

2023년도
에너지기술개발사업
연구개발과제기획보고서

원전해체 경쟁력강화
기술개발사업

목 차

I. 동향분석	1
1. 개 요	
2. 산업·기술동향	
3. 특허동향	
4. 표준화동향	
5. 정부R&D 지원현황	
6. 시사점	
II. 기획대상연구개발과제 도출	5
1. 연구개발과제기획방향	
2. 개발위험 관리방안	
3. 기획연구개발과제 RFP/기술개요서(연구개발과제기획이력서)	
< 부 록 >	
1. 연구개발과제기획담당 및 기획참여전문가 명단	00

I. 동향분석

1. 개 요

□ 개 념

- 원자력시설의 해체란, 원자력시설 운영을 영구적으로 정지한 후 해당 시설, 부지를 철거하거나 방사성오염을 제거함으로써 원자력안전법 적용대상에서 배제하기 위한 모든 활동(원자력안전법 제2조 제24항)을 의미함
- 원전해체의 단계는 영구정지(shutdown) 후 크게 ‘해체계획수립(인허가) - 특성평가 - 제염 - 절단/철거 - 폐기물 처리 - 환경복원’으로 구분

[그림 1] 원전해체 단계별 개요



- 원전 해체는 영구정지된 원전의 시설 및 부지로부터의 영향을 최소화 하고, 이 과정에서 발생하는 방사성폐기물을 안전하게 관리해야 함
 - 이러한 목적을 달성하기 위한 원전해체 기술은 극한 환경에서 적용해야 함으로 방사선 안전관리, 기계, 화학, 제어 등 다양한 분야 지식과 기술이 복합된 종합 엔지니어링·융합 기술이며, 국가별 여건이나 시설 환경을 고려한 현장 특화(site specific) 기술이 필요함
- ‘23.01 기준 전세계 운전 중인 원전은 422기, 영구정지 원전은 204기이고 이중 21기만 해체가 완료된 상황이며 57기가 신규 건설 중

- 운전 중인 원전 중 가동연수가 30년 이상 된 원전은 총 279기(66%), 40년 이상된 원전은 114기(27%)를 차지하고 있어, 추가적인 수명연장이 없을 시 해체 대상 원전은 점진적으로 증가할 것으로 전망
- 영구정지 원전 중 미국 16기, 독일 3기, 일본 및 스위스 각 1기로 총 21기 해체 완료

- ‘30년경에는 가동연수 40년이 넘는 원전이 약 75%에 이를 것으로 예상되어 ‘25년도 이후 세계 원전해체 시장이 급성장하여 활성화되고, ‘35년도 전후에 해체 대상 원전 및 시장 규모는 정점에 이를 것으로 전망

□ 주요이슈

- 국가별 원전 정책 및 규제제도의 차이에 따라 정부, 공기업, 민간사업자 등 해체사업 주체가 다양하며, 원전해체를 원자력산업의 새로운 비즈니스 모델로 성장시키기 위한 노력이 증대되고 있음
- 원전해체 시장은 국가별 해체정책과 원전사업자의 해체 재원조달 환경 등에 좌우되고, 불투명하고 불연속적인 해체 착수시기를 고려할 때 사전에 관련 기술 확보를 통한 시장진입 준비가 매우 중요함
- 이러한 시장 특징에 따라 해외 원전해체 산업은 검증된 해체실적을 보유한 기업이 경쟁에서 유리한 산업 구조를 갖고 있으며 해체기업간 네트워크와 공급망 구축 등의 산업생태계 조성이 중요
- 노후 원전 및 영구정지 원전의 비율이 높은 미국, 캐나다, 영국, 독일 등은 이미 원전해체 산업 활성화를 추진 중이며, 배타적인 원자력 분야의 특수성과 해체 실적(Track-record)을 중요시 하는 해체산업의 특성에 따라 해체산업의 기술장벽이 높으며, 국가 주도의 수직적 또는 강력한 공급망을 구축하여 사업을 수행하고 있어 향후 보다 효율적이고 경제적인 원전해체를 위하여 신기술의 수요가 증가할 것으로 예상됨
- 국내는 고리 1호기 및 월성 1호기가 영구정지 되었으나, 원전해체 관련한 사업이나 시장이 본격적으로 형성되지 않아, 관련 유관기관들의 역량 검증이 미비한 상태이며, 적극적인 투자 확대에도 한계가 있는 상황

- 정부는 '19년 4월 원자력산업의 새로운 미래를 위하여 원전해체산업의 육성전략을 수립
- 공공부문에서의 생태계 기반 조성 노력에도 불구하고 원전해체 사업 추진을 위한 국내 원자력산업 기반이 취약하며, 생태계 조성을 위한 공동활용 시설·장비 구축, 기술개발 지원이 필요한 상황임
 - 국내 원전의 해체를 준비하고 해체산업을 미래 성장동력으로 육성하기 위한 해체기술 개발 및 실증 인프라 구축을 위해 원전해체연구소를 설립
- 장기 가동 노후 원전의 계속운전과 영구정지 원전의 해체 안전성에 대한 국민적 우려 증대
 - 후쿠시마 원전사고 및 국내 원전 밀집 지역인 경주·포항 지진 이후, 국내 노후 원전의 계속 운전에 대한 사회적 갈등 지속 및 영구정지 원전의 해체 안전성 확보에 관한 국민적 우려 증대
- 원전해체 시 일시에 대량으로 발생하는 방사성폐기물의 안전한 관리 요구
 - 해체과정에서 대량의 방사성폐기물 발생이 예상되며, 해체폐기물의 안전한 관리 및 처분을 위한 기술 확보와 더불어 투명한 관리계획 수립이 요구되며 적절한 관리가 이루어지지 않으면 심각한 사회적 현안으로 대두될 가능성 높음
- 고리1호기 및 월성1호기 해체 일정이 다가오고 있으며, 해체계획에 따라 원활한 해체 수행을 위한 상용화 기술 확보가 필요한 시점

2. 산업기술 동향

□ 해외 동향

- 해외에서는 해체사업을 수행한 경험을 바탕으로 기존 해체기술의 단점을 보완하고 있으며, 안전성과 경제성을 높이기 위해 첨단 해체기술을 지속적으로 발굴하여 기술 경쟁력 제고 중

- 선진국들은 해체기술 검증과 사업 적용성 시험을 위하여 인프라를 구축하고 기술 검증을 통하여 사업에 적용하였으나, 국내에는 관련 기술 검증 인프라 부재
- 최근 급격히 발전하고 있는 4차산업혁명에 기반한 정보통신기술(ICT: Information Communication Technology), 로봇 기술 등과의 융·복합을 통한 해체 안전성 및 효율성 극대화 요구로 관련 연구개발 필요성 증가
- 또한, 세계적으로 난처리 및 난처분성 방사성폐기물의 안전한 관리와 방사성물질의 환경 유출에 대한 우려가 증가하고 있어 이에 대응하기 위한 기술개발 진행 중
- 1차 계통 구조물 절단/해체기술 개발 현황
 - 미국, EU, 일본 등은 원전 및 고방사성시설 해체경험을 통해 원자로 등 방사화구조물에 대한 독자적 상용 해체기술을 기 확보 하였음.
 - 중수로 방사화구조물의 상업로 해체 실적은 전세계적으로 전무한 상태이며, 방사화 구조물의 일부인 압력관 교체 실적 및 원형로(Prototype)를 해체한 실적만 있음. 최근 캐나다, 인도, 일본에서 중수로 방사화구조물 절단에 대한 연구가 시작됨
- 1차 계통 제염기술 개발 현황
 - 경수로 원전의 제염기술은 원자력 선진국을 중심으로 CORD, CITROX, CAN-DEREM, LOMI, EPRI-DfD 및 ASDOC 등의 다양한 계통제염기술이 개발되어 원전 해체 및 유지 보수 시 적용됨. 특히 HP/CORD-UV 제염 기술은 전세계적으로 가장 많이 적용된 기술로 10회 이상의 전 계통 제염을 수행함
 - 상용 중수로 원전의 해체를 수행한 국가가 없으므로 이에 대한 연구 개발 및 기술적용 사례는 매우 제한적임. 중수로 원전의 계통제염기술 동향은 압력관 교체 및 유지보수를 위한 화학제염 기술로 제한되며, 경수로 원전의 계통제염을 위해 다양한 상용제염 기술이 개발되어 적용된 것에 비하면 AP-Citrox, CAN-DECON 및 CAN-DEREM 등 제한적인 개발에 머무르고 있음
- 레이저 절단장비 기술개발 현황

- 세계적으로 원전 해체용 원격 절단 신기술로서 레이저 절단 해체기술을 경쟁적으로 개발중
- TWI(The Welding Institute, 영국)는 1967년 레이저 절단 기술을 발명하였고 2010년대부터 원전해체와 관련된 수중절단, 후판절단 등의 연구를 수행하고 있음.
- LASER-X(일본)는 수중 원자로 절단을 위한 레이저 절단 헤드 및 노즐을 설계하여 50 mm 두께의 스테인리스 스틸을 50 mm/min의 절단 속도로 수중절단 함
- 확장현실 기반 해체공정 평가 기술 개발 현황
 - 최근 원전 해체 경험이 많은 국가들은 자신들의 원전 해체 공정 통합 평가를 위해, 각종 ICT 기술을 바탕으로 상용 원전 해체사업에서 3차원 CAD (Computer Aided Design)/CAE (Computer Aided Engineering) 기술이나 VR (Virtual Reality)/AR (Augmented Reality) 기술과 같은 각종 디지털 모델링과 시뮬레이션 기술을 원전 내부구조물 해체에 응용 및 특성화하여 원전 해체 사업을 추진하고 있음.
 - (미국) 원전 해체 진도관리 등을 수행할 수 있는 일정관리 프로그램으로 Primavera P6 Scheduling, MS Project 등을 사용하고 있으며, 해체를 위한 컴퓨터 기반도구로 해체대상 구조물, 기기 등을 3차원 영상으로 모델링하여 제공할 수 있는 3차원 입체 모형도 제공 프로그램(OREKA)을 개발하여 원전 해체사업에 사용 중에 있음.
 - (벨기에) 원격해체 시스템 연구는 벨기에 원자력연구센터(SCK · CEN: Belgian Nuclear Research Centre)에서 추진하였으며, 원자력 시설의 해체 과정 중 ALARA 문제를 평가하고 최적화하기 위하여 3차원 가상 환경에서 피폭량 산출 및 작업 시뮬레이션을 수행할 수 있는 소프트웨어인 VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool을 개발하였음.
- 레이저기반 콘크리트 표면 파쇄제염기술 개발 현황
 - 해외에서는 다년간 광용발 제염기술 연구를 수행하여, 최근에는 USDOE 산하의 INEEL (Idaho National Environmental and Engineering Lab)과 현장에서 사용할 수 있는 제염 시스템 구축연구를 수행하였으며, Q-switched Nd:YAG 레이저 및 1 mm 직경의 광섬유 전송을 통해 금속

- 및 납벽돌 표면의 Cs 오염을 99% 이상 제거하는 성능을 확보
- 콘크리트 표면을 제염하기 위해서 16 kW 출력의 Nd:YAG 레이저(파장 : 1064nm)를 사용한 고방사능 시설 해체 제염기술 개발 연구를 수행 중에 있음
- 대형 해체설비 거품제염 기술 개발 및 실증 현황
 - CEA(프랑스) 및 INL(미국) 등을 중심으로 복합유체(거품) 제염기술이 개발되어 파일럿 규모의 실증 실험 및 실제 오염된 열교환기 및 글러브 박스/매니폴레이터 등의 제염에 적용
 - 영국 NNL (National Nuclear Lab)이 이동형 산성거품 제염공정 개발 및 벤치규모 이동형 제염 거품 개발 연구를 수행한 바 있음
- 기기제염 기술개발 현황
 - 기기제염분야의 경우 전통적으로 물리적제염이 가장 폭넓게 사용되고 있으며, 국가별 폐기물 처분환경 및 법령에 따라 화학제염, 전해제염이 적용되고 있음. 실험적으로 일부 연구기관에서 레이저 및 플라즈마를 이용한 열적제염 및 제염효과가 뛰어난 화학물질 개발에 집중하고 있음
- 원전해체 시 발생 액체폐기물 처리 기술 개발 현황
 - 대량의 액체폐기물 처리를 위해 일부 국가는 액체폐기물 내 주요핵종을 선택적으로 흡착하여 고효율 탈염이 가능한 기술 확보를 위해 연구개발을 수행중임. 일본의 경우, 후쿠시마 원전사고 이후 고준위 액체폐기물에서 Cs, Sr 등 주요 핵종을 흡착제거하여 저준위화 한 후 저장 관리 할 수 있는 기술을 도입함
 - 운영중 원전에서는 다양한 형태의 방사성 폐액이 발생하며 이를 처리하기 위한 다양한 기술이 선진국을 중심으로 개발되었고, 일부 기술은 상용화되어 적용중임. 화학적 분해가 어려운 폐액의 처리기술은 주로 소각공정을 이용하여 왔으나, 방사능을 함유한 배기가스 처리 등의 기술적 문제, 폭발의 위험성 등으로 인해 선진국을 중심으로 소각대체기술(ANT, Alternative Nonflame Technology) 개발이 활발히 진행됨
- C-14/H-3 함유 폐활성탄 처리기술 개발 및 실증 현황
 - 국외에서는 C-14의 비방사능이 낮은 폐활성탄의 경우 소각처리하고 있

으며, 비방사능이 높은 경우에는 C-14의 농도를 낮춘 후 소각처리함

- 중수로를 운영하는 캐나다 AECL에서는 폐활성탄을 처리하여 발생하는 C-14를 MeCO_3 (Me=Ca, Sr, Ba)의 형태로 포집하여 시멘트고화 하는 연구를 수행한 바 있음

○ 저방사능 폐수지 열화학적 처리기술 개발 현황

- 폐수지 처리기술로서의 적용성에 대한 연구로, 폐수지의 안전한 처분을 위해 직접 고화기술인 시멘트고화, 아스팔트고화, 폴리머고화 등이 개발되어 왔으며, 고화전 전처리 기술을 통해 유기성분을 분해 처리하여 감용하기 위한 기술로, 소각과 열분해 같은 소각기술과 소각 대체기술에 대한 연구가 수행됨
- 미국, 일본, 스웨덴, 영국 등 해외 원전국가에서는 열분해, 소각, 플라즈마 및 습식산화 방식을 적용한 폐수지 처리 기술을 연구함

○ 중수로 폐수지 탱크 내 혼합물처리 기술 개발 현황

- 국내 중수로(월성1호기) 폐수지 저장탱크 내 혼합물은 약 80 wt%의 혼상폐수지와 20 wt% 정도의 활성탄 및 제올라이트로 이루어져 있음. 국외(캐나다)의 경우 유리수를 제거한 상태로 저장탱크 외부에 따로 보관 중인 것으로 보고되어 있음
- 일본은 방사성 이온교환수지의 처리를 위해 음이온교환수지와 양이온교환수지를 비중 차이로 분리하여, 분리된 음이온 교환 수지는 소각로에서 소각하고, 분리된 양이온교환수지는 황산수용액을 이용하여 핵종 제거 후 소각하는 방법을 개발하였음.

○ 오염토양 및 원전해체 현장 방사능 측정기술 개발 현황

- 굴착된 토양을 건조된 상태에서 컨베이어 벨트로 이송시키며 실시간 방사선 계측을 통해 오염 토양과 비오염 토양을 분류하는 건식 방사성 오염 토양 분리법은 방사성 오염 토양 처리에서 많이 활용되는 기술 중 하나임
- 미국 Eberline Service사는 감마분석기를 이용해 방사성 오염토양을 자동 선별하는 segmented gate system을 개발하였고, 이를 통해 몇 개의 DOE 및 EPA 부지에 적용하여 성공적으로 방사성 오염 토양을 감용하였음
- 원자력 이용시설의 운영·해체과정에서 배출되는 다양한 해체폐기물의

효과적인 처리·처분을 지원할 수 있도록 폐기물의 핵종별 방사능 농도를 측정하고 방사성폐기물 분류기준에 따라 관리 효율성 향상을 위한 측정기술이 개발되고 있음

- 해외 사례를 살펴보면 기본적으로 특정한 핵종 및 목적에 특화 (예 : 소형의 금속폐기물)된 금속폐기물 오염도 측정·분류 시스템의 상용화가 진행중임. 특히, 미국 Mirion사는 대용량(300 kg) 측정 및 DB 관리 등의 기능을 확보한 측정시스템을 구축하여 최소검출하한값이 10분 측정에 600 Bq/g인 성능을 갖고 있으나, 플라스틱섬광체를 이용하여 핵종판별은 불가능함

○ 저준위 이하 해체폐기물 핵종분석 R&D기반 구축 및 유효성 검증 품질관리체계 개발 현황

- (미국) GEL 연구소는 일본 후쿠시마 사고 시 발생한 각종 방사성폐기물 분석을 수행, AMEC은 영국, 캐나다, 동유럽, 서유럽, 러시아 등 방사성 폐기물 분석을 포함한 원전해체 경험을 보유하고 있음
- (프랑스) 헨리베르켈연구소(LNHB)는 표준시료에 대한 교차분석 능력을 보유하고 있고, AREVA는 방사성폐기물의 시료채취와 분석방법 제공 등 원전해체 종합기술을 보유하고 있음
- (벨기에) SCK·CEN 연구소는 알파/베타/감마 핵종에 대한 분석과 고체/액체/불순물 등의 분석 능력을 보유하고 있음
- 해체 경험을 보유하고 있는 미국 및 유럽 등은 해체폐기물에 대한 핵종 분석 수행 경험은 보유하고 있지만 체계적인 핵종분석시스템은 미구축된 것으로 파악됨

○ 중준위 해체폐기물 물리적/방사선학적 특성분석 시스템 구축 및 R&D 기반 기술개발 현황

- 다양한 종류의 중·저준위 방사성폐기물 특성분석을 위해 특화된 전용 인프라는 없으며, 국내와 마찬가지로 국가 전략시설로 분류하여 일반적으로 원자력연구기관 내에 집중적으로 위치하고 있음
- 국내와 마찬가지로 국외 핫셀 시설(방사선 조사재료 또는 조사후실험을 위한 핫셀)들은 취급 대상 물질의 특성 및 연구 목적에 따라 그 규모가 결정되어 설계/구축 및 운영 중에 있고, 특히 조사재시험에 대한 수요

증가로 인해 미국 INL에도 특성평가를 위한 시료준비 핫셀 구축이 진행되고 있지만, 중준위 해체폐기물 특성분석을 위한 핫셀은 별도로 설계되거나 건설된 바가 없는 것으로 파악됨

- 원전해체 대비 방사능 분석 정도관리 기술 개발 및 품질보증체계 구축
 - 원전해체 중 발생하는 폐기물의 분석은 대부분 민간 분석기관에서 수행하고 있으며 자국 내에서 제공하는 숙련도시험 등에 참여하여 결과에 대한 신뢰성을 확보함
 - 민간 분석기관에서 해결하지 못하는 사안에 대해서는 정부연구소 등에서 지원해 주는 구조임
- 원전해체 산업 기술기준 개발 현황
 - 원전해체에 관한 기술기준은 국제원자력기구(IAEA), 경제협력개발기구/원자력기구(OECD/NEA), 미국 ASTM (American Society for Testing and Materials), 캐나다 CSA (Canadian Standards Association), 국제표준화기구인 ISO 등이 개발함
- 해체폐기물 핵종재고량 간접평가법 개발 현황
 - 핵종재고량 평가를 위해 일반적으로 간접평가 방법론 중 하나인 척도인자법(Scaling Factor Method)을 적용하고 있음
 - 척도인자법은 표본 분석을 기반으로 모집단을 추정하는 통계적 추론 과정임에도 불구하고 일부 제한된 기준들만이 적용되고 있음
 - 미국 원자력 규제 위원회(NRC, Nuclear Regulatory Commission) 10CFR61에서는 방사성핵종의 농도를 10배(1,000%) 이내에서 정확하게 평가할 것을 요구하고 있음
 - 척도인자법에서 핵종 간 상관관계는 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)로 평가하고 있지만, 표본 크기(시료 수)를 고려하고 있는 나라는 일본이 유일함. 일본은 모수통계 기반의 상관성 유의성 가설 검정(Hypothesis test for significance of correlation coefficient)을 바탕으로 핵종 간 상관성을 판별하고 있음
 - 척도인자법을 개발한 미국은 상관성 평가에 대한 기준을 명확히 제시하고 있지는 않지만, 폐기물 스트림 분류법 및 지속적인 척도인자 사용(trend analysis)을 위해 모수통계 기반의 t-검정을 활용하고 있음

- 일부 국가들에서는 핵종 간 상관관계가 약한 경우에는 척도인자법 대신 평균방사능농도법(Mean Activity Concentration Method)을 적용하여 지나친 과대평가를 방지하고 있음
- 미국과 일본에서는 H-3 핵종, 스페인에서는 Tc-99 핵종에 대해서 평균방사능농도법을 적용하고 있음
- 대부분의 국가에서는 원전해체 방폐물 핵종재고량 평가에 척도인자법 적용을 고려하고 있으며, 일부 원자력 시설 해체 방폐물에 척도인자법이 도입된 바 있음
- 일본에서는 연구용 원자로(JPDR, Japan Power Demonstration Reactor) 해체 방폐물 내 핵종재고량 평가를 위해 척도인자법을 적용한 바 있음
- 원전 구조물 성분분석 및 핵종분석 기술 개발 현황
 - NUREG/CR-3474 보고서에서는 미국내 주요 원전 구조물 성분분석 결과를 수록하여 방사화 평가에 참조하도록 하였으며, 30 EFPY 운전 이후 영구정지를 가정한 냉각기간에 따른 주요 핵종들의 방사능 농도 예상치도 수록하였음
 - 미국 Pace Analytical은 상당수준의 원전구조물에 대한 핵종분석 기술을 보유하고 있음
- 난분석 핵종 준위별 분석기술 개발 현황
 - 유럽연합의 지원으로 진행되는 INSIDER(Improved Nuclear Site characterisation for waste minimisation in D&D operations under constrained Environment) 프로젝트는 총 7 개의 작업 패키지로 구분하여 해체 중 특성평가와 관련된 시료채취 계획, 현장 측정 (In-situ measurement), 표준물질 개발 및 방사화학분석, 분석법 유효성 평가, 불확도 평가 등을 연구개발하고 있음. 방사화학분석법 관련, 유럽 내 적용 중인 분석법 조사와 더불어, 빠르고 저렴한 비용의 분석법 개발을 목표로 하고 있음
 - 영국, 오스트리아, 프랑스 등의 국가들은 원자력시설 해체 시 발생하는 해체폐기물에 포함되어 있는 핵종(H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Ca-45, Fe-55, Ni-63 등)에 대한 분석법을 개발함
 - 덴마크, 스웨덴, 핀란드, 노르웨이, 아이슬란드를 포함한 북유럽 국가들은 공동 재원을 마련하여 NKS (Nordic Nuclear Safety Research)

기구를 설립하고, 방사선(능) 분석 관련 연구개발 및 기술교류 활동을 수행 중에 있음. 특히, NKS-B Radwaste Project는 해체폐기물 관련 북유럽 국가들의 경험, 기술 수준, 필요 기술 등을 논의하는 프로그램임. 책임기관인 덴마크 공대의 Nutech 센터는 해체폐기물의 매질별 핵종 농도 규명 기술을 확보하고 있음

