

'99 춘계학술대회 논문집

한국원자력학회

원전해체비용의 적립금 분석

An Analysis on the annual decommissioning deposit in NPP

김승수, 이만기, 문기환

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

본 연구는 원자력발전소 해체비용을 평가하고 이를 수명기간 동안에 걸쳐 분배하는 방법들의 비교에 초점을 맞추어 분석하였다. 매년 적립되는 해체비용은 현재 한전에서 사용하고 있는 방법과 할인율을 고려하여 통상적으로 적용되고 있는 경제성평가방법을 비교할 때 커다란 차이를 나타내고 있으며 이를 근거로 한 원자력발전소의 경제성비교는 개선될 필요가 있음을 보여주고 있다.

Abstract

This study re-evaluated the methods for estimating and distributing decommissioning cost of nuclear power plant over lifetime. It was resulted out that the annual decommissioning deposit and consequently, the annual decommissioning cost could vary significantly depending on estimating and distributing methods, for instances, the accounting method being used presently by KEPCO and the lifetime levelized method being commonly applied in economic analysis.

1. 서론

원자력발전소의 발전원가분석 및 경제성을 예측하는 문제는 장기전원계획의 수립과 이에 따른 하부구조의 구축과 관련하여 전력경제 전반에 커다란 영향을 주게 된다. 발전원가를 구성하는 요소는 건설비, 운전유지비, 연료비 등으로 나누어지며 운전유지비 항목에는 원전해체비, 중저준위폐기물 및 사용후핵연료의 처분비 항목 등이 포함되어 있다. 한국전력공사는 이 중에서 중저준위폐

기물 처분비, 사용후핵연료 처분비, 해체비 등을 원전사후처리비 항목을 통해 매년 일정 금액을 적립하고 있다. 매년 적립되는 원전사후처리비 금액을 근거로 하여 실적발전원가의 운전유지비에 포함되는데 현재의 산정방식에 따르면 경제환경의 일시적 변화에 의해 적립금의 규모가 크게 달라지고 이에 따라 원자력발전의 실적발전원가가 비정상적으로 변화하게 된다.

본 논문에서는 원전사후처리비중 원전해체비에 한정하여 적립금 산출식의 문제점을 논의하고 적립된 자금을 독립적으로 관리함으로써 나타날 수 있는 경제적인 절감효과를 평가하고자 하였다.

2. 원전해체비용의 적립금 현황

원자력발전소의 해체비용은 한국전력공사의 사후처리충당금 계정을 통하여 연간단위로 적립되고 있으며 1992년 12월의 기준가를 적용하여 당해년도 발전소 철거비 충당금, 당해년도 사용후핵연료 처분충당금, 당해년도 방사성 폐기물 처분충당금 등의 세가지로 구분하여 적립하는 것을 내용으로 하고 있다.

표 1. 원자력발전소 사후처리충당금 계산산식

구 분	충당금 계산산식	비 고
당해연도 발전소철거비 충당금	$(161,850 \text{ 백만원} \times \text{물가상승률}) - \text{기적립액}$ 잔여가동기간	1) 물가상승률은 매년 12월의 한국은행 생산자물가지수를 적용하되 그기준월은 1992년 12월로 한다. 2) 가동기간은 25년으로 한다. 3) 가동기간 예상 누계발생량 = 전년도 누계발생량 + 당년도 발생량 × 잔여가동기간
당해연도 사용후핵연료 처분충당금	누계 발생량(KgU) × 542,100원/KgU × 물가상승률 - 기적립액 (단, 중수로의 누계발생량은 실발생량의 25%를 적용한다.)	
당해연도 방사성폐기물 처분충당금	$\{ (652,000(\text{원/드럼}) \times \text{물가상승률} \times \text{가동기간예상누계발생량}) - \text{기적립액} \} / (\text{잔여가동기간})$	

위와 같은 원칙에 따라 최근까지 적립된 원전사후처리충당금의 현황을 보면 표 2와 같다.

