

2026년도
에너지기술개발사업
연구개발과제기획보고서

**SMR 혁신제조 국산화
기술개발**

목 차




I . 동향분석	3
1. 추진배경 및 현황	
2. 사업내용	
3. 사업의 타당성	
4. 기대효과	
II . 기획대상연구개발과제 도출	9
1. 연구개발과제기획방향	
2. 개발위험 관리방안	
3. 기획연구개발과제 기술개요서	

1. 추진배경 및 현황

(1) 추진배경

- (글로벌 SMR 시장 확대) AI 등 첨단 산업 에너지 수요 확대, 탄소 중립 달성, 에너지 안보 중요성 부각에 따라 SMR 시장 확대 전망
 - 글로벌 SMR시장은 2023~2032년까지 연평균 3% 성장, 2032년 약 80억 6,000만 달러에 달할 것으로 전망
- (SMR 시장 경쟁 심화) 원전 선도국은 다양한 재정적, 정책적 지원을 통해 SMR 산업 주도권 확보 경쟁 중
 - 미국·영국 등 주요국은 정부 주도 정책 지원(재정지원, 규제완화 등)과 민간기업의 기술 개발·투자를 결합한 형태로 SMR 상용화 가속
 - SMR 시장 경쟁력의 핵심을 제작의 경제성 확보에 있다고 판단, 제조 기술의 혁신 및 적용에 R&D 역량 집중 투입

< 주요국 SMR 추진 현황 >

국가	정 부	민간기업	주요 프로젝트 경과
미국 	-DOE 지원(수십억 달러 규모), 세제 혜택 (IRA), 인허가 간소화 실증 부지 제공 -EPRI 주도 제조공정 혁신 기술의 양산설비 도입 준비	NuScale, X-energy, GE Vernova 등 설계·제작·운영 기술 상용화 해외 MOU 다수 체결	NuScale VOYGR(美 아이다호 실증, 루마니아·폴란드 수출 추진), X-energy 고온가스로 실증
영국 	-정부 자금(최대 2억5천만 파운드) 지원, 인허가 간소화 -ARMC 주도 혁신제조공정 기술 적용 축소모형 제작/검증 완료	Rolls-Royce SMR 중심, 모듈 제작 및 수출 지향	Rolls-Royce SMR 설계 인허가 심사 진행, 해외 파트너십 협상 중
중국 	-국가 주도 R&D·건설, 해외 인프라 수출 연계 -해상용 SMR 핵심 부품(증기발생기 튜브판) AM 제작 실험 추진	CNNC, CGN 주도 설계·건설·운영, 신흥국 패키지 수출	Linglong One(ACP100) 해안 실증 건설 중




- (국내 기업 글로벌 프로젝트 진출) 국내 원전 기업들은 다양한 글로벌 SMR 실증 프로젝트 사업 진출 중
 - * (두산에너지빌리티) ①(NuScalePower) '22년 UAMPS 초도호기SMR 제작 착수 협약, ②(X-energy) '22년 Xe-100 지분투자 및 핵심 기자재 공급 협약, ③(Terra-Power) '24년 기자재 공급사 선정 및 첫 SMR 사업에 주기기 공급
 - * (삼성중공업) (덴마크 Seaborg Technologies) 용융염냉각형원자로 기반의 부유식 원자력발전설비 개발협력 업무협약 체결

(2) 국내외 시장 및 기술동향

- (원전 패러다임 전환) 글로벌 SMR 시장 확대가 전망되며, 소형·모듈형 기자재 및 공장 제작 수요 확대와 첨단 제조기술 도입 추진
 - 탄소중립 정책 확대, 재생에너지 변동성 보완 필요성, 분산형 전원 수요 증가, 원격지·오프그리드·산업단지·군사시설 등 틈새시장 확대로 SMR 시장 성장 전망
 - 대형원전 중심에서 소형·모듈형 기자재 수요 확대, 공장 제작 확대, 첨단 제조기술 도입 등 산업 구조의 변화
 - 주요 SMR개발사들은 주요 기자재 공급망 확보를 위해 제작사·부품사를 조기 선정하고 장기 공급계약으로 선점 추진
 - * (미국) 대형 기자재 제작 경험을 보유한 두산에너지빌리티, BWXT 등과의 협력 강화 하고, NuScale, X-energy 등은 주요 부품을 장기 공급계약으로 선점
 - * (캐나다) Ontario Power Generation(OPG) 중심으로 BWRX-300 제작사·부품사 조기 선정
- (혁신제조기술 개발 경쟁) 전 세계적으로 SMR 기기 제작 적용을 위한 혁신제조기술 개발 경쟁 및 설비 도입 추진 중
 - 해외 선진사들은 SMR 건설 및 제작의 경제성 확보를 위해 설계 단계부터 원가절감을 위한 혁신제작 기술개발을 동시에 추진
 - * 특히, PM-HIP(고온등방가압 분말성형) 기술은 제작기간 단축과 소재원가절감 측면에서 가장 효과가 큰 것으로 평가되며, 현재 기술경쟁의 최우선 과제
 - 미국, 영국 등은 확대될 원전 시장의 기자재 제작 분야 주도하기