- 환경 및 폐기물 시료 전처리 분야에서는 고전적인 화학분리 방법에서 벗어나, 핵종 선택성을 갖는 다양한 추출크로마토그래피 방법이 개발되고 있는데, 미국의 Eichrom 사는 핵종분리용 추출크로마토그래피 수지 제조와 함께 이를 이용한 분석법을 개발하였음
- 장반감기 방사성 핵종에 대하여 기존 분석법의 한계를 보완하고 신뢰도 있는 극미량/극저준위 분석을 위하여 고분해능질량분석기술(HR-ICPMS)을 이용한 동위원소 농도 분석기술이 활발히 개발되고 있음
- ISO, 일본과기청 등은 방사능 분석절차를 수립하고 이를 주기적으로 수정/보완하고 있음. 일본 내 여러 분석기관에서는 자체 분석기술개발 및 품질보증 체제(ISO/IEC17025 standard)를 확립하여 국제공인 인증을 받고 있음
- 또한, 환경시료 중 감마핵종 분석기술 분야에서는 극미량/극저준위 감마방출체를 검출하기 위한 역동시차폐회로 기술을 도입한 극저준위 감마분석시스템을 개발하고 있으며, GPS 정보를 포함한 환경방사능 측정용 HPGe 시스템을 상용화하였음
- 해체폐기물 감마분광분석의 효율성을 제고하기 위해 프랑스 CEA와 미국 Eichrom 사는 시료 양이 300 mL 이하이며 자동 샘플링 기능을 탑재한 감마분광분석기를 개발하였음. CEA/Eichrom은 자체 개발한 장비를 활용하여 월 100개까지 시료 분석이 가능하다고 보고함
- 프랑스 CEA는 원자력시설 해체폐기물의 방사성 특성평가를 위해서는 다량의 시료 분석이 필요하다는 것을 경험하였고, 정해진 해체 기간 내에 방사화학 분석 물량을 소화하기 위해 SMaRT(Shelter for Monitoring and nucleAR chemisTry)로 불리는 이동형 방사화학실험실을 개발하였음. SMaRT는 감마핵종, Sr, Am, U 분석을 주 목적으로 함

○ 제염 2차 폐기물 핵종분석기술 개발 현황

- 해외 선진국은 작업자 중심 해체기술의 단점보완을 위해 폐기물 처리를

위한 원격취급기술, 폐기물 제염, 폐기물 특성평가, 관리방안 등에 대한 기술고도화 및 신규 기술 발굴을 지속 추진 중

□ 국내 동향

○ 1차 계통 구조물 절단/해체기술 개발 현황

- 한전KPS와 두산에너지빌리티가 고리1호기 경수로형 원자로 내부구조물과 원자로 용기의 절단 해체 공법 및 기술을 개발함. 한전KPS는 Plasma Arc(열적 절단), CAMC(전기적 절단), 기계식 절단의 절단 공법과 고리1호기 원자로 수조 구조를 활용한 병행절단 공법을 기반으로 중수원자로 내부구조물 절단 해체 기술을 개발함. 두산에너지빌리티는 화염 절단을 통해 In-situ 상황에서의 원자로 용기 절단 해체 기술을 개발함
- 한국수력원자력 중앙연구원(CRI)의 월성1호기 중수로 Calandria의 절단 해체 기본 설계에 대해 한전KPS와 두산에너지빌리티가 연구 용역을 진행중임. 한국수력원자력은 COG (Candu Owners Group) 구성원으로 ATS社의 자문을 통해 월성1호기 중수로 방사화 구조물 해체에 대한 개념적인 절단 계획을 개발 중임

○ 1차 계통 제염기술 개발 현황

- 한국수력원자력은 냉각재 계통제염 연구를 통하여 저농도 유기산 기반 제염공정, 발전소 계통기기를 활용한 계통제염 운전 방안 및 운전절차를 개발하였으나, 현장적용을 위해서는 상용 계통제염 장치개발 및 장치 현장 적용성 검증(Qualification)이 추가적으로 요구됨
- 중수로의 경우 냉각재 계통에 탄소강 배관이 주를 이루고 있어 계통 내에 축적되는 방사성 오염산화막은 마그네타이트가 주를 이루고 있으며, 배관에 축적된 오염산화막이 경수로 원전에 비하여 현저히 두꺼운 특성이 있으므로 한국원자력연구원은 이러한 특성에 적합한 중수로 계통제염기술 개발을 위한 기초연구를 수행중에 있으며 한국수력원자력과 한국전력기술은 중수로원전 해체 계통제염 설계 및 절차 개발을 통해 계통제염의 범위 및 조건, 특성과 더불어 설비의 개발을 위한 설계 연구를 추진한 바 있음

○ 레이저 절단장비 기술개발 현황

- 한국기계연구원은 노즐설계/제작, 공정변수를 최적화하여 최대 150 mm 두께의 수중 레이저 절단 기술을 개발
- (주)HK에서 자체기술력으로 6 kW 레이저 절단 헤드를 개발하고 극후판 절단에 장점을 가지고 있는 High N.A Laser를 활용한 Beam Spot Size 가변 및 12 kW 절단 헤드를 독일 전문회사와 공동 개발
- 두산에너빌리티는 원자로 압력용기(RV: Reactor vessel)를 대상으로 해체 기술 및 관련 시뮬레이터를 개발하고 있음. RV는 구조물이 RVI (Reactor Vessel Internals)에 비해 간단하고 대부분 방사능준위가 낮기 때문에 saw 등을 활용한 기계적 절단 관련 기술을 개발하고 있음.
- 확장현실 기반 해체공정 평가 기술 개발 현황
 - 한국원자력연구원은 해체공정 통합평가 시스템, 고하중 취급 고정밀 매니폴 레이더, 고성능 레이저 열적절단 기술 등을 개발한 것으로 알려져 있음.
 - 한국기계연구원은 원격해체 공정 가상화 설계기술 확보를 위한 원격해체 가상운전 시스템 핵심기술을 개발하였음.
- 레이저 기반 콘크리트 표면 파쇄제염기술 개발 현황
 - 국내에서는 고체 및 기체 레이저를 활용한 기술들은 이미 다양한 분야에 산업화가 이루어졌으며, 원자력분야 역시 레이저를 이용한 의료용 동위원소 생산기술, 원자력재료의 합금을 위한 레이저 용접 기술, 레이저를 이용한 원격 거리 및 형상 측정기술 등 다양한 기술이 개발됨
 - '07년부터 고방사능 시설의 제염을 위한 Nd:YAG 레이저 제염기술 개발을 추진하여 99% 이상의 제염성능을 확보한 고체레이저 제염기술 이외의 개발 사례는 없는 것으로 분석됨
- 대형 해체설비 거품제염 기술 개발 및 실증 현황
 - 한국원자력연구원이 원자력연구개발사업의 일환으로 원자력시설 친환경 제염기술 개발 과제에서 대형기기 나노복합유체 제염 기술 개발 연구를 수행한 바 있음
 - 국내에서 유일하게 한국원자력연구원이 대형기기/대면적 나노복합유체 제염공정 공학검증 시스템 확보를 위한 충전형 나노복합유체 제염 공학검증 설비 구축 및 동적순환공정 모델 개발을 도출하였고 복합유체 제염 공정시스템 개발 및 성능평가를 수행한 바 있음

- 기기제염 기술개발 현황
 - 기기제염 분야에서 국내기관들도 해외에서 개발되고 있는 기술의 대부분을 개발중에 있거나 화학제염, 전해제염, 연마제염기술 등은 상용화 단계에 있음
- 원전해체 시 발생 액체폐기물 처리 기술 개발 현황
 - 국내 연구계는 2013년부터 원전 해체로드맵 수립에 따라 원전 중대사고 및 비정상 운영시 신속한 대응을 위한 대규모 원전 제염 폐액 off-line 처리 기술을 개발하고 있음. 한국수력원자력 중앙연구원은 2016년 복합공정(전처리, 주처리, 후처리)을 아우르는 핵심요소기술을 개발하여, 파일럿 규모의 이동식 방사성폐액 처리설비를 제작하고 성능평가를 수행함
 - 2000년대 초반 한국전력 전력연구원이 수중 플라즈마를 이용한 증기발생기 화학세정 폐액 처리기술을 개발한 바 있음. 2018년에는 포항 공과대학교에서 수중 플라즈마를 이용하여 CRUD 내 핵종처리기술 개발을 수행한 바 있으나, 두 사례 모두 실험적 접근 중심의 Pilot 규모의 기술수준임
- C-14/H-3 함유 폐활성탄 처리기술 개발 및 실증 현황
 - 한국수력원자력은 국내 공기정화계통 발생 폐활성탄을 처리하기 위해 일반 산업의 폐활성탄 재생에 사용되는 가열처리, 수증기개질 및 진공탈가스 처리 등의 기술들에 대한 적용성 연구를 수행함
 - 한국원자력연구원은 CO₂ 및 CH₄ 등의 형태로 폐활성탄내에 흡착된 C-14의 일부가 활성탄내 기능기(functional group)와 화학적으로 결합하여 쉽게 분리되지 않음을 확인한 바 있음
- 저방사능 폐수지 열화학적 처리기술 개발 현황
 - 국내의 경우, 저방사능 폐수지 처리를 위해 한국수력원자력, 전력연구원이 초임계수 산화공정에 의한 폐수지 처리기술을 연구하였고, 한국원자력연구원은 용융염산화공정을 통해 폐수지를 산화분해하고, 분해 시 발생하는 PCBs 함유 절연유를 처리하는 기술을 연구함.
 - 한국원자력연구원은 용융산화공정 연구개발을 응용하여 폐수지 내 유기물

성분을 탄화물화한 후 고온에서 할로젠가스로 처리하여 탄화물 내 핵종을 포함한 무기성분을 증발 분리시키는 폐수지 열화학적 처리기술을 개발하였고, 선광티엔에스와 폐수지 처리 공정을 적용한 Pilot 규모의 장치를 이용하여 모의 핵종 함유 폐수지를 처리하는 기술 실증을 수행하고, 실용화 가능성을 확인함

○ 중수로 폐수지 탱크 내 혼합물처리 기술 개발 현황

- 선광티엔에스는 입자크기를 이용한 중수로 폐수지 내 혼합물 분리기술에 대한 특허를 출원하였으며, Pilot 규모의 분리장치를 개발하여 중수로 원전 발생 폐수지 혼합물을 대상으로 분리 실험을 진행하였으나 원전 적용을 위한 Scale-up에 대한 추가적인 연구와 원전 적용성 검토가 필요함.
- 한국원자력엔지니어링은 섹체 선별기 및 β선 선별기를 이용한 음이온교환수지와 양이온교환수지를 분리하는 기술을 연구하였으나, 폐수지 저장탱크 내 혼합물 분리기술에 적용하기는 어려움.
- 휴비스위터는 자성 폐수지와 비자성 폐수지를 분리하는 기술을 연구하였으나, 중수로 폐수지 저장탱크 내 혼합물 분리기술에 적용하기 어려움.

○ 오염토양 및 원전해체 현장 방사능 측정기술 개발 현황

- 오르비텍은 방사성오염 토양의 잔류 방사능을 연속으로 측정하기 위한 시스템을 제작하였고, 오염토양 내 Cs-137을 0.5 Bq/g까지 측정이 가능하며, 하루 100톤을 연속식으로 측정하여 처리할 수 있도록 설계하였음
- 현대건설은 방사성 오염토양의 건식 분류를 위한 장치를 개발하였고, 이는 방사선 해석코드를 이용한 시뮬레이션을 통해 배치 타입, 플라스틱 신틸레이터, 납차폐, 3면 측정을 기본 구성으로 설계되었음
- 오르비텍은 정형/비정형 방폐물 방사능 측정시스템을 개발하여 원전 해체 시 발생하는 대량의 극저준위 이하 방폐물의 방사능을 신속·정확하게 분류할 수 있는 측정시스템을 구축하였고, 처리량은 5톤/일, 최소 검출하한값은 자체처분 허용농도의 1/10 수준까지 측정하고, 정확도는 $\pm 20\%$ 의 성능목표로 시스템을 개발함

○ 저준위 이하 해체폐기물 핵종분석 R&D기반 구축 및 유효성 검증 품질관리체계 개발 현황

- 방사성 운영폐기물 핵종분석 오류 조사결과 및 재발방지대책의 일환으로 핵종분석 절차에 대한 품질보증과 분석결과에 대한 교차검증 필요성 대두
- 한국원자력연구원 및 한국수력원자력(주) 중앙연구원 등 몇몇의 기관에 저준위 이하 운영폐기물(잡고체 등) 핵종분석을 위한 관련 시설 및 장비를 구축하여 운영 중에 있지만 저준위 이하 해체폐기물 핵종분석 전용 분석시스템은 미구축된 상태임
- 또한, 운영원전 발생 방사성폐기물(잡고체, 폐수지, 폐필터 등) 처분 시 관련 고시에서 요구하는 핵종재고량평가의 기초 자료 생산을 위한 방사성핵종 분석 전 과정(시료채취, 시료전처리, 핵종분리, 핵종분석)에 대한 절차서와 방법론 등이 개발되었지만, 해체폐기물에 기 개발된 절차서 및 방법론의 적용 가능성은 미검증 상태임

○ 중준위 해체폐기물 물리적/방사선학적 특성분석 시스템 구축 및 R&D 기반 기술개발 현황

- 한국원자력연구원은 고방사능 시료를 취급할 수 있는 국내 유일한 기관으로 조사재시험시설, 조사후연료시험시설, 동위원소생산시설, 차세대관리 종합공정실증시설 등 다수의 알파-감마, 베타-감마 콘크리트 및 납 차폐 시설을 설계/구축/운영 중에 있음

○ 원전해체 대비 방사능 분석 정도관리 기술 개발 및 품질보증체계 구축

- 환경방사능 분석 분야는 규제기관 및 정부출연연구원 등이 수행하고 있는 사례가 존재하나 원전해체 관련 방사능 분석의 정도관리 및 품질보증체계는 전혀 개발된 사례가 없음

○ 원전해체 산업 기술기준 개발 현황

- 국내의 경우 원전해체 경험이 없으나, 전력산업기술기준(KEPIC)의 원전산업계 적용경험을 활용하여 원전해체 분야의 KEPIC 표준 개발을 추진 중임

○ 해체폐기물 핵종재고량 간접평가법 개발 현황

- 국내는 원전 해체폐기물 척도인자가 아직 개발되지 않았음
- '20년 중반에 국내 원전에서 발생된 일부 운영폐기물에 대해 한국형 척도인자가 도출되었고, 원자력안전위원회고시에 따라 2년마다 주기적

- 검증이 수행되고 있음
 - 핵종 간 상관성이 낮은 잡고체 시료에 대해서는 기하평균 기반 척도인자를 적용하고 상관성이 높은 농축폐액, 폐필터, 폐수지 성상의 방폐물에 대해서는 로그선형회귀법을 적용하고 있음
 - 한국형 척도인자의 정확도는 미국의 10인자 원칙을 따르고 있으며 시료 수, 과대평가 등의 기준에 만족하지 못하는 경우에는 LMD(Log Mean Dispersion)를 고려하여 보다 보수적인 척도인자를 적용하고 있음
 - 원전해체 방폐물의 주요 성상으로 예상되는 금속, 콘크리트 등에 대한 척도인자는 도출된 바 없으며, 이를 개발하기 위해서는 원전 운영폐기물에 대한 한국형 척도인자 개발 이상의 대대적인 방사화학분석이 요구될 것으로 판단됨
 - 2019년 한국원자력연구원 핵종분석 오류로 인해 방사성폐기물 척도인자 재평가 이슈가 대두됨
 - 후속조치로서 원전방폐물 척도인자 개발·점검 방식 개선 추진이 진행되고 있음. 개선안은 방폐물 정보분석에 관한 구체적인 방법과 기준을 절차화·문서화하고 의뢰 또는 자체 분석하는 내용에 대한 외부 교차검증의 실시를 포함하고 있음. 또한, 기 사용 중인 척도인자 신뢰도 향상을 위해 샘플규모를 기존 2년 또는 4년에서 약 12년으로 확대하는 방안이 있음
 - 원안위는 그간 규제대상에 미포함 되었던 척도인자의 주기적 검증에 대한 심사제도를 마련할 예정임
 - 현재 원전 해체폐기물에 대한 대표시료 채취 기술, 핵종 간 상관성 해석 및 모델링 기술, 핵종재고량 모델 신뢰도 및 적용성 평가 기술 등의 국내 기술수준은 아직 미성숙한 상태임
- 원전 구조물 성분분석 및 핵종분석 기술 개발 현황
- 원전 방사성폐기물에 대한 핵종분석 기술개발은 한국원자력연구원 중심으로 수행되었으나 원전 구조물에 대한 간편한 축차 방사성 핵종분리 기술개발은 아직 진행되지 않았음
 - 고리1호기의 해체계획서 작성시 작업종사자의 방사선안전성 평가를 위한 선원항 평가의 일환으로 원전 주요기기의 방사화 평가를 실시한 바 있음

- 국내에서 이루어진 연구는 방사선안전성 평가를 위한 선원항 확보였으며 주요 기기의 깊이별 방사화를 평가한 것이 아님
- 해체시 발생하는 방사성 폐기물의 저감 등을 위해서는 주요 기기의 깊이별 방사화 평가를 수행하여 정밀한 방사선 준위를 평가함으로써 폐기물의 저감 및 작업종사자의 안전성 확보가 필수적임

○ 난분석 핵종 준위별 분석기술 개발 현황

- 한국원자력연구원은 원전 운영 방폐물에 대해 25(+a)개* 주요 핵종 분석이 가능한 국내 유일의 기관이나 시료처리 용량이 제한적이고 원전 해체폐기물에 대한 핵종분석 기술은 보유하고 있지 않음

* H-3, C-14, Fe-55, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-137, Ce-144, 전알파 (이상 14개 핵종, 원안위고시), Cr-51, Mn-54, Co-57, Fe-59, Zn-65, Zr-95, Nb-95, Ag-110m, Sb-125, Cs-134, Pu-241(Eu-152) (이상 11개 핵종, KORAD 인수기준), U-234, U-235, U-238, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-242, Cm-244 (이상 9개 핵종, 전알파 > 10 Bq/g 이상일 경우 개별 알파핵종 분석, 한국원자력환경공단(KORAD) 인수기준)

- 해체폐기물 특성분석 대응을 위한 R&D 기반구축기술 개발(원전해체 예타보고서)과 한국원자력환경공단 방폐물분석센터 운영('26년 예정)을 위해서 해체 폐기물에 대한 핵종분석 기술의 저변확대가 요구됨
- 한국원자력환경공단과 한국수력원자력은 방폐물 핵종분석을 수행하고자 하는 기관에 대해 방사능분석분야의 KOLAS 인증규격 확보를 요구하고 있음

※ 방사성물질 분석분야의 KOLAS 인증 확보 기관이 증가하고 있으나, 방사성폐기물 분석분야에서 유효성이 검증된 표준규격은 없으며, 폐기물 분석에 대해서는 각 기관에서 자체 개발한 분석규격을 사용하고 있음

- 한국수력원자력 중앙연구원을 중심으로 '19년부터 방사성폐기물 처분을 위한 핵종규명 절차서를 개발하고 있으며, 한국수력원자력에서 발생한 운영 폐기물의 핵종분석을 처리할 수 있는 체계수립을 계획하고 있음
- 해체 방폐물 핵종분석의 수요로 인해 공공기관 및 산업체 등의 분석 관련 시설·장비, 인력, 기술에 대한 관심이 지속적으로 높아지고 있음. 향후 진행될 원전해체 방폐물 핵종분석 분야에서 상호 협력을 위해 '20년 국내 기업을 중심으로 한국방사능분석협회가 발족되었음
- 원전해체의 본격화에 따른 다종·다량의 해체폐기물에 대한 준위별 안전

관리 및 (자체)처분 폐기물에 대한 강화된 품질보증 체계수립을 위한 기술개발 필요성이 증대되고 있음.

구분	기관
정부부처 및 출연연	한국원자력연구원, 한국기초과학지원연구원, 한국원자력안전기술원, 한국표준과학연구원, 식약처, 환경부, 해양수산부, 시도 보건환경연구원
대학교	한수원 환경방사능 모니터링 위탁기관(경북대, 부경대, 조선대) 한국원자력안전기술원 지방측정소(국내 15개 대학)
민간환경감시기구	고리, 새울, 월성 및 방폐장, 한울, 한빛
사업자	한국수력원자력, 한국원자력환경공단, 한전원자력연료
민간분석기관	라드솔, 오르비텍, 한일원자력, 하나원자력, 알엠텍, 새한에너지, 선광티앤에스, 한국표준분석, 액트 등

[국내 방폐물 핵종분석 기관 현황]

○ 제염 2차 폐기물 핵종분석기술 개발 현황

- 국내는 연구로 해체 및 운영 중 일부 대형기기 교체 경험만 보유하고 있을뿐 대형 상업 원전에 대한 해체 경험이 없어 제염 2차 폐기물 핵종분석에 대해서는 참여 사업체 및 인력이 제한적이고, 관련 실증 및 기술개발도 미흡한 실정임.

□ 사업수행에 필요한 요소기술·제반기술

- 경수로 1차측 핵심설비 절단/제염 실증 인프라 구축을 통한 기술 상용화
 - 경수로 방사화구조물은 고방사화되어 높은 방사선량으로 인해 해체 전 제염과 원격 절단작업 기술이 필수적임. 선행 연구과제를 통해 요소기술인 원격 절단장비, 계통제염 기술이 확보되어 있으며 Scale-up 실증을 위한 장비 및 Mock-up을 구축할 계획임.
- 중수로 칼란드리아 절단 및 열수송계통 제염 실증 인프라 구축 및 기술 고도화
 - 중수로 방사화구조물은 고방사화되어 해체 전 제염과 원격 절단작업 기술이 필수적임. 선행 연구과제를 통해 요소기술인 원격 절단장비, 계통제염 기술이 확보되어 있으며 Scale-up 실증을 위한 장비 및 Mock-up을 구축하고 계통제염 기술을 고도화할 계획임.

○ 레이저 절단/해체 기술 고도화 및 실증

- 레이저 절단헤드 설계 및 제작, 매니플레이터 설계 및 제작, 에어로졸 포집 기술, 절단 현장 모니터링 기술, 방사능 차폐기술 등의 요소기술이 확보되어 있으며 Scale-up 실증을 위한 장비와 핵심설비(재료)에 대응 최적조건 DB 확보, 대형 절단장비 안전 운전 기술 등을 개발할 계획임.

○ 확장현실(VR/AR) 기반 원전해체 전문인력 육성 훈련체계 개발

- 요소기술인 확장현실(VR/AR) 기반 시뮬레이션 플랫폼 구축 기술을 기반으로 해체 현장작업 지원 및 훈련 시나리오 개발, 확장현실 기반 원전해체 지원 및 훈련용 콘텐츠 구축, 해체 인력 수준별(초급/중급/고급) 평가체계 개발, 원전 해체작업 훈련 시뮬레이션 플랫폼 설계, 확장현실 기반 훈련용 VR & AR 기기 설계 및 개발

○ 레이저 기반 콘크리트 표면 파쇄제염기술 고도화

- 레이저를 이용한 콘크리트 표면 파쇄 장비 및 콘크리트 벽면을 주행하면서 제염할 수 있는 대면적 표면 파쇄/분리 및 분진회수 등의 기술개발이 필요함.

○ 대형 해체설비 거품제염 기술 개발 및 실증

- 해체 시 방사성 물질로 오염된 대면적 설비(사용후핵연료저장조 내벽, 대형 탱크, 제염설비 등)에 대한 충전·분사형 복합제염 기술개발을 위한 거품형태의 복합유체(Foam, Gel 등) 제염제에 나노입자의 함유에 따른 제염 및 복합유체의 안정성 향상 요소기술이 필요함.

○ 무기산 기반 화학제염 기기제염 실증 기술 고도화

- 초음파 화학제염 공정 개발, 압력용기 설계/제작, 자동화 설계, 기구 모니터링기술, 방사선 차폐기술, 모사시편 개발 기술, 고효율 재사용 금속 필터링 기술, 2차 폐기물 고화처리 기술 등의 요소기술이 필요

○ 전해액 재생성 기반 전해제염 기술개발

- 전해제염 기술, 전해액 재생성 기술, 전해폐액 처리기술, 전해제염용기 설계/제작, 자동화 설계, 기구 모니터링기술, 방사선 차폐기술, 모사시편 개발 기술 등이 필요함.

