

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

RFP번호	2-3-과	공모유형	품목공모형
사업명	혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 기술개발사업 - 혁신기술 사업		
RFP명	혁신형 SMR 고유 중대사고 종합해석 평가기술 개발 및 완화 능력 평가		
PM분야	원자력	보안과제 여부	일반
1. 추진배경			
☐ 추진배경 ○ 혁신형 SMR 고유 설계 특성을 고려한 중대사고 평가 기술 개발의 필요성 - 혁신형 SMR은 기존 중대형원전과는 다른 개념의 원자로냉각재계통, 피동안전계통, 격납용기 및 보조 설비들이 설계되어 사고의 진행과정에서 노심 용융 및 방사성 물질 이송 거동 등에 고유한 특성이 발현될 수 있음. 이러한 특성들을 반영한 중대사고 종합해석 평가기술의 개발이 필요함. - 혁신형 SMR은 해외수출을 목표로 하므로 국내 고유의 중대사고 평가 기술이 시의 적절하게 확보되어야 함. - 혁신형 SMR 인허가에 필요한 사고관리계획서 개발을 위한 완화 능력 평가가 필요함. - 혁신형 SMR의 안전성 입증의 주요 쟁점인 가연성기체 제어에 관한 평가방법론 개발이 필요함. ○ 혁신형 SMR의 중대사고 완화 능력 평가의 필요성 - 혁신형 SMR의 고유 설계 특성을 반영한 중대사고 해석 기술 확보가 필요한데, 혁신형 SMR은 설계 과정부터 중대사고 사고관리/대처능력이 고려되어야 하므로, 중대사고 해석코드 개발은 시급히 진행되어야 함. - 혁신형 SMR의 경우에는 국내 상용 원전의 프리스트레스드 콘크리트 격납구조가 아닌 PCCS와 같은 피동냉각계통이 탑재된 금속격납용기가 적용됨. 따라서, 혁신형 SMR의 구조적 특성(금속 격납용기) 및 중대사고 시나리오 분석에 기반한 격납용기 구조건전성 평가기술의 개발이 필요함. - 혁신형 SMR의 안전성 목표 달성 및 인허가 단계에서 현안이 되어 설계변경이 요구될 수 있는 문제를 선제적으로 방지하기 위하여 기본 설계 단계에서 노심손상 및 방사성 물질 방출이 발생할 수 있는 사고 경위 및 해당 경위에서 발생하는 중대사고 시 위협요인들에 대한 혁신형 SMR의 탁월한 중대사고 완화 능력을 평가하여 그 안전성을 입증해야 함. ○ 혁신형 SMR의 중대사고 완화 능력 평가를 통한 안전성 입증 - 기존의 SMR과 차별되는 설계 특성인 피동형 재순환밸브, 피동형 감압밸브, 그리고 PCCS와 같은 핵심 피동안전계통 성능을 반영한 혁신형 SMR 고유의 중대사고 완화 및 방지 성능을 기본설계단계부터 고찰하여 고유 안전 성능을 선제적으로 분석할 필요가 있음. - 현재 세계 각국에서 SMR 개발이 활발히 진행 중인 바, 혁신형 SMR 개발을 통한 국내 개발 원전의 국제 경쟁력 확보가 필요함. 그 일환으로 한국의 혁신형 SMR의 설계 완성, 인허가 획득			

및 추후 사업화를 위하여 국내 고유의 중대사고 평가 기술 개발 및 검증, 완화 능력 평가를 통한 안전성 입증에 필수적임.

□ 기술동향

- 해외 기술개발 현황 및 전망
 - 세계적으로 입증된 중대사고 종합해석코드는 미국의 MELCOR(규제), MAAP(산업), 유럽의 ASTEC, 일본의 SAMSON 코드 등이 있으며, 이러한 코드들을 SMR 특성을 반영할 수 있도록 그 성능을 고도화하여, 각국 고유 SMR 노형에 대한 중대사고 평가를 수행하고 있음.
- 국내 기술개발 현황 및 전망
 - 국내의 경우 대형 가압경수로 원전을 대상으로 중대사고 종합해석코드인 CINEMA를 국내 기술로 개발함. CINEMA 코드는 SMART 원자로 설계의 특성을 반영하여 일부 해석 모듈의 성능이 개선되었으나, 본 사업의 개발 대상인 혁신형 SMR과는 기본설계가 크게 상이함.
 - 현재 SMART100 원자로는 해외코드를 활용하여 중대사고 종합해석을 수행하고, 표준설계인가 취득을 위한 인허가 과정에 있음.

