 센서 모듈 설계
- 무선 저전력 복합센싱 기술
 - SMR용 스마트 무선센싱 기술 개발
 - SMR용 무선통신 기술 개발
 - SMR용 기기(회전체, 압력용기, 밸브 등) 진단용 딥러닝 기술 설계
- 공정 계측 센서 기술
 - 공정계측 센서 성능요건 설정 (설계/작동 제원 개발)
 - 각 계측 종류별 Drift 측정 실험 및 On-line 시험 방법 설계
- 기기건전성 상태감시 계측시스템 개발
 - 혁신형 SMR용 상태감시 센서 요소기술 확보
 - 혁신형 SMR 테스트베드 제작 및 각 결함별 센서 신호분석
 - 상태감시용 신호수집/처리/분석 시스템 설계
- 노외 중성자속 감시기술
 - 노외 중성자속 감시요건 (기능, 성능) 수립
 - 혁신형 SMR 노외중성자속 신호탐지 기술 최적화 설계
 - SMR용 노외 중성자속 감시 시스템 개념 수립

(3차년도)

- 고정밀 내환경 분포 센싱 기술
 - 분포 센서 신호수집 및 고속 처리 기술개발
 - 내환경 센서 모듈 적용기술 개발
- 무선 저전력 복합센싱 기술
 - SMR용 스마트 무선센싱 구현
 - SMR용 무선통신 구현
 - 딥러닝 기반 무중단 진단 소형 클라우드 컴퓨팅 환경 구현
- 공정 계측 센서 기술
 - 공정계측센서 시험품 설계 및 제작
 - 센서 시험품 시험 및 평가

- 시험품 보완 및 공정계측센서 시작품 상세 설계
- 기기건전성 상태감시 계측시스템 개발
 - 혁신형 SMR용 후보센서 최적화
 - 센싱최적화용 혁신형 SMR 해석모델 및 결함특징 추출기술 개발
 - 상태감시용 신호수집/처리/분석 시스템 제작 및 성능평가
- 노외 중성자속 감시기술
 - 혁신형 SMR 용 노외 중성자속 감시 설계 및 실험환경 구축
 - 노외 중성자속 감시 민감도 분석
 - 장주기 운전평가

(4차년도)

- 고정밀 내환경 분포 센싱 기술
 - 분포 센싱 핵심요소 기술 설계 및 상태감시 계측시스템 연동
 - SMR 모의환경 적용 테스트 수행
- 무선 저전력 복합센싱 기술
 - 무선 기반 무중단-실시간 지능형 감시진단 시작품 구현
 - 개발기술 성능실험 및 보완
 - 시작품을 활용한 전자기파적합성(EMC) 검증
- 공정 계측 센서 기술
 - 계측센서 시작품 제작
 - 성능실험장치를 이용한 시작품 성능평가
 - 시작품의 SMR 환경(내환경(내방사선 포함), 내전자파, 내진) 생존성 영향 평가
- 기기건전성 상태감시 계측시스템 개발
 - 혁신형 SMR용 상태감시 계측시스템 시작품 제작 및 평가
 - 딥러닝 기술을 활용한 고장진단용 센싱기술 최적화
 - 내방사선 시제품 기기검증 (내진,내환경,전자파)
- 노외 중성자속 감시기술
 - 노외 중성자속 감시 장치 시작품 설계, 제작 및 평가
 - 시험 프로파일 생산 및 실험 결과 데이터 생산

(5차년도)

- 고정밀 내환경 분포 센싱 기술
 - 분포 센싱 기술 개발 및 SMR 상태(배관 누출, 변형) 모사실험 수행
 - 분포 센싱 기술 검인증 절차 수립
- 무선 저전력 복합센싱 기술
 - 무선센싱 및 진단시스템 성능 개선 및 검증
- 공정 계측 센서 기술
 - 계측센서 시작품 보완 및 성능평가

시작품의 SMR 환경(내환경(내방사선 포함), 내전자파, 내진) 생존성 검증

- 시작품 실용화 방안 대책수립(장주기운전 방안 대책 보고서, 환경 생존성 분석 보고서)

○ 기기건전성 상태감시 계측시스템 개발

- 혁신형 SMR용 상태감시 계측시스템 시작품 내환경 테스트

- 혁신형 SMR용 상태감시 계측시스템 인허가 자료확보

○ 노외 중성자속 감시기술

- 노외 중성자속 감시 실험을 통한 운전환경 적합성 분석

- 노외 중성자속 감시 장치 시작품 평가 및 보완

- 혁신형 SMR 노외 중성자속 감시 적합성 평가

□ 성과목표

○ 1세부기술 : 고정밀 내환경 분포 센싱 기술

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶기술보고서(1건): 고정밀 내환경 분포 센싱 기술 분석보고서
		2차년도	▶기술보고서(1건): 분포 센싱 기술 설계서, SCI 논문(1건), 특허(1건)
		3차년도	▶분포 센서 모듈 시작품(1건), 기술보고서(1건): 분포 센서 모듈 내환경 특성 평가보고서, SCI 논문(1건), 특허(1건)
	정성	1차년도	▶고정밀 내환경 분포 센서 소재 특성 평가
		2차년도	▶고정밀 내환경 분포 센싱 기술 구현
		3차년도	▶고정밀 내환경 분포 센서 모듈 시작품 제작 및 성능 평가
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶분포 센싱 시작품(1건), 기술보고서(1건): 분포 센싱 기술 성능 평가보고서, SCI 논문(1건), 특허(1건)
		2차년도	▶분포 센싱 기반 상태감시 SW(1건), 기술보고서(1건): 분포 센싱 기술 적용보고서, SCI 논문(1건), 특허(1건)
	정성	1차년도	▶고정밀 내환경 분포 센싱 시작품 제작 및 성능평가
		2차년도	▶고정밀 내환경 분포 센싱 성능 검증