- 대단위 극저준위 폐기물 제염용 자동화 연마제염 플랫폼 개발
 - 분사시스템 설계/제작 기술, 연마재 재생 기술, 미세 분진 포집기술, 자동화 설계, 기구 모니터링기술, 방사선 차폐기술, 모사시편 개발 기술 등이 필요함.
- 원전해체시 발생하는 고농도/저농도 액체폐기물 통합 처리 기술 개발
 - 액체폐기물 고액 분리 기술, 방사성 핵종 제거 기술, 유기폐액 분해 기술, 배기체 처리기술 등의 요소기술 확보를 통해, 해체시 발생하는 액체폐기물 처리 기술 확보
- 중수로 특화 C-14/H-3 함유 폐활성탄 처리장치 개발 및 실증
 - C-14/H-3를 함유한 폐활성탄의 물리화학적 특성 분석기술, 폐활성탄의 열화학적 처리기술, 폐활성탄 재활성화 기술 확보 및 검증
- 저방사능 폐수지 열화학적 처리장치 개발 및 실증
 - 저방사능 폐수지 열화학적 처리기술을 요소기술로 확보, 규모확대 및 실험폐기물을 이용한 기술실증 및 원전현장 적용성 검토가 요구됨.
- 중수로 폐수지 탱크 내 혼합물처리장치 개발 및 실증
 - 베타핵종 처리 및 제거 성능 확보를 위한 방사성핵종 제거 요소기술을 확보하고, 기술 실증을 위한 처분 적합성 확보 기술이 요구됨.
- 원전해체 현장 방사능 측정시스템 개발 및 실증
 - 원전 해체부지의 오염가능성이 있는 구역 토양을 신속하고 정확하게 측정/분류한 후, 오염 토양은 입도 분리, 세척 등을 통해 처분량 최소화를 위한 실시간 오염도 측정 분리 기술 및 시스템 확보를 위한 요소기술 확보 및 검증체계 구축이 요구됨.
 - 원전 해체 시 작업자 안전성 확보 및 해체 효율성 향상을 위해서는 해체 구조물 현장 자동측정기술 및 대용량 자체처분 현장측정 기술 확보가 필요하며, 이를 위해서는 해체 현장에서 신속하게 방사능 분석 및 평가 체폐 구축과 다양한 준위의 해체폐기물을 대상으로 기술 검증체계 구축이 요구됨.

3. 특허 동향

가. 원전해체 분야 특허분석

1) 분석 개요

- 동 사업의 연구개발 대상인 원전해체 관련 기술에 대하여 2000년 1월부터 2021년 12월까지 출원 공개 및 등록된 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO)의 특허를 대상으로 분석함
- 동 사업에서 제안하는 원전해체 응용·상용화 기술 및 기초·선도 기술 개발의 발전 추세가 대규모 투자 근거로서 합리적인지를 분석하는 기술 추세 분석과 해당 기술을 실제로 주도하는 기업이나 기관, 이들의 역점 또는 공백 분야 등을 파악하고자 특허 기술 수준 분석을 시행함
- 분석 대상이 되는 전체 출원 기간을 일정 구간으로 나누어 구간별 특허 출원인 수와 출원 건수의 증감 여부를 분석하여 해당 기술의 성장단계를 파악하는 기술 추세 분석을 수행함



[그림 3-1] 특허 분석을 통한 기술추세분석

- 분석 대상 기술 분류는 다음 표와 같으며, 공개등록 특허를 대상으로 KEYWORD 검색 DB를 사용하여 특허 검색하였으며, 기술분류체계

따른 키워드 검색으로 Raw Data를 얻은 이후 노이즈 특허를 제거하여 최종적으로 유효 특허를 추출함

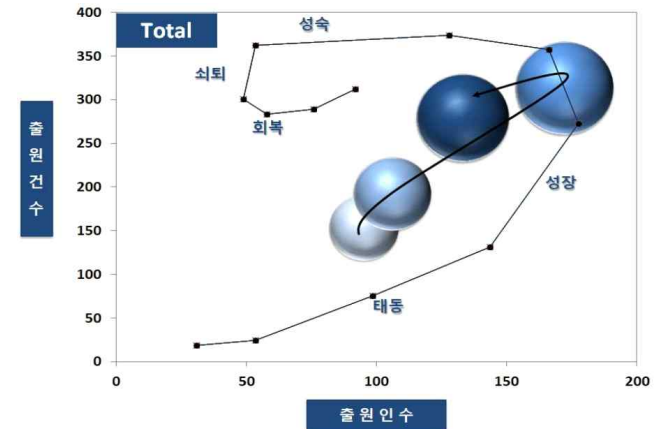
[표 3-1] 유효특허 선별 결과

중분류	소분류	유효데이터 건수				
		KIPO	USPTO	JPO	EPO	계
현장 맞춤형 해체기술 경쟁력 강화 (AA)	안전해체를 위한 핵심 절단 기술 상용화	90	26	66	14	196
	환경친화적 제염기술 고도화	41	30	91	22	184
	원전해체 대량 고체/액체 폐기물 처리 고도화	51	17	64	15	147
	친환경적 원전해체를 위한 측정기술 고도화	2	4	6	3	15
소계		184	77	227	54	542
원전해체 핵종분석 R&D 및 실증 기반 구축 (AB)	해체폐기물 특성분석 대응을 위한 R&D 기반 구축기술 개발	38	8	6	9	61
	해체폐기물 품질보증체계 구축 및 기술수준 개발	5	7	4	4	20
	해체폐기물 처분효율성 제고를 위한 핵종 재고량 및 난분석핵종 고도화기술 개발	3	0	2	0	5
	해체폐기물 핵종분석 핵심 공백기술 개발	3	3	1	2	9
소계		49	18	13	15	95
안전성 강화 해체 선도 기술 개발 (AC)	해체 현장 정보 기반 작업 안전성 강화 기술 개발	7	9	14	12	42
	중수로 원전 해체 선도 기술개발	4	0	0	1	5
	난처리성폐기물 처리 및 유용소재 재활용 기술 개발	18	21	5	5	49
	해체 특수폐기물 처리 및 유용소재 재활용 기술 개발	70	38	79	25	212
소계		103	70	102	43	318
합계		336	165	342	112	955

나. 주요 국가별 특허동향 및 기술성장단계

1) 분석 개요

- 동 사업의 특허출원 동향은 '09, '15, '18년을 기준으로 각각 증가, 감소, 증가의 경향을 보였으며 최근 다시 감소하는 양상을 나타내고 있으며, 현재 특허기술 성장단계는 성숙기로 해석할 수 있음



[그림 3-2] 특허기술 성장단계

- 동 사업에 대한 국가별 특허 점유현황은 한국 336건, 미국 165건, 일본 342건, 유럽¹⁾ 112건의 특허가 출원되어, 일본과 한국의 점유율이 높게 나타나며, 특허기술 성장단계는 한국은 성장기이며 그 외의 나라들은 성숙기 말기에서 쇠퇴기로 해석됨

□ 국내 동향

- 한국의 유효특허는 총 336건으로 전체의 36%를 차지하며, 특허 동향에 의하면 최근 구간의 기술시장을 주도하는 것으로 판단되며, 특허기술 성장단계는 성장기의 양상을 나타냄
- 다 출원 상위 20위에 해당하는 주요 출원인 중 45%를 차지하며 자국 외 미국, 일본 및 유럽에 특허를 출원하였으며, 한수원은 최근 5년간 출원 증가율이 높아 보유 특허 기술 중 최근 부상하고 있는 기술의 비중이 높은 것으로 판단됨

* 1구간(2000년~2004년)에서 3구간(2010년~2014년)까지 출원인 수 및 출원건수가 소폭 증가하였으며, 3구간(2010년~2014년) 이후부터 최근 구간까지 상당수의 출원인 수 및 출원건수가 증가한 형태로 성장단계는 성장기인 것으로 해석할 수 있음

1) 유럽특허는 유럽 개별국가로 직접 출원한 특허가 아닌 유럽특허청(EPO)을 통해 지정국을 정하여 출원하는 것으로 산정됨

□ 해외 동향

- 미국의 유효특허는 총 165건으로 전체의 17%를 차지하며, 특허기술 성장단계는 성숙기 말기에서 쇠퇴기 초기의 양상을 나타냄
 - 전체 구간에서 일본기업인 HITACHI LTD, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd. 등의 기업이 다 출원한 것으로 나타났으며, 미국의 WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC 또한 다 출원 기준 순위 내 진입하고 있음

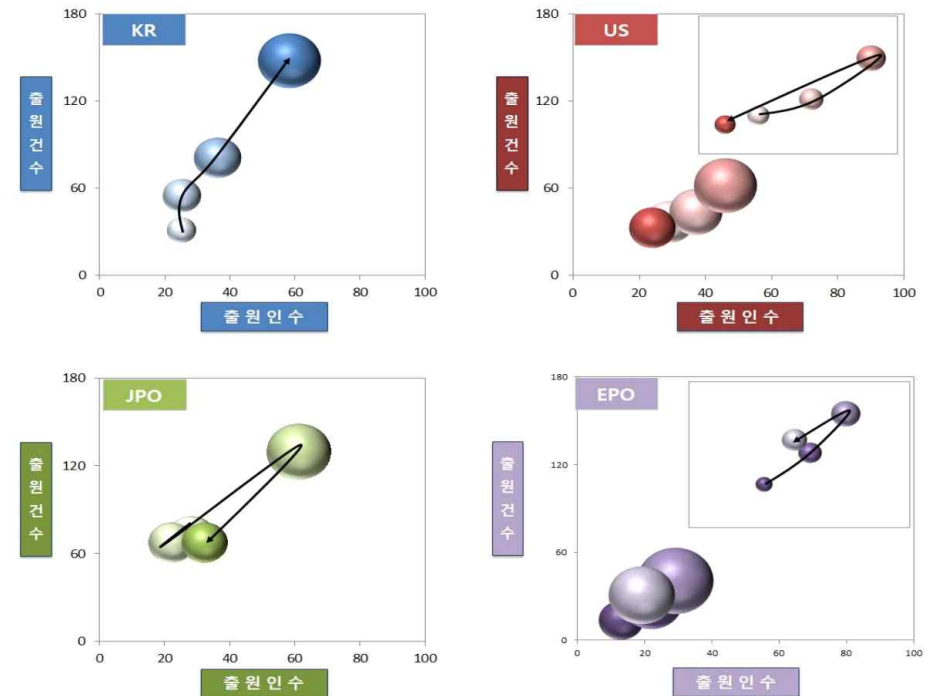
* 출원건수와 출원인 수 모두 감소하고 있는 형태로 성장단계가 성숙기 말기에서 쇠퇴기 초기인 것으로 해석할 수 있으며, 3구간(2010년~2014년) 이후부터 최근 구간까지 출원건수와 출원인 수 모두 감소하고 있는 것으로 나타나 쇠퇴기 단계의 형태가 시작되고 있음을 나타냄

- 일본의 유효특허는 총 342건으로 전체의 36%를 차지하며, 특허 동향에 따르면 2011년까지 주도적인 위치였으나, 최근 특허기술 성장단계는 성숙기 말기에서 쇠퇴기 초기의 양상을 나타냄
 - 분석구간 초기 증감을 반복하며 비슷한 규모의 출원이 이어지다가 2011년까지 증가하다 분석 기간의 중반부터 최근까지는 감소하여 한국과는 대조적인 양상을 나타내고 있으나, 분석구간 초기부터 2011년까지의 일본의 출원 흐름은 전체의 흐름과 유사하다는 점을 통해 일본이 다 출원을 기반으로 동 사업의 기술 초기시장을 선점했음을 알 수 있음

* 2012년 이후의 급격한 출원 감소는 이전 구간에서 다 출원 기관이었던 TOSHIBA CORP, HITACHI LTD 등 기업의 출원건수가 확연히 감소함에 따른 것이나, 현재까지도 TOSHIBA CORP, HITACHI LTD는 자국 외 한국, 미국 및 유럽에도 특허를 출원하며 다 출원 기준 상위 20위에 해당하는 주요 출원인 중 35%를 차지함, 미국의 특허기술 성장단계와 같은 유형을 보임

- 유럽의 유효특허는 총 112건으로 전체의 12%를 차지하며, 특허기술 성장단계는 성숙기 말기에서 쇠퇴기 초기의 양상을 나타냄
 - 분석구간 전체에서 미미하게 출원을 지속하고 있는 것으로 나타나나, 타 국가 특허에 비해 기술적 중요도, 상품 연계 가능성, 조직의 크기가 큰 특징이 있으며 또한 글로벌 정책으로부터의 영향이 상당히 크다고 할 수 있음

- * 전체 특허기술의 증감 추세를 주도하는 구간은 나타나지 않으나, 유럽특허 자체의 기술적 중요도를 고려하여 다 출원 기관 및 유럽에 진출한 다국적 기업의 출원 추세를 살펴보는 것은 의미가 있으며, 유럽특허에서 분석 초기부터 최근까지 독일의 FRAMATOME GmbH, Areva NP GmbH는 활발한 출원 활동을 진행하며 다 출원 기준 순위 내 진입하고 있음
- * 미국, 일본의 특허기술 성장단계와 동일한 유형을 보이나, 유럽의 특허기술 성장단계 분석 데이터는 112건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 보기 어려움



[그림 3-3] 주요 국가별 특허기술 성장단계

다. 세부기술별 특허동향 및 기술순환주기

□ 동 사업은 세부기술 중 '현장 맞춤형 해체 기술 경쟁력 강화 기술(AA)'과

관련된 특허 비중이 가장 높으며, 최근 해당 세부기술과 '안전성 강화 해체 선도 기술개발 기술(AC)'의 경우, 최근 출원이 다소 감소하는 반면, '원전해체 핵종 분석 연구·개발 및 실증기반 구축 기술(AB)'은 꾸준한 출원이 이어지고 있음

- '현장 맞춤형 해체 기술 경쟁력 강화 기술(AA)'의 유효특허는 총 542건으로 전체의 56.8%를 차지하며, 일본이 가장 많은 특허기술을 점유하고 있으나, 최근 국내의 특허출원 증가로 전체 동향이 증가하는 추세임
- 연도별 특허 동향을 살펴보면, 분석구간 초기부터 2010년까지 비슷한 규모의 출원이 꾸준히 이어졌으며, 2010년 중반까지 증가하는 양상을 나타내다 2015년 감소하였는데, 이후 최근 구간까지 다시 증가하는 양상을 나타냄
- 국가별 특허 점유현황은 한국 184건(33.9%), 미국 77건(14.2%), 일본 227건(41.9%), 유럽 54건(10.0%)의 특허가 출원되었으며, 2014년까지 일본의 흐름이 전체 동향을 주도했으며, 2015년 이후 한국의 출원이 증가함에 따라 전체 동향이 증가하는 추세를 나타내고 있음
- '원전해체 핵종 분석 연구·개발 및 실증기반 구축 기술(AB)'의 유효특허는 총 95건으로 전체의 9.9%를 차지하며, 한국이 가장 많은 특허기술을 점유하며 전체 출원 동향을 주도함
- 연도별 특허 동향을 살펴보면, 분석구간 초기부터 2009년까지 미미한 출원 건수를 나타내었다가, 2010년 급증한 이후, 증감을 반복하는 양상을 보이며, 비슷한 규모의 출원이 이어지고 있음
- 국가별 특허 점유현황은 한국 49건(51.6%), 미국 18건(18.9%), 일본 13건(13.7%), 유럽 15건(15.8%)의 특허가 출원되었으며, 2010년 미국 5개의 특허를 출원하며 급격한 증가를 기록했으나, 2011년 이후의 출원 동향은 한국의 출원 증감에 영향을 받고 있음

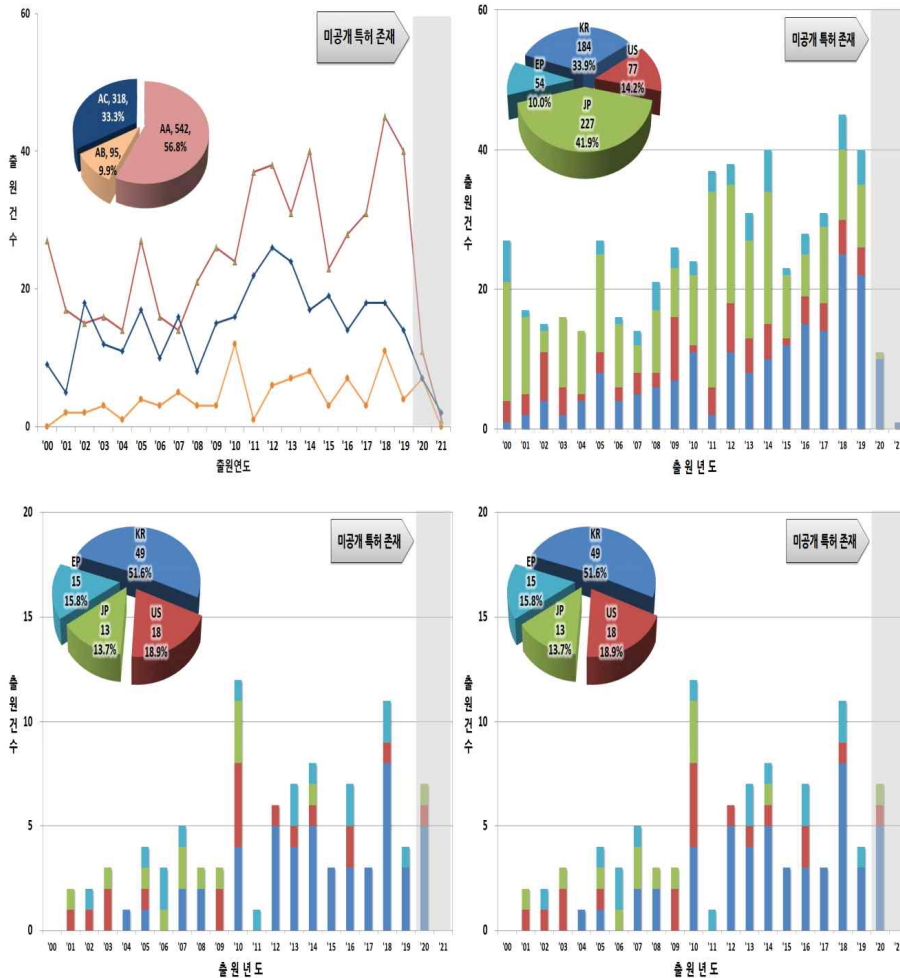
○ '안전성 강화 해체 선도 기술개발 기술(AC)'의 유효특허는 총 318건

으로 전체의 33.3%를 차지하며, 한국이 가장 많은 특허기술을 점유하며 최근 동향을 주도

- 연도별 특허 동향을 살펴보면, 분석구간 초기부터 2012년까지 증감을 반복하며 증가하는 양상을 나타내었으나, 이후 최근 구간까지 감소하는 양상을 나타내고 있음
- 국가별 특허 점유현황은 한국 103건(32.4%), 미국 70건(22.0%), 일본 102건(32.1%), 유럽 43건(13.5%)의 특허가 출원되었으며, 2010년부터 2012년까지는 일본이, 최근 구간에서는 한국이 전체 출원 동향을 주도함

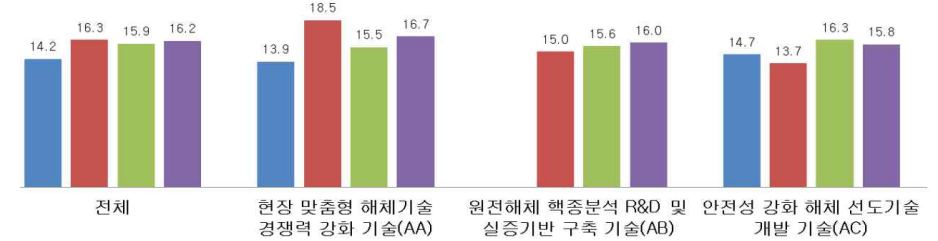
□ 동 사업 관련 기술 전체에 대한 기술순환주기(TCT)는 평균 15.6으로 조사되었으며, 급격한 주기의 변동 없이 꾸준한 기술개발이 이루어지고 있음

- 중분류별 기술순환주기의 평균은 각각 현장 맞춤형 해체 기술 경쟁력 강화 기술(AA) 15.8, 원전해체 핵종 분석 연구·개발 및 실증기반 구축 기술(AB) 15.6, 안전성 강화 해체 선도 기술개발 기술(AC) 15.5로 나타남
- 중분류 구간별로 살펴보면, 현장 맞춤형 해체 기술 경쟁력 강화 기술(AA) 분야의 경우, 2구간에서 잠시 기술 안정기에 접어들어 기술수명주기가 타 구간 대비 높은 것으로 나타났으며, 4구간까지 비슷한 기술순환주기를 나타내고 있고, 원전해체 핵종 분석 연구·개발 및 실증기반 구축 기술(AB) 분야의 경우, 1구간에서 미국 등록 특허가 존재하지 않아 값을 구할 수 없었으며, 최근 구간으로 갈수록 기술순환주기가 점점 길어지고 있으며, 안전성 강화 해체 선도 기술개발 기술(AC) 분야의 경우, 2구간에서 잠시 기술순환주기가 짧아졌으나, 다시 기술순환주기가 길어진 것으로 나타남



[그림 3-4] 세부기술별 연도별 특허동향²⁾

2) (왼쪽 위부터 시계방향) 전체, 현장 맞춤형 해체기술 경쟁력 강화 기술(AA), 원전해체 핵종분석 R&D 및 실증기반 구축 기술(AB), 안전성 강화 해체 선도기술 개발 기술(AC)



[그림 3-4] 동 사업 기술의 중분류 기술별 기술순환주기(TCT)

- ☐ 특허동향 분석 기간을 기준으로 특허동향을 살펴보면, 지속적으로 출원이 이루어지고 있으며, 특히 일본과 한국의 특허출원 비중이 높은 것으로 나타났으며, 일본의 경우 출원이 감소세를 보이고 있음
- ☐ 원전해체 분야의 출원은 2012년까지 증가세를 보이다가 이후 감소추세를 보이고 있음. 특히 제염 분야와 해체 사업/공정 관리 분야의 감소세가 두드러짐
- ☐ TOSHIBA(JP), 한국원자력연구원(KR), HITACHI-GE NUCLEAR ENERGY(JP), HITACHI(JP), 한국수력원자력(KR), MISUBISHI HEAVY(JP), Westinghouse Electric(US), AREVA(FR) 등이 상위 출원인으로 나타났으며, 일본 국적의 출원인이 해당 기술을 주도하고 있는 것으로 분석됨
- ☐ Westinghouse Electric(US), AREVA(FR)는 해외시장 확보를 위한 출원을 활발히 하고 있으며, 그 외 출원인은 자국 출원을 우선하는 것으로 분석됨
- ☐ 한국과 중국은 출원건수와 출원인 수가 모두 증가하는 발전기 단계로 분석되며, 일본은 출원건수와 출원인 수가 모두 감소하는 쇠퇴기로 분석됨
- ☐ 한국과 일본이 타 국가에 비해 상대적으로 기술 성장성 및 기술 수준이 높은 국가로 나타났고, 기술군은 제염 관련 기술이 상대적으로 우수한 분야로 분석됨

- ☐ 특허동향 분석 결과, 한국은 원전해체 분야에서 타국과 비교하여 상대

적으로 우수한 기술을 보유하고 있는 것으로 분석되나, 해외시장의 확보 활동이 평균 이하로 해외 진출을 위한 전략이 필요할 것으로 판단됨

4. 표준화 동향

□ 해외 동향

- 원전해체에 관한 국제기준을 발행하는 기관은 국제원자력기구(IAEA), 경제협력개발기구/원자력기구(OECD/NEA) 등이 대표적임.
- IAEA, OECD/NEA는 해체에 필요한 기준 55종을 발행하였으나, 환경이 다른 국내에 적용하기 위해서는 세부적인 검토 및 분석이 필요함.
- 해체 경험이 가장 많은 미국의 경우, ASTM(American Society for Testing and Materials)에서 원전해체 분야 17종이 산업기술기준으로 발행됨.
- 중수로 원천기술 국가인 캐나다에서는 CSA(Canadian Standards Association)에서 CSA N294(2019 edition)을 최근에 개발하였으며 지속적으로 원자력시설의 해체 분야에 산업기술기준을 개발할 계획을 세우고 있음.

