

관리번호	함께달리기-1		사업구분	중소기업기술혁신개발(R&D)		
산업기술분류1	대분류	에너지·자원	중분류	원자력	소분류	방사성 폐기물 관리기술
산업기술분류2	대분류	기계소재	중분류	표면처리	소분류	기타 표면처리기술
과제명	방산소재 중성자 차폐능 향상을 위한 기능성 분말 고품질 표면코팅 기술 개발					
1. 개요 및 필요성						
<p>○ (개요)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내 원자력발전소 운영 확대에 따라 고준위 및 중·저준위 방사성 폐기물이 지속적으로 발생하고 있으며, 사용후 핵연료는 연간 약 750톤 규모로 증가하고 있음 - 사용후 핵연료의 약 96%는 재활용 가능한 자원으로 평가되나, 국내 재처리 기술 부재와 국제 외교·정책적 제약으로 인해 현재 대부분 임시 저장 상태로 관리되고 있음 - 국내 가동 원전 24기의 사용후 핵연료 저장조 평균 포화율은 약 72% 수준에 도달하였으며, 일부 원전은 향후 수년 내 저장용량 한계에 직면할 것으로 예상됨 - 중간저장시설 및 영구처분시설은 사회적 합의, 주민 수용성, 부지 선정 등의 문제로 구축이 지연되고 있어 장기적·선제적 대응 전략 마련이 요구됨 - 사용후 핵연료 저장 및 운송 과정에서 책임계 사고 방지를 위한 중성자 흡수재는 핵심 안전 소재로 활용되나, 현재 Boral, Metamic 등 주요 소재를 해외 수입에 의존하고 있어 국산화 및 공급망 안정화 필요성이 증대되고 있음 <p>○ (필요성)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사용후핵연료(SNF) 저장용 중성자 흡수재는 원전 안전성 확보를 위한 핵심 소재임에도 불구하고, 현재 국내에서는 대부분 해외 수입에 의존하고 있어 공급망 안정성과 기술 자립 측면에서 국산화 필요성이 지속적으로 증대되고 있음 - 관련 시장은 국내 약 4,000억 원, 글로벌 약 13조 원 규모로 성장할 것으로 전망되며, 소재코팅후처리 공정 기술 확보 시 원자력 안전산업 분야의 높은 산업적·경제적 파급효과가 기대됨 - 가돌리늄(Gd) 기반 중성자 흡수재는 기존 붕소(B) 기반 소재 대비 약 25배 이상의 우수한 열중성자 흡수 성능을 보유하고 있어, 고효율·고신뢰성 핵연료 저장 시스템 구현에 유리한 차세대 소재로 주목받고 있음 - 실제 저장용기 및 대면적 구조물 적용을 위해서는 건식 코팅 기반의 균일 박막 형성 기술과 표면 부착 안정성을 확보할 수 있는 후처리 공정 개발이 필수적이며, 친환경·저결함 공정 구현 측면에서도 기술적 중요성이 높음 - 현재 국내 관련 기술 수준은 TRL 3~4단계에 머물러 있어 실증 및 상용화 기술 확보가 시급하며, 본 기술 개발을 통해 수입 대체, 원전 안전성 향상, 원자력 소재 산업 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대됨 						

○ (기대효과)

- Gd 기반 기능성 분말 및 고효율 코팅 기술은 우수한 중성자 흡수 성능을 바탕으로 사용후핵연료 저장 안정성을 향상시키고, 저장 밀도 및 공간 활용 효율을 높일 수 있는 핵심 원천기술로 활용 가능함
- 국산 Gd 기반 중성자 흡수재 개발을 통해 해외 수입 의존도가 높은 핵심 안전 소재의 공급망 자립화를 실현하고, 연간 약 200억 원 이상의 수입 대체 및 비용 절감 효과가 기대됨
- 개발 기술은 기존 사용후핵연료 저장 래크(rack)에 후처리 방식으로 적용 가능하여, 대규모 설비 교체 없이도 차폐 성능 및 저장 안전성을 향상시킬 수 있어 현장 적용성과 경제성이 우수함
- 고균일 건식 코팅 및 표면 기능화 기술 확보 시 원자력 산업뿐만 아니라 우주항공, 방산, 의료 방사선 차폐 등 고신뢰성 방사선 제어가 요구되는 다양한 산업 분야로의 기술 확장이 가능함
- 최종적으로 TRL 8 수준의 실증·상용화 기술 확보를 통해 조기 사업화와 국내외 원전 시장 진출 기반을 마련하고, 관련 소재·공정 산업의 고도화, 신규 일자리 창출 및 산업 생태계 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대됨

2. 연구목표

○ 최종목표 : 사용후핵연료 저장용 고효율 Gd 기반 중성자 흡수 기능성 분말 및 건식 코팅 소재 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 8단계)

○ (1차년도)

- Gd 기반 산화물 중성자 흡수 분말의 조성 설계 및 합성 공정 비교를 통해 고효율 특성 확보를 위한 최적 제조 조건 도출
- 합성 분말의 순도, 입도분포, 비표면적, 결정구조 및 분산 특성 분석을 통한 기초 물성 평가 수행
- 중성자 흡수 성능 및 열적·화학적 안정성 기초 평가를 실시하고, 건식 코팅 적용성 향상을 위한 분말 표면 개질 기술 개발
- 소형 시편 기반의 기초 코팅 테스트를 수행하여 코팅 가능성 및 계면 안정성 검토

○ (2차년도)

- Gd 기반 기능성 분말 적용을 위한 건식 코팅 공정을 개발하고, 공정 변수(분사 조건, 적층 두께, 열처리 조건 등) 최적화 수행
- 고균일 복합 중성자 차폐층 설계 및 코팅층의 밀착성, 균일도, 기계적 특성 평가 수행
- 중성자 흡수 성능, 내식성, 내열성 및 장기 신뢰성 평가를 통해 원전 환경 적용 가능성 검증
- 파일럿 규모 코팅 장비 적용 및 대면적 시편 제작을 통해 공정 확장성 및 양산 적용성 검토

○ (3차년도)

- 최적 Gd 기반 중성자 흡수 소재 조성 및 건식 코팅 구조를 확정하고, 사용후 핵연료 저장 래크 모사 시편 기반 실증 평가 수행
- 실제 적용 환경을 고려한 차폐 성능, 구조 안정성 및 장기 내구성 검증을 통해 상용화 수준의 성능 확보
- 국내외 원전 운영기관 및 수요기업 대상 기술 검증·발표를 추진하고, 특허 출원, KEPIC·ISO 등 인증 대응 체계 구축
- 원가 분석 및 양산 공정 최적화를 기반으로 사업화 로드맵 수립과 시제품 공급 기반 마련

○ 개발목표

성능지표		단위	달성목표	국내최고수준	세계최고수준 (보유국, 기업/기관명)
1	코팅층 Gd 함량	wt.%	40	30	60 (일본, Shin-Etsu)
2	건식 코팅 두께 편차	%	± 5이하	± 10	3% 이하 (미국, 3M)
3	중성자 차폐 성능 향상률(무코팅 소재 대비)	%	20	10	30 이상 (프랑스, Orano / 미국, Holtec)
4	코팅층 기공율	%	5 이하	10	3% 이하 (미국, Holtec)
5	Gd 성분 분산균일도	%	± 5이하	-	-

3. 지원기간/예산/추진체계

- 개발기간 : 24개월 이내(1차년도: 4개월 이내)
- 정부출연금 : 총 정부지원연구개발비 10억원 이내(1차년도: 1.67억원 이내)
- 주관기관 : 중소기업
- 기술료 징수여부 : 징수