

한국전력기술(주)의 원전 해체 준비 현황

정재훈

한국전력기술(주) 원전해체팀장



· 서울대 원자핵공학 학사, 석사
· 한국전력기술(주) 원자력기술그룹 방사성폐기물 관리 업무
· 미래전략연구소 원전해체기술 개발연구부 분야·연구 책임자
· 원전해체사업실 원전해체팀장 ('17~)

도입

1. 세계 원전 현황 및 해체시장 전망

국제원자력기구(IAEA)에 의하면, 2014년 기준 전 세계 원전은 가동중인 원전 438기, 영구정지된 원전 150기를 포함하여 총 588기가 있다. 그 중 가동 원전 438기 중 가동 연수가 30년 이상된 원전의 비중은 51%에 육박하며, 영구정지 원전 150기 중에서 19기의 원전이 해체 완료되었으며, 131기의 원전이 해체 진행 중이거나 해체 준비 중이다.

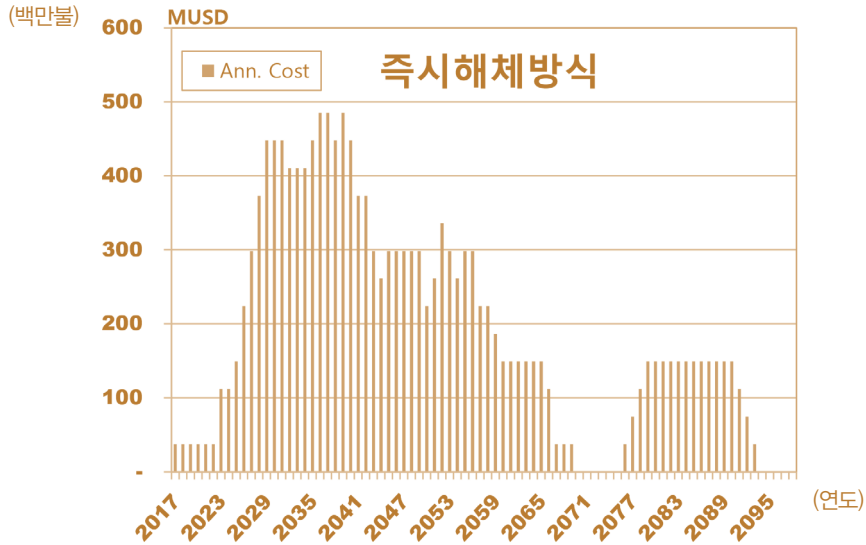
이를 토대로 OECD/NEA 2003년 자료 기준 Deloitte가 평가한 예상 원전 해체 물량은 약 440조원으로 제시하고 있으며, 계속운전을 고려할 때 2030년부터 본격적인 해체 물량이 발생할 것으로 예상하고 있다.

2. 국내 원전 해체 시장 전망

국내 원전 해체 시장 전망은 산업통산자원부 고시 제2015-132호, 「방사성폐기물 관리비용 및 사용후핵연료관리부담금 등의 산정기준에 관한 규정」 제12조 (추정비용)에 제시된 원전해체충당금을 토대로 아래와 같은 가정사항으로 평가하였다.

〈가정사항〉

- 해체 비용 : 6,437억원/호기(2014년말 기준 추정 비용)
- 계속운전 미적용
- 해체 기간 : 10년(즉시 해체)
- 사용후핵연료 냉각 기간 : 5년
- 총해체 사업 기간 : 15년, 매년 균등 시장 발생 가정