※ CSA N294(2019) : Decommissioning of facilities containing nuclear substances

- 국제표준화기구인 ISO에서는 TC85(원자력에너지)/SC5(원자력기술)에서 해체분야의 국제표준을 개발하고자 WG13을 신설을 하여 ISO 18557을 2017년에 발행하였고, 국제표준 개발 범위를 해체분야로 확대함.

※ ISO 18557(2017) :Characterisation principles for soils, buildings and infrastructures contaminated by radionuclides for remediation purposes

<원전해체 분야 IAEA, OECD/NEA 표준 및 지침 목록>

번호	제목	주요내용
IAEA TRS NO.389 (1989)	Radiological Characterization of Shutdown Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes	영구정지후 해체를 위해, 원자로에 남아있는 중성자 방사화 및 오염준위를 명확히 알아야 가능한. 원자로의 방사선학적 특성평가를 위한 기술적 지침(TRS)으로서, 단점은 1989년 발간된 IAEA 문서이나 아직까지 대체문서는 없음
IAEA TGR-4 (2013)	Radiological Characterization for Decommissioning of Nuclear Installations	원자로시설 방사선학적 특성평가를 다룬 문서로 2013년 발간되었고, 내용도 기술적 순서(절차)와 특성평가 교훈을 다루고 있음. 특성평가는 RP, 오염정량, 위험도 및 비용평가, 공정의 기초로서 중요
IAEA SRS No.67 (2012)	Monitoring for Compliance with Exemption and Clearance Levels	해체 측면보다는 일반적 개념으로 규제면제와 해제를 다룬 지침으로 사업자 측면에서 대량으로 발생한 해체폐기물의 관리관점에서 필요한 문서임.
IAEA SRS	Safety Considerations in the	원자로시설의 운전에서 해체로 이어지는 과정에서

번호	제목	주요내용
No.36 (2004)	transition from Operation to Decommissioning of NFs	안전성을 다룬 문서로 기준(SRS)으로 과도기간 위험도 감소 변화를 제시하고 있음. 해체안전성평가를 위해 검토가 필요함
IAEA SRS No.31 (2003)	Managing the Early Termination of Operation of Nuclear Power Plants	원전의 조기종료에 따른 전략, 소통, 규제기관 대응방안 및 특정원전의 교훈 등을 제시하는 문서임. 일반적(종합적 측면에서) 해체준비로 조기종료 원전에 대한 문제점과 대응방안이 포함될 것으로 판단됨.
IAEA SRS No.26 (2002)	Safe Enclosure of Nuclear Facilities During Deferred Dismantling	원자로시설의 지연해체에 대한 대응방안을 다룬 문서임. 국내원전 해체전략이 즉시해체로서, 이 문서 내용과는 차이가 있을 것으로 판단되며, IAEA가 권고하는 즉시해체전략과도 상치되는 보고서임.
IAEA TRS No.375 (1995)	Safe Enclosure of Shutdown Nuclear Installations	지연해체를 다룬 IAEA 기술적 문서로, 국내 즉시해체 전략 및 최근 IAEA 즉시해체전략과도 차이가 있는 문서임
IAEA TRS No. 420 (2004)	The Transition from Operation to Decommissioning of Nuclear Installations	원자로시설에 대한 최종해체에 대한 지연과 비용초과를 방지하기 위해 필요한 정보와 권고방안을 수록한 문서로, 의사결정 지연에 대한 사전 준비 등을 제시하는 문서임
IAEA TRS NO. 395 (1999)	State-of-the-art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities	원자로시설의 제염, 철거 및 폐기물관리를 다룬 기술적 문서이기는 하나 30년 전 발행된 문서임. 최신판 문서는 아직 미발간 상태임
NEA/RWM/R (2011)	Decontamination and Dismantling of Radioactive Concrete Structures	방사성오염 콘크리트에 대한 제염과 철거를 기술을 소개한 OECD/NEA CPD 문서로 2011년 발간(오염 콘크리트에 대한 Blasting 장비 등을 소개)
NEA No.6924 (2010)	Applying Decommissioning Experience to the Design and Operation of New NPPs	OECD-NEA에서 2010년 발행한 문서로서, 원전해체를 고려하여 3세대 원전의 설계단계에서 고려해야 할 경험과 교훈을 수록한 참조 기준으로 IAEA와 공동작업으로 발행하였음
NEA No.6833 (2010)	Decommissioning Considerations for New Nuclear Power Plant	해체 관점에서 새로운 원전에 도입해야할 사항을 수록한 OECD-NEA의 2010년 참조 문서임(NEA No. 6924와 통합하여 검토 필요)
IAEA TECDOC -1657(2011)	Design Lessons Drawn from the Decommissioning of Nuclear Facilities	원자로시설 해체로부터 유도된 설계측면에서 경험과 교훈을 수록한 2011년 IAEA 참조문서임(NEA No. 6924 보고서, No. 6833 보고서와 통합검토)
IAEA TRS NO. 395 (1999)	State-of-the-art Technology for Decontamination and Dismantling of NPPs	상기 문서와 동일(IAEA TRS No. 395)
NEA/RWM/R (2012)	Management of Large Components from Decommissioning to Storage and Disposal	원전해체에서 대형기기는 절단하여 처분하거나 One-piece로 처분을 위해 필요한 결정을 위한 정보 및 경험과 교훈을 기술하고 있는 OECD-NEA에서 발간한 2012년 참조문서임
IAEA NW-T-2.8 (2016)	Managing the Unexpected in Decommissioning	IAEA에서 2016년 발간한 참조기준으로 해체과정에서 예상하지 못한 사건들에 대한 처리방안과 국가별 경험을 기술하고 있음.
IAEA TRS No.439 (2006)	Decommissioning of Underground Structures, Systems and Components	IAEA에서 2006년에 발간한 문서로 지하에 위치한 시설에 대한 해체방안을 기술하고 있음. 지하 SSCs는 접근의 어려움으로 특성평가가 어려운데, 이 경우 해체방안을 기술하고 있으며, 국내 해체전략 결정에 따라 검토 필요
IAEA SRS	Safety Assessment for	IAEA가 2013년에 발간한 SRS 문서로 해체과정에

번호	제목	주요내용
No.77 (2013)	Decommissioning	서 안전성평가를 다루고 있음.
IAEA TRS No.462 (2008)	Managing Low Radioactivity Material from Decomm. of NFs	IAEA가 2008년 발행한 문서로 해체과정에서 낮은 방사능물질의 발생과 처리방안을 다루고 있으며, 국가별 사례와 교훈을 제시하고 있음
IAEA TECDOC -1602	Innovative and Adaptive Technologies in Decommissioning of NFs	IAEA가 CR Project로 수행한 보고서로, 해체과정에서 적용할 수 있는 혁신적인 기술을 소개하고 있음. 해체과정에서 신기술 적용 가능성에 대한 추가 연구가 필요함.
IAEA TRS No. 334 (1992)	Monitoring Programmes for Unrestricted Release Related to Decommissioning of NFs	IAEA에서 발간한 참조문서로 원자로시설의 해체과정에서 무제한적 방출을 위한 기술하고 있으나, 1992년 발간자료로 활용성을 낮을 것으로 판단함
NEA #6187 (2006)	Release of sites of Nuclear Installations	OECD-NEA에서 2006년 발간한 부지개방에 관한 현황보고서로 개방근거, 개방준위, 개방이행방안 등을 기술한 참조 문서임.
NEA #6403 (2008)	Release of Radioactive Materials and buildings from Regulatory Control	방사성물질과 건물의 해체에 대한 근거, 해체준위 도출, 해체과정의 실행방안, 대안 등에 대해 기술한 OECD-NEA 2008년 참조문서로 해체폐기물의 대량 발생을 고려시 검토 필요
IAEA WS-G-5.1 (2006)	Release of sites from regulatory control on termination of practices	IAEA에서 부지개방을 위한 원칙과 방안을 제시한 2006년 발간된 기준으로, 국내 법령과 고시에 상당 부분 반영된 상태로써, 해체폐기물의 대량 발생고려시 표준 연계 검토 필요
IAEA TRS No. 450 (2006)	Management of Long Term Radiological Liabilities Stewardship Challenges	방사성 오염된 부지나 대형폐기물/기기는 오랫동안 관리가 필요한 것으로 판단하고, IAEA가 이에 대한 관리방안을 제시하는 2006년 문서임
IAEA SRS No. 72	Monitoring for Compliance with Remediation Criteria for Sites	방사능에 오염된 부지에 대한 복원기준을 다룬 문서로 2012년 IAEA 발간하였으며, 해체부지 복원 고려시 추가 검토 필요
IAEA SR No WS-G-5 (2006)	Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material	해체 원칙(GSR)을 다룬 2006년 IAEA 기준으로, GSR Part 6로 대체됨
IAEA SS No. WS-G-2.1 (1999)	Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Safety guide	원자력발전소 및 연구용원자로의 해체를 다룬 IAEA 1999년 발간된 문서
NEA-(#6185) (2006)	The NEA Co-operative Programme on Decommissioning	2011년 OECD-NEA의 해체에 관한 협력프로그램(CRP)을 소개한 문서
IAEA TRS No. 399(2000)	Organization and Management for the Decommissioning of Large Nuclear Facilities	대형 원자로시설 해체에 대한 고려할 사항을 기술한 2000년 IAEA 문서로 해체 전 및 해체계획/승인시 고려할 사항, QA 및 폐기물관리에서 고려할 사항 등을 수록하고 있으며, 부록에서 국가별 사례를 기술하고 있음
IAEA TECDOC -1476 (2005)	Financial Aspects of Decommissioning	안전하고 경제적인 해체를 위해 해체비용평가 등 해체재원조달 측면에서 고려할 사항을 기술한 2005년 IAEA 문서로 비용평가 표준에 연계 필요
IAEA TECDOC -1478 (2005)	Selection of Decommissioning Strategies: Issues and Factors	2005년 IAEA가 발행한 해체전략을 수립하는데 필요한 사항을 기술한 문서로 해체전략 수립 표준으로 검토 필요
IAEA TRS No.440 (2005)	Dismantling of Contaminated Stacks at Nuclear Facilities	원자로시설의 오염된 배기굴뚝(스택)을 해체하는데 있어서 해체방법과 고려할 사항을 기술한 2005년 IAEA 문서임

번호	제목	주요내용
NEA #5996 (2006)	Decommissioning Funding-Ethics, Implementation, Uncertainties	해체비용 평가와 재원조달 원칙, 이행방안 및 불확실성 등에 관한 2006년 OECD-NEA의 문서
NEA #6038 (2006)	Selecting Strategies for Decommissioning of Nuclear Facilities_ A Status Report	원자로시설에 대한 해체전략 선정을 위한 방안 등을 기술한 OECD-NEA 2006년 문서(IAEA TECDOC-1478과 연계하여 검토)
NEA #6867 (2010)	Towards Greater Harmonization of Decommissioning Cost Estimates	해체비용평가에 관한 원칙을 기술한 OECD-NEA 2010년 문서
NEA #6831 (2010)	Cost Estimation for Decomm. - An International Overview of cost elements, Estimation Practices	해체비용평가에 관한 2010년 OECD-NEA 문서
NEA #7088 (2012)	International Structure for Decommissioning Costing of Nuclear Installations	해체비용평가에 관한 ISDC로 대표되는 2012년 OECD-NEA 문서
NEA #7190 (2014)	Guide For International Peer Reviews of Decommissioning Cost Studies for NFs	해체비용평가에 관한 2014년 OECD-NEA Peer review 문서
NEA #7192 (2014)	Nuclear Site Remediation and Restoration during Decomm. of Nuclear Installations	원자로시설에 대한 부지복원을 기술한 2014년 OECD-NEA 문서
NEA #7237 (2015)	The Practice of Cost Estimation for Decommissioning of Nuclear Facilities	원자로시설에 대한 해체비용평가사례를 수록한 2015년 OECD-NEA 보고서
NEA #7201 (2016)	Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants	원전해체 비용평가 2016년 OECD-NEA 보고서
NEA/RWM/R (2012)10	Cost Control Guide for Decomm. of nuclear installations	OECD-NEA에서 2013년 발행한 원자로시설의 해체 비용평가 지침
IAEA SRS No.50 (2007)	Decommissioning Strategies for Facilities Using RMs	해체전략을 기술한 2007년 IAEA 보고서로 IAEA TECDOC-1478(2005)과 동일
IAEA SRS No.45 (2005)	Standard format and Content for Safety Related Decomm.	해체계획서 작성에 관한 형식과 내용을 기술한 2005년 발간된 IAEA 보고서로 국내고시에서 이를 반영하여 법제화됨(고시의 해체계획서 작성항목 참조)
IAEA NW-T-2.1 (2011)	Selection and Use of Performance Indicators in Decommissioning	2011년 IAEA가 발간한 해체 성능인자 보고서(공정, 비용, Health/Safety/Security, 환경 및 사회·경제적인자로 나누어 기술함)
IAEA NW-T-3.3 (2009)	Integrated Approach to Planning the Re-mediation of Sites Undergoing Decommissioning	해체가 진행중인 시설에서 통합부지복원계획에 대해 기술한 IAEA 2009년 보고서 (부지복원비용 고려인자, 부지특성평가, 적용기술 및 평가방안, 부지복원 이슈 및 장기전략 등을 소개)
IAEA TRS No.467 (2008)	Long Term Preservation of Information for Decommissioning Projects	원자로시설에 대한 해체를 원활히 진행하는 데 필요한 문서 및 기록관리 등을 기술한 2008년 IAEA 보고서
IAEA TRS No.411 (2002)	Record Keeping for the Decomm. of NFs: Guidelines & Experience	2002년 IAEA 해체기록관리 방안에 관한 보고서

번호	제목	주요내용
IAEA TRS No.348 (1993)	Application of Remotely Operated Handling Equipment in the Decomm. of NFs	원격장비 활용을 위한 IAEA 1993년 보고서
IAEA NG-T-2.3 (2008)	Decomm. of NFs: Training and Human Resource considerations	원전해체과정의 훈련 및 인적자원 활용에 관한 2008년 IAEA 보고서
IAEA TRS No.401 (2001)	Minimization of radioactive waste from D/D of NFs	제염 및 해체과정에서 폐기물 최소화 방안에 관한 2001년 IAEA 보고서.
IAEA TRS No.441 (2006)	Management of Problematic Waste and Material Generated During the Decomm. of NFs	원전해체 과정에서 생성되는 처리곤란 폐기물에 대한 2006년 IAEA 보고서
IAEA SSR No.5 (2011)	Disposal of Radioactive Waste	방사성폐기물 처분에 관한 원칙을 기술한 2011년 보고서로 해체폐기물 분야에서 연계 검토 필요
IAEA TEDCD0C -1572(2007)	Disposal Aspects of LILW Level Decommissioning Waste	해체폐기물, 처분장설계, 처분방안 등을 수록한 2007년 IAEA 보고서로 각 국가별 처분사례를 제시하고 있음

□ 국내 동향

- 국내의 경우 원전해체 경험이 없으므로 관련 표준이 부재이나, 전력산업기술기준(KEPIC)의 원전산업계 적용경험을 활용하여 원전해체를 도모하고자 해체 분야 KEPIC 표준 개발을 추진중임.
- 또한, 정부가 수립한 안전하고 경제적인 원전해체를 위해서는 고리1호기/월성1호기 해체과정을 통해 고유표준을 개발하여 적용함으로써 기술력과 경험을 축적하여 글로벌 해체시장에 진출하여야 함.

5. 정부R&D 지원현황

□ 투자 동향

- 원자력핵심기술개발사업(산업부), 원전해체방폐물안전관리기술개발사업(산업부) 등을 통하여 원전해체 기술 분야에 '12년부터 '22년까지 2,546억원 규모 지원

- 고리 1호기의 안전하고 경제적인 해체 준비 및 미래 원전해체 시장 진출을 위한 상용화 기술개발*, 원전해체 방폐물 인수를 위한 검증 기술 확보** 등에 중점 지원

* 원자력핵심기술개발('01~'21): ①방사화 압력용기·내부구조물 실증시험 기술개발, ②방사화 콘크리트 구조물 해체 실증시험 등 기술개발 지원

** 원전해체방폐물안전관리기술개발('19~'22): ①표충처분시설의 공학적방벽 장기성능 검증 기술 개발, ②복합처분시설 건설·운영 최적화 기술 개발 등 기술개발 지원

< 원전해체 핵심기술 및 해체폐기물 관리 주요 R&D사업 현황 >

사업명	사업목적	R&D 주요 내용	정부 예산 (백만원)
원자력핵심기술 개발사업 (내역사업: 원자력환경및해체) (산업부)	•원전 전주기 핵심기술 확보 •안전한 원전해체 및 원전해체 해외 시장 진출을 위해 미확보 원전해체 핵심기술 개발 및 실용화 지원	•고리1호기의 안전하고 경제적인 해체 준비 및 미래 원전해체 시장 진출을 위한 상용화 기술개발	219,961
원전해체방폐물안전 관리기술개발사업 (산업부)	•원전해체로 발생하는 방사성폐기물을 안전하게 관리하고, 각종 형태의 해체 방폐물에 대한 제염·감용 기술을 초기에 확보	•원전해체 방폐물 인수를 위한 검증 기술 확보	34,642
합 계			254,603

□ 기술개발 현황

○ 원전해체 분야 주요 성과

- 원자력핵심기술개발사업 내 원자력환경및해체 내역사업을 통해 원전해체 자립화에 필요한 해체계획수립-특성평가-제염-절단-폐기물 처리-부지 복원 전 분야의 실용화 기술 개발
- 원전해체방폐물안전관리기술개발사업을 통해 원전해체 방폐물 인수를 위한 검증 기술 및 방폐물 처리 설비 분류시스템 등 개발

○ 원전해체 분야 과제 현황

구분	과제명	수행기간	총출연금 (백만원)
원자력 핵심 기술 개발	중·저준위 방사성폐기물의 고감용 고화장치 개발을 위한 500°C 이상, 저압 과열증기 이용 감량화 기술 개발	2015.09~2018.08	1,242
	방사화 압력용기-내부구조물 해체 실증시험 기술개발	2016.11~2020.12	8,520
	C-14 함유 원전 폐수 처리 및 안정화 기술	2015.09~2018.02	962
	원전 해체설계를 위한 냉각재계통 및 기기 제염 상용기술 개발	2014.12~2018.09	5,500
	처분안전성 확보를 위한 C-14 함유 중수로 폐수 혼합물 처리기술 개발	2015.09~2018.08	1,150
	사고시 원전 주변 방사성 오염수 이동형 처리 설비 개발	2015.06~2019.05	1,932
	중·저준위 방사성폐기물 일괄 처리 및 1/5 이상 감용을 위한 500 kW급 혼합형 플라즈마 토치 용융설비 개발	2015.09~2020.01	1,325
	방사화 콘크리트 구조물 해체 실증시험 기술개발	2016.11~2020.12	10,370
	기계화학적 부피저감 및 안정화 기술을 이용한 원전 해체폐기물 연속처리시스템 개발	2017.12~2020.11	1,410
	극저준위 방폐물 감량을 위한 관리 체계 및 정형/비정형 방폐물 방사능 측정 시스템 개발	2017.05~2020.04	2,759
	고체 방사성폐기물 저감을 위한 레이저기반 제염장치 개발	2019.10~2023.06	1,450
	원전 해체 발생 유기 제염폐액 처리 공정 시제품 개발	2020.10~2023.09	2,400
	C-14 함유 방사성폐기물 처리 설비 시제품 개발 및 실증	2019.05~2023.04	4,800
	고압세척공정 기반의 초미세기포 복합 공정과 선택적 핵종 흡착기술을 이용한 해체원전 오염토양 제염기술 개발	2018.05~2021.04	1,750
	해체원전 원자로 내부구조물 베플포머볼트 조사유기 응력부식 균열 열화 특성 분석 기술개발	2019.10~2024.09	9,905

구분	과제명	수행기간	총출연금 (백만원)
	영구정지 원전 과도기 방사선학적 특성평가 표준화 기술개발	2019.05~2023.04	6,240
	원전 삼중수소 오염수 처리 기술 개발	2019.10~2023.09	4,570
	원전 배출수에 함유된 붕소 제거설비 시제품 개발	2019.05~2023.04	3,800
	해체 발생 방사성 오염 폐전선의 안전 처리 공정 개발	2020.05~2023.04	2,240
	고방사능 콘크리트 표면제염을 위한 오염도 원격측정 및 레이저 스캐블링 제염설비 개발	2020.05~2023.04	3,325
	원자로 격납건물 등의 대형구조물 해체 시 실시간 안전 진단을 위한 10 Msps 속도 급의 AET 다채널 임베디드 인공지능 시스템 개발	2019.10~2022.09	3,000
	중수로 원전 해체물량/비용/공정 연계 프로그램 개발	2020.05~2023.04	3,000
	비가연성 원전 해체폐기물 이동식 감용설비 개발	2019.10~2022.09	1,900
	원전 해체를 위한 수중 고출력 레이저 절단기술 상용화 개발	2020.10~2023.09	2,900
	원전 콘크리트 구조물 내부 방사화에 대한 삼차원 영상장치 시제품 개발	2019.05~2022.04	3,200
	환경방출 방사성탄소(C-14) 전자동 통합 온라인 감시시스템 개발	2018.10~2021.09	2,100
	경수로 원전 계통제염 실증기술 개발	2019.10~2022.09	5,193
	중수로 해체폐기물내 C-14 활용 첨단 기능성재료 제조 기술개발	2020.10~2023.09	2,900
	방사성 오염탱크 감용 해체기술 개발	2019.10~2022.09	1,990
	원전 해체 핵심실증시설 안전성 평가 및 설계기술 개발	2020.10~2022.09	2,000
	무선기술 기반 원전해체 방사선 통합관리 시스템 시제품 개발	2019.05~2023.04	4,610
	원전 해체 콘크리트 및 토양폐기물을 이용한 방폐물처리용 소재 제조 기술 개발	2020.10~2023.09	3,000
	방사화된 금속구조물 해체를 위한 겐트리형 레이저절단-수소연료산소절단을 적용한 하이브리드 고속 절단시스템 개발	2020.05~2023.06	3,200
	모듈화 설계 기반의 이동형 공기정화시스템 개발	2020.05~2023.04	3,450
	원전 해체 형상관리 플랫폼 개발	2019.10~2024.09	5,395
	이동형 원전 해체 방사성폐기물 핵종분석 설비 개발	2019.10~2022.12	3,800
	원전해체 가상작업장 및 힘-토크 반응 원격해체작업 훈련시스템 개발	2020.05~2023.04	3,800
	방사성 물질의 분포를 시각화하여 원전 해체 시 작업 종사자에 대한 보호 및 해체 작업 효율을 극대화 할 수 있는 부호화 구경 기반의 소형 방사선 영상 장비 시제품 개발	2018.10~2021.09	1,500
	원전 해체 방사성폐기물 포장, 운반·처분 용기 개발	2021.01~2023.04	5,539
	원전 해체 금속 방사성폐기물 최적 감용을 위한 플라즈마 일괄건식제염공정	2019.10~2022.12	1,700