표 2 원전사후처리비 증담금 현황

(단위 : 백만원)

년도	발전소 철거비	폐기물 처분비	계
1983	6,212	26,212	32,424
1984	6,764	28,923	35,687
1985	24,334	36,725	61,059
1986	17,383	42,131	59,514
1987	19,452	68,747	88,199
1988	26,083	93,436	119,519
1989	27,978	92,137	120,115
1990	41,015	105,841	146,856
1991	37,744	122,017	159,761
1992	27,671	115,738	143,409
1993	74,021	166,600	240,621
1994	77,751	131,277	209,028
1995	88,824	157,515	246,339
1996	99,595	161,474	261,069
계	574,827	1,348,773	1,923,600

위와 같이 적립된 비용을 운용하는 책임과 권한은 전기사업자에게 있으며 적립된 자금의 운용에 대한 법적인 제재나 감독기능은 정해져 있지 않은 상황이다.

3. 원전해제비용의 산정

원자력발전소의 해제비용을 결정하는 요인은 아주 다양한데 그중 대표적인 것으로서 원전해제의 방법 선택과 관련된 요인이 있으며 이외에도 해제폐기물의 규제기준 및 처분비용 등이 커다란 영향을 주고 있다.

원전해제의 방법으로서는 국제원자력기구(IAEA)에서 추천하고 있는 STAGE 1, STAGE 2, STAGE 3 등의 세가지가 대표적인 것이며 이것은 각각 미국에서 적용하고 있는 SAFSTOR, ENTOMBMENT, DECON의 방법과 유사하다. 원자력 선진국들은 각국별로 자국의 규제상황에 맞추어 약간씩 변형된 형태의 해제방안을 설정하고 있다. 우리나라에서는 아직 해제방안에 대한 뚜렷한 원칙이 정해져 있지 않으며 해제비용에 있어서도 수명기간종료후 사용후핵연료에 대한 일정 냉각기간을 거친후 즉시해제하는 방안을 가정한 일본의 비용자료를 인용하여 적립금을 산정하고 있다.

현재 한전에서 적립하고 있는 철거비(해제비)증담금의 기준이 되는 해제비용은 폐기물처분비용을 포함하여 1기당 161,850 백만원(1992년 12월 기준가격)으로써 노형 및 용량의 규모에 관계없이 일정한 비용을 가정하고 있다.

본 논문에서는 운전종료(수명기간종료)후 즉시해제하는 방안을 택할 경우의 비용소요계획을 기존의 연구를 통해 조사함으로써 위에서 설정한 해제비용이 실제로 투입되는 비용흐름분석을 우선적으로 수행하였다. 1992년말의 기준가격으로 산출된 미래의 비용지출계획이 수립되면 물가상승률 및 할인율 등의 경제적인 수치를 고려하여 연간 적립해야할 금액을 산출할 수 있다. 여기에서 적립금의 산출은 감채기금법(sinking fund method)을 이용하게 되며 연간 균등배분의 원칙을 적용하였다.

가. 해제비용의 지출계획

한국전력공사에서 1995년도에 수행한 원전해제비용산정에 관한 연구결과를 보면 고리1호기를 대상으로 하여 1995년초의 가격으로 표시할 때 DECON(즉시해제철거방식) 전략선택시 약 187.9백만달러로 추산하고 있다. 해제비용에 포함된 주요 비용항목은 방사성폐기물처분비용, 규제관련비용, 특수장비비 구매, 해제작업비용(오염된 부분), 사업관리/엔지니어링, 수송비용, 에너지 사용비, 세금 및 보험료, 구조물의 철거비용(비오염 부분) 등인데 주로 구조물의 철거비용과 해제작업비용 등이 커다란 비중을 차지하고 있다. 할인율을 적용하지 않고 원전의 수명종료시점을 제로(0)로 가정했을 경우 해제작업기간별 비용을 보면 표 3과 같다.

표 3. DECON 전략에 대한 고리 1호기의 해제비용(1995년1월 가격,백만원)

기간(년)	지출비용(천 US \$)	비율(%)	작업내용
-2.5 → 0.00	20,838 (26,048)	13.87	해제계획/준비단계
0.00 → 0.62	31,644 (39,555)	21.05	Defuel reactor, 주요제염작업
0.62 → 6.92	7,024 (8,780)	4.67	S/F pool operation
6.92 → 8.62	90,787(113,483)	60.41	주요해제작업의 진행 및 완료
총 계	150,293(187,866)	100.0	-

주) 괄호안의 숫자는 예비비(25%)가 포함된 비용임, 환율은 790(원/\$)임.

