

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

RFP번호	2-1-과	공모유형	품목공모형
사업명	혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 기술개발사업 - 혁신기술 사업		
RFP명	혁신형 SMR 열수력검증 기술개발		
PM분야	원자력	보안과제 여부	일반

1. 추진배경

☐ 추진배경

- 혁신형 SMR은 안전성과 유연성을 갖춘 새로운 원자력 에너지 기술을 적용하여 계통 단순화 및 일체형 원자로 등을 구현함으로써 획기적인 안전성 향상을 기반으로 기존 발전원 중심의 활용 외에 다양한 산업적 활용이 가능함.
- 안전성을 확보하기 위하여 완전피동형 안전계통과 무한 냉각기술을 적용하고, 안전여유도를 최대한 확보하기 위하여 열수력 설계기술과 방법론을 고도화하고 최신 안전해석 방법론과 안전해석 코드를 적용하여 혁신형 SMR의 안전성을 평가함.
- 혁신형 SMR의 안전성과 무봉산 운전특성을 반영한 유연성을 확인하기 위해서는 노심의 충분한 열적 여유도를 확보해야 하며, 정상 및 과도해석에서 적용할 수 있는 임계열속 상관식이 필요함.
- 혁신형 SMR 핵연료의 열적 특성을 대표하는 임계열속 시험자료 DB를 구축하여 최적화된 임계열속 상관식 개발 및 표준설계 적용/검증
- 혁신형 SMR 노심 내 열적 물리 거동을 정확히 모사하는 임계열속 상관식을 적용하여 노심설계/안전해석을 통한 원천기술 확보 및 노심 안전성 향상에 기여
- 강화된 규제요건에 따라 요구되는 시험 및 검증 수준의 확장이 불가피하며, 심사 기간이 장기화될 우려가 존재
- 혁신형 SMR의 원자로냉각재계통과 안전계통의 성능평가 및 안전성 확인을 위해서는 검증시험이 필수적임. 원자로냉각재계통의 전체적인 열수력 거동을 확인하고 안전해석코드 검증을 위한 종합효과시험 및 개별효과시험은 표준설계인가 획득을 위해 필수적으로 요구됨.
- 2028년에 혁신형 SMR의 표준설계인가를 획득하기 위해서는 혁신형 SMR 원자로냉각재계통의 성능 및 안전성을 검증하는 열수력 종합효과시험이 필수적임.
- 혁신형 SMR의 안전계통 성능검증을 위해서 다양한 사고조건에서 격납용기 내부 자연순환 성능을 정밀 평가하기 위한 시험체계의 구축 및 실증실험 DB의 구축이 필요함.
- 혁신형 SMR의 표준설계인가를 지원하기 위해 노심 유동분포시험은 필수적인 실험임. 기존 상용원전과는 달리 다양한 혁신 요소기술이 적용되는 최초 호기의 SMR을 개발하기 위해 신뢰도 높은 노심 및 원자로 주요부의 유량 및 압력분포 자료가 생산되어야 하고, 일체형 원자로의 전체적인 수력적인 특성이 정량화 되어야 함.

☐ 추진방향

- 혁신형 SMR 열수력 검증 기술개발은 3개의 세부기술로 구분하여 독립적으로 기술개발이 수행되며, 최종적인 기술개발 결과는 안전해석 및 설계분야의 검증 자료로 활용됨.
- 혁신형 SMR 임계열속 시험 및 상관식 개발은 노심 설계에 필요한 집합체 단위의 물시험을 다양한 축방향 출력분포, 집합체 반경방향 봉출력 분포와 안내관 개수별 집합체 형상 등을 원자로 운전조건에서 시험된 자료를 바탕으로 추진함.
- 국내 고유 혁신형 SMR에 대한 열수력 종합효과시험장치의 설계/구축/시험 관련 기술과 일체형 원자로의 열수력종합효과시험장치의 설계 건전성 및 성능·안전성 평가기술을 개발하여 혁신형 SMR의 인허가 지원에 필수적인 혁신형 SMR의 운전 성능 및 안전성을 검증함.
- 혁신형 SMR의 격납용기 내부 자연순환에 의한 냉각계통은 원자로에서 냉각재상실사고 발생 시 격납용기 내 열을 제거하여 격납용기의 과압을 방지하고 격납용기를 보호하는 핵심적인 안전계통임.
 - 사고 시 격납용기 내부에서 형성된 자연순환에 의한 열전달 성능평가를 확인하기 위한 개별효과 시험은 혁신형 SMR의 출력을 결정짓는 매우 중요한 설계 요건이므로 우선하여 검증함.
- 혁신형 SMR의 원자로 용기 및 내부 구조물을 모의할 수 있는 시험장치의 구축과 노심 유량 및 압력분포 시험검증 기술을 개발하여 혁신형 SMR의 표준설계인가 지원에 활용함. 또한 노심유동분포 시험에서 원형로와 같은 형상을 가공하여 조립함으로써 원형로의 제작 기술에 참조하거나 유체 설계의 건전성을 검증하는데 조기에 활용할 수 있음.

