

기술개발 결과보고서

책임자	팀장	실장	사업부장
			

조	직	원자력설계팀	CODE NO.	R14010
과	제	명	원자력발전소 해체 표준 공정 개발	
기	간	2022.01. ~ 2022.12.	과제구분	국책

단위 : 천원

예	구분		예 산	실 적	비 율(%)
산 집 행	국책	현금 (자체 경비 포함)	83,479	70,836	84.8
		인건비	33,486	33,486	100
		현물 경 비	-	-	-
	자체	경 비	50,229	50,229	100
	계		167,194	154,551	92.4

<기술개발 내용요약>

1. 과제 최종 기술개발 목표
 - 원전 해체사업 표준공정 및 표준품셈 개발
2. 2022년도 기술개발 목표
 - 경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 검증
3. 2022년도 기술개발 내용
 - 1) 경수로 해체 비용 평가 국내/해외 사례 조사
 - 2) 경수로 해체 비용 평가 대상 호기 선정
 - 3) 경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 활용 비용 평가 수행
 - 4) 경수로 해체 비용 평가 결과에 따른 공정 DB 및 모듈 개선

2020년 기술개발 결과보고서

과 제 명	원자력발전소 해체 표준 공정 개발
주관조직	플랜트사업본부 원자력사업실 원자력설계팀
제 출 일	2022. 12. 23.
책 임 자	한강 책임매니저
개 발 자	김미진 매니저

목 차

I. 서론

1. 기술개발 필요성
2. 기술개발 방향

II. 본론

1. 기술개발 방법
2. 기술개발 내용
3. 기술개발 결과

III. 결론

1. 활용방안 및 기대효과
2. 결론 및 제언

IV. 첨부

1. 기술보고서 - 경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 검증
2. 국내 특허
3. 논문
4. 원전해체 관련 국내외연수 교육수료증

I. 서론

1. 기술개발 필요성

해체 공정 및 비용평가는 해체전략, 폐기물 관리 등 전반적인 해체계획 수립에 밀접하게 관련되는 주요 지표임. 이에, 합리적인 해체 비용 산출과 최적화된 해체 전략 수립을 위하여 국내 원전 해체 작업환경을 고려한 표준공정 및 표준품셈을 개발하고, 원전 해체사업 확대에 따라 조건별, 노형별로 해체 비용평가에 다양하게 활용할 수 있는 전산시스템을 구축하고자 함.

2. 기술개발 방향

2.1. 기술개발 목표

2.1.1. 최종목표

국내 작업환경을 고려한 노형별 표준공정 및 표준품셈 개발을 통한 해체 작업 공정 세분화, 효율적 공정관리로 불필요한 작업을 배제하고 정확한 작업물량 산정이 가능함. 또한 원전해체 공사의 유사 공정별 실적 DB와 원전해체 전산시스템을 구축함으로써, 합리적인 해체 비용 산출 및 최적 해체 전략 수립에 기여하고자 함.

2.1.2. 2022년도 개발목표

경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 검증

2.2. 기술개발 범위

- 1) 경수로 해체 비용 평가 국내/해외 사례 조사
 - 국내 원전 해체 비용 평가 사례 조사
 - 해외 원전 해체 비용 평가 사례 조사
- 2) 경수로 해체 비용 평가 대상 호기 선정
 - 국내 경수로 원전 건물 및 설계 차이 분석
 - 해체 비용 평가 대상 호기 선정
- 3) 경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 활용 비용 평가 수행
 - 국내 경수로 대상 호기 해체 상세 공정 작성
 - 국내 경수로 대상 호기 해체 공정 입력 및 비용 평가 수행
- 4) 경수로 해체 비용 평가 결과에 따른 공정 DB 및 모듈 개선
 - 대상 호기 비용 평가 결과 분석
 - 비용 평가 결과 분석에 따른 공정 DB 및 모듈 수정
 - 수정된 공정 DB 및 모듈 활용 재평가 수행

II. 본론

1. 기술개발 방법

1.1. 기술 개요

원전 해체사업을 안전하고 경제적으로 수행하기 위해서는 해체 물량, 해체 비용, 해체 공정 등에 대한 세부 기준이 필요하나, 아직 국내에는 이에 대한 정확한 기준이 전무함. 이에 따라, 해체 과정에서 작업자의 안전성을 확보하고 해체 공정의 경제성과 신뢰성을 확보하기 위해 경수로/중수로 원전 공통설비 해체작업에 대표적이고 보편적으로 적용 가능한 해체 표준공정 및 표준품셈을 개발함.