위의 표에서 각 기간의 지출비용은 해당기간의 중간시점에 발생한 것으로 간주하였다.

4. 원전해제비용의 적립금 산정

본 연구에서 목적으로 하고 있는 것은 현재 사용되고 있는 원전해제비용 기준금액을 이용하여 운영기간중 적립해야 할 적정비용을 산정하고자 한다. 한편에서 현재 적용하고 있는 해제비용은 원자력발전소 사후처리충당금 계산산식에서 사용되는 1992년말 기준비용인 161,850(백만원/기)인

데 추가적으로 1995년에 분석된 고리 1호기의 해체비용추정 자료에 대해서도 적립금액을 산정해 보고자 한다.

가. 기본 가정

본 연구에서는 기존의 원전해체비용을 1998년 1월 가격기준으로 재산정하고자 한다. 따라서 미국달러화로 표시된 해체비용은 분석 당시(1995년 1월)의 환율을 적용하여 원화가치로 환산한후 1998년 1월까지의 국내 물가상승률을 적용함으로써 1998년 가격으로 표시하게 된다. 표 4에서는 본 연구에서 적용하고 있는 기술/경제적인 가정 사항을 요약하였다.

표 4 기술/경제적인 가정 사항

항 목	적용 수치	참고사항
가격의 표시방법	불변가격방식	실질(real)개념의 비용 및 경제지표자료 이용
가격의 기준시점	1998년 1월	
대미 환율(1995년 1월)	790 (원/\$)	
인플레이션율	GDP 디플레이터	'97년말까지의 실적치 이용
실질에스컬레이션율	0 (%/년)	
실질이자율(실질할인율)	5 (%/년), 8 (%/년)	
대상 원자로	PWR 1,000 MWe	신규로 건설됨을 가정함
연간이용률	75 %	수명 기간동안 일정함
수명 기간	30 년	

인플레이션율은 화폐가치의 하락정도를 표시하는데 이에 대한 지표로써는 흔히 일반물가상승률을 대용으로 사용하고 있다. 물가상승률의 적용에 있어서 현재 한전에서 사용하고 있는 것은 한국은행에서 발표하는 매년 12월의 생산자물가지수이다. 그러나 이러한 방법은 12월의 생산자물가지수가 특별한 외부요인으로 인하여 어느 한해에 비정상적으로 나타난다면 당해연도의 해체비용산정과 이에 따른 적립금의 크기가 부적절하게 반영될 수 있다. 또한 전기사업자가 획득하는 수입의 대부분은 전기요금으로 부터 연유하게 되는데 소비자에 대한 전기요금은 정책적 차원에서 어느 정도 안정적으로 움직이기 때문에 어느 특정 월을 기준으로 한 총당금의 산출은 조정되어야 할 필요성이 있다고 판단된다.

즉, 물가상승률의 지표로써 생산자물가지수를 이용할 경우에는 특정 월을 기준으로 할 것이 아니라 연평균 생산자물가지수를 적용하는 것이 적절하다고 판단된다. 그러나 원전해체비용에 대한 각국의 경험 및 예측치를 살펴보면 인건비 및 폐기물처리비 등의 비중이 상당한 부분을 차지하는 것을 볼 때 원전해체비용의 연간 에스컬레이션율은 일반물가상승률의 대응치인 GDP 디플레이터를 사용하는 것을 고려해 보아야 한다. 표 5에서는 최근의 생산자물가지수 및 GDP 디플레이터

를 요약하였다.