구분	과제명	수행기간	총출연금 (백만원)
	상용화 기술 및 장치 개발		
	원전 해체사업 표준공정 및 표준품셈 개발	2019.10~2022.09	2,000
	원전해체 작업자 방사성 피폭 저감을 위한 방사성 에어로졸 실시간 모니터링 방법론 개발	2020.10~2023.09	2,400
원전 해체 방폐물 안전 관리 기술 개발	방사성 토양 및 콘크리트 해체 폐기물 오염 평가 및 분류시스템 개발	2020.05~2022.10	2,500
	해체폐기물 포장-운반-처분 연계성 최적화 및 이력관리 플랫폼 개발	2020.05~2022.10	2,430
	표층처분시설의 공학적방벽 장기성능 검증 기술 개발	2019.05~2022.10	2,485
	복합처분시설 건설·운영 최적화 기술 개발	2019.05~2022.04	1,695
	방사성혼합폐기물에 대한 처리기술 개발 및 처분적합성 평가	2020.05~2022.04	1,800
	액체 방폐물의 고화를 위한 고성능 시멘트계 재료 및 고화처리기술 개발	2020.05~2022.10	1,800
	원전 해체발생 유기착화제의 효율적 처리·처분을 위한 평가 기술 개발	2020.10~2022.12	1,829
	원전 해체발생 방사성폐액 처리 성능 향상을 위한 친환경 바이오 소재 공정 개발	2020.10~2022.12	2,066
	해체 콘크리트 폐기물 안정화 기술 및 미분말 재활용 설비 시제품 개발	2020.05~2022.10	2,700
	원전해체 이동식 모듈형 액체폐기물 처리설비 시제품 개발	2020.05~2023.07	2,700
	원전해체발생 고형화 처리 방폐물의 처분을 위한 인수기준 적용방안 및 방폐물 인증프로그램(WCP) 요건(안) 개발	2019.05~2022.04	3,463
	중저준위 방폐물 복합처분시설의 비정상 시나리오 대응 평가 기술 개발	2019.05~2022.04	2,960
	방사성 금속 폐기물의 오염도 측정 및 분류 설비 시제품 개발	2020.05~2022.10	2,050
	표층처분시설의 건설 구조체 및 장기 성능 감시 기술 개발	2019.05~2022.06	1,847
	원전해체 금속/콘크리트 폐기물의 자체처분 및 재활용을 위한 안전성 평가 체계 개발	2020.10~2022.12	1,322

6. 시사점

- ☐ 안전성 제고를 통한 원전해체에 대한 국민 신뢰도 확보 필요
- ☐ 원전해체산업의 지속 성장을 위한 미래 전략적 연구개발 및 투자 확대
 - Track Record 확보를 통해 글로벌 해체시장 진출 기반 마련을 위한 국내 원전해체 관련 기술자립 지원
- ☐ 실증을 통한 현장 맞춤형 해체기술 경쟁력 강화
 - 현재 응용 수준에 있는 기 개발 해체기술과의 연계를 바탕으로 절단-제염-폐기물 처리-부지복원 기술의 상용화 및 실증 체계 구축
 - 방사화구조물 절단은 원전해체에서 가장 고난이도의 핵심작업으로, 국내 해체산업 육성 및 해외 해체시장 진출을 위해 확보해야할 필수기술이며, 실제 현장 적용 전 국내 개발기술의 성능, 안전성, 신뢰성을 검증할 수 있는 실증 인프라 구축이 시급함
 - 계통제염은 원전해체 시 작업자 피폭저감 및 해체폐기물 감용을 위한 필수기술로, 기존 개발기술의 상용화를 위한 실증 인프라 구축이 시급하며, 글로벌 경쟁력 확보를 위해 2차폐기물을 저감할 수 있는 무기산 기반의 계통제염 기술확보가 필요함
 - 선행연구를 통해 확보된 폐기물처리, 부지복원 관련 요소기술을 기반으로 한 상용화 장비를 개발하고 성능을 검증하고 표준운영절차를 수립하여 사업화 지원
- ☐ 핵종분석 기술 R&D 기반 구축을 통한 해체작업 및 해체폐기물 처리 안전성 확보
 - 핵종분석 공백기술 개발, 핵종재고량 평가기술 및 품질보증체계 구축을 통해 해체폐기물 처분 안전성을 확보하고 처분비용 절감할 수 있도록 해체폐기물의 준위·노형별 핵종분석 R&D 기반 구축 지원

II. 기획대상연구개발과제 도출

1. 연구개발과제기획 방향

□ 연구개발과제기획 기본방향 : 안전하고 경제적인 원전해체 현장 적용기술을 상용화하고, 선도기술개발 및 검증기반 구축을 위한 R&D 추진

○ 현장맞춤형 해체기술 경쟁력 강화

- 현재 응용 수준에 있는 기개발 해체기술과의 연계를 바탕으로 절단-제염-폐기물 처리-부지복원 기술의 상용화 및 실증체계 구축

○ 원전해체 핵종분석 및 실증기반 구축

- 해체폐기물의 준위·노형별 핵종분석 R&D 기반 구축, 핵종분석 공백 기술 개발, 핵종재고량 평가기술 및 품질보증체계 구축

□ 신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	계
품목지정		153	153
계		153	153

□ 기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	연계 수요 (도출근거)
레이저 절단/해체 기술 고도화 및 실증	레이저 절단/해체 기술 고도화 및 실증	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:34번 "레이저 절단/해체 기술개발을 위한 인프라 구축 및 검증 절차 개발" - '21년:107번 "원전 핵심설비 해체를 위한 고속, 고효율 레이저 절단 시스템 개발" - '21년:119번 "레이저 거리 측정으로 원격 제어 Laser Cutter" ○ 사전기획

연구개발과제(품목)명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	연계 수요 (도출근거)
		- 레이저 절단/해체 기술 고도화 및 실증(1-1-3)
확장 현실기반 해체 공정 검증 및 교육 시스템 개발	확장 현실기반 해체 공정 검증 및 교육 시스템 개발	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - 사전기획 - 기술수요조사명 - '21년:31번 "원전해체 전문인력 양성을 위한 교육·훈련 체계 및 시뮬레이션 시스템 개발" - '21년:50번 "효율적이고 안전성 확보를 위한 3D Modeling을 이용한 해체 시뮬레이터 개발" - '21년:78번 "4차산업 연계 원전 해체 전문 인력 구축 시스템 개발" - '21년:80번 "확장현실 기반 해체 현장작업자 지원 및 훈련 기술 개발" - '21년:106번 "중수로형 원전 고방사성 대형기기 및 구조물의 복합 해체 공정 시뮬레이션을 위한 AI 적용 실감 몰입형 훈련시스템 개발" ○ 사전기획 - 확장 현실기반 해체 공정 검증 및 교육 시스템 개발(1-1-5)
레이저기반 콘크리트 표면 파쇄 제염기술 고도화	레이저기반 콘크리트 표면 파쇄 제염기술 고도화	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:9번 "원격 콘크리트 기계적 상용화 제염장치 개발" - '21년:13번 "계통/기기/콘크리트 제염 실증체계 및 평가기술 개발" ○ 사전기획 - 레이저기반 콘크리트 표면 파쇄제염기술 고도화(1-2-4)
대형 해체설비 거품제염 기술 개발 및 실증	대형 해체설비 거품제염 기술 개발 및 실증	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:11번 "원전해체 발생 대형·대면적 설비 제염 기술 공정 최적화 및 시제품 실증" - '21년:13번 "계통/기기/콘크리트 제염 실증체계 및 평가기술 개발" ○ 사전기획 - 대형 해체설비 거품제염 기술 개발 및 실증(1-2-5)

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	
무기산 기반 화학제염 기기제염 실증 기술 고도화	무기산 기반 화학제염 기기제염 실증 기술 고도화	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」(‘19.4) - 「제3차 에너지기본계획」(‘19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」(‘19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」(‘19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」(‘21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - ‘21년:6번 “중수로 원전해체를 위한 무기산 기반 화학제염 기기제염 실증 장비 개발” - ‘21년:15번 “경수로 해체를 위한 초음파 화학제염 기기제염 장비 개발” - ‘21년:99번 “중수로 기기제염을 위한 초음파 화학제염 장비 및 플랫폼 개발” ○ 사전기획 - 무기산 기반 화학제염 기기제염 실증 기술 고도화(1-2-6)
전해액 재생성 기반 전해제염 기술 개발	전해액 재생성 기반 전해제염 기술 개발	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」(‘19.4) - 「제3차 에너지기본계획」(‘19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」(‘19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」(‘19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」(‘21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요 조사명 - ‘21년:14번 “경수로 기기제염을 위한 전해액 재생성 기반 전해제염 플랫폼 개발” - ‘21년:97번 “중수로 기기제염 전해제염 실증 플랫폼 및 평가기술 개발” ○ 사전기획 - 전해액 재생성 기반 전해제염 기술 개발(1-2-7)
대단위 극저준위 폐기물 제염용 자동화 연마제염 플랫폼 개발	대단위 극저준위 폐기물 제염용 자동화 연마제염 플랫폼 개발	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」(‘19.4) - 「제3차 에너지기본계획」(‘19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」(‘19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」(‘19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」(‘21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요 조사명 - ‘21년:12번 “경수로 기기제염을 위한 자동화 연마제염 플랫폼 개발” - ‘21년:98번 “중수로 기기제염을 위한 자동화 연마제염 플랫폼 개발” ○ 사전기획 - 대단위 극저준위 폐기물 제염용 자동화 연마제염 플랫폼 개발(1-2-8)
플라즈마, 유도가열용 및 가열분쇄를 통한 폐기물감용 기술개발 실증	플라즈마 및 유도가열 용융을 통한 폐기물 감용 기술개발 실증	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」(‘19.4) - 「제3차 에너지기본계획」(‘19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」(‘19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」(‘19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」(‘21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요 조사명 - ‘21년:25번 “방사성폐기물 안정적 감용화를 위한 고온 플라즈마 유리화

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	
		- 시스템 엔지니어링 기술” - ‘21년:27번 “해체 폐기물 부피감용 기술 및 장치 검증체계 개발” - ‘21년:128번 “해체 폐기물 처리 기술 실증 플랫폼 개발” - ‘21년:28번 “진공 유도가열 용융설비 기반 해체 금속폐기물 처리 상용화 기술 개발” ○ 사전기획 - 폐기물 감용 및 안정화를 위한 복합폐기물 유리화 시스템 개발(1-3-1) - 해체 금속폐기물 진공 유도가열 용융기술 상용화(1-3-2)
	콘크리트 가열 분쇄를 통한 폐기물 감용 기술개발 실증	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」(‘19.4) - 「제3차 에너지기본계획」(‘19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」(‘19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」(‘19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」(‘21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요 조사명 - ‘21년:27번 “해체 폐기물 부피감용 기술 및 장치 검증체계 개발” - ‘21년:29번 “해체 콘크리트폐기물 가열분쇄 감용 설비 구축 및 성능 검증” - ‘21년:128번 “해체 폐기물 처리 기술 실증 플랫폼 개발” ○ 사전기획 - 해체 콘크리트폐기물 가열분쇄 감용 기술 고도화 및 실증(1-3-3)
원전해체시 발생하는 고농도/저농도 액체폐기물 통합 처리 기술 개발	원전해체시 발생하는 고농도/저농도 액체폐기물 통합 처리 기술 개발	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」(‘19.4) - 「제3차 에너지기본계획」(‘19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」(‘19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」(‘19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」(‘21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - ‘21년:27번 “해체 폐기물 부피감용 기술 및 장치 검증체계 개발” - ‘21년:41번 “액체폐기물 처리 기술 실증체계 및 평가기술 개발” - ‘21년:128번 “해체 폐기물 처리 기술 실증 플랫폼 개발” - ‘21년:13번 “계통/기기/콘크리트 제염 실증체계 및 평가기술 개발” - ‘21년:123번 “원전해체 시 발생 난분해성 고방사성 제염폐액 처리기술 및 장치 개발” ○ 사전기획 - 원전해체 액체폐기물 고액 분리, 고효율 탈염 시스템 개발(1-3-4) - 난분해성 고방사성 제염폐액 처리기술 및 장치 개발(1-3-5)
폐수지/폐활성탄 처리장치 개발 및 실증	중수로 특화 C-14/H-3 함유 폐활성탄 처리장치 개발 및 실증	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」(‘19.4) - 「제3차 에너지기본계획」(‘19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」(‘19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」(‘19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」(‘21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - ‘21년:38번 “중수로 특화 해체 실증체계 및 평가기술 개발” - ‘21년:39번 “공기정화계를 폐활성탄 처리 장치 개발” ○ 사전기획 - 중수로 특화 C-14/H-3 함유 폐활성탄 처리설비 개발(1-3-6)

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	
	저방사능 폐수지 열화학적 처리장치 개발 및 실증	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:42번 “저방사능 폐수지 열화학적 처리기술 개발 및 실증” ○ 사전기획 - 저방사능 폐수지 열화학적 처리기술 고도화 및 실증(1~3-8)
	중수로 폐수지 탱크 내 혼합물처리장치 개발 및 실증	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:40번 “중수로 폐수지 저장탱크 내 혼합물 핵종 제거장치 개발 및 실증” ○ 사전기획 - 중수로 폐수지 탱크 내 혼합물 핵종 제거장치 개발 및 실증(1~3-7)
원전해체 현장 방사능 측정시스템 개발 및 실증	원전해체 현장 방사능 측정시스템 개발 및 실증	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:26번 “원전해체 부지복원 실증체계 및 평가기술 개발” - '21년:43번 “원전해체 현장 방사능 측정 실증체계 및 평가기술 개발” - '20년:46번 “해체 환경정보 연동 현장측정 자동화 기술” - '20년:56번 “실시간 3 차원 해체환경 방사선 측정 및 위험관리 시스템 개발” - '20년:74번 “4차 산업 기술 응용 원전 해체 산업 기술 고도화 기반 구축 사업” ○ 사전기획 - 해체부지 오염 토양 실시간 측정 및 분류 시스템 개발(1~4-1) - 원전해체 현장 방사능 측정 실증체계 및 평가기술 개발(1~4-3)
원전해체 대비 방사능 분석 정도관리 기술 개발 및 품질보증체계 구축	원전해체 대비 방사능 분석 정도관리 기술 개발 및 품질보증체계 구축	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:83번 “원전해체 방사성폐기물 방사선적 특성평가 정도관리 및 품질보증체계 구축”

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	
		○ 사전기획 - 원전해체 대비 방사능 분석 정도관리 기술 개발 및 품질보증체계 구축(2~2-1)
고리 1호기 우선 적용을 위한 원전해체 방폐물 핵종농도 간접평가 방법론 개발	해체폐기물 핵종재고량 평가를 위한 핵종분석 및 간접 평가법 개발	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:54번 “단기간 대량 발생 원전해체 방폐물용 척도인자 방법론 개발” ○ 사전기획 - 원전해체 방폐물 핵종재고량 간접평가 방법론 개발(2~3-1)
원전해체 주요구조물에 대한 방사성핵종분포 및 신속분석기술 개발	원전해체 주요구조물에 대한 방사성핵종분포 및 신속분석기술 개발	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:65번 “원전해체 주요 구조물에 대한 방사성 핵종 제거 및 분석 기술 개발” ○ 사전기획 - 원전 해체 주요 구조물에 대한 방사성핵종 분포 및 신속 분석기술 개발(2~3-3)
해체폐기물 내 난분석 핵종 준위별 분석 고도화 기술 개발	해체폐기물 내 난분석 핵종 준위별 분석 고도화 기술 개발	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:59번 “해체폐기물 내 방사성 요소의 화학분석법 및 분석 시스템 개발” - '20년:27번 “난분석핵종 분석 자동화 및 고도화기술 개발” ○ 사전기획 - 해체폐기물 매질/준위별 난분석핵종 분석 고도화 기술 개발(2~3-4)
제염 2차 폐기물 핵종분석기술 개발	제염 2차 폐기물 핵종분석기술 개발	○ 정부정책 - 「원전해체 산업육성전략」('19.4) - 「제3차 에너지기본계획」('19.6) - 「원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향 : Nu-Tech 2030」('19.8) - 「제4차 에너지기술개발계획」('19.12) - 「제6차 원자력진흥종합계획」('21.12) ○ 산업기술 R&BD 전략 - 원전 해체 등 환경관리 기술(원전 해체 기술) ○ 기술수요조사명 - '21년:53번 “제염해체 2차폐기물 방사성핵종 분석기술 개발”

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제 (품목)명	
		○ 사전기획 - 제염 2차폐기물 핵종분석기술 개발(2-4-1)

2. 개발위험 관리방안

□ 기술개발 위험요인

- 선행 연구개발사업에서 확보된 원천기술의 실용화를 위한 실증체계 구축이 본 기술개발 사업의 목표이나 각 기술별로 다양한 기관이 참여하는 사업구조로 인해 유기적인 기술별 실증 계획의 수립에 어려움이 예상됨. 원전해체연구소를 중심으로 원전 해체사업 착수 및 기술 적용 시점을 고려하여 기술 실·검증 체계와 연계한 산업체 해체 역량 및 인프라, 품질관리체계, 고유 지식재산권, 기술 상용화 확보 전략 필요
- 기술개발 과정에서 발생하는 폐기물 제염 및 처리 방안에 대해 유관기관 간 정보 교류 필요
- 원전해체사업 지연 혹은 내/외부 환경변화로 인하여 원전 해체방폐물 시료 확보가 어려울 경우를 대비한 대체 방안 수립이 필요함

□ 사업화 애로사항

- 해체실적(Track-Record) 축적을 위해서 개발 기술의 인증이 선행되어야 하나 개발품의 성능 검/인증을 위한 법령 및 절차가 제정되어 있지 않아 사업화 시 장애요인이 될 수 있으므로 원전해체연구소를 KOLAS인증을 포함하여 장치의 검/인증을 위한 시스템 구축 필요
- 성능이 검증된 개발 제품을 해체 원전에 적용하기 위해서는 인허가 취득이 필수적이나, 해체분야의 연구개발은 기술개발에 집중되어 있어 사업화를 위한 인허가 전략 수립 및 대응 방안이 필요
- 고리 1호기, 월성 1호기 해체 착수 시점의 유동성으로 인해 해체실적 적기 확보에 어려움이 예상됨. 개발된 기술 상용화를 위한 해체 사업 적용 및 조기해체 물량 확보 등 지원체계 구축 필요
- 해체폐기물 유형(금속, 콘크리트 등) 및 기타 특이핵종들에 대한 분석 기술개발과 함께, 상황에 따라 변화될 수 있는 규제기관 및 방폐물 인수기관의 요구조건을 충족할 수 있는 수준의 기술 확보가 필요

- 원전 해체는 국내에서 처음으로 수행되므로 방폐물 인도 인수 및 처분 요건이 명확하게 제시되어 있지 않은 상태임. 이러한 이유에서 핵종분석 수준을 과도하게 높게 설정하여 대응해야 할 경우가 발생할 수 있음. 아울러 국내 해체폐기물 핵종분석 전문인력이 매우 부족한 실정임

□ 사회환경 위험요인

- 원전에서 해체방폐물 혹은 시료를 핵종분석 장소로 이동할 시, 폐기물 이송에 대해 규제기관 뿐 아니라 관련 주민 및 지자체로부터도 협조를 받아야 함. 이를 원활하게 진행하기 위한 이송 절차 계획, 인허가 준비, 안전방호 대책 등을 만족시키고 주민수용성 확보가 필수적임
- 방폐물 분석 데이터 오류는 주민수용성 악화나 과도한 폐기물 처리비용을 유발하는 민감한 사안이므로 핵종분석 과정에서 발생할 수 있는 오류 최소화를 위해 신뢰성 높은 분석 체계구축이 요구됨

□ 기술영향 검토

- 고효율의 기기제염 개발품의 상용화를 통하여 글로벌 해체사업 기반을 구축함으로써 국내 원전 기술의 전 주기 기술 완성에 기여
- 방사능분석 정도관리 기술 및 품질보증체계 구축을 통하여 원전해체 폐기물에 대한 신뢰성 있는 결과를 생산함으로써 대국민 방사성폐기물 관리 안전성 인식 제고에 기여하고 연구개발 결과물을 통한 분석기관들의 국내시장 선점 및 해외시장 진출의 계기로 활용
- 해체방폐물 핵종재고량 평가를 위한 간접평가법 개발을 통해 오랜 작업시간이 요구되고 분석 폐기물 발생이 많은 파괴적 방사화학적 핵종 분석을 최소화함으로써 핵종분석 비용 절감효과를 기대할 수 있음
- 해체 방폐물 핵종분석 체계 구축을 통해 폐기물의 처분 안전성 및 주민 수용성 확보와 더불어 해체폐기물 분석비용을 절감함. 아울러 사업 추진과정에서 부족한 핵종분석 전문인력 양성에도 기여할 것으로 기대함

3. 기획연구개발과제 기술개요서

[품목지정공모 (기술개요서)]

품목명 : 레이저 절단/해체 기술 고도화 및 실증	51
품목명 : 확장 현실기반 해체 공정 검증 및 교육 시스템 개발	54
품목명 : 무기산 기반 화학제염 기기제염 실증 기술 고도화	56
품목명 : 대단위 극저준위 폐기물 제염용 자동화 연마제염 플랫폼 개발	58
품목명 : 플라즈마 및 유도가열 용융을 통한 폐기물 감용 기술 개발 실증	61
품목명 : 콘크리트 가열 분쇄를 통한 폐기물 감용 기술 개발 실증	64
품목명 : 원전해체시 발생하는 고농도/저농도 액체폐기물 통합 처리 기술개발	66
품목명 : 중수로 특화 C-14/HI-3 함유 폐활성탄 처리장치 개발 및 실증	69
품목명 : 저방사능 폐수지 열화학적 처리장치 개발 및 실증	72
품목명 : 중수로 폐수지 탱크내 혼합물 처리장치 개발 및 실증	74
품목명 : 원전 해체 현장 방사능 측정시스템 개발 및 실증	76
품목명 : 원전해체 대비 방사능분석 정도관리 기술개발 및 품질보증체계 구축	79
품목명 : 해체폐기물 핵종재고량 평가를 위한 핵종분석 및 간접평가법개발	81
품목명 : 원전해체 주요구조물에 대한 방사성핵종분포 및 신속 분석기술 개발	84
품목명 : 해체폐기물 내 난분석 핵종 준위별 분석 고도화 기술 개발	86

**‘23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서
(산업부, 품목지정)**

관리번호	2023-원자력-품목-1	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○) 실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품 목 명	레이저 절단/해체 기술 고도화 및 실증 (TRL : [시작] 6단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 레이저 절단은 원자로 부위별 형상에 구애받지 않고 절단 가능한 기술로 수증/공기중 원자로 원격절단을 위해 기술개발이 필요함(중수로 해체 기술로 적용성 검토 필요) ○ (경제성) 중소/중견기업 지원을 통한 레이저 절단 기술 개발로 장비 국산화를 통한 해외 해체시장 진출 기반 확보 ○ (정책성) 전세계적으로 원전 해체용 원격 절단 신기술로 경쟁적으로 개발되고 있는 레이저 절단/해체 기술에 대해 세계최고 수준의 기술 개발 및 검증 체계 확보	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 공기중/수중 레이저 원격절단 시스템/기반 고도화 및 실증 - 경수로형 수증/공기중 레이저 후판 절단 실증 - 중수로 특화 레이저 절단 실증 - 레이저 절단시 발생하는 에어로졸 파티클 포집기술 실증 - 해체 시나리오 기반 레이저 원격절단 시스템 제작 및 실증 - 경수로 방사화 구조물 레이저 원격절단 기술, 장비 실증을 통한 현장 적용성 검증 - 원전 해체 적용 가능 레이저 절단기술 성능평가 및 국내/외 레이저 절단 유사기술 검증 - 경수로 방사화 구조물(후판) 원격절단 기술 목표 * 수증, 절단 두께 (스테인레스스틸, 100 mm) : 절단속도 > 30 mm/min * 수증, 절단 두께 (스테인레스스틸, 200 mm) : 절단속도 > 10 mm/min - 중수로 방사화 구조물 원격 절단 기술 목표(칼란드리아 용기 기준) * 공기중, 절단 두께 (스테인레스스틸, >30 mm) : 절단속도 > 250 mm/min ○ 연구내용 [1단계] - 공기중/수중 레이저 절단 시스템 개발 - 레이저 절단헤드 설계 및 제작, 매니퓰레이터 설계 및 제작, 에어로졸 포집기술, 절단 현장 모니터링 기술, 방사능 차폐기술, 핵심설비(재료)에 대응 최적조건 DB 확보, 대형 절단장비 안전 운전 기술 등 개발 [2단계] - 공기중/수중 절단 실증 기반 구축 및 실증 - 레이저절단 실증 적용 수조, 매니퓰레이터 구축 - 경/중수로 원자로 Mock-up 활용 절단 시험 및 평가 - 레이저 원격절단, 실증을 통한 장비 운전, 안전성 등 검증 및 평가	