1.2. 연구수행 방법

본 기술개발은 한국에너지기술평가원 주관 사업인 에너지기술개발사업의 일환으로 추진되며, 원자력설계팀에서 2019.10.01부터 2022.09.30까지 수행함. 2022년도에는 합리적이고 신뢰성 있는 해체 비용 평가를 위해 기 개발한 DB 및 모듈의 검증을 수행함. 이를 위해 해체 비용 평가 수행 전, 국내외 원전 해체 비용 평가 사례를 조사하고, 해체 비용 평가를 수행할 대상 호기를 선정함. 해체 비용 평가 대상 호기는 국내 경수로 원전의 건물 및 설계 특성을 분석하여 선정하였으며, 원전 해체 비용 평가와 DB 및 모듈의 검증은 다음과 같은 방법으로 수행함.

- 1) 국내 경수로 대상 호기 해체 상세 공정 작성 : 국내외 자료를 기반으로 전체 해체 공정에 대한 로드맵을 작성한 후, 공통기기에 대해서는 Level 1,2,3으로 공정을 세분화 하여 작성
- 2) 입력자료 및 DB 구축 : UCF 기반 비용을 산출하기 위한 비용 평가 관련 자료 조사/도출
- 3) UCF 기반 예비 비용 평가 수행 : 조사 자료 및 기존 자료를 활용하여 비용 평가 수행
- 4) 예비평가 결과 분석
- 5) 공정 DB 및 모듈을 수정 후 비용평가 재평가 수행 (최종평가)

1.3. 기술개발 목표 달성 수준

개발목표	달성도	기술개발 내용	비고
경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 검증	100%	경수로 해체 비용 평가 국내/해외 사례 조사	첨부1 참조
		경수로 해체 비용 평가 대상 호기 선정	
		경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 활용 비용 평가 수행	
		경수로 해체 비용 평가 결과에 따른 공정 DB 및 모듈 개선	

2. 기술개발 내용 및 결과

2.1. 경수로 해체 비용 평가 국내/해외 사례 조사

2.1.1. 국내 원전 해체 비용 평가 사례 조사

과거 해체비용의 현금화 단가분석 연구(2013년)를 통해 원전 해체 비용을 재산정 하였으며, 해체기간 동안의 해체사업비, 해체 시 발생하는 방사성폐기물의 감용 및 처분비용과 기타비용 및 이윤을 포함하는 경수로 원전에 대한 해체비용을 평가하였음. 해체기간 동안의 해체사업비, 해체 시 발생하는 방사성폐기물의 감용 및 처분비용과 기타비용 및 이윤을 포함하는 경수로 원전에 대한 해체비용은 아래 표와 같이 약 6,273억원으로 평가되었음.

(단위: 원)

구 분		한울6호기 해체 비용
밀폐관리 및 철거비	해체 사업비	245,564,519,443
	감용시설	48,824,717,248
	기타비용	66,246,234,785
	이 윤	23,441,305,646
	소 계	384,076,777,122
방사성폐기물 처분비		243,267,817,650
해체비용	합 계	627,344,594,772

2.1.2. 해외 원전 해체 비용 평가 사례 조사

미국의 가압경수로 원전인 Maine Yankee 원전, Rancho Seco 원전, Trojan 원전, Connecticut Yankee 원전, San Onofre 1 원전, Yankee Rowe 원전에 대하여 해체 비용을 조사하였음.

