



## 한수원의 원전 해체 로드맵 추진 현황

### 서 대 권

한국수력원자력(주) 원전사후관리실 해체기술팀장

#### 원전 해체란?



원전 해체는 원자력 에너지 이용의 지속 가능한 발전을 위한 마침표다. 마침표는 문장의 끝을 의미하지만 새로운 문장을 시작하기 위한 표시이기도 하다.

원전 해체란 사용 연한이 다한 원전의 방사선을 제거하고 건물과 기계를 철거해서 주변 환경에 영향을 주지 않을 정도로 복원시키는 기술적 행정적 행위를 말한다.

공정별로 나열하면 방사선원형 평가, 상세 비용 평가, 인허가 취득, 영구 정지, 연료의 냉각, 연료의 인출, 원전의 배수와 세정, 계통 분리, 구역 차폐와 격리, 안전 관리, 제염, 기기-구조물의 철거, 철거 폐기물의 감용과 포장, 부지 토양 오염 제거, 잔류 방사선 평가 및 복원, 규제 해제 등으로 구성된다.

#### 원전 해체 사업의 특성

원전 해체는 원전을 영구 정지하고부터 짧게는 12년 길게는 27년 이상 걸리는 장기 프로젝트다. 비용도 원전 건설의 약 20~30% 정도가 소요되는 거대 프로젝트다. 장기 프로젝트가 대부분 그런 것처럼 인력의 수요가 프로젝트 기간 중 평탄하지 않고 매우 들쭉날쭉하다. 이에 따라 전문 인력(기업) 양성과 지속이 어렵다.

원전 해체는 단일 첨단 기술이 아닌 다양한 상용 기술의 변형과 조합이다. 따라서 어떤 기술을 선택하고 어떻게 사업 관리를 하느냐에 따라 사업 비용 규모가 큰 차이를 보이며 경제적인 해체 사업이 원자력산업

한양대 원자력공학과 졸업

울진원자력 1발전소 기술부  
원자력안전실 방사성물질관리부  
안전기술처 방사선안전팀  
울진원자력 3발전소 안전부  
기획처 기획팀



〈표 1〉 호기당 해체 비용 산정 기준

단위 : 억원

구분	'03년 말 산정	'12년 말 산정
준비 및 안전 관리	1,436	1,762
해체 및 복원	1,089	1,336
해체 폐기물 처분비	726	2,470
예비비	0	465
합계	3,251	6,033

〈표 2〉 국가별 해체 비용(2010년 1000MW급 1호기 기준)

단위 : 억원

프랑스	스웨덴	벨기에	일본	미국	독일	평균	한국*
4,856	2,414	6,024	9,590	7,800	8,590	6,546	6,033

전반의 경쟁력이 큰 영향을 미친다.

원전의 해체는 방사선원형 평가와 사용후핵연료의 냉각/인출, 계통의 배수와 세정, 방사선 안전 관리 등 원전 운영의 연장선상에 있어 원전 운영 인력과 경험이 반드시 필요하다. 또 프로젝트 기간 중에 민원과 사고 등 돌발 상황에 따른 공기 지연과 추가 비용 발생, 방사선 확산, 작업자 안전 사고의 가능성을 내포하고 있어 사업 관리에 세심한 주의가 요구된다.

### 원전 해체 준비

우리보다 앞서서 원전을 건설한 선진국들은 안전성이나 경제성을 이유로 이미 많은 연구로와 상업용 원자로의 해체를 해왔다. 우리나라는 2007년 고리 1호기 계속운전 허가시부터 계속운전에 대한 찬반 의견이 이어져 왔고, 2011년 일본 후쿠시마 원전이 대형 쓰나미로 인한 사고가 발생해 원자력발전소도 때가 되면 영구 정지하고 폐쇄될 수 있다는 것을 일반인들이 인식하게 되었다.

그러나 우리나라는 원전 해체에 대한 준비가 전혀 되지 않았다는 일반적인 우려와는 달리 국내 원자력계는 아주 예전부터 원전 해체에 대한 준비를 해오고

있다. 일반인들의 인지와 관계없이 한수원은 미래에 발생할 해체 비용의 마련을 위해 전기 판매 이익금에서 매년 일부를 각출해 차곡차곡 적립해 오고 있으며 해체를 위한 기술 축적도 차근차근 해왔다.

원전 해체 비용 총당금은 해당 원전의 준공년도에 초기 총당금(2003년 기준 호기당 3,251억원의 현재 가치)<sup>1)</sup>을 적립하고 매년 초기 총당금의 가치 보전을 위해 할인율을 적용한 금액을 추가로 적립한다. 지난해 말 호기별 해체 비용은 6,033억원(2012년말 기준)으로 물가 상승과 폐기물 처분비 단가 상승<sup>2)</sup>을 고려해 재산정되었으며, 관련 법령 개정 후 이 금액을 적용할 예정이다.