위해 정부 지원하에 혁신 제작기술 확보를 적극적 추진

< 주요국 SMR 혁신제조 기술개발 동향 >

구분	내용
	<ul style="list-style-type: none"> 전력연구소(EPRI)는 '12년부터 EBW, PM-HIP 등 혁신제조공정 기술 확보 및 검증 후 SMR 부품 제조공정에 활용하기 위한 양산설비 도입 준비 중 NuScale·Westinghouse : 금속 AM을 통한 펌프·밸브 부품 제작 실증
	<ul style="list-style-type: none"> Nuclear AMRC(Advanced Manufacturing Research Centre)를 중심으로 대형 원자로 및 SMR 원자로 제작 시 경제성 확보를 위해 혁신제조공정 기술확보 및 축소모형 제작/검증 완료 Rolls-Royce SMR: 모듈 제작 공정에 금속 AM 적용 시험 중
	<ul style="list-style-type: none"> 최근 5년 동안 50대의 PM-HIP 설비를 제작 및 설치하여 항공, 의료, Oil & Gas 분야에 적용 중이며, 최근 원자력 부품 제조공정에 활용하기 위한 연구를 추진 중 해상용 SMR 핵심 부품(증기발생기 튜브판) AM 제작 실험

2. 사업 내용

(1) 사업 목표

- SMR 기기의 제작공기와 제조비용을 단축 또는 절감할 수 있는 혁신 제조 장비 및 기술 개발

(2) 사업 세부내용

과제명	주요 내용
SMR 적용을 위한 초대형 PM-HIP 설비 국산화 개발	<ul style="list-style-type: none"> · (기술개요) 금속분말을 거푸집에 넣고 고온/고압을 가해 SMR 용기 등 복잡한 형상의 완제품을 제조 · (개발내용) 직경 4M급 이상 초대형 PM-HIP 설비 국산화 및 SMR용 소재 Mock-up 제작/평가
SMR 적용을 위한 최적 EBW 용접 시스템 개발 및 시제품 제작	<ul style="list-style-type: none"> · (기술개요) 진공상태에서 전자 빔을 이용해 두꺼운 금속을 단시간에 용접하는 기술 · (개발내용) SMR 원자로 및 격납용기를 one-pass 용접(두께 250mm 이상)할 수 있는 대형 전자빔 용접 시스템 개발
SMR 적용을 위한 적층제조 기술 및 부품 개발	<ul style="list-style-type: none"> · (기술개요) 와이어 등 금속재료를 레이저 등 열원으로 녹여 층을 쌓아 올리는 3D 프린팅 제조 방식 · (개발내용) 금속적층제조 공법 적용 SMR 대상 제조시스템 구축 및 소형부품/밸브류 대상 시제품 제작

3. 사업의 타당성

(1) 사업의 목적

- 세계 최고 수준의 SMR 제조 경쟁력 선점을 위한 미래 新기술 확보

(2) 사업의 시급성

- 2030년 전후 상용화 및 시장 급성장 전망으로, 글로벌 시장 선점을 위해 상용 기술의 조기 확보가 매우 시급한 상황
 - 2030년대 초반 상용화 모델 출시가 예고된 가운데, 기술 개발이 지체되면 국제 시장 진입 및 기술 자립 기획 상실 우려
 - * 미국(NuScale, GE Vernova, X-energy), 영국(Rolls-Royce), 캐나다(ARC), 중국(CNNC) 등 주요국은 정부 주도로 수조 원 규모의 SMR 개발과 실증 투자 중
- 주요 경쟁국 추격에 대비하고 SMR 시장 선점을 위한 초격차 기술 확보 시급
 - SMR 설계를 구현할 기기 제작사가 많지 않은 상황에서 글로벌 주요국들은 시장 선점을 위한 공급망 확보 및 핵심 제작 기술 개발에 적극 지원 중
 - 美·日 등이 개발 중인 PM-HIP* 등 혁신제조기술 상용화 시 우리와 경쟁이 예상되어 기술 개발·상용화 적극 지원 필요
 - * (미국) 초대형 PM-HIP 도입하여 원자력 산업 및 국방 분야 대형 금속 부품을 국내 제조기반으로 전환하기 위해 ATLAS 프로젝트 Funding(약 1.1억 달러 규모) 추진 중
 - * (영국) Advanced Manufacturing and Material 프로그램으로 약 1,200억원을 들여 전자빔 용접 등 핵심 제작기술 지원 중
- 11차 전기본*에 따라 국내 SMR을 적기 준공·운영하려면 건설·운영허가를 위한 핵심기기 제조 역량 확보 필요
 - * '35년 SMR 초도호기 1기 운영(0.7GW) 반영, '28년 표준설계인가 취득 목표로 i-SMR 기술개발사업 중