단계	년차	연차별 주요 기술개발 내용
1단계	1차년도	- 레이저 발전기 개발 및 절단 기반 환경 구축 - 공기중/수중 레이저 절단 헤드 설계 및 제작
	2차년도	- 수증 절단 시험 환경 구축 - 레이저 절단시 발생 에어로졸 포집장치 설계 - 매니퓰레이터 설계 및 제작
	3차년도	- 공기중/수중 레이저 절단 공정 기술 개발 및 최적화 - 레이저 절단시 발생 에어로졸 포집 장비 제작 및 평가 - 절단 현장 모니터링, 방사능 차폐기술 개발 - 핵심설비(재료)에 대응 최적조건 DB 확보 - 대형 절단장비 안전 운전 기술 등 개발
2단계	4차년도	- 레이저 절단시험용 수조 및 매니퓰레이터 구축 - 레이저 절단기술 검증 절차 및 절차서 개발
	5차년도	- 경/중수로 구조물 모의 Mock-up 활용 절단 실증 - 레이저 원격절단, 장비 운전, 안전성 등 검증 및 평가

○ **개발위험 극복방안**

- 수증 후판 레이저 절단기술 경험 기업의 참여 또는 면밀한 협력을 통해 장비 고도화 및 절단 성능 최대화 필요
- 원전해체연구소에 구축될 경수로 및 중수로 Mock-up에서 실증 수행 필요
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술 기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

3. 지원기간/추진체계	
---------------------	--

○ **기간** : 57개월 이내('23-'27)
(1단계 : 33개월, 2단계 : 24개월)

○ **정부납부기술료** : 징수
(1차년도 정부지원연구개발비 : 11억원 내외,
총 정부지원연구개발비 : 65.6억원 내외)

○ **주관연구개발기관** : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수)

○ **기타사항** :

- 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소*(이하 원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함
- * 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
고출력 레이저 절단 시스템	레이저를 이용한 원자로핵심설비 고 효율 원격절단 기술 실증	고출력 광섬유 레이저 발전기, 보조가스 공급장치, 절단헤드 이동/원격제어 장치, 절단 성능 모니터링 장치, 실험용 수조, 냉각기 등

** '원전해체연구산업 육성전략('19)'에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립

- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출

- 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
- 예비타당성 심의 과제번호 : 1-1-3

'23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (산업부, 품목지정)

관리번호	2023-원자력-품목-2	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○) 실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	확장 현실기반 해체 공정 검증 및 교육 시스템 개발 (TRL : [시작] 7단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 작업자 훈련용 AR/VR 시스템을 통해 복잡한 해체 환경에서의 작업자 숙련도 향상, 공정 지연 및 혼선 방지, 작업자 피폭 저감을 달성 ○ (경제성) 효과적인 작업자 훈련을 통해 현장 작업 효율성과 안전성을 제고하여 경제성을 높일 수 있으며, 4차 산업 기술 관련 산업으로 관련 일자리 창출에 기여 ○ (정책성) 원전해체산업의 국가적 허브로 구축되는 원전해체연구소는 인력양성기능이 한 축 이므로 해체현장 전문인력 육성 및 역량 강화를 뒷받침하기 위한 핵심 인프라 구축 필요	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 확장현실 기반 원전해체 전문인력 육성 훈련체계 및 감응형 작업자 훈련용 VR & AR 시스템 개발을 통해 해체 전문인력 양성 - Digital Mock-up을 활용한 해체공정/시나리오 검증을 통한 해체공정 개선 · 정밀도 60% 이상의 현실적 모델링 구현 ○ 연구내용 - 확장현실(VR/AR) 기반 원전해체 전문인력 육성 훈련체계 개발 · 해체 현장작업 지원 및 훈련 시나리오 개발, 확장현실 기반 원전해체 지원 및 훈련용 콘텐츠 구축 · 해체 인력 수준별(초급/중급/고급) 평가체계 개발 - 감응형 작업자 훈련용 VR & AR 시스템 및 시뮬레이션 플랫폼 개발 · 원전 해체작업 훈련 시뮬레이션 플랫폼 설계, 확장현실 기반 훈련용 VR & AR 기기 설계 및 개발 - Digital Mock-up을 활용한 해체 공정/시나리오 검증 · Digital Mock-up 활용 해체 공정 및 시나리오 검증 체계 구축 및 평가	
연차	연차별 주요 기술개발 내용	
1차년도	○ 확장현실 기반 해체 공정 검증체계 개발 - 해체 현장작업 지원 및 훈련 시나리오 개발 - 해체 인력 수준별(초급/중급/고급) 평가체계 개발 ○ 확장현실 기반 원전해체 현장 모사용 데이터 확보 기술 개발	
2차년도	○ 확장현실 기반 해체작업 훈련용 콘텐츠 개발 - 원자로 절단, 대형기기 절단 등 고방사선 피폭, 고난이도 해체 작업 위주 콘텐츠 개발 ○ 감응형 공정 검증 VR & AR 시스템 개발 - 확장현실 기반 훈련용 VR & AR 기기 설계 및 개발	
3차년도	○ 원전 해체작업 훈련 시뮬레이션 플랫폼 개발 ○ 인공지능 기반 훈련상황 분석 및 최적화 방안 제안 기술 개발	

4차년도	○ Digital Mock-up을 활용한 해체 공정/시나리오 검증 ○ 작업 공정 연동 훈련 시뮬레이션 및 작업자 훈련내용 평가 기술 개발
------	---

○ **개발위험 극복방안**

- 실제 절단/해체 장비의 물리적 현상(힘, 토크, 반응성 등)과 실제 절단/해체 결과를 예측할 수 있는 실제 실험 DB를 구축하고 이를 활용한 훈련 시뮬레이션 구축 필요
- 고리 1호기 해체 모의훈련이 가능한 기존 개발 시뮬레이션 결과를 활용할 수 있는 방안 필요
- 공기중/수중 원격 절단 Mock-up 등 해체 실증 장비와의 연계를 통한 디지털 트윈 기술 적용 가능성 평가 필요
- 해체 전공정을 사전에 면밀히 조사하여 확장 현실기반 해체 공정 검증 및 교육 훈련이 요구되는 공정에 대한 콘텐츠를 확보하고, 이에 적합한 평가 체계 확보
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술 기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

3. 지원기간/추진체계

○ **기간** : 45개월 이내('23-'26)
 (1차년도 정부지원연구개발비 : 8.7억원 내외, ○ **정부납부기술료** : 징수 총 정부지원연구개발비 : 39.2억원 내외)

○ **주관연구개발기관** : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수)

○ **기타사항** :

- 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소*(이하 원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함
- * 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
확장 현실기반 해체 공정 검증 및 교육 시스템	원전에 대한 경제적이고 효율적인 해체공정의 수립/검증과 작업자 훈련	대형 몰입형 가상화 시설/소프트웨어, 3차원 공정 모델링 및 시뮬레이션 소프트웨어/제작 도구, 실시간 렌더링 소프트웨어 등

** '원전해체연구산업 육성전략'(19)에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립

- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출
- 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
- 예비타당성 심의 과제번호 : 1-1-5

'23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (산업부, 품목지정)

관리번호	2023-원자력-품목-5	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)
		실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	무기산 기반 화학제염 기기제염 실증 기술 고도화 (TRL : [시작] 6단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 해외 상용기술 대비 공정성능(제염성능 및 2차발생량 저감)이 향상된 국내 원천기술의 고도화가 필요하며, 상용화 실증을 통한 국내 원천기술의 해외 수출 기반확보 필요 ○ (경제성) 원전 해체시장이 본격적으로 형성되는 시점에서 해체원전 주요기기 및 금속 폐기물 제염시장 선점을 위한 기술개발로 금속폐기물 자체처분 및 제염폐기물 발생량 최소화를 통한 폐기물 처분 비용 절감 필요 ○ (정책성) 국내 독자적으로 개발된 무기산 기반 무착화성 화학제염 기술의 기술성/적용성 확대 및 기기 제염 상용화를 위한 기술 고도화 필요	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 무기산 기반의 기기제염 상용설비(DF 20 이상, 50 μm 산화막 제거율 : 95% 이상) - 유기산 기반 화학제염 대비 2차 폐기물 발생량 50% 이상 감용 - 초음파 화학제염 기술(DF 30 이상, 산화막 제거율 : 97% 이상) - 2차 폐기물 고화체 처분기준(압축강도 3.44 MPa 이상, 침출지수 6 이상) 만족 - 상용기술 표준화 검증기술 확보 ○ 연구내용 - 무기산 기반 일차계통 주요기기/절단물 제염공정 변수 개발 * 산화막 제거율 97% 이상의 무기산 기반 기기제염 공정개발 * 무기산 분해 및 정화 공정 개발 - 무기산 기반 화학제염 상용규모 실증장치 개발 및 실증 * 복잡형상 절단물 화학제염 상용규모 실증장치 개발 * 화학 제염제 분해 및 침전 장치 개발 * 고효율 침전물 분리 장치 개발 - 2차 폐기물 고도처리 기술 개발 * 제염공정 폐기물 고화체의 안전성 및 처분 적합성 평가를 위한 실증장치 개발 * 2차 폐기물 고화체 처분성능 검증시험 및 평가 - 무기산 화학제염 상용규모 실증장치 개발 * 모사 산화막 제조장치 개발 * 모사 산화막 적용 제염성능 시험 평가 기술개발 * 상용화 실증장치 기능 시험 평가 기술개발 - 무기산 기반 화학제염 상용규모 성능검증 절차 표준화 * 상용규모 공정 및 장치 성능검증 표준절차 개발 * 무기산 기반공정 제염효과 평가를 통한 공정검증 적합성 평가 * 최종 폐기물 처분 적합성 요건 만족을 위한 폐기물 처리절차 개발	

년차	연차별 주요 기술개발 내용
1차년도	- 무기산 기반 일차계통 주요기기/절단물 제염공정 변수 개발 - 무기산 기반 화학제염 상용규모 실증장치 개발(개념설계 및 상세설계)
2차년도	- 무기산 기반 화학제염 상용규모 실증장치 구축 - 2차 폐기물 고도처리 기술 개발
3차년도	- 무기산 기반 화학제염 최적공정변수 확인 - 2차 폐기물 고화제 처분성능 검증시험 및 평가
4차년도	- 무기산 기반 화학제염 상용화 장비 성능검증 절차 표준화 - 무기산 기반 화학제염 상용화 장비에 대한 원전 유사환경 실증 수행

○ 개발위험 극복방안

- 화학공정-상용규모 실증장치-제작-검증기술 확보를 위해 산·학·연 연계를 통한 전략 수립이 필요함
- 상용규모 성능검증 절차 적정성 확보를 통한 검증절차 표준화 필요
- 2차 폐기물의 처분 적합성 평가를 위한 성능기준 확보를 위해 국내 처분기준 적용
- 최종폐기물은 화소공정과 열분해 공정을 동시 적용하여 산화물 형태의 침전물로 처리되며, 기기제염 발생 최종 폐기물 처분 관련 폐기물 관리기관 협의 필요
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술 기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 45개월 이내('23-'26)
(1차년도 정부지원연구개발비 : 13.3억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수
총 정부지원연구개발비 : 64.2억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 중소·중견기업
- 기타사항 :
- 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소(이하 원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함
* 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
절단물 화학제염 시스템	유기산 기반 화학제염 및 무기산 기반 화학제염 고도화 기술개발 시설제공	화학제염장치(약품 탱크, 이온교환기, 냉각장치, 잔류유기산 분해장치, 초음파 장치 등), Hybrid 침전장치, 제염폐액 처리시스템 등

** '원전해체연구산업 육성전략('19)'에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립

- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출
- 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
- 예비타당성 심의 과제번호 : 1-2-6

'23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (산업부, 품목지정)

관리번호	2023-원자력-품목-7	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)
		실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	대단위 극저준위 폐기물 제염용 자동화 연마제염 플랫폼 개발 (TRL : [시작] 7단계 ~ [종료] 9단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 연마재 재활용을 통해 2차 폐기물을 최소화하는 기술과 배관 등 대량 발생 해체폐기물 제염 자동화 기술은 해체 작업자 안전 확보에 필수적인 기술임 ○ (경제성) 연마제염 기술은 제염속도가 빠르며, 오염 표면조건의 영향이 없고 액체폐기물 발생이 없으므로 제염 폐기물량을 줄일 수 있음. 제염 생산성 제고를 위해 자동화 플랫폼 개발 필요 ○ (정책성) 해체시 대량으로 발생하는 다양한 오염특성을 지닌 금속폐기물을 자체처분 가능 준위까지 제염하고 2차 폐기물을 최소화하는 기술 개발로 주민수용성 제고 가능	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 대단위 극저준위 폐기물 자동화 연마제염 상용장치 개발 및 실증 · 표면 제거깊이: > 20~25 $\mu\text{m/pass}$, 제염속도: > 3 m^2/h · 공정자동화율: > 90% · 최종 폐기물 처분 적합성 확보 · 상용기술 표준화 검증기술 확보 · 기기제염 시험을 위한 상용 모의설비 개발 ○ 연구내용 - 연마재 제염 및 재활용 공정 실증 기술 개발 · 연마 특성 평가용 표준 모사시험편 개발 · 재료 표면 조건에 따른 연마 특성 변수 개발 · 연마재 분리 효율에 따른 재활용 특성 평가 · 모재표면 20~25 μm 제거수준의 연마재 재활용 공정 표준화 - 자동화 연마제염 상용규모 실증 플랫폼 개발 및 실증 · 실증장치 성능기준(표면 제거깊이 > 20~25 $\mu\text{m/pass}$, 제염속도 > 3 m^2/h) · 실증플랫폼 상용장치 구성 * 자동 인입/인출 장치 * 방사선 온라인 측정 장치 * 자동화 연마 챔버, 연마재 분사/회수 분리 챔버, 고압공기 챔버 * 고효율 집진 장치 - 폐 연마재 처분 적합성 기술 개발 · 폐 연마재 처분 적합성 평가 기술개발 · 폐 연마재 최종 처분을 위한 고정화 기술개발 - 상용기술 및 장치 검증 기술개발 · 모사 산화막 제조 시험편 성능평가 기술개발 · 모사 산화막 적용 제염성능 시험 평가 기술개발	

제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
 - 예비타당성 심의 과제번호 : 1-2-8

- 상용화 실증 플랫폼 기능 시험 평가 기술개발
- 자동화 연마제염 플랫폼 성능검증 절차 표준화
- 상용규모 공정 및 장치 성능검증 표준절차 개발
- 최종 폐기물 처분 적합성 요건 만족을 위한 폐기물 처리절차 개발

년차	연차별 주요 기술개발 내용
1차년도	- 연마제 제염 및 재활용 공정 실증 기술 개발 - 자동화 연마제염 상용규모 실증 플랫폼 개발 및 실증
2차년도	- 자동화 연마제염 실증 Mock-up 개발 - 자동화 연마제염 성능시험 및 최적 공정 개발
3차년도	- 폐 연마제 처분 적합성 기술 개발 - 상용화 장비 공학적 성능검증 및 절차 표준화

○ 개발위험 극복방안

- 연마제 재활용에 따른 제염특성 및 재활용시에도 제염성능을 유지할 수 있도록 사전 검증 및 기술 표준화 검토 필요
- 상용규모 성능검증 절차 적정성 확보를 통한 검증절차 표준화 필요
- 제염 특성평가, 상용규모 실증장치, 자동화, 검증기술 확보를 위해 산·학·연 연계를 통한 전략 수립이 필요함
- 2차 폐기물의 처분 적합성 확보를 위한 국내 처분기준 설정
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 33개월 이내('23-'25)

(1차년도 정부지원연구개발비 : 13.3억원 내외,
 총 정부지원연구개발비 : 56.7억원 내외)

○ 정부납부기술료 : 징수

○ 주관연구개발기관 : 중소·중견기업

○ 기타사항 :

- 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소^{*)}(이하 원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함

* 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
연속식 자동화 연마제염 시스템	절단물, 부품 등의 자동 연마제염 공정 개발, 검증 및 인력양성	자동화 연마제염 장치, 연속식 연마제 분사장치(분사장치, 연마제 탱크, 사이클론, 트위스트 스크린, 버킷 엘리베이터, 연속분사탱크) 등

** '원전해체연구산업 육성전략('19)'에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립

- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출
- 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상

**‘23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서
(산업부, 품목지정)**

관리번호	2023-원자력-품목-8	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○) 실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○)	
품목명	플라즈마 및 유도가열 용융을 통한 폐기물 감용 기술 개발 실증 (TRL : [시작] 6단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 원전 해체 시 발생하는 방사성혼합폐기물(Mixed waste, 독성 또는 유해성 물질이 포함된 방사성폐기물), 금속폐기물을 감용하기 위한 상용기술 및 설비 부재 ○ (경제성) 중·저준위 혼합폐기물, 저준위/극저준위 금속폐기물을 감용할 수 있는 상용 규모의 설비를 구축하여 해체 및 처분 비용 절감 ○ (정책성) 원전 해체 시 방사성폐기물 처분량 목표인 호기당 14,500드럼 달성을 위해 발생기관과 처리/처분사업기관에 주요 방사성 폐기물 실태 파악과 처분적합성을 고려한 개별 처리방법 제공 필요	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 플라즈마, 유도가열 용융을 통한 폐기물 감용 기술 실증 · 혼합폐기물(Mixed waste) 연속처리용 플라즈마 용융 시스템 개발 및 설비 국산화 · 금속폐기물 대상 상용 규모 진공 유도가열 용융로 및 배기체 처리 설비 구축 · 혼합 및 금속 폐기물 인도/인수기준 적합성 평가 ○ 연구내용 [1단계] - 플라즈마 토치, 용융로, 배기체 설계, 제작 및 설치 · 방사성 석면 분해율 : 99% 이상, 혼합폐기물 감용비 : 5 이상 · 플라즈마 토치 및 용융로 운영/제어 프로세스 개발 및 구축 · 처리대상 폐기물(해체시 발생하는 혼합폐기물) 감용화 및 유리화 실증시험 - 상용규모 진공 유도가열 용융로 및 배기체 처리설비 설계, 제작 및 설치 · 정격출력 500 kW급 이상, 처리용량 500 kg/batch · 폐기물 발생량 : 공기중 유도가열 대비 슬래그 발생량 1/10 이하 · 원자력안전법 및 대기환경보전법에 부합하는 배기체 처리기술 개발 [2단계] - 플라즈마 토치 용융설비 운영 최적화 프로세스 개발 · 혼합 폐기물 연속 투입, 배출 공정 개발 · 용융 고화물 처분적합성 검증 - 진공 유도가열 용융로 실증 및 최적 공정 변수 개발 · 금속폐기물 감용을 위한 최적 운전절차 개발 및 실증 · 방사성 금속폐기물 용융에 따른 방사선학적 특성 규명	

단계	년차	연차별 주요 기술개발 내용
1단계	1차년도	○ 혼합폐기물, 금속폐기물 등 처리 대상 방사선학적 폐기물 특성평가 ○ 플라즈마 토치, 용융로 개념 설계 및 용융설비 핵심 소재·부품 등 설계, 제작 ○ 상용규모 진공 유도가열 용융로 및 배기체 처리설비 설계 및 발주
	2차년도	○ 플라즈마 토치 및 용융로 제작 및 배기체 처리설비 등 설계 ○ 상용규모 진공 유도가열 용융로 제작, 설치 및 배기체 처리설비 구축 - 원격 운전장치 및 안전강화설비(슬래그 제거장치 등) 설계 및 제작
	3차년도	○ 플라즈마 토치 및 용융로 운영 시스템 및 제어 프로세스 구축 - 해체 혼합폐기물 감용 및 유리화 실증시험 ○ 모의 방사성 금속폐기물 활용 상용규모 진공 유도가열 용융로 성능 평가 - 원격운전장치, 안전강화설비, 대표시료 채취용 장비, 배기체 처리설비 실증
2단계	4차년도	○ 플라즈마 토치 및 용융로 폐기물 연속 투입·배출 공정 실증 - 플라즈마 토치 용융설비 운영/정비 프로세스 개발, 용융 고화물 처분적합성 검증 ○ 상용규모 진공 유도가열 용융로 실증 - 방사성 금속폐기물 용융에 따른 방사선학적 특성 규명 및 방사성 핵종 거동 DB 구축 - 방사성 금속폐기물 감용을 위한 최적 공정 변수 개발(II)
	5차년도	○ 플라즈마 용융 시스템 운영 최적화 프로세스 개발 및 표준화 ○ 진공 유도가열 용융로 최적 운영 및 정비 절차 개발 및 관련 자료집 생산 - 용융 처리 후 금속 주괴(ingot) 재활용 및 2차폐기물 처분 방안 수립
○ 개발위험 극복방안 - 폐기물 용융시 발생할 수 있는 다량의 배기체에 대해 환경배출기준을 만족하기 위한 배기체 처리설비를 설치하여 시설을 운영 - 해체 사업자의 해체 일정을 고려하여 유연성을 확보한 기술개발 계획의 수립 - 해체 사업자의 중합 방폐물 처리시설에서의 활용을 위하여 규제, 안전관리 요건 검토 및 폐기물 관리기관 협의 필요 - 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요 - 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함 - 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술 기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함 ○ 안전관리 사항 - 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발성과 제출시 ‘연구개발과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함) - 위험물질 취급 연구개발과제 여부 : ○ · 고온의 용융시 발생하는 기체(배기체 처리설비 필요)		
3. 지원기간/추진체계		
○ 기간 : 57개월 이내(‘23-’27) (1단계 : 33개월, 2단계 : 24개월) ○ 정부납부기술료 : 징수 (1차년도 정부지원연구개발비 : 18.8억원 내외 총 정부지원연구개발비 : 96.6억원 내외) ○ 주관연구개발기관 : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수) ○ 기타사항 : - 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소*이하		

원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함 * 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비		
장비명	주요 용도	세부 사항
해체 복합유해폐기물 열처리 시스템	처분부적합 복합유해폐기물 열처리 기술개발 및 실증 복합유해폐기물 열처리 시스템 최적 운전절차 개발 복합유해폐기물 고화체 처리/처분 기술개발	플라즈마 토치, 전원공급장치, 용융로, 플라즈마토치 화염 생성 및 제어 가스 공급장치, 유량제어장치 등
해체 금속폐기물 진공 유도가열 용융로 및 배기체 처리 설비	방사성 금속폐기물의 진공유도로를 이용한 용융 기술 공학검증	고주파 출력장치, 변압기 및 원격 제어반, 진공용 유도 용해로, 수냉 케이블 및 용해로, 경동장치, 냉각/진공챔버 등
** '원전해체연구산업 육성전략(19)'에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립 - 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출 - 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함 - 예비타당성 심의 과제번호 : 1-3-1, 1-3-2		