우리나라 원자력 연구계는 연구용 원자로와 우라늄 변환 시설 등 소규모 원자력 시설의 해체를 해왔다. 공동의 연구용 원자로 2호기를 이미 2009년에 해체 완료했고 1호기도 현재 해체가 진행 중이다. 우라늄 변환 시설도 지난 2011년에 해체를 완료해 경험을 축적했다.

원전 운영사인 한국수력원자력도 1998년에 고리 1호기 증기발생기를, 지난해에는 울진 1,2호기 증기발생기를 교체했고 월성 1호기의 원자로 압력관도 교체해 경험을 축적하고 있다.

1) 호기당 해체 비용은 스웨덴 Ringhal-3 원전(PWR, 920MWe)에 대한 철거 비용 평가 자료를 토대로 3,251억원으로 산정하였음 (2003년 말 기준)

2) 준비 및 안전 관리, 해체 및 복원 비용 : '03년 말 기준 비용에 '12년 말까지 물가 상승분 적용(물가상승률 2.3%)  
해체 폐기물 처분비 : 드럼당 385만원 → '12년 말 기준 1,310.35만원 적용 (관리 비용 1,193만원 + 지역 수수료 63.75만원 + 운송비 53.6만원)  
예비비 : 준비 및 안전 관리, 해체 및 복원 비용의 15% 적용

**우리나라 원전의 영구 정지 및 해체 시기**

고리 1호기는 한 차례 설계수명을 넘겨 10년간 계속운전을 해 2017년까지 운영하고 있으며, 월성 1호기 또한 지난해 설계수명이 도래해 현재 정지중이며 계속운전 여부를 심사받고 있다.

어느 나라나 정치적인 조기 정지 결정이 내려지지 않는다면 경제성과 안전성을 저울질해서 계속운전 여부를 결정하는 것이 타당하다. 우리나라의 경우도 예외는 아니어서 최소한 10년씩 2차례 정도는 계속운전을 하고 원전을 영구 정지하는 것이 타당하다고 본다.

그럼에도 불구하고 여러 가지 사회적 정치적 혹은 사업적 전략에 의해 보수적으로 모든 조건을 고려했을 때 가장 빨리 해체 작업에 들어갈 수 있는 시기를 검토한 결과, 고리 1호기만 단독으로 해체 작업에 들어갈 경우 2023년이 될 가능성이 있다. 이는 고리 1호기가 2017년에 정부로부터 더 이상 계속운전 허가를 받지 못해 영구 정지하고 인근 호기인 고리 2호기가 운영 중임에도 불구하고 단독으로 해체 작업을 시작할 경우를 가정한 것이다.

고리 1호기의 영구 정지가 2017년인데 2023년이나 해체 작업에 착수하는 것은 사용후핵연료는 원자로에서 인출한 후에 최소 5년의 냉각 기간을 거쳐야 취급 운반을 할 수 있도록 명시한 원자력안전법에 따른 것이다. 또한 사용후핵연료를 저장조 건물에서 밖으로 운반하는 데 1년 정도가 소요되기 때문이다.

다만 다수 호기 원전 부지의 경우 인접 원전의 안전 및 보안을 위해 인접 호기 영구 정지 시점에나 해체를 권고<sup>3)</sup> 하는 IAEA의 권고를 따른다면 당초보다 한참 뒤에나 해체 작업이 착수될 것이다.

**원전 해체 사업 로드맵**

원전 해체 준비의 첫 번째는 기술의 확보다. 원전 해체는 세상에 없는 새로운 기술을 개발해야만 하는 것은 아니다. 현존하는 기술을 잘 골라 조합하고 응

용해서 합리적이고 경제적인 공정을 개발하는 것이 중요하다고 본다.

요소 기술 공급자망을 잘 관리해서 최적의 체계를 구축해 사업에 나서야 된다. 요소 기술을 잘 살피서 가능성 있는 기술 회사와 협력하고 부족한 기술은 필요하다면 직접 개발하기도 해야 한다. 이 과정에서 특히 기술의 확보와 실증 테스트는 필수다.

두 번째는 공정 경쟁 환경 조성이다. 세계 시장 진출을 위해서는 치열한 국내 경쟁에서 살아남아야 한다. 중복 투자는 승자와 패자를 갈라놓지만 기술의 혁신을 낳는다. 정부나 유틸리티가 인위적으로 시장을 설계하면 독점이나 과점이 발생해 시장이 왜곡되거나 시장의 보이지 않는 손을 믿어야 한다.

정부와 한수원은 독과점과 불공정한 상거래를 방지할 수 있는 물을 마련해야 한다. 방향타가 될 규제 개발, 불필요한 규제 완화를 위한 법률 개정, 민원의 해결, 갈등의 조정, 부지의 마련, 양질의 노동력 공급, 해외 정보의 취득과 공급, 국가 간 협력의 주선 등 국가가 할 일은 많다.