〈그림 1〉 국내 연간 원전 해체 시장 전망

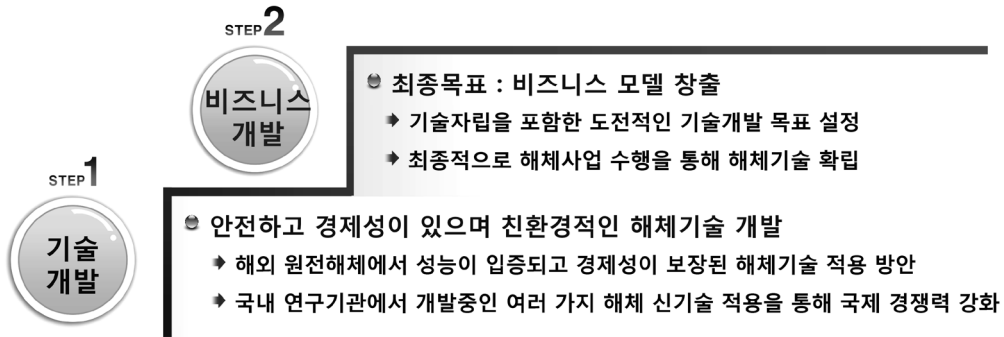
평가 결과를 요약하면, 국내 총원전 해체 시장은 19.3조원(2017년~2093년)이며, 연간 해체 시장은 초기 2017년~2021년에는 연간 430억원 시장이 발생하며, 성숙기 2029년~2040년에는 10기가 동시에 해체되어 연간 4,920억원~5,820억원이 발생하고, 휴지기 2070년~2075년에는 해체 시장이 발생하지 않으며, 신고리 3,4호기 이후 원전이 해체되는 후기인 2079년~2090년에는 연간 1,788억원이 발생하는 것으로 나타났다.

연도별로 요약하면, 2010년대에는 고리 1호기와 월성 1호기 해체 착수하여 약 1조3천억원의 시장이 발생하고, 이후 2020년대에는 원전 10기의 해체 착수가 예상되어 약 6.4조원원의 해체시장이 발생하는 것으로 평가되었다. 국내 연간 해체시장 전망을 그래프로 나타내면 〈그림 1〉과 같다.

3. 해외 원전 해체 기술 개발 현황

해외 원전 해체 기술 개발은 상용 원전 해체 경험으로 해체 기술 개발을 완료하였으며 관련 해체 기반도 구축되었다고 볼 수 있다. 또한 원전 해체 경험을 바탕으로 다음과 같은 추가적인 기술 개발 방향을 설정하여 기술 개발을 수행 중이다. 이 기술 개발은 안전성과 친환경성, 효율성 제고를 포함하고 있다.

- 해체 공정의 안전성 및 경제성을 제고하기 위하여 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 기술 활용 확대
- 해체작업자 방사선 피폭 저감을 위한 원격 취급 기술 적용 강화
- 처분 비용 저감을 위한 다양한 해체 폐기물 감용 기술 개발 및 적용
- 방사성폐기물 발생량 저감을 위한 제염 기술 개발
- 신기술 및 장비를 사용하기보다는 성능이 입증된 기술과 장비 사용



〈그림 2〉 한기의 원전 해체 기술 개발 수행 정책

4. 국내 원전 해체 기술 개발 현황

국내 원전 해체 기술은 상용 기술 개발 단계로서 국내 해체 사업 수행 역량 확보와 세계 원전 해체 시장 진출의 경쟁력 확보에 그 목적이 있으며 주요 내용은 다음과 같다.

- 미래부의 「원자력시설 해체 핵심 기반기술개발 계획」과 연계하여 우리나라 고유의 세계 최고 해체 기술과 장비 확보
- 확보된 해체 기술들을 결합(Integration)하여 현장 여건에 적합한 다기능, 단순화 설비로 개량하여 안전성, 효율성 제고

국내 원전 해체 기술 개발 방향은 국내 해체 관련 산업체의 현황과 역량 분석을 통해 기술의 고도화와 전문화를 유도하는 것으로서 해체 기술 수요와 현황을 분석하여 자체 개발, 기술 도입 등 전략을 수립하고 유관 기관별 협업 시스템을 구축해야 한다.

즉, 국내 해체 기술 개발 추진 전략은 국내 연구 개발과 연계하여 고유의 세계 최고 해체 기술과 장비를 확보하고, 기존 단위 상용 기술의 결합(Integration)을 통한 안전성, 기술성과 경제성을 겸비한 고유의 상용화 기술을 개발하는 것이다.

한국전력기술(주)의 원전 해체 기술 개발 전략

한국전력기술(주)[이하 한기]의 원전 해체 기술 개발 수행 방향은 첫째, 입증된 여러 기술들의 통합 및 최적화하는 것이고 둘째, 국내외 연구기관 및 해체 유경험 회사와의 협력을 통해 안전성과 편의성을 제고할 수 있는 해체 기술을 개발하는 것이다.

