

RFP번호	2-4-과	공모유형	품목공모형
사업명	혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 기술개발사업 - 혁신기술 사업		
RFP명	혁신형 SMR 비상노심냉각계통 밸브 및 격납용기장착형 격리밸브 개발		
PM분야	원자력	보안과제 여부	일반
1. 추진배경			
□ 추진배경 ○ (제안 배경 및 사유) - 기존 가압경수형 원자로는 사고발생시 노심 냉각을 위해 펌프 토출압 및 탱크의 충전압을 이용해 냉각수를 원자로 내부로 주입하는 방식을 취하고 있음. 고압 펌프 혹은 탱크가 구비되는 경우에는 원자로 격납용기의 크기가 커지거나, 능동 기기 도입 시 안전등급 전원이 필수적으로 요구되는 등 SMR의 제작/설치 용이성, 운반성 및 경제성에 악영향을 미치게 됨. - 미국의 NuScale은 이러한 문제를 해결하기 위해 철제형 격납용기 설계를 채택하고 비상노심냉각계통(ECCS)을 방출밸브(Vent Valve)와 재순환밸브(Recirculation Valve)만으로 구성하였음. NuScale의 경우, 냉각재상실사고 시(Loss-of-Coolant Accident, LOCA)방출되는 증기는 응축되어 격납용기 하부에 모이게 되고, 재순환밸브를 통해 응축수가 노심으로 재순환되므로 별도의 안전주입을 위한 탱크가 없어도 노심냉각이 가능하고, 사고 전 기간 동안 노심노출을 방지하도록 설계되었음. - 기존 규제지침은 격납용기 관통부의 격리를 위해 격납용기 내부 및 외부 각각 격리밸브가 설치되도록 요구하고 있음. 미국의 NuScale의 철제형 격납용기와 같이 격납용기의 크기가 상대적으로 작은 경우, 격납용기 내부에 별도의 격리밸브를 설치 및 유지보수하기가 어렵고, 사고 시 매우 높은 압력으로 상승하기 때문에 사고환경 요건을 만족하는 밸브를 개발하기 매우 어려움. ○ (기술개발의 시급성 측면) - 혁신형 SMR의 비상노심냉각계통은 격납용기 크기, CDF, EPZ 등 발전소의 안전성 및 경제성을 결정하는 가장 중요한 안전계통임. - NuScale은 비상노심냉각계통 밸브는 단순한 설계이지만 오작동 방지기능(Inadvertent Actuation Block)을 보유하고 있고, 사고 상황에서도 동작 신뢰성이 확보되는 설계를 채택하고, 관련 특허를 광범위하게 보유하고 있음. - NuScale이 보유하고 있는 특허기술을 회피할수 있도록 개발해야 함은 물론 동등수준 이상의 성능을 발휘할 수 있는 비상노심냉각계통 밸브 개발이 시급함. - NuScale의 경우, 격납용기 내부에 격리밸브를 설치하지 않고, 격납용기 외부에 2대의 격리기능을 수행하는 격납용기장착형 격리밸브를 개발하여 채택하였음. 또한 NRC 인허가를 통해 기존 격납용기 격리에 관한 규제지침의 면제를 신청하여 최종 승인을 받았음. - 혁신형 SMR도 격납용기 침투압력이 매우 높아질 것으로 예상되므로, NuScale 보유 특허를 회피하면서, 격납용기 외부에서 격리기능을 수행할 수 있는 격납용기장착형 격리밸브 개발이 시급함. ○ (정부지원의 필요성 측면) - 비상노심냉각계통 밸브의 경우, 가혹한 작동환경에서도 작동 신뢰성이 매우 높게 설계,			

개발되어야 하므로, 기술 진입장벽이 매우 높음. 또한 격납용기장착형 격리밸브의 경우, 관련 기술이 국내에서 개발된 적이 없음.

- 따라서 국내 밸브제작업체 등 민간에서 독자적인 투자를 통해 개발하기 현실적으로 어려우므로, 정부주도의 기술개발투자가 필요함.

□ 추진방향

- (국외현황)
 - 미국 Curtiss-Wright Target Rock 밸브 개발 완료 및 NuScale SMR 적용
 - NuScale 비상노심냉각계통 NRC DC 획득
 - 격납용기 장착형 격리밸브 개발 NRC DC 격리요건 면제 신청 및 승인
- (국내현황)
 - 국내 관련 기술개발 경험 전무
 - 2022년부터 파일럿구동안전방출밸브 국산화 착수
- (추진방향)
 - 2030년 혁신형 SMR의 상용화를 위해서는 비상노심냉각계통 밸브 및 격납용기장착형 격리밸브의 개발 및 시작품 제작이 적시에 완료되어야 함.
 - 따라서 한정된 예산과 연구기간 내에 주어진 연구목표를 달성하기 위해서는 밸브 개발 및 제품 제작 경험이 있는 해당 밸브 제작업체와의 공동 기술개발이 요구됨.
 - 밸브 제작업체와의 공동 기술개발을 통해 개발 시행착오를 최소화하고 적시에 시작품 제작을 완료해야 함.