'23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (산업부, 품목지정)		
관리번호	2023-원자력-품목-9	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)
		실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○)	
품목명	콘크리트 가열 분쇄를 통한 폐기물 감용 기술 개발 실증 (TRL : [시작] 7단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성		
○ (기술성) 격납건물 등 원전 해체 시 발생하는 콘크리트 폐기물을 감용하기 위한 상용 기술 및 설비 부재 ○ (경제성) 해체시 가장 많은 부피를 차지하는 콘크리트 폐기물을 감용할 수 있는 상용 규모의 설비를 구축하여 해체 및 처분 비용 절감 ○ (정책성) 원전 해체 시 방사성폐기물 처분량 목표인 호기당 14,500드럼 달성을 위해 발생기관과 처분사업기관에 주요 방사성 폐기물 실태 파악과 처분적합성을 고려한 개별 처리방법 제공 필요		
2. 품목정의		
○ 최종목표 - 콘크리트 가열 분쇄를 통한 폐기물 감용 기술 실증 · 원전 해체 콘크리트 폐기물 가열분쇄 감용설비 상용화 기술 개발 · 콘크리트 폐기물 인도/인수기준 적합성 평가 ○ 연구내용 - 해체 방사성 콘크리트 폐기물 감용 설비 설계 및 구축 · 처분부피 : 1/2 이하, 인수기준 : 압축강도 3.44 MPa 이상, 침출지수 6 이상 · 해체 방사성 콘크리트 폐기물 건/습식 통합 분리기술 평가 · 방사성 시멘트 미분말 안정화 처리 단위 장치 평가 - 콘크리트 폐기물 가열분쇄 감용 실증 · 콘크리트폐기물 건/습식 통합 분리기술 검증 · 통합 공정의 최적화, 공정 안전성 평가 및 절차 개발 · 방사성 시멘트 미분말 안정화/포장 공학기술 검증 · 최종 처분대상 콘크리트 폐기물 인도/인수기준 만족성 평가		
년차	연차별 주요 기술개발 내용	
1차년도	- 시멘트/골재 분리 특성 평가 및 설계 고도화 인자 도출 - 해체 방사성 콘크리트폐기물 감용 설비 기본 설계	
2차년도	- 해체 방사성 콘크리트폐기물 건/습식 통합 분리기술 특성 평가 - 해체 방사성 콘크리트폐기물 감용 설비 상세 설계 및 구축	
3차년도	- 해체 방사성 콘크리트폐기물 건/습식 통합 분리기술 검증 체계 개발 - 통합 공정의 경계 간 고도화 및 처리공정 안전성 평가	
4차년도	- 해체 방사성 콘크리트폐기물 건/습식 통합 분리 최적 실증, 공정변수 도출 및 운영절차 개발 - 방사성 시멘트 미분말 안정화/포장 공학기술 검증 - 최종 처분대상 콘크리트폐기물 인도/인수기준 만족성 평가	

○ 개발위험 극복방안

- 해체 사업자의 해체 일정을 고려하여 유연성을 확보한 기술개발 계획의 수립
- 해체 사업자의 종합 방폐물 처리시설에서의 활용을 위하여 규제, 안전관리 요건 검토 및 폐기물 관리기관 협의 필요
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술 기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

○ 안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발성과 제출시 ‘연구개발과제별 안전관리계획’을 제출해야 함(적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 위험물질 취급 연구개발과제 여부 : ○
- 고온상태에서 콘크리트 파쇄시 마쇄과정에서 기화되는 방사성물질

3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 45개월 이내('23-'26)

(1차년도 정부지원연구개발비 : 7.1억원 내외,
총 정부지원연구개발비 : 30.3억원 내외)

○ 정부납부기술료 : 징수

○ 주관연구개발기관 : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수)

○ 기타사항 :

- 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소*(이하 원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함
- * 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
해체 콘크리트 폐기물 가열분쇄 감용 실증설비	방사성 콘크리트폐기물의 감용 기술 공학검증 원전 해체시 발생하는 방사성 콘크리트 폐기물의 건/습식 통합 분리를 통한 분리/감용 기술 및 2차폐기물 처리 기술의 공학규모 성능검증	가열분쇄장치, 전동 드럼 리프트 설비, 가스처리 및 배기체 처리 설비, 미분말 분류 및 믹싱 설비 등

** '원전해체연구산업 육성전략('19)'에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립

- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출
- 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
- 예비타당성 심의 과제번호 : 1-3-3

'23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (산업부, 품목지정)

관리번호	2023-원자력-품목-10	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)
		실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	원전해체시 발생하는 고농도/저농도 액체폐기물 통합 처리 기술 개발 (TRL : [시작] 7단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 절단칩, 입자성 고형물, 유/무기염 등이 포함된 물리·화학 및 방사선학적 특성이 다양한 액체 방사성폐기물을 처리할 수 있는 실증규모의 공정기술 개발 필요. 특히 난분해성과 킬레이트 성분을 함유하고 있는 제염폐액은 방폐물 처분장 반입이 불가하여 처분적합성 확보를 위한 기술개발 필요 ○ (경제성) 원전 해체 시 발생하는 다양한 액체폐기물 및 유기폐액을 처리/감용함으로써 해체폐기물 처분비용 절감에 기여. 상품화 이후 국외시장에 경쟁력 확보 가능 ○ (정책성) 다양한 해체폐기물 단위 처리/감용 기술개발은 이루어졌으나, 실증 처리설비 규모의 폐기물 처리시험을 통한 실제 원전 현장 적용성은 미확인됨. 해체 폐기물의 다양한 형상/재질/오염형태별 최적 공정변수를 확인하여 처리/감용 효율성 증대 및 2차 폐기물 발생량 저감 필요	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 원전해체시 발생하는 대량의 저농도 액체폐기물과 화학제염 등에서 발생하는 고농도의 제염폐액을 처리할 수 있는 통합 처리기술의 개발 및 실증 * 액체폐기물 : 핵종제거율 : 99.5% 이상, 설비 규모 : 1000 L/batch 이상 * 제염폐액 처리 : 유기물 분해효율 : 95% 이상, 처리속도 : 1 m³/hr ○ 연구내용 - 원전해체 액체폐기물 고액 분리, 고효율 탈염 시스템 개발 · 해체시 제염·절단 공정폐액 발생특성 평가 * 발생장소, 예상 발생량, 방사능 특성 등 * 대표 제염·절단 공정폐액 대상 공정변수 도출 · 상용규모 액체폐기물 처리시스템 개발 및 실증 * 방사성 핵종제거 침전·분리 시스템 구축 및 실증 * 방사성 핵종 제거 연속식 이온교환 설비 개발 및 실증 * 고효율 탈염 시스템 개발 및 실증 * 액체방사성폐기물 고액 분리 여과 설비 개발 및 실증 · 상용설비 소재, 장비 개선사항 도출 및 현장 적용성 보완사항 도출 · 국내개발 액체폐기물 처리기술 상용/공학적 규모 통합 실증 시스템 구축 · 既개발 또는 신규개발 통합 폐기물 처리기술의 실증 및 현장 적용성 확인 * 해체폐기물 처리기술 표준 실증절차 수립 * 실증 시스템을 활용하여 Scale-up된 실증, 성능평가, 개선사항 도출 · 액체방사성폐기물 처리 실증 장비별 성능평가 및 운영절차 개발 - 난분해성 고방사성 제염폐액 처리기술 및 장치 개발	

- 원전해체 화학제염폐액 및 유기폐액 특성평가
 - * 발생처, 예상 발생량, 오염물질 종류
- 화학제염폐액 및 유기폐액 특성에 따른 최적 전처리 공정 요건 도출
 - * 최적 분해 조건, 분별종류, 유기물질 종류에 따른 물리화학적 분해 요건 등
- 침지형 수중플라즈마 제염 및 유기폐액 분해처리공정 개발
 - * 수중플라즈마 유기폐액 분해처리 시스템 개발 및 평가
- 수중폐기물 및 배기체 처리시스템 개발
 - * 수중 방사성 크러드(CRUD) 및 이물질 여과 처리 기술
 - * 방사성 폐액의 응집, 침전 및 탈수·건조처리기술
 - * 수중 발생 배기체의 흡착 및 제거기술
- 원전 현장 실증시험 또는 실제 조건과 유사한 Test Bed를 이용한 성능실증시험
- 침지형 수중플라즈마 통합처리시스템 운영절차 개발

년차	연차별 주요 기술개발 내용
1차년도	- 해체시 제염·절단 공정폐액 발생특성(발생장소, 예상 발생량, 방사능 특성 등) 평가 - 방사성 핵종제거 침전·분리 시스템, 연속식 이온교환 설비 구축/평가 - 화학제염폐액 및 유기폐액 특성에 따른 최적 전처리 공정 요건 도출
2차년도	- 고효율 탈염 시스템, 액체방사성폐기물 고액 분리 여과 설비 구축 및 평가 - 침지형 수중플라즈마 제염 및 유기폐액 분해처리공정 개발
3차년도	- 상용설비 소재, 장비 개선사항 도출 및 현장 적용성 보완사항 도출 - 국내개발 액체폐기물 처리기술 상용/공학적 규모 통합 실증 시스템 구축 - 수중폐기물 및 배기가스 처리시스템 개발
4차년도	- 既개발 또는 신규개발 통합 폐기물 처리기술의 실증 및 현장 적용성 확인 - 액체방사성폐기물 처리 실증 장비별 성능평가 및 운영절차 개발 - 원전 현장 실증시험 또는 실제 조건과 유사한 Test Bed를 이용한 성능실증시험 - 침지형 수중플라즈마 통합처리시스템 운영절차 개발

○ 개발위험 극복방안

- 해체 현장에서 발생가능한 고농도/저농도 액체폐기물 특성(예상 발생량, 오염 준위, 주요 핵종 등)과 원전해체 경쟁력강화 기술개발사업의 제염분야 다른 연구개발 과제에서 발생하는 제염폐액 특성 등을 반영하기 위해, 해체사업자와 상기 제염 과제 연구개발기관과 밀접한 정보교류 필요
- 해체시 발생하는 대량의 액체폐기물을 단계적으로 처리하여 2차 폐기물 발생량 최소화
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술 기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 45개월 이내('23-'26)
(1차년도 정부지원연구개발비 : 13.9억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수 총 정부지원연구개발비 : 64.3억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 중소·중견기업
- 기타사항
 - 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소²⁾(이하

원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함

* 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
원전해체 액체폐기물 고액분리, 고효율 탈염 시스템	핵종 제거/침전 및 이온교환 처리 실증 고효율 탈염 실증 고액분리 여과 실증	침전시스템, 고액분리 장치, 이온교환 장치, 공정운전 데이터 수집 시스템, 모듈식 RO 시스템, 전처리 filter 시스템, 증발 농축 시스템 등
침지형 수중플라즈마 난분해성 제염폐액 처리 장치	원자로냉각재 계통, 각종기기, 배관 및 저장조 등의 제염 시 발생하는 고방사성 화학제염폐액의 처리를 위한 수중 플라즈마를 이용한 oxidation 분해/정화 처리 및 방사성크러드 포집	침지형 수중플라즈마 분해/처리 시스템, 침지형 방사성 크러드 정화처리 시스템, Filter Basket/Filter Skid Frame 등

- ** '원전해체연구산업 육성전략('19)'에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립
- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출
 - 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
 - 예비타당성 심의 과제번호 : 1-3-4, 1-3-5

관리번호	2023-원자력-품목-11	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)
		실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	중수로 특화 C-14/H-3 함유 폐활성탄 처리장치 개발 및 실증 (TRL : [시작] 6단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원 필요성		
○ (기술성) 가압중수로 특성상 C-14/H-3를 포함한 폐활성탄이 발생되고, 이를 별도의 처리 과정을 통해 안전한 형태로 전환 및 감용하여 효율적인 관리 방안 확보 ○ (경제성) 폐활성탄은 발생량이 많고 부피가 크기 때문에 HIC 등을 이용하여 처분할 경우 막대한 처분비용이 예상되므로 처리 공정 개발을 통한 폐기물 감량으로 폐기물 처분 비용 감소 ○ (정책성) 영구정지된 월성1호기는 CANDU형 가압중수로로 전 세계적으로 해체 경험이 없어 맞춤형 기술개발이 필요하며 해체 일정에 맞춘 적기 기술확보 필요		
2. 품목정의		
○ 최종목표		
중수로 운영 및 해체 시 발생하는 난처리성 폐활성탄 처리장치 개발, 시스템 실증 및 상용기술 확보 * C-14/H-3 함유 폐활성탄 처리 열화학적 공정을 통한 규제해제 처리 및 재활용성 검증 * 처분부피 1/10 이하로 감용 및 처분장 인수기준 만족 * 처리 후 95% 이상 재활용성 확보 여부 * 배기가스의 배출관리기준 1/10 이하 만족		
○ 연구내용		
- 중수로 원전 발생 C-14/H-3 함유 폐활성탄 물리화학적 특성 규명 * 폐활성탄 내 C-14/H-3 함유 화합물과 활성탄 매질 간 결합특성 규명 - C-14/H-3 함유 폐활성탄 열화학적 처리공정 scale-up 연구 * 실증규모 폐활성탄 열화학적 처리공정 조건 도출 - 실증규모 C-14/H-3 함유 폐활성탄 열화학적 처리설비 상세설계 - 중수로 C-14/H-3 함유 폐활성탄 규제해제 처리공정 실증 * 실증규모 C-14/H-3 함유 폐활성탄 열화학적 처리설비 구축 및 운전 평가 * 폐활성탄 처분부피 감용 및 배기가스 배출관리기준 만족여부 검증 - 처리 후 폐활성탄의 원전 내 재활용성 검증 * 규제해제 처리후 폐활성탄 기공 및 비표면적 재활용성 연구 * 폐활성탄 기능성 물질 침착에 의한 원전내 재활용성 검증		

년차	연차별 주요 기술개발 내용
1차년도	- 중수로 원전 발생 C-14/H-3 함유 폐활성탄 물리화학적 특성 규명 - 폐활성탄내 C-14/H-3 함유 화합물의 활성탄 매질과 특성 규명
2차년도	- C-14/H-3 함유 폐활성탄 열화학적 처리공정 조건 도출 - 실증규모(100 L/batch) 중수로 C-14/H-3 함유 폐활성탄 열화학적 처리장비 설계
3차년도	- 실증규모(100 L/batch) 중수로 C-14/H-3 함유 폐활성탄 처리 장치기술 실증 - C-14/H-3 함유 폐활성탄 규제해제 처리 공정기술의 검증(공인시험 및 인증)
4차년도	- 규제 면제화 처리후 폐활성탄 기공 및 비표면적 재활성화 연구 - 처리후 폐활성탄 재활성화 및 기능성 물질의 첨가에 의한 원전내 재활용성(CH ₄ 투과율) 검증

- 본 연구는 방사성 해체폐기물의 처리기술 실증을 목표로 하고 있으므로, 실패기물을 이용한 장치 성능검증 및 현장 적용성 평가가 수행되어야 함
- 본 연구의 실증 시험은 원전해체연구소에서 수행하는 것으로 계획되어 있으므로, 실증 설비의 규모, 실증 대상 폐기물, 작업 조건 등은 실증 시설의 상황에 맞추어 변경될 수 있음을 고려해야 함
- 본 연구를 통해 개발하고자 하는 폐활성탄 처리 공정에서 발생하는 배기가스에 대한 적절한 설비를 도입하여 방사성핵종 및 유해 중금속, 가스의 배출에 대한 환경 무해성을 확인해야 함
- 특히 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

○ 기간 : 45개월 이내('23-'26)
 (1차년도 정부지원연구개발비 : 6.2억원 내외, **○ 정부납부기슬료** : 징수
 총 정부지원연구개발비 : 29.1억원 내외)

○ 주관연구개발기관 : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수)

○ 기타사항

- 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소^{*)}(이하 원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함
- * 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
중수로 특화 C-14/H-3 폐활성탄 열화학적 처리 설비	원전이나 원자력시설에서 발생 하는 폐활성탄의 열화학적 처리기술 실증	폐활성탄 열화학적 처리 시험장치, 가스 촉매산화 시험장치, CO ₂ 포집장치, 잔류핵종 안정화 시험장치, 전기 및 자동제어 장치 등

- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며
공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음
다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여
제출
- 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약

연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
- 예비타당성 심의 과제번호 : 1-3-6

‘23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (산업부, 품목지정)

관리번호	2023-원자력-품목-12	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○) 실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	저방사능 폐수지 열화학적 처리장치 개발 및 실증 (TRL : [시작] 6단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 발생량이 많은 저방사능 폐수지 폐기물을 별도의 처리 과정을 통해 안정한 형태로 전환하여 효율적인 관리 및 안정성 확보 ○ (경제성) 폐수지는 발생량이 많고 부피가 크기 때문에 HIC 등을 이용하여 처분할 경우 막대한 처분비용이 예상되므로 처리 공정 개발을 통한 폐기물 감량으로 폐기물 처분 비용 감소 ○ (정책성) 원전 해체 시 방사성폐기물 처분량 목표인 호기당 14,500드럼 달성을 위해 종래 개발된 단위 처리/감용 기술의 장치 개발 및 실증을 통한 실제 원전 현장 적용성 확보가 필요	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 원전 운영 및 해체 시 발생하는 저방사능 폐수지 처리장치 개발, 시스템 실증 및 상용기술 확보 * 저방사능 폐수지 열화학적 처리장치 개발 및 규제해제 처리기술 검증 * 처분부피 1/10 이하로 감용 및 처분장 인수기준 만족 * 폐수지 제염계수 100 이상 만족 * 배기가스의 배출관리기준 1/10 이하 만족 ○ 연구내용 - 저방사능 폐수지 열화학적 처리장치 개발 및 고도화 · 저방사능 폐수지 열화학적 처리장치 설계 및 제작 · 저방사능 폐수지 열화학적 처리 실증용 배기가스 처리장치 설계 및 제작 · 모의 폐수지를 이용한 핵종제염 적정조건 도출 및 배기가스 처리장치 최적화 - 저방사능 폐수지 열화학적 처리기술 실증 · 원전 발생 저준위 폐수지를 이용한 통합 처리시스템 실증 · 저방사능 폐수지 핵종 제거를 통한 규제해제 처리기술 검증	
연차	연차별 주요 기술개발 내용	
1차년도	- 실증용 저방사능 폐수지 열화학적 처리공정 설계 최적화 - 실증용 배기가스 처리공정 설계 변수 및 공정 확립	
2차년도	- 실증용 저방사능 폐수지 열화학적 처리설비 설계 및 제작 - 실증용 배기가스 처리장치 설계 및 제작 - 모의 폐수지를 이용한 핵종제염 적정조건 도출 - 발생가스 특성 분석 및 처리장치 최적화	
3차년도	- 원전 또는 유사환경 폐수지를 이용한 통합 처리설비 실증 및 검증 수행	

3차년도	중수로 원전 실제 혼합폐기물 대상 실증 수행 개발장비에 대한 성능검증 및 공정변수 확인
------	---

○ 개발위험 극복방안

- 본 연구는 방사성 해체폐기물의 처리기술 실증을 목표로 하고 있으므로, 실제 폐기물을 이용한 장치 성능검증 및 현장 적용성 평가가 수행되어야 함
- 본 연구의 실증 시험은 원전해체연구소에서 수행하는 것으로 계획되어 있으므로, 실증 설비의 규모, 실증 대상 폐기물, 작업 조건 등은 실증 시설의 상황에 맞추어 변경될 수 있음을 고려해야 함
- 본 연구를 통해 개발하고자 하는 폐기물 처리 공정에서 발생하는 배기가스에 대한 적절한 설비를 도입하여 방사성핵종 및 유해 중금속, 가스의 배출에 대한 환경 무해성을 확인해야 함
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술 기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 33개월 이내('23~'25)
(1차년도 정부지원연구개발비 : 7.2억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수
총 정부지원연구개발비 : 26억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수)
- 기타사항 :
- 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비는 (재)원전해체연구소*(이하 원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함
* 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
폐수지 혼합물 핵종제거 : 중수로 폐수지 탱크 혼합물 핵종 제거장치	모의 폐혼합물을 이용한 폐혼합물 제거장치 운전 최적화 중수로 원전 폐수지 저장탱크 내 혼합물 처리기술 실증	폐수지 저장탱크 내 방사성폐기물 분리장치, β 핵종 제거장치, 폐혼합물 내 방사성핵종 제거장치 등

- ** '원전해체연구산업 육성전략('19)'에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립
- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출
- 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
- 예비타당성 심의 과제번호 : 1-3-7

'23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (산업부, 품목지정)

관리번호	2023-원자력-품목-14	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)
		실증형(○)
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	원전 해체 현장 방사능 측정시스템 개발 및 실증 (TRL : [시작] 7단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 해체 대상 시설 및 구조물의 방사선학적 특성평가 기술은 해체 전주기에 필수적인 기술로 해체 현장에서 다양한 해체폐기물의 자체처분을 위한 현장 방사능 측정 실증체계를 구축하여 작업자 안전성 향상 및 방사성폐기물을 효율적으로 저감할 수 있는 기술 고도화 및 현장 적용 검증체계 구축 필요 ○ (경제성) 해체 작업의 효율성 및 안전성을 확보하고, 토양을 포함한 대량의 해체 폐기물을 현장에서 신속 측정 분류할 수 있는 기술 및 실증체계 구축을 통한 경제성 확보 및 해외 해체시장 진출을 위한 상용기술 확보 필요 ○ (정책성) 원전 부지에서 발생한 오염 토양이 적절히 처리되지 않을 경우, 다량의 폐기물 발생 및 오염 확산 가능성이 있으며, 해체 비용 및 일정에 영향을 줄 수 있어 정확한 방사능 측정으로 방사성폐기물 발생 저감 및 처분 안전성을 높여 주민수용성 확보에 기여	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 원전 해체 현장 방사능 측정시스템 개발 및 실증 · 실시간 토양 측정 및 분류시스템: 처리속도 1 ton/hr 이상, 최소검출가능농도(MDA) · 자체처분허용 농도의 1/10 (0.01 Bq/g) 이하) · 대용량 자체처분 해체폐기물 측정 및 검증시스템: 처리속도 2 ton/hr 이상, 최소 검출가능농도(MDA) · 자체처분 허용 농도의 1/10 (0.01 Bq/g) 이하) · 형상인식 기반 현장 방사능 측정 및 표면오염도 자동 측정기술 검증 및 실증체계 구축 ○ 연구내용 - 해체부지 오염 토양 실시간 측정 및 분류 시스템 개발 · 오염 토양 실시간 감마선 스펙트럼 분석을 통한 핵종별 오염도 측정 · 원전 부지 지질특성을 반영한 실시간 측정 및 분류 공정 최적화 설계 · 오염 토양 측정 및 분류시스템 구축 및 최적 운전변수 도출 성능검증 · 상용규모 실시간 토양 측정 및 분류시스템 구축 및 실증 - 원전해체 방사능 현장 실증체계 구축 및 평가기술 개발 · 원전 해체를 위한 현장 방사능 측정기술 검증 및 실증체계 구축 · 해체 대상 형상인식 기반 3차원 방사능 측정시스템 구축 및 성능평가 · 대용량 자체처분 해체폐기물 측정 및 검증시스템 구축 및 성능평가 · 해체 시설 표면오염도 자동 측정시스템 구축 및 성능검증	

년차	연차별주요기술개발내용
1차년도	- 해체시 발생하는 토양 폐기물의 물리화학적 특성평가 - 오염 토양 실시간 측정 및 오염도에 따른 분류 공정 개발 - 원전해체 현장 방사능 측정기술 개발/실증을 위한 품질관리 지원체계 구축 - 자체처분 대상 해체폐기물 특성을 반영한 핵종 DB 구축
2차년도	- 토양 폐기물 특성 기반 실시간 오염도 측정 시스템 설계 - 토양 입도, 오염도에 따른 연속형 토양 분류 시스템 설계 - 해체 환경 인식용 특성정보 라이브러리 구축 및 환경정보 취득 기술개발 - 대용량 자체처분 대상 해체폐기물 검증장비 개념 설계 - 해체 건물의 바닥/벽면 표면오염도 자동 측정장비 개념 설계
3차년도	- 토양 폐기물 실시간 오염도 측정 시스템 개발 - 토양 입도, 오염도에 따른 연속형 토양 분류 시스템 개발 - 형상인식 기반 현장측정 시스템 구축 및 성능평가 - 대용량 자체처분 대상 해체폐기물 검증장비 개발 및 실증 - 해체 건물의 바닥/벽면 표면오염도 자동 측정장비 개발 및 실증
4차년도	- 토양 측정 및 분류시스템 성능 검증(전베타/감마 오염도) - 토양 측정 및 분류시스템 해체현장 적용 성능평가 및 최적화 - 현장 방사능 측정기술의 실증체계 수립 - 현장측정 시스템을 활용한 기술 실증, 성능평가, 개선사항 도출