한기의 원전 해체 기술 개발 수행 정책은 〈그림 2〉와 같이 1단계 기술 개발과 2단계 비즈니스 개발로 나뉘며, 1단계 기술 개발에서는 안전하고 경제성이 있으며 친환경적인 해체 기술을 개발하고 이를 바탕으로 2단계 최종 목표인 원전 해체 비즈니스 모델을 창출하는 것이다.

한기의 원전 해체 기술 개발 계획은 〈그림 3〉과 같으며 원전 해체 공정의 최적화와 해체 안전성 등 전반적인 해체 기술 능력을 제고하고 전략적으로 고부가가치 기술 개발 항목을 선택하여 모든 역량 집중하는 것이다.

한기의 원전 해체 기술 개발 계획을 가속화하기 위해서는 원전 해체 유관 기관과의 협력이 필요하다. 그 이유는 해외 해체 유경험 회사와 강력한 협력 관계를

1단계 기술	2단계 기술	연도									
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
해체엔지니어링	해체계획		■	■	■						
	해체설계	■	■	■	■						
	사업관리(지식관리 포함)			■	■	■					
특성평가 및 안전성 평가	방사선조사 및 평가			■	■	■	■				
	안전성평가				■	■	■				
	시설 및 부지 특성조사		■	■	■						
제염				■	■	■					
절단 및 철거					■	■	■				
폐기물 관리			■	■							
부지복구	토양정화						■	■			
	최종부지 특성조사							■	■		
	인허가 종료를 위한 특성조사								■	■	

〈그림 3〉 한기의 원전 해체 기술 개발 계획

수립하여 해체 사업 수행 체계 확립을 위한 해체 경험 자료와 우수한 해체 사례를 수집하고 해외 해체 사업 참여를 하기 위함이다. 협력 방법으로는 〈그림 4〉와 같이 기술 전수, 기술 자문 및 국내외 해체 사업 참여 등이 있다.

원전 해체 협력의 목적은 첫째, 해체 기술의 능력 제고를 위해 선진 해체기술 도입과 사업 경험 자료를 입수하는 것이고, 둘째 원전 해체 사업 종합계약자 수행 역량을 구비하기 위해 국내 원전 해체 경험을 확보하여 향후 해외 원전 해체 시장 진출 기반을 확보하는 것이고, 셋째 해외 해체 시장 진출을 위한 교두보를 구축하는 것이다. 요약하면, 원전 해체 기술 전수 회사와 협력 관계를 발전시켜 향후 독일과 미국 해체 시장 진출 기반을 마련하는 것이다.

한기는 상기 협력의 성과물로 원전 선진국인 미국과 유럽의 원전 해체 선두 업체와 원전 해체에 대한 양해각서(MOU)를 아래와 같이 체결하였다.

- 독일 프로이센일렉트라(PEL)와 원전 해체 기술 개

발 및 사업 수행 양해각서(MOU) 체결(14. 12. 22.)
 • 미국 웨스팅하우스(WEC)와 원전 해체 기술 개발 및 사업 수행 양해각서(MOU) 체결(15.12.14)
 주요 협력 내용으로는 다음과 같다.

- 원전 해체 기술 전수 프로그램 운영(강의실 교육 및 OJT 수행)
- 원전 해체 기술 자문 수행
- 해외 원전 해체 사업 참여

상기 MOU에 의거하여 2015년 독일 PEL로부터 국내에서 18개 주제로 5일간 강의실 교육과 독일 PEL 본사 소재지 하노버에서 6명의 전문가가 6개의 주제로 4주에서 9주간 일대일 교육과 해체 원전 현장 교육을 이수하였으며, 2016년도에도 6개 주제 12인의 전문가가 3주간 전문 교육을 이수한 바 있다.

또한 미국 WEC 스페인 마드리드 지사에서 스페인 조리타 원전 해체 등에 대한 3개 주제에 대해서 6명의 전문가가 해체 교육을 2주~3주간 이수하였다.

이외에도 원전 해체 상호 협력 정신에 의거하여 독



〈그림 4〉 한기의 원전 해체 협력 방법

일 PEL로부터 「해체원전 에너지 및 비용 저감을 위한 계통 교체 최적화 연구 용역」을 2016년에 수행하였다.

한국전력기술(주)의 원전 해체기술 준비 현황

1. 해체 기술 개발과 사업 수행 경험

한기는 2000년 이후부터 원전 해체 기술 개발과 원자력시설 해체 관련 용역을 수행하였으며 그 결과물인 주요 해체 기술 보유 현황을 나타내면 〈그림 5〉와 같으며 각 기술들에 살펴보면 아래와 같다.