또 연구와 기술 개발을 위한 실증 테스트 설비 구축과 기초 기술 연구를 위한 대규모 투자는 국가와 한수원이 할 몫이다. 국가는 고용 창출과 기술 인력 양성을 위해 보조금의 지원도 해야 할 일이라고 본다.

세 번째는 선택과 집중이다. 나라마다 주어진 환경에 따라 적합한 방법을 선택한다. 그 결과 대부분의 나라는 원전 운영자가 직접 또는 자회사를 통해 해체 사업을 주관한다. 그 이유는 이미 언급한 원전 해체 사업의 특성 때문이다.

인력 수요가 불연속적이어서 전문 인력(기업)의 양성과 유지가 어렵고 풍부한 사업관리 경험 여부가 사업 경쟁력에 큰 영향을 미친다. 또 민원과 돌발 상황에 대처할 수 있는 능력을 갖추고 있어야 하기 때문에 더욱 그렇다.

일부 국가에서는 국영 전문 기관이 사업을 주관하는 경우도 있으나 이는 그럴만한 이유가 있어서다. 영국은 군수, 연구, 농축, 재처리, 국영 노후 원전 등 원전 운영자가 책임지기 곤란한 시설에 한해서 NDA<sup>4)</sup>

3) IAEA의 지침(NW-G2.1, 2011)

〈표 3〉 주요국 원전 해체 사업 체계

국가	원전 현황 (가동/정지)	원전 운영사	해체 사업 주관	비고
미국	104 / 28	민간(26개)	원전 운영사	원전 사업자가 주도(일괄 발주 또는 직영)
일본	51 / 9	민간(10개)	원전 운영사	원전 사업자가 주도(직영)
프랑스	58 / 12	국영(EDF)	원전 운영사	운영사가 해체 전문 자회사 설립-운영
스웨덴	10 / 3	민간(4개)	원전 출자 회사	운영사 공동 해체 전문 기관(SKB) 설립
영국	16 / 29	민간(2개)	국영 전담 기관	National Decommissioning Authority 주도
스페인	8 / 2	민간(4개)	국영 전담 기관	ENRESA(스페인 방사성폐기물관리공사) 주도
이탈리아	0 / 4	국영(ENEL)	국영 전담 기관	SOGIN(이탈리아 원전관리공사) 주도

〈표 4〉 세계 주요국의 원전 운전년수 및 폐로 현황

	국명	가동 원전		건설 원전		계속운전 정책			운전년수		폐로 현황	
		설비용량(MW)	기수	설비용량(MW)	기수	정책	승인	운전중	>30년	>40년	연구 정지	해체 완료
1	미국	101,930	104	1,218	1		73	10	60	11	28	14
2	프랑스	63,130	58	1,720	1		2		21		12	
3	일본	44,396	50	2,756	2		16	16	17	3	9	1
4	러시아	24,164	33	10,008	11		18	17	17	1	5	
5	한국	20,787	23	6,600	5		1		1			
6	독일	12,003	9	-	-				1		27	3
7	캐나다	12,044	18	-	-		8	4	4	1	3	
8	우크라이나	13,168	15	-	-		2	2	2		4	
9	중국	11,881	16	27,640	26							
10	영국	10,038	16	-	-		6	6	5	1	29	
11	스페인	7,448	8	-	-				2	1	2	
12	스웨덴	9,399	10	-	-		4	1	7	1	3	
13	벨기에	5,943	7	-	-				3		1	
14	대만	4,927	6	2,700	2				3			
15	스위스	3,252	5	-	-		5	3	4	3	1	
16	체코	3,764	6	-	-							
17	핀란드	2,741	4	1,700	1		4	2	4			
18	인도	4,385	20	5,300	7		6	4	4	2		
19	헝가리	1,880	4	-	-		4		1			
20	불가리아	1,906	2	-	-						4	

※ 자료 참조 : IAEA PRIS('12.10.31)

라는 기관을 설립해 해체를 주관한다. 스페인은 4개의 전력사가 1~3개의 원전을 운영하고 있고 해외 전력사 등 다국적 투자 형태로 되어 있어 효율적 책임 해체를 위해 ENRESA<sup>5)</sup> 라는 국영 해체 전문 기업을 설립했다. 이탈리아는 1990년까지 4기의 원전을 모두 영구 정지했고 원전 운영사가 청산되면서 1990년에 인력 및 자원을 사후 처리 사업 전담 회사인 SOGIN<sup>6)</sup>에 승계했다.

네 번째는 다양한 사업 전략의 구사다. 기술 확보는 직접 개발하는 것만을 의미하는 것이 아니다. 또 국내 기업끼리만 어울려 세계 시장에 진출할 생각을 버리고 기술 제휴, 공동 개발, 기술 구매, 전략적 제휴, 합작 회사, 기업 인수와 합병 등 다양한 가능성을 열어두어야 한다.