(3) 정부지원의 필요성

- (국가 전략과 밀접한 공공재 기술) SMR 상용화는 단순 민간 기술

개발이 아닌, 국가전략기술 육성, 에너지 안보 확보, 탄소중립 실현, 첨단 제조 산업 재도약의 핵심 수단

- 핵심 부품·소재 국산화 등은 산업 전반이 공유하는 기반 기술에 해당하며, 국가 R&D가 기술 생태계 조성 및 시정 개척에 필수적
- 기술개발, 산업 생태계 구축, 수출 전략 등 효과적인 사업 추진을 위해 일관된 국가 전략 수립이 필수
- (공급망 및 생태계 조기 재편) 산업 육성을 위한 정부 주도의 생태계 조성 및 조정 역할이 필수적
- 산업 재편 및 기술이전을 조정할 수 있는 정부의 중장기 계획 수립 및 추진 역량 요구
- SMR 공급망과 생태계 조성을 위해서는 신규 참여기업 육성, 중소기업의 전환 지원, 디지털 기반 인프라 구축 등 정부 차원의 역할 필요

4. 기대 효과

(1) 과학·기술적

- 혁신제조 기술 확보로 SMR 핵심 기술의 주도권 확보
- 기존 제조 공정 대비 제작기간 80% 이상 저감 가능한 혁신제작 설비 국산화로 차세대 원전 제작 기술 주도권 확보
- 저비용·고품질 핵심기자재를 국내에서 양산할 수 있는 전주기 체계 구축
- * 분말금속 생산-제조설비-검증의 제조 공정상의 부속 설비 국산화
- 미래산업을 선도하는 첨단 제조기술 확보로 제조산업 경쟁력 고도화
- SMR은 일체형 원자로, 피동안전계통 등 고난이도 통합 설계·제작 기술을 요구, 이를 통해 첨단 제조공정 역량 고도화
- * 고정밀 용접, 비파괴 검사, 초고강도 재료 가공 등

(2) 경제 · 사회적 기대효과

- 첨단제조 산업 공급망 구축 및 중소기업 기술역량 강화
 - SMR 핵심 부품과 소재를 국산화하고 모듈화 제작 공정 확산으로 국내 공급망을 고도화하고 글로벌 조달 리스크 최소화
 - 중소 · 중견기업이 참여하는 핵심 소재 · 부품 · 설비의 첨단 제조 산업 공급망 체계 구축
 - * 분말금속 생산설비, HIP용 형틀제조, 가열로, 압축기, 진공챔버, 비파괴검사 등 제조공정상 부속 설비
- 고부가가치 원전 수출 산업 창출
 - 품질 및 가격 경쟁력을 갖는 SMR 제작을 통해 해외 플랜트 사업의 수익성을 극대화하고 글로벌 시장에서의 경쟁 우위를 확보
 - '30년대 SMR 상용화 시점에 맞추어 적기 제조 경쟁력 확보로 글로벌 SMR 기자재 공급 시장 선점

II.

기획대상연구개발과제 도출

1. 연구개발과제기획 방향

□ 연구개발과제기획 기본방향

- (목적) 세계 최고 수준의 SMR 제조 경쟁력 선점을 위한 미래 新기술 확보
- (목표) SMR 기기의 제작공기와 제조비용을 단축 또는 절감할 수 있는 혁신 제조 장비 및 기술 개발

□ 신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	계
지정공모	-	-	-
품목지정	-	3	3
자유공모	-	-	-
계	-	3	3

□ 기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명	연계 수요 (도출근거)
SMR 적용을 위한 초대형 PM-HIP 설비 국산화 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지원근거 <ul style="list-style-type: none"> - 원자력 진흥법 제12조(원자력연구개발사업의 추진) ○ 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> - 제6차 원자력진흥종합계획 : 2. 미래시장과 수출_선도적 기술혁신과 정책지원으로 미래 원전시장 선점 - 제5차 에너지기술개발계획 : 전략 1. 무탄소에너지 확대를 위한 기술 경쟁력 강화_원전 활용 확대를 위한 기술혁신
SMR 적용을 위한 최적 EBW 용접 시스템 개발 및 시제품 제작	
SMR 적용을 위한 적층제조 기술 및 부품 개발	