가. 해체 규제 기술

해체 규제기술은 규제 요건 분석, 규제 절차 분석, 규제 문서 작성(해외 원전, 연구용 원자로) 등이 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

- 해외 규제 동향 분석
- 해체 규제 요건 분석
 - 국내 규제 요건
 - 해외(미국, 독일 등)
- 단계별 인허가 절차 분석
- 해체계획서 개발
 - 연구용 원자로(국내외)
 - UAE 원전 예비해체계획서

- EU-APR 1400 예비해체계획서

나. 해체 비용 산정 기술

본 기술에는 원전 해체 비용 항목 검토, 주요 비용 인자 검토, 해체 비용 평가 프로그램 개발 등이 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

- 비용 평가 방법론 검토
 - OECE/NEA의 국제 표준 해체 비용 구조(ISDC)
 - 미국 PNL에서 개발한 Cost Estimating Computer Program
- PWR 원전용 해체 비용 평가 프로그램 개발(DeCAT)
- 연구용 원자로 해체 비용 평가 프로그램 (REDCAP) 개발
 - PWR 원전용 해체 비용 평가 프로그램
 - 국내 연구로 해체 경험
 - ISDC

다. 원전 해체 요건 개발

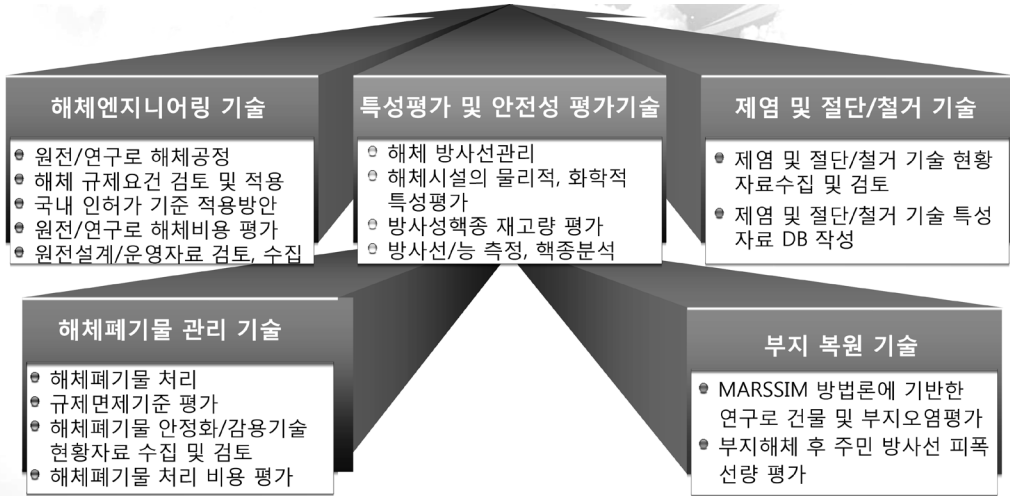
원전 해체 요건 개발에는 원전 해체 요건, 품질 요건 및 일반 설계 기준(General Design Criteria) 개발 등이 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

- 국내외 규제 요건, 품질 요건, 해외 규격 및 표준 조사(독일)
- 해체 설계 기본 고려사항 (정책, 전략, 안전성 분석)
- 해체 설계기준 (일반 설계 기준, SSCs 분류, 해체 설계 요건, 해체 기술 선정 요건, 해체 시 주요 고려사항, 부지 복원 계획 등)
- 해체 최상위 요건(Top Tier) 주요 구성 항목 및 내용 검토

라. 원전 해체 사업 공정 개발

원전 해체 사업 공정 개발은 원전 해체 사업 업무 분류 체계 작성 및 Level 1, Level 2, Level 3 공정표 개발 등이 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

- 해체 계획, 해체 설계, 제염, 절단, 철거, 부지 복



〈그림 5〉 한기의 주요 해체 기술 보유 현황

원 등 원전 해체 사업 전체 역무를 분류, 계층 구조화하여 원전 해체 사업 업무 분류 체계(Work Breakdown Structure, WBS) 개발