울타리 밖에는 이미 성숙한 기술을 갖고 있는 메이저 기업들이 존재한다. 그들과 시장에서 경쟁하려면

4) National Decommissioning Authority

5) 스페인 방사성폐기물관리공사

6) 이탈리아 원전관리공사

〈표 5〉 세계 원전 해체(완료) 현황

국가	원자로 이름	유형	시설용량(MWe)	시작연도	영구정지연도	해체완료	최종 상태
미국 (14기)	BIG ROCK POINT	BWR	67	1962	1997	2006	해체 완료
	BONUS *	BWR	17	1964	1968	1970	밀폐 관리
	CVTR *	PHWR	17	1963	1967	2009	해체 완료
	ELK RIVER	BWR	22	1963	1968	1970	해체 완료
	FORT ST. VRAIN *	HTGR	330	1976	1989	1992	해체 완료
	HADDAM NECK	PWR	560	1967	1996	2007	해체 완료
	MAINE YANKEE	PWR	860	1972	1996	2007	해체 완료
	PATHFINDER *	BWR	59	1966	1967	2007	해체 완료
	PIQUA	기타	12	1963	1966	1969	밀폐 관리
	SAXTON *	PWR	3	1967	1972	2005	해체 완료
	SHIPPINGPORT *	PWR	60	1957	1982	1990	해체 완료
	SHOREHAM	BWR	820	1986	1989	1994	해체 완료
	TROJAN	PWR	1,095	1975	1992	2005	해체 완료
	YANKEE NPS	PWR	167	1960	1991	2007	해체 완료
독일 (3기)	GROSSWELZHEIM *	BWR	25	1969	1971	1998	해체 완료
	NIEDERAICHBACH *	HWGCR	100	1973	1974	1995	해체 완료
	VAK Kahl *	BWR	16	1961	1985	2010	해체 완료
일본	JPDR *	BWR	12	1963	1976	1996	해체 완료

\* 원형로(Prototype Rx.) 또는 실증로(experimental Rx.)

※ 출처 : NRC(Fact Sheet, 2011), IAEA(PRIS), WNA/Wikipedia

파괴적 혁신을 통한 저가 시장이나 틈새 시장 진출을 피해야 한다.

원전 해체 사업에 진출하고 싶은 기업들은 경쟁력을 키우기 위해 국내외를 막론하고 제휴하고 협회회를 구성해 출혈 경쟁을 피할 방법을 찾아야만 한다. 역할 분담을 통해 전문 기업의 장점을 살리고 상생을 위한 방법을 모색해야 한다. 이 분야에서는 원자력산업회와 같은 기관의 활약을 기대해 본다.

세계 시장은 넓다. 2030년대부터 원전 해체 수요가 많아질 것으로 예상되니 남은 기간에 경쟁력을 키워야 하겠다.

다섯 째는 인력의 양성이다. 우리는 우수한 인력과 실증을 통한 경쟁력 있는 기술을 습득할 수 있는 원전이 있는 것이 큰 장점이다. 기업들은 고급 기술자는 물론 중급, 초급 기술자 양성에 힘써야 한다. 학교와 연구 기관은 국제 시장에서 경쟁할 수 있는 기술의 개발과 원가 절감을 위한 연구로 창조적 혁신을 리드해야 한다.

그러기 위해서는 상용화된 다양한 기술의 장단점 분석과 선택, 응용할 수 있는 유연하고 시야가 넓은 인재를 양성해야 한다. IAEA, OECD/NEA, WANO,

JAIF 등 국제 기구 및 협회와 적극적으로 교류해 정보를 공유하고 Exelon, TUV SUD, AMEC, EnergySolution 등 해외 전문 업체와 기술 협약, 벤치마킹, OJT/OJP를 통한 인력 양성 및 기술 확보에 힘쓸 예정이다.

### 세계 원전 해체 시장의 동향

전 세계에는 운전년수가 증가함에 따라 상용 원전 100기가 수명 만료나 정책적 결정, 사고/고장 등의 이유로 해체를 추진 중이다. 미국은 이미 상용로 8기를 해체 완료했고 미국과 독일, 일본은 실증로 11기를 해체 완료했다. 독일은 80년대부터 VAK(원형로) 해체를 통해서, 일본도 비슷한 시기에 JPDR(원형로) 해체를 통해 기술을 확보했다.

한수원은 회사 차원의 기술 개발 로드맵을 완성했고, 올해 6월에 완성될 산업부 주관 「방사성폐기물관리기술개발 국가 로드맵」에 참여해 정부와 함께 원전 해체 산업계의 국제 경쟁력을 키우는 데 최선을 다할 것이다. 🌐