2. 개발위험 관리방안

□ SMR 적용을 위한 초대형 PM-HIP 설비 국산화 기술개발

- 6년 내에 2ton급 대용량 Atomizer 개발 및 이를 처리할 수 있는 4m급 초대형 HIP System 개발, 그리고 Mock-up 제작까지 완성해야 하는 기술적 난이도가 존재
- 이를 극복하기 위해 실현 가능한 개발 Roadmap 작성, 요소기술 개발 및 이들을 Integration하여 System화할 수 있는 역량 확보, 체계적 일정 관리 및 국내외 전문기관의 발굴 및 협업 등을 통하여 목표달성 필요
- 1000 bar, 1200 oC의 운전환경에 노출되는 극한의 압력용기를 설계, 제작 및 운전해야 하므로 각 개발 단계별로 기술적 검토가 충분히 이루어져야 함

□ SMR 적용을 위한 최적 EBW 용접 시스템 개발 및 시제품 제작

- 약 60개월 내 초대형 EBW 시스템 국산화 개발 및 250mm급 두께 용접과 Mock-up 검증까지 수행해야 하는 기술적 난이도가 존재. 특히 XM-19 소재의 안정적 용접 조건 확보도 고난이도 요소임
- 고진공·고전압 환경에서의 대형 챔버, 400톤급 이상 구동계, Deep Penetration 용접 안정성 확보가 핵심 리스크임
- 단계적 시스템 통합 로드맵과 소재별 공정 Window 확보, 실시간 정렬·변형 제어 기술 적용을 통해 리스크를 저감 필요
- 국내외 전문기관 협력 및 수요기관과 코드 기반 검증을 통해 대형 EBW 공정의 신뢰성과 상용화 가능성을 확보하고자 함

□ SMR 적용을 위한 적층제조 기술 및 부품 개발

- SMR 원자로 주요기기 제작이 가능한 In-situ WAAM 제조 시스템의 설계·개발 및 제작 검증 과정에서는 생산현장 적용성을 확보해야 하며, 대형·복잡 형상 적층제작 중 발생할 수 있는 열이력 누적, 잔류응력, 변형 등의 공정 불안정성을 제어해야 하는 기술적 난이도가 존재함

- 이를 극복하기 위해서는 시스템 개발 로드맵 수립, 요소기술 및 공정 기술의 체계적 개발역량 확보, 철저한 일정 관리, 국내·외 전문기관과의 협업 등을 통해 단계별 목표를 달성해야 함
- Alloy 690 니켈기 합금은 고온균열 민감도와 용접성 저하 등에 따른 결함 발생 가능성이 높은 소재이므로, 고온균열저감형 소재설계, 국산화제조, 용접성평가, 부품 제작공정 평가 및 후처리 조건 최적화를 연계한 단계적 개발전략이 요구됨
- 시스템 개발, 소재 개발, 공정 개발 및 품질평가를 병렬적으로 추진하고, 시스템·소재 개발 결과가 주요기기 부품 시제품 제작으로 연계될 수 있도록 단계별 검증체계를 구축하여 최종 목표를 달성해야 함

3. 기획연구개발과제 기술개요서

[품목지정공모 (기술개요서)]

품목명 : SMR 적용을 위한 초대형 PM-HIP 설비 국산화 개발	12
품목명 : SMR 적용을 위한 최적 EBW 용접 시스템 개발 및 시제품 제작	15
품목명 : SMR 적용을 위한 적층제조 기술 및 부품개발	18

'26년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2026-원자력-원전-품목 3-1		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		원자력	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 대형통합형 <input checked="" type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연전소사업 <input type="checkbox"/> 규제샌드박스 연계형				
품목명	SMR 적용을 위한 초대형 PM-HIP 설비 국산화 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 8단계)				
1. 개념 및 개발내용	<p><input type="checkbox"/> 개념</p> <ul style="list-style-type: none"> SMR 기기/부품 제조를 위한 초대형 PM-HIP(고온등방가압 분말성형) 설비 /Atomizer 개발 및 설비 검증·안정화 <p>* 핵심목표 : SMR 부품 생산 적용 가능한 초대형 PM-HIP 설비(직경 4.0m 이상) 개발 + 2ton/charge급 이상의 Atomizer 개발 + 실물 규모 Mock-up 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> (1단계) 4m급 PM-HIP 설비 및 2ton/charge급 Atomizer 설계 및 제작기술개발 (2단계) PM-HIP Atomizer 제작, System Integration 및 SMR 부품 Mock-up 제작/평가 <p><input type="checkbox"/> 개발내용</p> <ul style="list-style-type: none"> (1단계) 4m급 PM-HIP 설비 및 2ton/charge급 Atomizer 설계 및 제작기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> SMR 주기기 제작용 대형 금속분말 제조설비(Gas Atomizer) 설계기술 개발 초대형 PM-HIP System 설계기술 개발 초대형 PM-HIP Vessel Assembly 설계 및 제작기술 개발 초대형 PM-HIP 설비용 Heat Furnace 설계 및 제작기술 개발 초대형 PM-HIP 설비용 Sub-system 설계 및 제작기술 개발 (2단계) PM-HIP Atomizer 제작, System Integration 및 SMR 부품 Mock-up 제작/평가 <ul style="list-style-type: none"> 금속분말 제조설비(Gas Atomizer) 제작, 조립 및 성능 검증 초대형 PM-HIP Vessel Assembly, Heat Furnace, Sub-system 제작 초대형 PM-HIP System 조립, 시운전 및 성능 안정화 SMR용 PM-HIP 부품 Mock-up 제작 및 신뢰성 평가 <p>* 실 구조물 형상의 목업 설계 및 제작</p> <p>* 품질확보를 위한 형상 기반 위치별 품질평가 및 편차분석 기술개발</p> <p>연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수</p> <ul style="list-style-type: none"> - 분말생산량(t/charge) - 53-500um 분말 제조 수율(%) 				