- 관련 법규상 공정 관련 요건 등을 반영하여 고리 1호기 해체 사업 전반에 대한 최상위 Level 1 사업 기본 공정표 개발
- 주기기, 일반 기기, 건물 등의 절단 철거 공정에 대한 Level 3 수준의 공정표 개발

마. 해체 폐기물 관리 기술

본 기술에는 해체 폐기물 처리 공정 평가 프로그램 개발, 토양 제염 설비 개발 등이 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

- 최신 폐기물 처리 기술 검토 및 정리
- 해체 폐기물 최적 처리 방안 검토용 전산 프로그램 개발(RACE2010)
 - 감용 및 안정화 기술
 - 원전 해체 폐기물 처리 방법 최적화
- 토양/콘크리트 제염 설비 개발

- 자체 처분(규제 면제) 기준 이하로 제염 가능
- 관련 해체 폐기물 관리 기술 특성 자료 DB 작성

바. 제염 및 절단/철거 기술

본 기술에는 해외 기술 현황 조사, 제염 및 절단/철거 기술 특성 자료 조사 등이 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

- 해외 기술 조사 및 검토
 - 기술/운영보고서 조사, 검토(DOE, EPRI 등)
- 제염 및 절단/철거 기술 특성 자료 정리
 - 기술 설명
 - 제염 대상 오염물
 - 적용 모재 특성
 - 2차 폐기물 관리 방안
 - 운영 특성, 성능 특성
 - 자재 및 운영비
 - 공급 가능 업체 현황
- 관련 특성 자료 DB 작성

사. 방사선 안전성 평가 기술

본 기술은 방사성 핵종 재고량 평가, 피폭 선량 평가, 방사선 안전 관리, 환경 영향 평가 등이 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

- 방사성 핵종 재고량 평가
 - 방사화 핵종 재고량
 - 운영 경험에 기반한 오염 핵종 재고량
- 작업자 및 주민 방사선 피폭 선량 평가
 - 정상 및 사고 시나리오 작업자 및 주민의 예상 최대 방사선 피폭 선량 평가
- 방사선 안전 관리
 - 해체 작업 중 방사선 안전 관리 절차 개발
- 방사선 환경 영향 평가
 - 정상 해체 활동
 - 사고 분석

아. 부지 복원 기술

본 기술에는 방사성 핵종 재고량 평가, 피폭 선량 평가, 방사선 안전 관리, 환경 영향 평가 등이 있으며 주요 내용은 아래와 같다.

- MARSSIM 방법론 적용
 - 부지 식별
 - 부지 이력 평가(HAS)
 - 개략 조사
 - 특성 조사
 - 복원 활동 지원 조사
 - 최종 현황 조사(FSS)
- 부지 해체 기준 개발
 - 최종 방사선 특성 조사 수행
 - 다양한 방출 경로 모델에 따른 피폭 선량 평가
- 토양 : RESRAD
- 구조물 : RESPAD-BUILD

자. 해체 폐기물 특성 및 발생량 평가

본 기술에는 해체 폐기물 특성 및 발생량 평가 DB와

해체 폐기물 발생량 평가 절차서 개발 등이 있으며 주요 내용은 다음과 같다.

- 원전 해체 폐기물 특성 및 발생량 평가를 위한 데이터베이스 입력 항목 개발
 - Plant DBu Item DB
 - Inventory DB
- 원전의 해체폐기물 평가용 DB 작성
 - 건물 격실 정보
 - 주기기
 - 보조 기기
 - 배관
 - 밸브
 - 케이블
 - 전선관
 - 케이블 트레이
 - 덕트
 - 배관 지지대
 - 콘크리트 등

차. 해체 폐기물 처리 기술 조사 및 데이터베이스(DB) 작성

본 기술에는 해체 폐기물 처리 기술 분석, 관련 DB 작성 및 최적 처리 기술 선정 프로그램 보완 등이 있으며 주요 내용은 다음과 같다.

- 주요 해체 폐기물 처리 기술 검토 분석, 22개 주요 기술 도출
- 해체 폐기물 처리 기술별 주요 기술 항목(DB 개발용) 선정
- 해체 폐기물 처리 기술별 DB 작성

이상과 같이 한국전력기술(주)의 원전 해체 준비 현황을 제시하였다. 한국전력기술(주)는 원전 종합 설계, 가동 원전의 유지 보수뿐만 아니라 원전 해체에도 최선을 다해 준비하고 있다. 🍌