2. 연구개발목표

- 최종 목표: 노심 및 주요 계통설계에 대한 검증/시험을 수행하고, 안전성, 경제성 및 유연성 향상을 위한 혁신기술 개발
 - 혁신적으로 개발된 노심 및 계통설계에 대한 시험/검증과 원자로 안전해석 검증을 위한 시험자료 및 검증자료 생산
- 단계별 또는 기술별 목표

기술개발 내용	1단계('23~'25)	2단계('26~'28)
1세부:무봉산운전 핵연료집합체 임계열속 시험 및 상관식 개발 (TRL 4 → 6)	- 임계열속 시험용 시편 제작/ 시험 수행 및 상관식 개발	- 임계열속 시험자료 DB 구축 및 표준설계 인허가 대응
2세부:원자로냉각재계통 시험검증 (종합효과시험) (TRL 4 → 7)	- 열수력 종합효과시험장치의 기본설계 및 상세설계	- 열수력 종합효과시험장치 구축 및 핵심사고 모의시험 DB 구축을 통한 혁신형 SMR 안전성 종합 검증
3세부:원자로냉각재계통 시험검증 (개별효과시험) (TRL 4 → 7)	- 격납용기 자연순환 성능 시험장치 설계 및 구축 - 노심유동분포 시험장치 설계 및 구축	- 격납용기 자연순환 성능시험 DB 구축 및 자연순환 특성 평가 (PCCS 응축효과 고려 필요) - 노심유동분포 시험 DB 구축 및 노심유동분포 특성 평가

3. 성과목표

□ 연구개발내용

- 1과제 : 무봉산운전 핵연료집합체 임계열속 시험 및 상관식 개발
 - 시험기법 및 시험부 설계
 - 시험자료 DB 구축
 - 최적 임계열속 상관식 개발
 - 임계열속 상관식 검증
- 2과제 : 원자로냉각재계통 시험검증 (종합효과시험)
 - 열수력 종합효과시험장치 구축을 위한 혁신요소기술 분석
 - 열수력 종합효과시험장치의 기본설계 수행 및 척도해석 방법론 개발
 - 열수력 종합효과시험장치의 상세설계 수행 및 시험 방법론 개발
 - 열수력 종합효과시험장치의 구축 완료 및 SPACE 코드 입력자료 생산
 - 열수력 종합효과시험장치의 시운전 및 핵심 사고 모의시험 DB 구축
 - 인허가 지원 및 안전해석 검증을 위한 실험결과 상세 분석 및 안전성 종합평가
- 3과제 : 원자로냉각재계통 시험검증 (개별효과시험)
 - 격납용기 자연순환 성능평가 시험
 - . 격납용기 자연순환 성능 시험장치 기본설계 방법론 개발 및 시험항목 도출
 - . 격납용기 자연순환 성능시험장치 척도해석 및 기본설계
 - . 격납용기 자연순환 성능시험장치 상세설계 및 장치 구축
 - . 격납용기 자연순환 성능시험 DB 구축 및 혁신형 SMR 자연순환 성능 평가 (피동 격납용기 냉각계통 (PCCS) 열교환기 응축효과 고려 필요)
 - 노심유동분포 시험검증
 - . 노심입구유동분포 시험장치 기본설계 방법론 개발 및 시험항목 도출
 - . 노심입구유동분포 시험장치 척도해석 및 기본설계
 - . 노심입구유동분포 시험장치 상세설계 및 장치 구축
 - . 노심입구유동분포 시험 DB 구축 및 노심유동분포 특성 평가