- 분말 산소 농도 (ppm)
- Hot Zone 직경(m)
- 압력용기 물성치의 기술기준 요건 만족 여부
- 승온속도(°C/min)
- Furnace 온도편차(°C)
- Vessel 표면 온도(°C)
- 직경 4m, 높이 4m급 압력용기 사용 압력(MPa)
- 냉각속도(°C/min)
- Mock-up(제품) 외경 및 높이(m)
- Mock-up 관련 기술기준 요건 만족여부 (항복강도, 인장강도, 연신율, 충격흡수에너지, 파괴인성, RT_{NDT} 등)
- Mock-up 위치별 물성 균질성 지표 (Coefficient of Variation, %)
- 제작 기간 감소율(%)
- 제조 비용 절감율(%)
- 적용 대상 기기/부품 및 건수
- 제조설비 국산화율

□ 개발위험 극복방안

- 6년 내에 2ton급 대용량 Atomizer 개발 및 이를 처리할 수 있는 4m 급 초대형 HIP System 개발, 그리고 Mock-up 제작까지 완성해야 하는 기술적 난이도가 존재
- 이를 극복하기 위해 실현 가능한 개발 Roadmap 작성, 요소기술 개발 및 이들을 Integration하여 System화할 수 있는 역량 확보, 체계적 일정 관리 및 국내외 전문 기관의 발굴 및 협업 등을 통하여 목표달성 필요
- 1000 bar, 1200 °C의 운전환경에 노출되는 극한의 압력용기를 설계, 제작 및 운전 해야 하므로 각 개발 단계별로 기술적 검토가 충분히 이루어져야 함

□ 안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발 과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)

2. 지원 필요성

- **(정책적)** 탄소중립 목표 달성을 위한 주요 에너지원으로 급부상하고 있는 SMR의 성공적인 상용화를 위해서는 고신뢰성의 원자로 압력용기 제조기술 확보가 시급함. 특히, 초대형 PM-HIP 설비는 SMR 압력용기 제작기간 단축을 위한 핵심적인 혁신제작 설비로, 현재 관련 기술 확보 경쟁이 가장 치열한 설비임.
- **(기술적)** PM-HIP은 최종 제품 형상에 근접한 형상으로 한 번에 제조가 가능하기 때문에 기존 제조 공정(주조→단조→가공→용접) 대비 제작 기간과 원소재 중량의 대폭적인 절감이 가능한 기술. 해외에서는 다양한 전문 기관과 기업이 기술 및 장비 개발과 산업 적용을 활발히 추진 중이며, 개발 결과가 지속적으로 발표되고 있음. 국내에서도 유사한 수준의 산업 적용을 위해 관련 핵심 기술에 대한 체계적 연구개발 지원이 필요함

- **(시장적)** SMR 발전설비 증설규모는 매년 3.8~7.9GW 신규 증설될 것으로 전망되며, 각국의 원자력 전문기관에서도 2050년까지 최소 400기 이상, 최소 400조원 이상의 SMR 신규 시장이 발생될 것으로 전망함. 해외 선진사들은 SMR 건설 및 제작의 경제성 확보를 위해 설계단계부터 원가절감을 위한 혁신제조 기술개발을 동시에 추진해 왔으며, 이중 PM-HIP 기술이 제조기간 단축, 소재원가절감 측면에서 가장 효과가 큰 것으로 평가됨.
- **(사회적)** PM-HIP 설비는 원자력뿐 아니라 항공우주, 방산, Oil & Gas, 반도체 등 고신뢰 부품이 필요한 산업의 핵심 공정 인프라로 활용 가능하여, 관련 산업의 기술 자립 및 고도화 촉진 및 국가 첨단 제조업의 공급망 강화를 위한 전략적 투자로서 개발이 필요함. 설비 구축 및 시운전, 향후 운영과 기술 개발 전반에 이르기까지 많은 고급 인력이 투입되며, 관련 부품·소재업체 등 연관 산업과의 시너지 효과로 국가 경제 활성화 및 지속가능한 일자리 창출을 기대할 수 있음