○ 개발위험 극복방안

- 개발된 기술이 국내 원전해체 사업 적용을 위해서는 정량적 목표에 대한 정확도를 포함한 절차의 적정성 및 품질보증 체계를 수립하여 성능검증 단계에서 적용
- 기술개발 및 검증 과정에서 방사성물질로 오염된 토양 및 폐기물을 이용하여 성능평가 및 검증 과정에서 작업자 피폭을 최소화하고 방사성물질 확산 방지 대책 수립
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함
- 연구수행기관은 연구개발 성과가 전력산업기술기준 수립에 적용될 수 있도록 기술기준 수립 수행기관과 협력하여 성과물의 성능, 특성, 운용절차 등을 문서화하여 제시하여야 함

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 45개월 이내('23-'26)
(1차년도 정부지원연구개발비 : 18.9억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수 총 정부지원연구개발비 : 89.3억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수)
- 기타사항 :
 - 동 과제를 통해 개발되는 장비 중에 공동 활용이 필요한 장비*는 (재)원전해체연구소* (이하 원해연)에 설치하여 활용 예정이며, 해당 장비는 원해연 소유로 함
 - * 원해연 설치하여 공동활용 예정 장비

장비명	주요 용도	세부 사항
토양 오염준위 측정 및 분류 시스템	오염된 토양의 측정 및 분류를 위한 이송시스템으로 토양의 입도별 사전 분류, 토양 방사선 준위 측정 후 오염도에 따른 분류	감마 핵종별 스펙트럼 실시간 측정 및 분석, 전베타/감마 오염도 및 방사선량을 사전 선별 시스템, 토양 분류 시스템 등
대형 해체대상물 오염도 가시화 측정 시스템	대형 구조물 형상 정보 취득 및 방사능 측정 실증시험 수행 해체 대상 시설 및 구조물의 방사선학적 특성을 현장에서 측정 평가하기 위한 평가 시스템	Scanner, Gamma Camera, 소프트웨어, 스캐너 본체 부속장비 등
표면오염도 자동 원격 측정장비	해체 건물의 바닥/ 벽면의 표면오염도 자동 측정	WallRover(벽면 주행 로봇) 시스템, 표면오염도 측정 시스템(저에너지 감마, 알파/베타) 등
대용량 자체처분 폐기물 검증장비	해체 시 발생하는 대량의 해체 폐기물 준위별 분류 측정 및 자체처분 폐기물 반출 시 검증 측정	Modular Gamma Box, Container Counter, Multiple Germanium detectors, Network access for remote interrogation and management 등

- ** '원전해체연구산업 육성전략('19)'에 따라 해체기술 실증 및 해체기업 지원을 위해 설립
- 해당 장비의 기술개발을 위해 원해연이 공동연구개발기관으로 필수로 참여하며, 공정한 선정평가를 위해 선정평가 시까지 원해연은 모든 컨소시엄에 참여하지 않음. 다만, 원해연 수행 내용(장비 구축 계획 등)을 포함하여 연구개발계획서를 작성하여 제출
- 선정평가 결과 선정된 컨소시엄은 원해연이 공동연구개발기관으로 참여하는 협약용 연구개발계획서와 원해연의 공동연구개발기관 제출서류(원해연 참여의사 확인서 등 공고상 제출서류 포함) 일체를 선정통보를 받은 날로부터 15일 이내 제출하여야 함
- 예비타당성 심의 과제번호 : 1-4-1, 1-4-3

**‘23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서
(산업부, 품목지정)**

관리번호	2023-원자력-품목-15	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○) 실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품 목 명	원전해체 대비 방사능 분석 정도관리 기술 개발 및 품질보증체계 구축 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 원전해체 폐기물 처분을 위한 필수 규명 핵종 방사능분석 정도관리기술 및 품질보증체계 구축을 통한 분석 신뢰성 제고 ○ (경제성) 원전해체 폐기물 분석기관에 대한 분석절차 유효성확보와 분석신뢰성 향상으로 영구처분 및 자체처분(규제해제) 폐기물의 정확한 분류를 통한 처분비용 절감 ○ (정책성) 원전해체 폐기물 처분 관련 향후 정책결정에 중요 사안인 방사성폐기물 분석기관에 대한 품질보증체계 확립 및 지속적인 품질관리를 통해 해체폐기물 처분 안전성 및 투명성에 대한 국민수용성 제고	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 원전해체 대비 방사능 분석 정도관리 기술 및 품질보증체계 확립 ○ 연구내용 [1단계] - 해체폐기물 방사능 분석기관 품질보증체계 현황조사 - 난분석핵종(⁵⁵Fe, ⁶³Ni, ¹²⁹I) 표준화 방법 및 표준물질 인증시스템 개념 설계 - 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 중 난분석핵종 표준화(⁵⁵Fe) - 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 중 난분석핵종 표준화(⁶³Ni) - 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 중 난분석핵종 표준화(¹²⁹I, 계측기반) - ⁵⁵Fe 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 [2단계] - 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 인증표준물질 개발(⁵⁵Fe) - 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 인증표준물질 개발(⁶³Ni) - ⁶³Ni 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 - 방사성폐기물 인도기준 규명 알파 방출 핵종 숙련도시험 시료 개발 및 시험 실시 [3단계] - 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 인증표준물질 개발(¹²⁹I) - ¹²⁹I 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 - 방사성폐기물 인도기준 규명 혼합 핵종 숙련도시험 시료 개발 및 시험 실시 - 해체폐기물 방사능 분석기관 대상 정도관리 교육 - 해체폐기물 방사능 분석기관 품질보증체계 구축	

단계	년차	연차별 주요 기술개발 내용
1단계	1차년도	- 해체폐기물 방사능 분석기관 품질보증체계 현황조사 - 난분석핵종(⁵⁵ Fe, ⁶³ Ni, ¹²⁹ I) 표준화 방법 및 표준물질 인증시스템 개념 설계
	2차년도	- 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 중 난분석핵종 표준화(⁵⁵ Fe) - 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 중 난분석핵종 표준화 I (⁶³ Ni) - ⁵⁵ Fe 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 I
	3차년도	- 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 중 난분석핵종 표준화 II (⁶³ Ni) - 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 중 난분석핵종 표준화 (¹²⁹ I, 계측기반) - ⁵⁵ Fe 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 II
2단계	4차년도	- 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 인증표준물질 개발(⁵⁵ Fe) - ⁶³ Ni 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 I - 방사성폐기물 인도기준 규명 알파 방출 핵종 숙련도시험 시료 개발
	5차년도	- 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 인증표준물질 개발(⁶³ Ni) - ⁶³ Ni 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 II - 방사성폐기물 인도기준 규명 알파 방출 핵종 숙련도시험 시험 실시
3단계	6차년도	- 방사성폐기물 인도기준 규명 핵종 인증표준물질 개발(¹²⁹ I) - ¹²⁹ I 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 I - 방사성폐기물 인도기준 규명 혼합 핵종 숙련도시험 시료 개발
	7차년도	- ¹²⁹ I 분석을 위한 정도관리 절차서 개발 II - 방사성폐기물 인도기준 규명 혼합 핵종 숙련도시험 시험 실시
	8차년도	- 해체폐기물 방사능 분석기관 대상 정도관리 교육 - 해체폐기물 방사능 분석기관 품질보증체계 구축
○ 개발위험 극복방안		
- 방사성폐기물 및 방사성동위원소 취급을 위한 동위원소 사용 허가 필수 - 개발 분석법 검증을 위한 방사능 분석기관 협력 추진전략 수립 필요 - 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요 - 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함		
3. 지원기간/추진체계		
○ 기간 : 93개월 이내 ('23-'30) (1단계 : 33개월, 2단계 : 24개월, 3단계 : 36개월) (1차년도 정부지원연구개발비 : 3.8억원 내외, 총 정부지원연구개발비 : 76억원 내외) ○ 주관연구개발기관 : 중소·중견기업(연구계 참여 필수) ○ 기타사항 - 예비타당성 심의 과제번호 : 2-2-1		
○ 정부납부기율료 : 징수		

**‘23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서
(산업부, 품목지정)**

관리번호	2023-원자력-품목-16	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○) 실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품 목 명	해체폐기물 핵종재고량 평가를 위한 핵종분석 및 간접 평가법 개발 (TRL : [시작] 5단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 해체방폐물 핵종농도 간접평가는 처분과정에서 요구되는 필수 기술이나 국내 기술수준은 아직 미성숙한 상태임 ○ (경제성) 해체방폐물 처분산업의 낮은 성숙도로 인해 핵종농도 간접평가 기술개발의 경제성은 여전히 낮으므로 정부의 지원이 필요함 ○ (정책성) 폐기물 분석관련 기술은 정부 국정과제인 원전해체산업 육성전략 이행에 요구되는 핵심기술로 정책적 지원이 필요함	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 해체방폐물 핵종재고량 평가를 위한 핵종분석 및 간접 평가법 개발 ○ 연구내용 [1단계] 해체방폐물 핵종 공간분포 및 농도분포 특성 예비평가 - 분석 대상 핵종 선정을 위한 해체방폐물 특성 분석 - 해체방폐물 매질별 주요 핵종 후보군 평가 - 해체방폐물 매질별 시료 채취 기술 조사 및 분석평가 - 해체방폐물 매질별 시료 채취 방법론 개발 - 해체방폐물 매질별 핵종분석 절차서 현황분석 및 절차서 확보 - 전산코드 기반 핵종의 3D 공간분포 특성(모의DB) 구축 - 전산코드 기반 시료 채취 방법에 따른 핵종 농도분포 특성 평가 - 기존 핵종재고량 간접 평가법 분석 및 통계적 타당성 평가 - 통계적 기법 기반 의사결정기준 및 적용 절차서 개발 - 통계적 기법 기반 핵종재고량 간접평가 모델링 기술 개발 [2단계] 해체방폐물 분석 대상 선정 및 핵종재고량 평가 방법론 개발 - 분석 대상 매질/핵종 선정 - 시료 채취 지침서 개발 - 지침서 기반 분석 대상 매질에 대한 시료 채취 모의시험 - 분석 대상 해체방폐물 시료 채취 방법 최적화 - 기확보된 핵종분석 절차서 기반 현장 특성을 반영한 세부 지침서 개발 - 핵종분석 절차서 및 지침서 기반 시험원 숙련도 평가 - 전산코드 기반 시료 채취 방법에 따른 시료 대표성 평가 - 모의DB 기반 핵종재고량 간접평가 모델 비교평가 - 핵종재고량 간접평가 방법론 수립 [3단계] 해체방폐물 핵종분석 및 핵종재고량 간접 평가법 개발	

- 선정된 해체방폐물 매질/핵종에 대한 시료 채취 수행
- 선정된 해체방폐물 매질/핵종에 대한 핵종분석 수행 및 실측자료 도출
- 실측자료 기반 핵종재고량 간접평가 방법론 적용성 평가
- 실측자료 기반 핵종재고량 간접평가 방법론 최적화

단계	년차	연차별 주요 기술개발 내용
1단계	1차년도	- 해체방폐물 매질별 시료 채취 기술 조사 및 분석평가 - 분석 대상 핵종 선정을 위한 해체방폐물 특성 분석 - 기존 핵종재고량 간접 평가법 분석 및 통계적 타당성 평가
	2차년도	- 해체방폐물 매질별 시료 채취 방법론 개발 - 매질별 주요 핵종 후보군 평가 및 전산코드 기반 매질별 조성 민감도 평가 기술 개발 - 통계적 기법 기반 핵종재고량 간접평가 모델링 기술 개발
	3차년도	- 해체방폐물 매질별 핵종분석 절차서 현황분석 - 전산코드 기반 핵종 3D 공간분포 특성 분석 및 모의 DB구축 - 통계적 기법 기반 의사결정기준 개발
2단계	4차년도	- 필수핵종 분석에 대한 현장 특성 기반 세부 지침서 개발 - 시료 채취 지침서 개발 및 지침서 기반 분석 대상 매질에 대한 시료 채취 모의시험 - 시료 채취 시뮬레이션 기반 핵종 농도 분포 민감도 평가 - 시료 채취 방법에 따른 모의 핵종 농도 분포 DB 구축 - 해체방폐물 핵종재고량 간접평가법 논리체계 개발
	5차년도	- 주요핵종 분석에 대한 현장 특성 기반 세부 지침서 개발 - 핵종분석 절차서 및 지침서 기반 현장 적격성 평가 - 분석 대상 해체방폐물 시료 채취 방법 최적화 - 시료 대표성 확보를 위한 전산코드 기반 시료 채취 알고리즘 개발 - 모의 핵종 농도 분포 DB 이용 핵종재고량 간접평가법 논리체계 평가
3단계	6차년도	- 핵종분석 절차서 및 지침서 기반 시험원 숙련도 평가 - 선정된 해체방폐물 매질/핵종에 대한 시료 채취 수행 - 대상 매질 및 핵종에 대한 방사화학 분석(I) - 방사화학분석자료 기반 핵종재고량 간접평가 모델 적용성 분석
	7차년도	- 대상 매질 및 핵종에 대한 방사화학 분석(II) - 핵종재고량 간접평가법 논리체계 적용성 평가
	8차년도	- 대상 매질 및 핵종에 대한 방사화학 분석(III) - 방사화학분석자료 기반 핵종재고량 간접평가법 논리체계 최적화

○ 개발위험 극복방안

- 해체방폐물 내 난분석핵종의 방사능을 파괴분석(DA)이 아닌 방법으로 평가할 수 있는 방안을 도출하는 것이 본 기술개발의 핵심임. 간접평가 원천기술 개발을 위해 해체방폐물의 특성분석 데이터를 통계적 처리를 통해 평가 모델을 수립 필요
- 산학연 전문가들의 전문분야별 역할 배분과 해체방폐물 핵종분석 인프라 활용 전략을 체계적으로 수립 필요
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함

3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 93개월 이내('23-'30)

○ 정부납부기술료 : 징수

(1단계 : 33개월, 2단계 : 24개월, 3단계 : 36개월)
(1차년도 정부지원연구개발비 : 5.7억원 내외,
총 정부지원연구개발비 : 120억원 내외)
○ 주관연구개발기관 : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수)
○ 기타사항
- 예비타당성 심의 과제번호 : 2-3-1

'23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서
(산업부, 품목지정)

관리번호	2023-원자력-품목-17	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)
		실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	원전해체 주요 구조물에 대한 방사성핵종 분포 및 신속 분석기술 개발 (TRL : [시작] 5단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 원전해체 대상 구조물에 대한 방사능 농도 예측 및 신속 핵종분석 기술 개발로 선제적 원전 해체 대응 기술 확보를 위해서 필요함 ○ (경제성) 원전해체 산업 초기 단계로서 원전 해체 기술 확보를 통한 해체 산업 육성 및 수출 경쟁력 확보를 위해서 정부 주도 지원이 필요함 ○ (정책성) 원전해체는 정부의 국정과제의 하나인 원전 운영과 수출과정에서 요구되는 핵심기술로 개발 초기에는 정책적 지원이 필요함	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 원자로 주요 구조물의 방사성 핵종 순차분리법 및 방사능 정밀 예측 기술 개발 ○ 연구내용 - 원전해체 주요 구조물의 방사능 농도 정밀 예측 프로그램 개발 * 원전해체 주요 구조물의 재료 특성에 따른 방사화 예측 방법론 개발 * 원전 해체 주요 구조물의 방사화 특성 계산 방법론 개발 - 원전해체 주요 구조물의 방사성핵종 신속 순차분리법 개발 * 원전해체 주요 구조물 내 알파핵종 신속 순차분리법 개발 * 원전해체 주요 구조물 내 난분석핵종 신속 순차분리법 개발 * 원전해체 주요 구조물 내 휘발성 핵종 신속 분리법 개발 - 원전해체 주요 구조물의 방사성핵종 자동 순차 분리 장치 개발 * 원전해체 주요 구조물 시료채취 및 시료대표성 검증 기술 개발 * 원전해체 주요 구조물 내 알파 및 난분석 핵종 신속 분리 장치 개발 - 원전해체 주요 구조물의 방사화 분포 예측 최적화 * 원전해체 주요 구조물의 방사능 농도 예측 프로그램 신뢰성 평가 * 원전해체 주요 구조물의 방사화 분포 DB 구축	
년차	연차별 주요 기술개발 내용	
1차년도	- 원전해체 주요 구조물의 방사화 특성 계산 방법론 개발 - 원전해체 주요 구조물 내 알파핵종 신속 순차분리법 개발	
2차년도	- 원전해체 주요 구조물의 재료 특성에 따른 방사화 예측 방법론 개발 - 원전해체 주요 구조물 내 난분석 및 휘발성 핵종 신속 순차분리법 개발	
3차년도	- 원전해체 주요 구조물의 방사능 농도 정밀 예측 프로그램 개발 - 원전해체 주요 구조물의 방사성핵종 자동 순차 분리 장치 개발	

4차년도	- 원전해체 주요 구조물의 방사화 분포 DB 구축 - 원전해체 주요 구조물의 방사능 농도 예측 프로그램 신뢰성 평가
------	---

○ **개발위험 극복방안**

- 원전해체 주요 구조물 시료 채취시 대표성 확보 및 피폭 최소화 방안 제시
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함

3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 45개월 이내('23-'26) (1차년도 정부지원연구개발비 : 3.2억원 내외, 총 정부지원연구개발비 : 20억원 내외)	○ 정부납부기술료 : 징수
---	-----------------------

○ **주관연구개발기관** : 중소·중견기업

○ **기타사항**

- 예비타당성 심의 과제번호 : 2-3-3

'23년도 원전해체경쟁력강화기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (산업부, 품목지정)	
---	--

관리번호	2023-원자력-품목-18	
연구개발과제유형	원천기술형(),	혁신제품형(○)
		실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	해체폐기물 내 난분석 핵종 준위별 분석 고도화 기술 개발 (TRL : [시작] 5단계 ~ [종료] 8단계)	
1. 지원필요성	○ (기술성) 해체폐기물 난분석 핵종 분석기술은 처분과정에서 요구되는 필수기술이나 국내 관련 기술은 아직 부족한 수준임 ○ (경제성) 해체폐기물 처분 산업의 낮은 성숙도로 인해 관련된 기술개발의 경제성은 여전히 낮은 수준임. 정부의 지원이 필요한 상태임 ○ (정책성) 폐기물 분석 관련 기술은 정부 국정과제인 원전해체산업 육성전략 이행에 요구되는 핵심기술로 정책적 지원이 필요	
2. 품목정의	○ 최종목표 - 해체폐기물 처분기준에 적합한 분석성능을 제공하는 난분석핵종 분석체계 개발 ○ 연구내용 [1단계] - 해체폐기물 성상별 난분석 핵종분석을 위한 대표시료 채취/전처리/화학분리 기술 개발 * 난분석 핵종 분석을 위한 재료 유형별 시료 채취 기술 개발 * 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 질량분석용 시료전처리 기술 개발 * 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 저에너지 감마분광용 시료전처리 기술 개발 - 해체폐기물 내 준위별 난분석 핵종 분석체계 고도화 기술 개발 * 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 질량분석 시스템 구축 및 성능평가 * 저에너지 특이 지표핵종 분석용 감마분광시스템 구축 및 측정감도 향상 연구 [2단계] - 해체폐기물 내 준위별 난분석 핵종 분석체계 고도화 기술 개발 * 저에너지 특이 지표핵종 분석용 감마분광 기술 최적화 및 성능평가 * 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 핵종분석 단계별 회수를 평가 - 해체폐기물 내 난분석 핵종분석 절차서 개발 및 유효성 검증 * 해체폐기물 준위별 휘발성 및 비휘발성 난분석 핵종 핵종분석 절차서 개발 * 준위별 휘발성 및 비휘발성 난분석 핵종 핵종분석 절차에 대한 유효성 검증 * 준위별 휘발성 및 비휘발성 난분석 핵종 분석 지침 산업기술기준(안) 도출	

단계	년차	연차별 주요 기술개발 내용
1단계	1차년도	- 해체폐기물 유형별, 준위별 시료 채취 기술 조사 및 방법론 평가 - 해체폐기물 유형별, 준위별, 핵종별 분석 방법론 평가 - 해체폐기물 난분석 핵종 대상 질량분석 구축 및 성능평가
	2차년도	- 난분석 핵종 분석을 위한 유형별 시료 채취 기술 개발 - 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 전처리 기술 개발 - 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 질량분석용 시료 전처리 기술 개발 - 지표핵종 분석용 감마분광시스템 구축 및 측정감도 향상 연구
	3차년도	- 난분석 핵종 분석을 위한 유형별 시료 채취 기술 유효성 평가 - 해체폐기물 난분석 핵종분석 화학분리 기술 개발 - 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 질량분석 최적화 기술 개발 - 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 감마분광용 시료전처리 기술 개발
2단계	4차년도	- 난분석 핵종 분석을 위한 준위별 시료 채취 기술 최적화 - 해체폐기물 내 난분석 핵종 대상 핵종분석 단계별 회수율 평가 및 요소 기술 최적화 - 해체폐기물 내 지표 및 난분석 핵종 대상 감마분광 기술 최적화 및 성능평가
	5차년도	- 해체폐기물 준위별 시료 채취 절차서 개발 - 해체폐기물 준위별 휘발성 난분석 핵종 핵종분석 절차서 개발 - 해체폐기물 준위별 비휘발성 난분석 핵종 핵종분석 절차서 개발 - 준위별 비휘발성 난분석 핵종 분석 지침 산업기술기준(안) 도출
	6차년도	- 준위별 시료채취 절차에 대한 유효성 검증 - 준위별 휘발성 난분석 핵종 핵종분석 절차에 대한 유효성 검증 - 준위별 비휘발성 난분석 핵종 핵종분석 절차에 대한 유효성 검증 - 준위별 휘발성 난분석 핵종 분석 지침 산업기술기준(안) 도출

○ 개발위험 극복방안

- 해당 기술개발 지연 시, 해체폐기물 처분에 차질이 발생할 수 있음. 이는 해체사업 일정 지연 등으로 연결될 수 있기에 사업 초기부터 시급성과 필요성을 고려하여 단계적인 기술개발 전략을 수립함
- 방사성핵종 취급을 허가받은 실험실 준비는 기술개발의 선결 사항임. 다양한 준위의 방사성폐기물과 난분석 방사성핵종을 취급할 수 있도록 방사선안전관리 및 산업안전보건 관련 법령을 만족하는 시설을 보유하고 안전관리 대책을 마련함
- 특허 등 고유 지식재산권 확보 전략 필요
- 연구수행기관은 품질보증절차에 따라 품질보증계획을 수립하고 연구과제 수행기간 중 품질보증 활동을 이행하여야 함

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 69개월 이내('23-'28)
(1단계 : 33개월, 2단계 : 36개월)
(1차년도 정부지원연구개발비 : 13.6억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수
출 정부지원연구개발비 : 109억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 중소·중견기업(학계, 연구계 참여 필수)
- 기타사항
- 예비타당성 심의 과제번호 : 2-3-4

붙임1 연구개발과제기획담당 및 기획참여전문가 명단

번호	소속	직위(급)	성명	비고	
				구분	RFP참여 연구개발과제 (관리번호로 기재)
1	한국에너지기술평가원	원자력PD	최훈	PD	
2	한전 KPS	수석연구원	김남균	기획 자문단	
3	한수원 중앙연구원	선임연구원	황종선		
4	한양대학교 에리카 산학협력단	교수	방기성		
5	한국원자력연구원	책임연구원	홍상범		
6	한국건설기술연구원	선임연구위원	김도겸		
7	BRNC	부사장	송정호		
8	기계연구원	책임연구원	서정		
9	조선대학교산학협력단	교수	송종순		
10	미래엔	기업부설연구 소장	손광영		
11	스마트테크	대표	박재욱		
12	대한전기협회	팀장	최근석		
13	원자력환경공단	책임연구원	하재철		
14	조선대학교	조교수	공태영		

15	NDRI	대표	최영구		
16	라드솔	대표이사	오정석		
17	한수원 중앙연구원	책임연구원	이광호		
18	한국원자력연구원	책임연구원	연제원		
19	서울대	부교수	최성열		
20	원자력환경공단	책임연구원	정재열		
21	원자력안전기술원	선임연구원	이정근		
22	한국에너지기술평가원	책임연구원	김상경	간사	
23	한국에너지기술평가원	선임연구원	이동효		