1) Maine Yankee 원전 해체 비용

(단위: 백만불)

주요 항목 비용	상시 비용 항목	2001년 기준 상세 해체 비용 평가	2008년 기준 상세 해체 완료 비용	2008년 기준 주요 항목별 해체 완료 비용
제염 절단	시스템 절단 및 철거	64.0	112.8	125.9
	제염	7.4	13.1	
폐기물	운반	19.3	34.0	166.6
	포장 및 처분	75.2	132.6	
작업자	사업관리/인건비	105.8	186.6	186.6
기타	부지정화	16.5	22.4	161.5
	최종 부지상태조사	12.4	16.9	
	기타	69.3	122.2	
예비비		70.0	-	-
총 해체비		439.9	-	640.6
사용후핵연료 건식저장	건식저장시설 건설 및 해체	60.7	82.6	203.3
	건식저장시설 운영 및 관리	88.7	120.7	

2) Rancho Seco 원전 해체 비용

(단위: 백만불)

주요 항목 비용	상시 비용 항목	2005년 기준 상세 해체 비용 평가	2008년 기준 상세 해체 완료 비용	2008년 기준 주요 항목별 해체 완료 비용
제염 절단	시스템 절단 및 철거	28.5	78.4	86.1
	제염	2.8	7.7	
폐기물	운반	2.8	7.7	83.9
	포장 및 처분	27.7	76.2	
작업자	사업관리/인건비	65.5	180.1	180.1
기타	최종 부지상태조사	13.5	18.4	74.2
	기타	20.3	55.8	
2005년까지 실제 비용		238.6	-	-
총 해체비		399.7	-	424.3
사용후핵연료 건식저장시설 건설 및 운영		134.5	153.5	153.5

3) Trojan 원전 해체 비용

(단위: 백만불)

주요 항목 비용	상시 비용 항목	1997년 기준 상세 해체 비용 평가	2008년 기준 상세 해체 완료 비용	2008년 기준 주요 항목별 해체 완료 비용
제염 절단	원자로 및 내부 구조물 제거	2.0	3.3	235.7
	절단, 제염, 제거	143.2	232.4	
폐기물	처분	39.4	63.9	95.6
	원자로 및 내장품 포장, 수송 및 처분	19.5	31.7	
기타	부지정화	40.2	65.2	77.5
	최종 부지상태조사	7.6	12.3	
총 해체비		251.9	-	408.8
사용후핵연료 건식저장	건식저장시설 건설	74.2	120.4	-
	건식저장시설 운영 및 관리	95.8	155.5	203.3

4) Connecticut Yankee 원전 해체 비용

(단위: 백만불)

주요 항목 비용	상시 비용 항목	2001년 기준 상세 해체 비용 평가	2008년 기준 상세 해체 완료 비용	2008년 기준 주요 항목별 해체 완료 비용
제염 절단	절단 및 제염	106	444.7	444.7
폐기물	방사성폐기물 비용	65	272.7	272.7
기타	부지정화	100	124.6	161.5
	최종 부지상태조사	15	18.7	
1997~2002 실제비용		327	-	-
총 해체비		613	-	860.7

사용후핵연료 건식저장	사용후핵연료 장기저장	318	396.3	-
----------------	-------------	-----	-------	---

5) San Onofre 1 원전 해체 비용

(단위: 백만불)

주요 항목 비용	상시 비용 항목	2001년 기준 상세 해체 비용 평가	2008년 기준 상세 해체 완료 비용	2008년 기준 주요 항목별 해체 완료 비용
제염 절단	주요 기기 제거	80.7	96.2	229.0
	계통 절단 및 제염	111.5	132.8	
폐기물	방사성폐기물 관리 총 비용	27.4	32.7	32.7
작업자	사업관리/인건비	256.5	305.9	305.9
	기타	15.9	19.0	19.0
	총 해체비	491.9	-	586.6
사용후핵연료 건식저장	건식저장시설 건설 및 해체	66.1	78.8	95.2
	건식저장시설 운영 및 관리	13.7	16.3	

6) Yankee Rowe 원전 해체 비용

(단위: 백만불)

주요 항목 비용	상시 비용 항목	2001년 기준 상세 해체 비용 평가	2008년 기준 상세 해체 완료 비용	2008년 기준 주요 항목별 해체 완료 비용
제염 절단	절단 및 제염	97.1	495.7	495.7
폐기물	방사성폐기물 비용	20.0	102.1	102.1
기타	부지정화	0.3	0.4	5.4
	최종 부지상태조사	4.0	4.8	
1997 ~ 2002 실제비용		347.9	-	-
예비비		37.9	-	-
총 해체비		507.2	-	603.2
사용후핵연료 건식저장	사용후핵연료 장기저장	129.2	161.1	161.1