2. 연구개발목표

- 최종 목표 : SMR 중대사고 종합해석 평가기술 개발 및 완화 능력 평가
(목표 TRL: 7 (현재 TRL 수준 5))
- 단계별 또는 기술별 목표

기술개발 내용	1단계('23~'25)	2단계('26~'28)
중대사고 선원항 평가를 위한 중대사고 종합해석 코드 성능 고도화	○ 코드 개별 모듈 성능 고도화 및 검증 해석	○ 중대사고 평가 코드 인허가 문서 개발 및 대응
중대사고 완화 능력 평가기술	○ 중대사고 위협요인별 평가 방법론 개발 및 종합평가	○ 중대사고 완화 능력 평가 인허가 문서 개발 및 대응
인허가 쟁점 대응을 위한 평가기술 개발	○ 가연성기체 제어 및 격납용기 구조건전성 평가방법론 개발 및 종합평가	○ 가연성기체 제어 평가 및 격납용기 구조건전성 관련 인허가 문서 개발 및 대응

3. 연구개발내용 및 성과목표

□ 연구개발내용

- 1 세부기술: 중대사고 선원항 평가를 위한 중대사고 종합해석 코드 성능 고도화
 - 불확실도 분석을 통한 혁신형 SMR 선원항 평가 모델 개선사항 도출
 - 중대사고 종합해석 코드 개선(노심용융물, 격납용기, 핵분열생성물 등)
 - 중대사고 종합해석 코드 표준화 및 검증
 - 중대사고 종합해석 코드 관련 인허가 문서 개발 및 대응
- 2 세부기술: 중대사고 완화 능력 평가기술 개발
 - 혁신형 SMR 설계 특성을 고려한 중대사고 경위 해석
 - 중대사고 위협요인별 평가 방법론 개발

- 중대사고 완화 능력 평가기술 개발 및 적용 (노심용융물 외벽냉각, 노심용융물 고압방출, 증기폭발, 재임계 등)
- 중대사고 경위별 사고 완화 능력 및 선원항 평가
- 중대사고 완화 능력 평가 관련 인허가 문서 개발 및 대응
- 3 세부기술: 인허가 쟁점 대응을 위한 평가방법론 개발
 - 중대사고 가연성기체 제어 인허가 대응 방법론 개발
 - 중대사고 가연성기체 제어 평가기술 개발 및 적용
 - 격납용기 중대사고 구조건전성 평가기술 개발 및 적용
 - 가연성기체 제어 및 격납용기 구조건전성 관련 인허가 문서 개발 및 대응

□ 성과목표

- 1 세부기술: 중대사고 선원항 평가를 위한 중대사고 종합해석 코드 성능 고도화

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ 기술보고서(1건): 중대사고 선원항 모델 개선사항 도출
		2차년도	▶ 기술보고서(2건): 중대사고 종합해석코드 해석모델별 개선
		3차년도	▶ 기술보고서(2건): 중대사고 종합해석코드 개별모델 통합, 검증
	정성	1차년도	▶ 혁신형 SMR 중대사고 선원항 평가 모델 개선사항 도출
		2차년도	▶ 중대사고 종합해석 코드 개선
		3차년도	▶ 중대사고 종합해석 코드 표준화 및 검증
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶ 설계문서(1건) : 중대사고 종합해석 코드 해석방법론
		2차년도	▶ 설계문서(1건): 중대사고 종합해석 코드 인허가 질의 응답서
		3차년도	▶ 설계문서(1건): 중대사고 종합해석 코드 표준화 최종 문서
	정성	1차년도	▶ 중대사고 종합해석 코드 관련 인허가 문서화
		2차년도	▶ 중대사고 종합해석 코드 관련 인허가 대응
		3차년도	▶ 중대사고 종합해석 코드 관련 인허가 최종 문서 개발

- 2 세부기술: 중대사고 완화 능력 평가기술 개발

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ 기술보고서(1건): 중대사고 완화 능력 평가방법론
		2차년도	▶ 기술보고서(3건): 중대사고 위험요인별 평가기술 개발
		3차년도	▶ 기술보고서(3건): 중대사고 위험요인별 완화능력 평가
	정성	1차년도	▶ 중대사고 위험요인별 평가방법론 개발
		2차년도	▶ 중대사고 완화 능력 평가기술 개발
		3차년도	▶ 중대사고 경위별 사고 완화 능력 및 선원항 평가
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶ 설계문서(1건): 중대사고 완화 능력 평가 인허가 문서 작성 문서
		2차년도	▶ 설계문서(1건): 중대사고 완화 능력 평가 인허가 질의 응답서
		3차년도	▶ 설계문서(1건): 중대사고 완화 능력 종합 평가 문서
	정성	1차년도	▶ 중대사고 완화 능력 평가 관련 인허가 문서화
		2차년도	▶ 중대사고 완화 능력 평가 관련 인허가 대응
		3차년도	▶ 중대사고 완화 능력 평가 관련 인허가 최종 문서 개발