표 5 생산자물가지수 및 GDP 디플레이터

연 도	생산자물가지수		GDP 디플레이터
	연평균	각 연도의 12월	
1990	100.0	103.4	100.0
1991	104.7(4.7%)	105.4(1.9%)	110.1(10.1%)
1992	107.0(2.2%)	107.1(1.6%)	116.8(6.1%)
1993	108.6(1.5%)	109.2(2.0%)	122.7(5.1%)
1994	111.6(2.8%)	113.5(3.9%)	129.4(5.5%)
1995	116.8(4.7%)	117.4(3.4%)	136.7(5.6%)
1996	119.9(2.7%)	121.5(3.5%)	141.4(3.4%)
1997	124.6(3.9%)	134.7(10.9%)	144.7(2.3%)
평균증가율('90-'97)	3.2%	4.3%	5.4%

주) 괄호안의 숫자는 전년도에 비한 상승률임.

실질에스컬레이션율은 해체비용관련 항목의 비용이 인플레이션율(일반물가상승률)을 초과하는 수치를 말하는데 공급/수요부족 등의 특별한 상황을 예측할 수 없는 경우에 보통 제로(0)로 가정하는 경우가 많다. 실질할인율을 결정하는 것은 미래의 재무상태예측에 중대한 영향을 미치게 되는데 우리나라의 경우 전력부문에서는 8%, 8.5% 등의 수치를 적용하여 왔다. 그러나 점차로 국제간의 자본이동이 자유화되고 우리나라도 산업구조가 선진국형으로 변화되는 상황을 가정할 때 현재 선진국 및 OECD국가에서 표준치로 적용하고 있는 5%의 수치를 적용하는 것을 다른 대안으로 하였다.

나. 해체비용의 적립금 산정

연간 적립금을 산정하기 위해 우선적으로 필요한 것은 1998년 1월의 가격으로 표시된 경수로 1,000 MWe 용량에 대한 해체비용산출이다. 본 연구에서는 현재 한전에서 중당금적립을 위해 사용하고 있는 원전해체비용과 1995년의 연구결과를 통해 산출된 해체비용의 두가지를 대상으로 하여 분석하고자 한다. 현재 중당금적립의 기준이 되는 161,850 백만원(1992년 12월 가격)은 특별한 용량규정을 두고 있지 않기 때문에 편의상 경수로 1,000 MWe의 용량에 대한 것으로 인정하고 1998년 1월까지의 환산지수는 GDP 디플레이터를 기준으로 할 때 147.7/116.8(1.265)이기 때문에 204,740 백만원의 원전해체비용이 산정된다.

한편, 1995년 연구결과에서 산출된 고리 1호기의 해체비용은 첫 번째로 용량의 보정에 의한 비용조정을 거친후 환율의 적용과 국내의 물가상승률을 고려하여야 한다. 용량보정은 원전해체비용에 관한 보고서인 NUREG/CR-0130 에서 도출된 다음의 관계식을 이용하고자 한다.

$$\text{경수로해체비용} = 75 + 0.0088 \text{ MWt(백만\$)}$$

고리 1호기의 용량이 1,724 MWt이기 때문에 1,000 MWe(2,815MWt) 용량의 해체비용은 위의 계산식에 의해 비율이 99.77/90.17(1.106)을 이용함으로써 용량을 보정한 1995년 1월의 가격으로 표시될 수 있다. 또한 1995년 1월의 환율은 790(원/\$)이고 1995년 1월부터 1998년 1월까지의 물가상승률은 144.7/129.4 (1.118)이다. 따라서 DECON 전략에 대한 해체비용인 187,866 (천 US\$)은 다음과 같은 환산과정을 거쳐 1998년 1월의 가격으로 환산되게 된다.

$$\text{DECON전략 해체비용} : 187,866 \times 1.106 \times 0.79 \times 1.118 = 183,515 \text{ 백만원}$$

위의 해체비용과정을 요약하여 표시하면 표 6과 같다.

표 6 원전해체비용의 산출과정

구 분		현행 대안	신규 대안 (1995년 연구결과)
최초 비용		161,850 백만원 (1992년 12월 가격)	187,866 (천 US\$)
용량보정		-	1.106
환 율		-	790 (원/\$)
물가상승		1.265	1.118
1998년 1월 가격 (할인율을 고려안함)		204,740 백만원	183,515 백만원
할인보정 계수(*)	DCR 5%	0.8071	0.8071
	DCR 8%	0.7254	0.7254
최종할인 비용(**)	DCR 5%	165,248 백만원	148,117 백만원
	DCR 8%	148,516 백만원	133,119 백만원

(*) : 할인의 기준시점을 수명기간 종료시점(0)으로 하였을 때 기간별 비용지출계획과 실질할인율을 적용하여 산출된 비용임.