○ 2세부기술 : 무선저전력 복합센싱 기술

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶기술보고서(1건): 적용가능 무선센싱기술 분석
		2차년도	▶기술보고서(1건): 무선센싱기술 및 신호진단기술 설계방법론
		3차년도	▶SCI 논문(1건) 평균 mmIF 66.42이상, 기술보고서(2건): i-SMR용 무선센싱 시작품
	정성	1차년도	▶기존 무선센싱 스펙 확인
		2차년도	▶개발 무선센싱성능 성팩
		3차년도	▶무선센싱성능 검증
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶기술보고서(1건): i-SMR용 무선기술 구현
		2차년도	▶SCI 논문(1건) 평균 mmIF 66.42이상, 기술보고서(1건): i-SMR용 무선 센싱 및 신호진단 시작품
	정성	1차년도	▶무선센싱 성능 개선

		2차년도	▶ 무선센싱과 진단 통합 성능 검증
--	--	------	---------------------

○ 3세부기술 : 공정계측 센서기술

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ SMR용 NSSS 공정계측센서 기술현황분석보고서 1건
		2차년도	▶ i-SMR NSSS 공정계측센서 예비요건서 1건
		3차년도	▶ i-SMR NSSS 공정계측센서 예비요건서 개정서 1건
	정성	1차년도	▶ 선행 상용로-참조 SMR노형간 적용개념 차이 도출
		2차년도	▶ 공정계측 방법 기본개념 예비 초안
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶ i-SMR 공정계측기 기본 설계서 1건
		2차년도	▶ i-SMR 공정계측기 설계서 1건
		3차년도	▶ i-SMR 공정계측 센서 개발 기술보고서 1건
	정성	1차년도	▶ 공정변수별 계측 센서 도면 및 실험품(혹은 시작품) 제작 준비
		2차년도	▶ 실험품(혹은 시작품) 온도, 내방사선 성능 평가 및 보완 설계 및 실용화 계획 수립

○ 4세부기술 : 기기전전성 상태감시 계측시스템 개발

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ 기술보고서(1건): 상태감시 센서 및 계측시스템 기술 분석보고서
		2차년도	▶ 기술보고서(1건): 상태감시 센서 성능 시험 문서
		3차년도	▶ 기술보고서(1건): 상태감시 센서 배치도, SCI 논문(1건)
	정성	1차년도	▶ 상태감시 센서 및 계측시스템 성능 요건
		2차년도	▶ 상태감시 센싱 성능 평가
		3차년도	▶ 상태감시 센싱 성능 최적화
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶ 기술보고서(1건): 상태감시 계측시스템 성능 평가보고서, 상태감시 계측시스템 시작품(1건), 감시 프로그램 SW(1건), SCI 논문(1건)
		2차년도	▶ 기술보고서(2건): 상태감시 계측시스템 기기 검증 보고서
	정성	1차년도	▶ 상태감시 계측시스템 성능 평가
		2차년도	▶ 상태감시 계측시스템 성능 검증

○ 5세부기술 : 노외중성자속 감시기술

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ SMR용 노외중성자속감시 기술현황보고서(1건)
		2차년도	▶ SMR용 노외중성자속감시 예비요건서 및 기술보고서 (2건)
		3차년도	▶ SMR용 노외중성자속감시 요건서 및 기술보고서 (2건)
	정성	1차년도	▶ SMR 적용개념 도출/중성자속 감시장치 개념 설계
		2차년도	▶ 노외핵계측 기본개념/중성자속 감시장치 개념 설계
		3차년도	▶ 노외핵계측 기본개념평가/중성자속 감시장치 기능 구현
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶ SMR용 노외 중성자속감시 기본설계서(1건)
		2차년도	▶ SMR용 노외 중성자속감시 설계서 및 기술보고서 (2건)
	정성	1차년도	▶ 노외핵계측 도면/중성자속 감시 장치 시작품 제작

		2차년도	▶ 중성자속 감시 장치 시제품 성능평가 및 적용성 평가
--	--	------	--------------------------------

4. 특기사항

- 주관기관: 연구계 (산업계, 학계 참여 필수)
- 특기 사항
 - 2023년 3/4분기 기준으로 확정된 설계 내용을 반영하여 2차년도 이후의 사업계획서가 작성되어야 함. 설계의 변경으로 인해 연구내용의 중대한 변경이 예상될 경우, 사업단의 사전 검토 및 승인이 필요함
- 기타 사항 : 없음

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 연구기간/정부출연금: ‘23.04 ~ ’ 27.12(총 57개월, , 3년+2년의 2단계)/168.7억원 내외 (민간부담금 8.9억원 내외)
- 2023년 연구기간/정부출연금: 9개월(1차년도 9개월) / 2.3억원 내외
- 정부출연금 연차별 예산(안)

(단위: 억 원 내외)

기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
자율 운전 성능과 안전성 향상을 위한 다목적 고정밀 계측시스템 개발	2.3	43.9	50.7	42.2	29.6	168.7

※ 예산현황에 따라 변경 가능성 있음