○ 3 세부기술: 인허가 쟁점 대응을 위한 평가방법론 개발

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ 기술보고서(1건): 가연성기체 제어 평가방법론
		2차년도	▶ 기술보고서(2건): 가연성기체 제어 평가 기술 개발, 격납용기 구조건전성 평가 기술 개발
		3차년도	▶ 기술보고서(2건): 가연성기체 제어 평가, 격납용기 구조건전성 평가
	정성	1차년도	▶ 가연성기체 제어 인허가 대응 방법론 개발
		2차년도	▶ 가연성기체 제어 및 격납용기 구조건전성 평가 기술 개발
		3차년도	▶ 가연성기체 제어 및 격납용기 구조건전성 평가
2단계 (‘26~‘28)	정량	1차년도	▶ 설계문서(1건): 가연성기체 제어 인허가 문서 작성 문서
		2차년도	▶ 설계문서(1건): 가연성기체 제어 인허가 질의 응답서
		3차년도	▶ 설계문서(1건): 가연성기체 제어 종합 평가 문서
	정성	1차년도	▶ 가연성기체 제어 및 격납용기 구조건전성 관련 인허가 문서화
		2차년도	▶ 가연성기체 제어 및 격납용기 구조건전성 관련 인허가 대응
		3차년도	▶ 가연성기체 제어 및 격납용기 구조건전성 관련 인허가 최종 문서 개발

4. 특기사항

○ 주관기관: 연구계 또는 산업계 (산업계, 연구계, 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

※ 예타 대비 세부기술별 이동·통합 내역

- 사유 : 연구 내용 연계 및 통일성 제고를 위해 기술수준 등을 고려하여 중복되는 내용 통합, 이관함

예타기준 5개 세부기술	개발체계에 따라 3개 세부기술로 분류
1세부기술: 중대사고 종합해석 코드 성능 고도화	○ 1세부기술 : 중대사고 선원항 평가를 위한 중대사고 종합해석 코드 성능 고도화 - 세부기술 제목만 변경됨.
3세부기술: 중대사고 시나리오 및 선원항 평가기술 개발 및 적용	○ 2세부기술 : 중대사고 완화 능력 평가기술 개발 - 기존 3 세부기술과 기존 4 세부기술 내 모든 내용은 유지되고 하나의 세부기술로 통합됨. 기존 4 세부기술에서 평가하는 DCH, ERVC, FCI와 같은 중대사고 쟁점 현상들은 기존 3세부기술에서 평가한 중대사고 시나리오 분석의 결과를 조건으로 하므로, 평가의 적절한 연계 및 통일성을 위하여 하나의 세부기술로 통합함.
4세부기술: 중대사고 쟁점에 대한 완화 능력 평가기술 및 인허가 대응 방법론 개발 및 적용	○ 3세부기술 : 인허가 쟁점 대응을 위한 평가방법론 개발 - 기존 5 세부기술에서 수행되는 가연성기체 제어 평가 결과를 이용하여, 기존 2 세부기술에서 철제 격납구조의 중대사고 구조건전성을 평가함. 그러므로 평가의 적절한 연계 및 통일성을 위하여 하나의 세부기술로 통합함.
2세부기술: 철제 격납구조 구조건전성 평가기술 개발 및 적용	
5세부기술: 가연성기체 제어 평가기술 및 인허가 대응 방법론 개발 및 적용	

5. 연구개발기간 및 연구개발비

- 총 연구기간/정부출연금: ‘23.04. ~ ’ 28.12.(총 69개월, , 3년+3년의 2단계) / 75.0억원 내외(민간부담금 15억 내외)
- 2023년 연구기간/정부출연금: 9개월(1차년도 9개월) / 1.7억원 내외
- 정부출연금 연차별 예산(안)

(단위: 억 원 내외)

기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	합계
중대사고 종합해석 평가기술 개발 및 완화 능력 평가	1.7	19.1	20.7	16.7	8.5	8.3	75.0

※ 예산현황에 따라 변경 가능성 있음