위에서 산정된 해체비용은 해체작업이 진행되는 기간중에 실제로 지출될 비용을 1998년 1월의 가격으로 표시한 것이며 지출시점에서의 경상가격산출을 위해서는 1998년부터 지출시점까지의 경상에스컬레이션율을 고려하여야 한다.

위의 최종할인비용을 산출하게 한 해체비용의 기간별 지출계획은 표 7과 같다.

표 7 원전해제비용의 기간별 지출계획

(단위 : 백만원)

지출기간 (지출시점)	현행 대안			신규 대안		
	할인율: 0 %	5 %	8 %	0 %	5 %	8 %
-2.5 → 0.00(-1.25)	28,397(14%)	30,183	31,265	25,454	27,054	28,024
0.00 → 0.62(0.31)	43,098(21%)	42,451	42,082	38,630	38,050	37,719
0.62 → 6.92(3.77)	9,561(5%)	7,955	7,153	8,570	7,130	6,412
6.92 → 8.62(7.77)	123,683(60%)	84,659	68,016	110,861	75,882	60,965
합 계	204,740(100%)	165,248	148,516	183,515	148,117	133,119

위와 같이 산출된 지출계획에 맞추어 자금을 공급하기 위해서는 원자력발전소 운영기간 동안에 매년 일정량의 금액을 적립하는 것이 보통인데 경제성평가에서 적용될 수 있는 방법으로서는 다음의 Uniform sinking fund 공식을 이용하는 것이 가장 적절하다고 판단된다.

$$A = F \times i / \{(1+i)^N - 1\}$$

A : 매년말의 적립금

F : 수명종료시점(0시점)의 할인된 해제비용 총액

i : 운영기간동안(수명기간)에 예상되는 연간 할인율

N : 원자력발전소의 수명기간

$i / \{(1+i)^N - 1\}$: 감채기금인자(sinking fund factor)

본 연구에서는 불변가격방식에 의해 비용을 산정하기 때문에 모든 가격 및 비용은 1998년 1월의 가격으로 표시된다. 또한 할인율도 인플레이션율이 제거된 실질할인율이 사용되어야 한다.

위의 가정에 의해 산출된 감채기금인자 및 원전의 해제방안별 매년 적립금액을 요약하면 표 8 과 같다.

표 8 원전해제비용의 적립금 산정 결과

(단위 : 백만원)

구 분	할인율			
	0 %	5 %	8 %	
감채기금인자(수명기간 : 30년)	0.0333	0.0151	0.0088	
현재 대안	할인 총비용	204,740	165,248	148,516
	연간 적립금	6,825	2,487	1,311
신규 대안	할인 총비용	183,515	148,117	133,119
	연간 적립금	6,117	2,229	1,175

표 8에 나타나 있는 연간 적립금은 1998년의 가격으로 표시된 금액이며 적립되는 각 연도의 실제적립금은 1998년부터의 인플레이션율이 반영되어야 할 것이다. 예를 들면 현재 대안의 경우 실질할인율을 5 (%/년)으로 하고 인플레이션율을 연간 4% 정도로 가정했을 때 2010년말에 적립해야될 금액은 경상비용으로 $2,487 \times (1+0.04)^{13} = 4,141$ 백만원이 된다. 즉, 이것은 kWh당 비용으로 볼 때 비용원가가 매년 4%씩 상승하는 것으로 나타나지만 전력관태로부터 얻어지는 충수입에 대한 지출비율은 인플레이션율과 전기요금의 인상률에 따라 달라지게 된다. 만약 전기요금이 인플레이션율과 동일하게 움직인다면 충수입에서 차지하는 해체비용의 적립금은 일정하게 유지될 수 있을 것이다.