2.2. 경수로 해체 비용 평가 대상 호기 선정

2.2.1. 국내 경수로 원전 건물 및 설계 차이 분석

경수로 원전 각 건물별 해체 활동에 대한 단위 작업을 평가하기 위해서는 토지면적, 바닥면적, 총면적(바닥+천정+벽), 콘크리트, 구조물, 배관, 밸브, 기기 등의 해체 물량을 근거로 하여야 함. 해체 대상 시설에 대한 상세한 정보(특히 중량, 부피, 크기, 방사능 오염 정도, 방사선 구역)는 해체비용 산정의 기본이 되며, 이러한 상세한 정보를 활용하여 해체 작업 및 공법의 선정, 투입 인력에 대한 요건, 해체공정 등을 계획할 수 있음.

2.2.2. 해체 비용 평가 대상 호기 선정

해체 비용평가 대상이 되는 국내 경수로 원전은 비용평가 시 일정 부분 물량자료가 확보 가능한 한울6호기로 선정하였으며, 건물 및 계통의 설계특성에 대하여 분석하였음. 해체비용을 산출하기 위한 기본 구조로써, 해체 시설(건물)을 Set으로 설정하고 해체건물별 작업내역을 Task 및 Subtask로 설정하였음.

2.3. 경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 활용 비용 평가 수행

2.3.1. 국내 경수로 대상 호기 해체 상세 공정 작성

국내의 경우, 고리1호기의 해체가 결정된 이후에 해체공정을 수립하였으며, 이를 고려하여 국내 경수로의 상세 해체공정과 예상되는 해체일정을 작성하였음.

2.3.2. 국내 경수로 대상 호기 해체 공정 입력 및 비용 평가 수행

단위비용인자를 활용한 비용 산정 방법은 활동 작업(파이프 절단, 펌프 제거 등), 작업 기간 및 비용, 필요한 장비 및 비용, 사용된 소모품 등의 비용을 산정하는 방법임. 이러한 단위비용인자는 활동비용과 정의된 작업순서에 의해 수행하는 기간을 결정하며 시스템 및 구조의 전체 재고량을 고려하여 적용됨. 국내 경수로 대상 호기 해체 공정 입력 및 비용평가는 단위비용인자를 활용하여 수행하였음.

2.4. 경수로 해체 비용 평가 결과에 따른 공정 DB 및 모듈 개선

2.4.1. 대상 호기 비용 평가 결과 분석

앞서 국내 원전 해체 비용 평가 사례에서 조사한 바에 따라 2013년 말 기준으로 재산정한 원전 해체 비용 평가 결과를 분석하였음. 해체비용은 해체비용평가 전산프로그램인 PowerTool을 이용하여 평가하였으며, 해체 시 발생할 수 있는 액체 및 고체방사성폐기물 발생량을 근거로 감용 처리에 따른 감용 시설 운영비용을 평가하였음. 밀폐관리 및 철거비는 해체사업비와 감용 시설의 비용을 포함함. 또한 보험료, 규제 비용, 에너지 및 연구개발비를 포함하는 기타비용을 평가하였으며, 해체사업비, 감용시설 및 기타비용의 6.5%를 이윤으로 가정하여 해체비용을 평가함.

2.4.2. 비용 평가 결과 분석에 따른 공정 DB 및 모듈 수정

정확한 해체비용을 산정하기 위해서는 단위비용인자(UCF)를 도출한 후 각 공정에 해당하는 해체물량을 확인할 수 있어야 하나 국내 원자력발전소의 해체와 관련된 일련의 정보는 보안사항으로 관리되고 있으며 일반적으로 열람 또는 수집이 불가능한 기밀 자료임.

이에 정확한 해체물량을 확보하지 못한 건물과 구조물은 표준공정 DB 및 모듈 검증 대상에서 제외하였으며, 과거 수행하였던 비용평가 결과, DeCAT 비용평가 프로그램, AIF/NESP-036 보고서 및 해외업체의 해체 경험 등 참조자료에서 확보 가능한 범위 내에서의 해체 물량을 반영한 작업량을 비용 평가에 활용함. 이를 평가 결과와 비교하여 표준공정 DB 및 모듈을 수정하였음.