□ **활용분야**

- 국내·외 SMR 기기/부품 제조산업
- 대형원전, 항공우주, 방산, Oil & Gas, 반도체 기기/부품 제조산업

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 66개월 이내 (1단계 : '26~'29년, 2단계 : '30~'31년)
- 정부지원연구개발비 : '26년 31.3억원 이내(총 정부출연금 773.58억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 대학 참여 필수, 중소·중견기업 참여 필수, IP 관리 방안과 SMR 산업 생태계 조성 및 활성화 계획 명시

'26년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2026-원자력-원전-품목 3-2		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		원자력	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 대형통합형 <input checked="" type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 규제샌드박스 연계형				
품목명	SMR 적용을 위한 최적 EBW 용접 시스템 개발 및 시제품 제작 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 8단계)				

1. 개념 및 개발내용

개념

- SMR의 원자로(RV: Reactor Vessel) 및 격납용기(CV: Containment Vessel) 제작시 제작기간과 제작비용을 혁신적으로 단축할 수 있는 두께 250mm 이상 초대형 전자빔 용접(EBW, Electron Beam Welding) 시스템 개발 및 검증

*** 핵심목표 : SMR RV 두께 250mm 및 CV 두께 130mm 용접 가능한 장비 국산화**

- (1단계) 초대형 전자빔 용접 시스템 설계 및 국산화 장비 개발
- (2단계) SMR 소재별 용접최적화 조건 개발 및 부품 Mock-up 제작/평가

개발내용

- (1단계) 초대형 전자빔 용접 시스템 설계 및 국산화 장비 개발
 - SMR RV, CV 제작을 위한 원주방향 및 길이방향 용접 시스템 개발
 - 전자빔용접 시스템용 대형 로터리테이블 설계 및 개발
 - 원주방향 및 길이방향 용접이 가능한 고진공 풀 챔버 시스템 설계 및 개발
 - 전자빔용접 시스템용 방사선 차폐 시스템 설계 및 개발
 - 개발 전자빔용접 시스템 전반 제어 안정성 평가
 - 전자빔용접 출력 안정성 평가
 - 원주방향 및 길이방향 전자빔용접 시스템 안정성 평가(출력 균일성)
 - SMR 적용 소재를 통한 용접 이상 유무 평가
- (2단계) SMR 소재별 용접최적화 조건 개발 및 부품 Mock-up 제작/평가
 - SMR RV용 조인트별 시제품 제작
 - 원주 방향 대형 용접기를 활용한 RV 생산가능 수준 시제품 시험 검사
 - SMR CV용 조인트별 시제품 제작
 - 길이 방향 대형 용접기를 활용한 CV 생산가능 수준 시제품 시험 검사
 - SMR 압력용기용 저합금강 단조재 두께 250mm 이상 용접 조건
 - SMR 압력용기용 저합금강 압연판재 두께 130mm 이상 용접 조건

- SMR 질소강화 오스테나이트 스테인리스강 두께 100mm 이상 용접 조건
- SMR 이중금속(저합금강 + 오스테나이트 스테인리스강) 100mm 이상 용접 조건
- 상기 항목에 대한 개발 시스템 검증 및 용접 절차 검증

연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수

- 국산화 제작(건), RV 및 CV 용접 두께(mm), RV 및 CV 용접부 방향(수)
- RV 및 CV 용접부 시편 개수 및 기술기준 요건 만족 여부
- ASME CODE 기준 시험 항목 제시 및 평가 계획 제시
- 적용 소재 종류
- 제작 기간 감소율(%)
- 제조 비용 절감율(%)
- 제조설비 국산화율

□ 개발위험 극복방안

- 약 60개월 내 초대형 EBW 시스템 국산화 개발 및 250mm급 두께 용접과 Mock-up 검증까지 수행해야 하는 기술적 난이도가 존재. 특히 XM-19 소재의 안정적 용접 조건 확보도 고난이도 요소임
- 고진공·고전압 환경에서의 대형 챔버, 400톤급 이상 구동계, Deep Penetration 용접 안정성 확보가 핵심 리스크임
- 단계적 시스템 통합 로드맵과 소재별 공정 Window 확보, 실시간 정렬·변형 제어 기술 적용을 통해 리스크를 저감 필요
- 국내외 전문기관 협력 및 수요기관과 코드 기반 검증을 통해 대형 EBW 공정의 신뢰성과 상용화 가능성을 확보하고자 함