현재 한전에서 적립하고 있는 충당금 계산식을 보면 본 연구에서 가정한 것과 비교할 때 여러 가지 측면에서 차이가 나고 있다. 우선 미래의 원전해체비용이 생산자물가지수의 상승분 만큼 변화할 것이라는 가정인데 이것은 본 연구에서 가정한 경상에스컬레이션율(인플레이션율 + 실질에스컬레이션율)에 비해 일반적으로 낮은 수치를 보이고 있다. 따라서 미래의 경상가격으로 표시된 원전해체비용이 본 연구에서 가정한 비용보다 과소평가될 가능성이 있다.

한편, 기적립액을 매년 차감하는 과정을 보면 기적립액을 독립적으로 관리하여 기적립금을 증가시키는 내용이 없기 때문에 비용관리의 투명성이 나타나 있지 않다. 이것은 연간 적립되는 적립금의 크기를 비정상적으로 크게 함으로써 발전원가의 합리적인 산정을 저해할 수 있게 된다. 가동기간의 산정에 있어서도 25년으로 가정하고 있는데 본 연구에서 가정한 30년에 비해 짧게 나타나고 있어서 실제 30년의 운영기간중 25년 동안은 적립금의 부담이 과도하게 부과되지만 나머지 5년은 전혀 고려되지 않기 때문에 기간에 따라 발전원가산정에 대한 왜곡현상이 발생할 수 있는 소지가 있다.

다. 적립금의 비교/분석

원전해체를 위한 적립금의 산정은 원전해체비용의 크기 자체 뿐만 아니라 동일한 비용을 연간 단위로 분배하는 방법상의 차이로 인해 결과가 달라질 수 있다.

여기에서는 동일한 원전해체비용을 가정했을 때 현재 한전에서 적립하고 있는 방법에 의한 적립금과 본 연구의 방법에 따른 적립금을 가동기간 및 수명기간을 25년으로 같게 하고 물가상승률과 실질할인율을 연간 5%로 균등하게 가정했을 경우에 대해 상호 비교해 보고자 한다. 편의상 1998년초에 가동을 시작한 경수로 1,000MWe 용량을 대상으로 하며 연간 균등이용률은 75%로 한다. 수명기간을 25년으로 하였기 때문에 위에서 산정된 해체비용은 5년만큼 앞으로 할인 이동되어야 하고 따라서 해체작업시점도 당연히 변동되어야 한다.

표 9에서는 위의 가정을 기준으로 하여 자금의 관리방식에 초점을 맞춰 비교한 결과를 보여주고 있다.

표 9 적립방안별 경제성 비교

구 분	현재의 총당금계산산식 (적립금을 증식 안함)	통상적인 경제성평가 (적립금 증식효과 반영)	
대상 원자력발전소	PWR 1,000 MWe	PWR 1,000 MWe	
수명 기간/이용률	25년 / 75%	25년 / 75%	
물가상승률(%/년)	5	5	
실질할인율(%/년)	-	5	
원전해체비용 (1998년1월 가격)	160,419 백만원	160,419 백만원	
연간적립금(백만원)/ 적립금원가(원/kWh)	1998년	6,738 / 1.03	3,529 / 0.54
	2005년	10,064 / 1.53	4,966 / 0.76
	2010년	14,498 / 2.21	6,338 / 0.96
	2015년	23,113 / 3.52	8,089 / 1.23
	2020년	46,912 / 7.14	10,324 / 1.57
	2022년	85,099 / 12.95	11,382 / 1.73

5. 결 론

원자력발전소의 운영기간 동안에 적립된 금액을 독립적으로 관리/운영함으로써 예상되는 효과는 현재의 운영방안과 비교할 때 발전원가에 미치는 영향 자체뿐만 아니라 수명기간 후반에 큰 폭으로 상승하는 비용은 경영실적평가에 있어서도 문제점으로 부각될 수 있다. 위의 결과로부터 유추해볼 때 현재 한전의 총당금계산식에 의한 비용부과는 과도하게 책정된 것일 수 있으며 이는 실적 발전원가를 정상보다 높게 나타나게 하는 현상을 초래하게 된다. 즉, 적립된 비용의 독립적인 관리를 통해 발전사업자의 비용부담감소와 전원별 실적발전원가비교를 더욱 공정하게 할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 함께 적절한 원전해체비용을 주기적으로 수정해나감으로써 합리적인 적립금 산정에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것이다.