다만 비용평가 결과, 해체물량에 해당하는 소요시간 및 작업횟수는 동일하게 적용했으나 다음과 같은 이유로 비용평가 결과의 차이가 발생하는 것으로 판단됨. 우선 본 과제에서 개발한 UCF와 과거 2014년 POWERtool을 활용한 UCF 의 인건비, 장비비 및 소모품에 대한 분류 기준과 비용평가 입력 DB 에 대한 차이가 있기 때문으로 판단됨. 또한, 과거 POWERtool을 활용한 평가의 작업자 노임단가와 본 평가 시 적용하는 노임단가의 차이로 인해 비용평가 결과의 차이가 발생함. 과거 POWERtool을 활용한 평가에서는 미국 작업자의 노임단가를 적용하였으며, 본 과제에서는 국내 대한건설협회 및 엔지니어링협회의 노임단가를 적용함. 이로 인해 비용평가의 차이가 발생하는 것으로 판단됨.

III. 결론

1. 활용방안 및 기대효과

1) 활용방안

- 원자력시설 해체 계획 수립
- 공정 종류별 투입 인원수 산출
- 사업 대가 산출 시, 적정 인건비 산정
- 원자력시설 해체 비용 평가
- 원자력시설 해체 표준품셈 개발의 기초자료

2) 기대효과

- 본 과제를 통해 개발한 표준공정 DB 및 모듈은 해체 표준품셈 개발의 기초자료로 활용됨.
- 원전해체 표준공정 DB 및 모듈, 표준품셈의 개발로 원전해체에 대한 효율성과 신뢰도가 제고되며, 해체물량 평가, 해체비용 산정 등에 대한 보다 현실적인 분석이 가능함.
- 원전 해체 사업에 대한 합리적인 비용 산출로 해체 비용의 실질적인 절감에 기여할 것으로 기대됨.
- 국내 원전 해체 사업의 초기 실적 확보 및 해외 원전 해체 사업 진출을 위한 교두보 역할을 할 것으로 기대됨.

2. 결론 및 제언

본 과제에서 개발한 표준공정 DB 및 모듈을 검증하여 정확한 해체비용을 산정하기 위해서는 단위비용인자(UCF) 및 공정에 해당하는 해체물량을 확인할 수 있어야 하나, 현재 국내 상용원전의 해체경험이 없는 상황에서 해체와 관련된 일련의 정보는 보안사항으로 관리되고 있음. 특히 해체물량 평가 결과 자료, 해체 물량을 도출하기 위한 기기배치도, 설비/기기의 시방서 및 도면, 배관 크기, 길이, 재질 등 사양을 확인하기 위한 ISO 도면, 발전소의 건설 기록 등은 일반적으로 열람 또는 수집이 불가능한 기밀 자료임. 이에 발전소 해체 물량에 대한 정확한 정보를 확보하기 어려운 상황이므로 국내/외 참조자료를 다양하게 활용하거나 가정하여 비용 평가를 수행함.

본 과제의 비용평가는 정확한 해체물량 등 자료확보의 어려움으로 평가에서 제외된 건물, 기기 및 구조물이 있어 향후 자료가 확보를 통한 보완이 필요한 것으로 판단되며, 과거 수행한 UCF와 본 과제에서 개발한 UCF의 차이, 인건비 적용의 차이 등을 추가 고려하여 보완이 필요한 것으로

판단됨.

IV. 첨부

1. 기술보고서 - 경수로 해체 표준 공정 DB 및 모듈 검증

2. 국내 특허

	명칭	등록번호	출원일
1	원자력 시설 해체 비용 평가 시스템 및 이를 이용한 원자력 시설 해체 비용 평가 방법	10-2021-0178479	2021.12.14
2	원자력 시설 해체 비용 평가 방법	10-2022-0123605	2022.09.28

3. 논문

	논문명	저널명	일시
1	Development of Standard Process for Dismantling the PHWR Reactor Assembly	Journal of Radiation Industry	2022.09.28

4. 원전해체 관련 국내외연수 교육수료증

	종류	교육/세미나 명	교육/세미나 기관	교육기간
1	국내 교육	IAEA 인증 국제공동 원전해체 전문교육	한국수력원자력/ IAEA	2022.04.04 ~ 2022.04.15
2	해외 교육	Class Room Training on Decommissioning & Dismantling (D&D)	Framatome GmbH	2022.07.25 ~ 2022.07.29