□ 안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발 과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)

2. 지원 필요성

□ 지원 필요성

- **(정책적)** 정부 발표 ‘국가전략기술 임무중심 전략로드맵’ ‘차세대 원자력’ 분야에서는 차세대 원자력 강국을 목표로 글로벌 SMR 제조거점으로 도약하기 위한 국내 생태계 육성을 중점 투자 방향으로 제시함
- **(기술적)** ‘35년 계획된 i-SMR 상용화의 성공과 향후 글로벌 시장 진출을 위해서는 경제성 향상이 필요하며 제작 비용 절감 및 공기 단축을 위해서는 EBW 적용이 요구됨. 혁신형 SMR은 미국 경쟁모델보다 큰 사이즈로, 경쟁모델 대비 제작비용이 상승할 수 있음. 따라서, 제작비용을 혁신적으로 줄일 수 있는 기술이 필요함
- **(시장적)** SMR은 전 세계적으로 상업운전 사례가 거의 없는 상황으로 이의 제조를 위한 전용 장비관련 시장은 사실상 전무함. 현재 초대형 EBW기술은 일부 선진국이 독점하고 있는 상황으로 국고 지원을 통해 기술 자립화를 이루고, 해외 의존도를 낮

출 필요가 있음

- (사회적) 현재 산업구조는 대형원전 제조 중심의 산업구조 형태로 다양한 설계에 대한 제작 공정 및 양산 고려가 필요한 SMR 및 차세대원전 산업 특화형태로의 전환이 필수적인 시기임. 석탄발전을 SMR로 전환 시 1GW 당 연간 579 만톤의 CO2 감축이 가능함.

□ 활용분야

- 국내·외 SMR 기기/부품 제조산업
- 대형원전, 방산 기기/부품 제조산업

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 66개월 이내 (1단계 : '26~'29년, 2단계 : '30~'31년)
- 정부지원연구개발비 : '26년 30억원 이내(총 정부출연금 126.33억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 기업
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 중소·중견기업 참여 필수, 수요기업 참여 필수, IP 관리 방안과 SMR 산업 생태계 조성 및 활성화 계획 명시

'26년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 품목개요서 (품목지정)

관리번호	2026-원자력-원전-품목 3-3		산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제유형	<input type="checkbox"/> 원천기술	<input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품 <input type="checkbox"/> 실증형		원자력	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 대형통합형 <input type="checkbox"/> 안전관리형 <input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형 R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국제공동 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input type="checkbox"/> 초격차 프로젝트 <input type="checkbox"/> 혁신도전형 <input type="checkbox"/> 초고난도 <input type="checkbox"/> 핵심전략기술 <input type="checkbox"/> 유연컨소시엄 <input type="checkbox"/> 규제샌드박스 연계형				
품목명	SMR 적용을 위한 적층제조 기술 및 부품개발 (TRL : [시작] 5단계 ~ [종료] 8단계)				
1. 개념 및 개발내용					
<input type="checkbox"/> 개념					
<ul style="list-style-type: none"> ○ SMR 제조 적용을 위한 생산현장 In-situ 금속 적층제조 시스템 개발 및 적층제조 소재·주요 기기/부품 공정기술 개발 					
<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>* 핵심목표 : SMR 생산현장에 적용가능한 In-situ 적층제조시스템 (적층범위 외경 1000, 두께 100, 길이 500 mm 이상, 시스템 이동범위 5 m, 용착량 20kg/day 이상) + 적층제조 소재(Alloy 690) 및 주요기기 부품(증기발생기 헤더 등 2종 이상) 개발</p> </div>					
<ul style="list-style-type: none"> ○ (1단계) SMR In-situ 적층제조시스템 설계 및 적층제조 소재 최적화 ○ (2단계) SMR In-situ 적층제조시스템 최적화 및 적층제조 주요기기 부품 개발 					
<input type="checkbox"/> 개발내용					
<ul style="list-style-type: none"> ○ (1단계) SMR In-situ 적층제조시스템 설계 및 적층제조 소재 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - SMR 원자로 In-situ WAAM(Wire Arc Additive Manufacturing) 제조시스템 설계 및 구축 - 고온균열저감형 Alloy690 적층소재 합금 및 시작품 개발 - 증기발생기 헤더 및 주요기기 부품 적층제조 공정기술 분석 및 전략 수립 ○ (2단계) SMR In-situ 적층제조시스템 최적화 및 적층제조 주요기기 부품 개발 <ul style="list-style-type: none"> - SMR 원자로 In-situ WAAM 제조시스템 통합 및 최적화 - SMR 원자로 In-situ 적층제조 공정기술 개발 및 생산현장 실증 - 고온균열저감형 Alloy690 적층소재(용접재) 시제품(양산품) 개발 - 증기발생기 헤더 및 주요기기 부품 공정개발 및 제작 - 개발 주요기기 부품에 대한 신뢰성 평가 					
<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수</p> <ul style="list-style-type: none"> - 내외부 구조 In-situ WAAM 제조 시스템 (용착량, kg/day) - SMR 노즐 등 내외부 구조 In-situ WAAM 제조 시스템 (적층제조범위, mm) </div>					

