사용후핵연료 장기저장의 경제적 효과

김성기, 고원일, 최희주
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
sgkim1@kaeri.re.kr

1. 요약

본 논문은 사용후핵연료의 장기저장으로 인하여 발생할 처분지연에 대한 경제적 효과를 분석하였다. 분석 결과, 사용후핵연료 장기저장을 통하여 고준위방사성폐기물의 지하처분장 건설을 190년 지연시킬 경우, 2040년에 처분장을 건설할 경우와 비교하여 약 1/3의 비용이 소요되는 것으로 계산되었다. 이러한 결과는 경수로핵연료 2만톤과 CANDU 1만6천톤을 처분하는 것을 가정하여 순전히 경제적인 관점에서 산출된 결과이다.

2. 서론

일반적으로 사용후핵연료의 후행핵연료 주기는 직접처분과 재처리로 구분하지만[1] 사용후핵연료 처분장 건설지연을 고려하면 장기저장 후 처분하는 대안을 추가할 수 있다.

본 논문의 연구목적은 파이로 처리 전까지의 사용후핵연료 장기저장에 대한 세가지의 시나리오를 가정하여 사용후핵연료의 처분지연에 대한 비용효과를 분석하는 것이다. 즉, 사용후핵연료를 현재로부터 30년, 90년, 190년 후에 처분을 한다고 가정하는 세가지의 시나리오에 대한 투자비용을 분석하는 것이다.

3. 본론

3.1 장기저장 비용과 처분비용의 관계

후행핵연료주기 대안에 대한 경제성을 분석할 때, 항상 사용후핵연료의 장기저장비용과 처분비용을 함께 고려해야 한다[2]. 왜냐하면 중간저장에 의한 장기저장비용과 처분비용은 서로 밀접하게 관련되어 있기 때문이다. 예를들면, 중간저장기간이 증가 되면 고준위폐기물 처분장의 건설이 지연되게 되므로 중간저장비용은 증가하고 처분장 건설비용은 화폐의 시간가치의 영향 등으로 감소하게 되어 장기저장비용과 처분장 건설비용은 서로 상충관계가 존재할 수 있다. 따라서 장기저장비용과 처분비용을 따로 분리하여 경제성을 판단하는 것은 잘못된 것이며, 어떤 하나의 대안에 대하여 장기저장비용과 처분비용을 합산하여 경제성을 판단해야 올바른 의사결정을 할 수 있다.

3.2 비용산정

3.2.1 비용산정 조건 및 방법

비용산정 조건은 크게 기술적 조건과 경제적 조건으로 구분할 수 있다. 여기서 기술적 조건이란 중간저장 및 장기저장시설에 대한 설계 요구사항을 만족시키기 위한 조건들이며 경제적 조건은 비용산정을 위하여 사용된 평가방법 및 매개변수들과 관련된 조건들이다. 본 논문에서는 각 시설의 단가 및 물량을 산출하여 소요되는 비용을 bottom up 방식으로 합산하여 계산하였다.

처분장 건설투자비는 식 (1)과 같이 준공시점의 미래가치로 표현할 수 있다.

$$FC = \sum_{i=1}^{T} C_i (1+r)^{T-i} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, C_i=투자비, r=명목이자율, T=준공년도

그런데 명목이자율은 Fisher 효과에 의해 식(2)와 같다.

$$r = (1+I_f)(1+\hat{r}) - 1 \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서, $\hat{r}$= 실질이자율, I_f=물가상승률

따라서 실질이자율은 식 (3)과 같다.

$$\hat{r} = \frac{(1+r)}{(1+I_f)} - 1 \quad \cdots\cdots (3)$$

그러므로 실질이자율은 명목이자율을 물가상승률로 deflate 시킨 것이다.

따라서 (2)식을 (1)식에 대입하면 식 (4)와 같이 물가상승률과 투자자본비용을 고려한 미래가치를 구할 수 있다.

$$FC = \sum_{i=1}^{T} C_i (1+\hat{r})^{T-i} (1+I_f)^{T-i} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

일반적으로 식 (4)를 이용하여 산정된 미래가치 금액을 적정할인률로 할인하려 현재가치로 환산한다. 본 논문에서는 2009년말 물가기준으로 모든 비용을 불변가로 산정하였다.

결국 처분장 건설지연으로 인한 비용효과는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\triangle C_{deferral} = (C_{IS}^{t} + C_{DD}^{t}) - (C_{IS}^{t+k} + C_{DD}^{t+k}) \quad \cdots (5)$$

여기서, C_{IS}^{t} =중간저장비, C_{DD}^{t} =처분비

k=지연기간

3.2.2 비용산정 결과

투자비의 비용감소 효과를 파악하기 위하여 크게 3가지 시나리오를 상정하였다. 즉, 2041년, 2101년, 2201 년에 고준위폐기물 처분장을 건설하는 시나리오이다. 따라서 현재로부터 처분장 건설 착공시점까지의 기간이 처분장 건설지연 기간이 된다. 예를들면, 첫번째 시나리오인 2041년은 현재로부터 처분장 건설지연이 30년이며 2101년은 90년이 된다.

각 시나리오에 대한 비용산정 결과는 표 1과 같다. 표 1에서와 같이, 2201년에 처분장을 건설할 경우가 2041년에 건설하는 경우에 비해 총비용이 약 1/3로 감소되는 것으로 계산되었다.

4. 결론

2201년에 고준위폐기물 처분장을 건설할 경우, 투자비용이 1/3로 감소되는 이유는 화폐의 시간가치 때문이며, 기술적인 관점에서 장기저장으로 인한 방사성폐기물의 붕괴열 감소로 인한 차폐시설 등의 시설 설계요건이 완화될 수 있기 때문에 건설투자비가 감소될 것으로 판단된다. 그러나 장기저장 방안은 IAEA 등이 주장하는 "오염자 부담원칙"을 위배할 수 있다[3]. 즉, 우리 세대에 발생된 방사성폐기물은 우리가 처분해야 하며 이에 대한 비용부담을 다음 세대에 전가시킬 수 없다는 원칙을 위배한다.

Table 1. 투자비 비용산정 결과

(실질할인률: 2.06%)

Component	Present Cost(MEUR)		
	Construct Facility by 2041	Construct Facility by 2101	Construct Facility by 2201
Storage to 2040	492	492	492
Storage 2041 to 2100	Not applicable	985	985
Storage 2101 to 2200	Not applicable	Not applicable	16
Construction	3928	653	89
Total	4420	2130	1582

또한 장기저장이 발전소 내에 임시저장시설에서 이루어지는 것으로 가정한 것은 발전소 수명기간이 지난 후에도 발전소에 사용후핵연료가 남게 되는 모순이 존재한다. 그러나 사용후핵연료 처분지연에 대한 각 시나리오의 비용효과를 산정하기 위해 이러한 한계점은 무시하였다.

5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력중장기 연구개발비의 지원으로 수행하였습니다.

6. 참고문헌

[1] Koji Nagano, 2008, An assessment of spent nuclear fuel storage demands under uncertainty, Nuclear Engineering and Design 238 (2008) 1175 - 1180.

[2] Salomon Levy, 2009, Interim storage of power reactor spent nuclear fuel (SNF) and its potential application to SNF separations and closed fuel cycle, Nuclear Engineering and Design 239 (2009) 2209 - 2211.

[3] A.T. Silva, M. Mattar Neto, R.P. Mourao, L.L. Silva, C.C. Lopes, M.C.C. Silva, 2008, Options for the interim storage of IEA-R1 research reactor spent fuels, Progress in Nuclear Energy 50 (2008) 836-844.