2. 연구개발목표

- 최종 목표: 혁신형 SMR 비상노심냉각계통 밸브 및 격납용기장착형 격리밸브 개발 (목표 TRL: 6 (현재 TRL 수준 2))

- 단계별 또는 기술별 목표

기술개발 내용	1단계('23~'25)	2단계('26~'27)
비상노심냉각계통 밸브 개발	○ 비상노심냉각계통 밸브 설계 및 해석기술개발	○ 비상노심냉각계통 밸브 제작기술개발 ○ 시작품 제작 및 성능시험 수행
격납용기장착형 격리밸브 개발	○ 격납용기장착형 격리밸브 설계 및 해석기술개발	○ 격납용기장착형 격리밸브 제작기술개발 ○ 시작품 제작 및 성능시험 수행

3. 연구개발내용 및 성과목표

□ 연구개발내용

[1세부기술] 비상노심냉각계통 밸브 개발

- 비상노심냉각계통 밸브 설계 및 해석기술개발
 - 비상노심냉각계통 밸브 개념개발
 - 밸브 동적거동 해석 및 운전성 평가기술
 - 유체유동, 열전달, 구조해석기술

- 밸브 고장분석기술 및 장수명 설계기술
- 비상노심냉각계통 밸브 제작기술개발 및 시작품 제작
 - 밸브 요소 부품 및 내장품 제작기술개발
 - 단위 공정별(단/주조, 용접, 절삭, 인발) 기술개발 및 최적화
 - 비상노심냉각계통 밸브 시작품 제작
- 비상노심냉각계통 밸브 시험평가 기술개발
 - 내진 및 단부하 시험 평가 요건 생산
 - 내환경 시험 요건 생산
 - 누설 및 수압 시험 및 열화 시험 평가 요건 생산
 - 방출용량 및 기능 시험 평가 요건 생산
 - 성능시험을 위한 설비 기반 구축 및 시작품 성능시험 요건 생산
 - 밸브 시제품 성능시험 수행

[2세부기술] 격납용기장착형 격리밸브 개발

- 격납용기장착형 격리밸브 설계 및 해석기술개발
 - 격납용기장착형 격리밸브 개념개발
 - 밸브 동적거동 해석 및 운전성 평가기술
 - 유체유동, 열전달, 구조해석기술
 - 밸브 고장분석기술 및 장수명 설계기술
- 격납용기장착형 격리밸브 제작기술개발 및 시작품 제작
 - 밸브 요소 부품 및 내장품 제작기술개발
 - 단위 공정별(단/주조, 용접, 절삭, 인발) 기술개발 및 최적화
 - 격납용기장착형 격리밸브 시작품 제작
- 격납용기장착형 격리밸브 시험평가 기술개발
 - 내진 및 단부하 시험 평가 요건 생산
 - 내환경 시험 요건 생산
 - 누설 및 수압 시험 및 열화 시험 평가 요건 생산
 - 성능시험을 위한 설비 기반 구축 및 시작품 성능시험 요건 생산
 - 밸브 시제품 성능시험 수행

□ 성과목표

- 1세부기술 : 비상노심냉각계통 밸브 개발

단계		목표	
1단계 ('23~'25)	정량	1차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 설계 요건서
		2차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 해석 보고서
		3차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 설계 보고서, 특허 출원
	정성	1차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 요건 생산
		2차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 설계 및 해석기술개발
		3차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 설계 및 해석기술개발
2단계 ('26~'27)	정량	1차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 제작 보고서
		2차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 시작품, 비상노심냉각계통 밸브 시험평가 요건서
	정성	1차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 제작기술개발

		2차년도	▶ 비상노심냉각계통 밸브 시작품 제작 및 성능시험 수행
--	--	------	--------------------------------

○ 2세부기술 : 격납용기장착형 격리밸브 개발

단계		목표	
1단계 (‘23~‘25)	정량	1차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 설계 요건서
		2차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 해석 보고서
		3차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 설계 보고서
	정성	1차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 요건 생산
		2차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 설계 및 해석기술개발
		3차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 설계 및 해석기술개발
2단계 (‘26~‘27)	정량	1차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 제작 보고서
		2차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 시작품, 격납용기장착형 격리밸브 시험평가 요건서
	정성	1차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 제작기술개발
		2차년도	▶ 격납용기장착형 격리밸브 시작품 제작 및 성능시험 수행

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 ~ ’ 27.12(총 57개월 , 3년+2년의 2단계) / 43.3억원
내외(민간부담금 14.5억 내외)
- ‘23년 연구기간/정부출연금: 12개월(1차년도 9개월) / 0.9억원 내외
- 정부출연금 연차별 예산(안)

(단위: 억 원 내외)

기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
혁신형 SMR 비상노심냉각계통 밸브 및 격납용기장착형 격리밸브 개발	0.9	12.1	13.0	13.0	4.3	43.3

※ 예산현황에 따라 변경 가능성 있음