- SMR 노즐 등 내외부 구조 In-situ WAAM 제조 시스템 작업반경 (시스템 이동범위, m)
- Alloy 690 52XL 기계적 물성 (인장강도, MPa)
- Alloy 690 52XL 용접 균열 민감도 (mm)
- 증기발생기 헤더 등 주요기기 부품 형상 직진도 허용오차 (mm)
- 증기발생기 헤더 등 주요기기 부품 적층공정 재현성 (%)
- 개발 주요기기 부품 종류 및 건수
- 개발 주요기기 부품 시작품 치수 정밀도 (mm)
- 개발 주요기기 부품의 관련 기술기준 요건 만족 여부
- 제작 기간 감소율(%)
- 제조 비용 절감율(%)
- 제조설비 국산화율

□ 개발위험 극복방안

- SMR 원자로 주요기기 제작이 가능한 In-situ WAAM 제조 시스템의 설계·개발 및 제작 검증 과정에서는 생산현장 적용성을 확보해야 하며, 대형·복잡 형상 적층제작 중 발생할 수 있는 열이력 누적, 잔류응력, 변형 등의 공정 불안정성을 제어해야 하는 기술적 난이도가 존재함
- 이를 극복하기 위해서는 시스템 개발 로드맵 수립, 요소기술 및 공정기술의 체계적 개발역량 확보, 철저한 일정 관리, 국내·외 전문기관과의 협업 등을 통해 단계별 목표를 달성해야 함
- Alloy 690 니켈기 합금은 고온균열 민감도와 용접성 저하 등에 따른 결함 발생 가능성이 높은 소재이므로, 고온균열저감형 소재설계, 국산화제조, 용접성평가, 부품 제작공정 평가 및 후처리 조건 최적화를 연계한 단계적 개발전략이 요구됨
- 시스템 개발, 소재 개발, 공정 개발 및 품질평가를 병렬적으로 추진하고, 시스템·소재 개발 결과가 주요기기 부품 시작품 제작으로 연계될 수 있도록 단계별 검증 체계를 구축하여 최종 목표를 달성해야 함

2. 지원 필요성

- **(정책적)** SMR 원전 시장은 에너지 확보를 위한 국가별 기술확보에 노력이 진행되고 있으며 국내에서도 미래 에너지 확보를 위한 SMR 기술개발 및 경쟁력 확보를 위한 정책적 지원이 필요함
- **(기술적)** 최근 Wire-DED (Directed Energy Deposition) 방식의 적층제조기술(WAAM)은 저비용, 고재료 효율성, 고생산성, 공정 자동화 용이성 등의 장점을 통해 산업 적용성이 가장 높은 방식으로 평가되고 있음. 해외에서는 다양한 전문 기관과 기업이 DED 기반 장비 개발과 산업 적용을 활발히 추진 중이며, 개발 결과가 지속적으로 발표되고 있음. 국내에서도 유사한 수준의 산업 적용을 위해 관련 핵심 기술에 대한 체계적 연구개발 지원이 필요함.
- **(시장적)** SMR의 경제성은 기기 제작기간에 영향을 받으며 기존 상용원전 및 해외 SMR에 대한 시장경쟁력을 확보하기 위해서는 혁신제조기술이 필요함. 해외에서 혁신제조기술의 원전제조 적용에 대해 Wire-DED 적층제조기술의 경제성이 높은 것으로 평가되었으며 관련 기술개발 및 기술기준 요건에 대한 확보에 적극적임. 국내 원전 부품 제작

공급망의 주도권 확보 및 경제성 제고를 위해 기술개발에 대한 지원이 필요함

- (사회적) 적층제조 기반의 SMR 기기/부품제작 기술은 소재 효율, 에너지 절감, 제작시간 단축 등 생산 효율성이 높아, 향후 대량 생산체계와 일반 산업 적용 확대에도 기여 가능함

□ 활용분야

- 국내·외 SMR 기기/부품 제조산업
- 대형원전/플랜트, 우주/항공, 국방 관련 분야 확대 적용 가능

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 66개월 이내 (1단계 : '26~'29년, 2단계 : '30~'31년)
- 정부지원연구개발비 : '26년 20억원 이내(총 정부출연금 117.82억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 비영리기관
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 중소·중견기업 참여 필수, 수요기업 참여 필수, IP 관리 방안과 SMR 산업 생태계 조성 및 활성화 계획 명시