□ 성과목표

- 1과제 : 무봉산운전 핵연료집합체 임계열속 시험 및 상관식 개발

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶기술보고서(1건, KNF-X 상관식 적용범위 확장), 시험요건서 (1건), 계약서 (1건)
		2차년도	▶기술보고서(1건, 시험부 최적 구성), 시험절차서 (1건)
		3차년도	▶기술보고서(1건, 시험결과 분석보고서), 특정주제기술보고서(1건, 혁신형 SMR 임계열속 상관식)
	정성	1차년도	▶임계열속/열혼합 시험 최적 매트릭스 선정
		2차년도	▶시험시설 열평형 검증 및 임계열속 시험
		3차년도	▶임계열속/열혼합 시험 및 상관식 개발
2단계 (‘26~‘27)	정량	1차년도	▶기술보고서(1건, 인허가 질의답변 대응보고서 I)
		2차년도	▶기술보고서(1건, 인허가 질의답변 대응보고서 II)
	정성	1차년도	▶인허가 지원 (TRL5)

		2차년도	▶ 인허가 질의 응답(TRL6)
--	--	------	-------------------

○ 2과제 : 원자로냉각재계통 시험검증 (종합효과시험)

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ 기술보고서(1건) : 시험계획보고서
		2차년도	▶ 기술보고서(1건), 설계문서(1건) : 척도해석 평가 보고서, 기본설계 보고서
		3차년도	▶ 기술보고서(1건) : 구축 요건서 / 시험계획보고서(개정)
	정성	1차년도	▶ 종합효과시험장치 척도해석
		2차년도	▶ 종합효과시험장치 개념/기본 설계
		3차년도	▶ 종합효과시험 시험 계획 수립
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶ 기술보고서(1건), 설계문서(1건) : 실험장치 구축 보고서, 전기 및 계측계통 구축 보고서
		2차년도	▶ 기술보고서(1건), 설계문서(1건) : 주요 기기 및 부품 작동 점검 보고서, 시운전 보고서
		3차년도	▶ 기술보고서(4건) : 핵심사고 모의 시험결과 보고서 및 혁신형 SMR 안전성 검증 종합보고서
	정성	1차년도	▶ 종합효과시험장치 구축 완료
		2차년도	▶ 종합효과시험장치 시운전 완료
		3차년도	▶ 종합효과시험 수행 및 결과 분석을 통한 혁신형 SMR 안전성 검증

○ 3과제 : 원자로냉각재계통 시험검증 (개별효과시험)

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ CV 자연순환 성능 시험장치 척도해석 및 시험요건 보고서 ▶ 노심유동분포 시험장치 척도해석 및 시험요건 보고서
		2차년도	▶ CV 자연순환 성능 시험장치 기본설계 보고서 ▶ 노심유동분포 시험장치 기본설계 보고서
		3차년도	▶ CV 자연순환 성능 시험장치 구축 보고서 ▶ 노심유동분포 시험장치 구축 보고서
	정성	1차년도	▶ CV 자연순환 성능시험 주요 시험 항목 도출 및 핵심 계측기술 정의 ▶ 노심유동분포 시험 주요 시험 항목 도출 및 핵심 계측기술 정의
		2차년도	▶ CV 자연순환 성능시험 예비해석 및 시험방법론 개발 ▶ 노심유동분포 시험 예비해석 및 시험방법론 개발
		3차년도	▶ CV 자연순환 성능 시험장치 상세설계 및 제작·구축 ▶ 노심유동분포 시험장치 상세설계 및 제작·구축
2단계 (‘26)	정량	1차년도	▶ CV 자연순환 성능시험 DB 구축 보고서 ▶ 노심유동분포 시험 DB 구축 보고서
	정성	1차년도	▶ CV 자연순환 성능시험 DB 건전성 평가 ▶ 노심유동분포 시험 DB 건전성 평가

4. 특기사항

○ 주관기관: 연구계(산업계 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

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 연구기간/정부출연금: '23.04 ~ '28.12 (총 69개월, 3년+3년의 2단계) / 606.6억 원
- '23년 연구기간/정부출연금: 9개월(1차년도 9개월) / 8.8억 원
- 연차별 예산

(단위: 억 원)

기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
열수력검증 시험	8.8	90.9	317.4	149.9	24.6	15.0	606.6

※ 예산현황에 따라 변경 가능성 있음