

처분측면에서 본 순환형 핵연료주기의 유용성 분석

고원일, 권은하, 송대용, 정창준, 장홍래, 윤지섭
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
nwiko@kaeri.re.kr

1. 서론

일반적으로 사용후핵연료 관리정책의 큰 방향은 사용후핵연료를 폐기물로 간주하여 직접처분하는 방안과 사용후핵연료를 재처리하여 재활용하는 방안으로 나눌 수 있다. 이 둘 중 어느 관리 방안을 채택할 것인가는 그 나라의 에너지정책·경제성·환경문제·국민의 수용 등의 제반사항은 물론, 핵확산문제와 관련된 정치·외교적 요소 등의 국제적 상황을 고려하여 의사결정을 해야 하는 매우 복잡한 문제이다.

본 연구에서는 발생하는 처분대상 사용후핵연료의 양·처분대상 고준위폐기물의 붕괴열량·처분장의 관리기간·방사성독성도의 수준 등 폐기물처분의 측면에서 사용후핵연료를 직접처분하는 방안과 사용후핵연료를 처리하여 재활용하는 소위 “순환형 핵연료주기” 방안을 비교·분석하였다. 순환형 핵연료주기에서는 건식처리방식으로 사용후핵연료에서 우라늄을 분리하여 사용후핵연료를 중·저준위화하고, 또한 고방열핵종인 세슘(Cs)과 스트론튬(Sr)을 분리하여 독립적으로 관리하며, 장반감기 고독성핵종은 금속핵연료로 제조하여 고속로에서 소멸하는 것으로 가정하였다.

2. 분석결과

-처분대상 사용후핵연료의 양

제 3차 전원수급계획상의 원전비율이 앞으로 계속 유지된다고 가정할 때, 2100년경에 이르면 우리나라에서 발생하는 사용후핵연료의 양은 약 9만여톤(경수로 7만여톤과 중수로 2만여톤)에 이를 것으로 전망된다. 반면, 경수로 사용후핵연료를 처리하여 고독성핵종을 고속로에서 소멸케 하는 경우에는 대부분의 경수로 사용후핵연료를 소모할 수 있다. 경수로 사용후핵연료 7만여톤을 직접처분하기 위해서는 약 14 km²(약 4백 20만평)의 안정된 지하암반이 필요한데, 국토가 협소한 우리나라의 지형을 감안한다면 이를 수용할 수 있는 단일처분장의 확보는 사실상 어려울 것으로 판단된다. 순환형 핵연료주기에서도 사용후핵연료 처리 시에 고준위폐기물이 발생한다. 그러나, 그 처리과정에서 처분장면적을 결정하는 주요요소인 발열량이 큰 핵종을 제거하기 때문에 순환형 핵연료주기에서 고준위폐기물이 차지하는 처분면적은 크게 감소한다.

-처분대상 고준위폐기물의 붕괴열량

심지층 처분에 있어서 붕괴열은 지하 처분면적을 결정하는 중요한 요소이다. 사용후핵연료를 처리하여 고방열핵종인 세슘(Cs)과 스트론튬(Sr)을 제거하고 장기 고방열핵종인 악티나이드를 제거하는 경우, 처분장의 효율을 배가시킬 수 있다. 본 연구에서는 Origen 코드[1]를 이용하여 연소도 50 GWd/tHM, 초기농축도 4.5%를 갖는 사용후핵연료의 조성과 붕괴열량을 분석하였다. 또한, 사용후핵연료를 처리하는 과정에서 악티나이드 99.9%를 회수하여 소멸시키고, 고방열핵종인 세슘(Cs)과 스트론튬(Sr) 99.9%를 회수하여 지상에서 장기보관하는 경우의 붕괴열량을 직접처분의 경우와 비교·분석하였다. 그 결과, 99.9%의 악티나이드와 99.9%의 세슘(Cs) 및 스트론튬(Sr)을 제거한 사용후핵연료의 붕괴열량은 제거하지 않은 사용후핵연료에 비하여 최소 1/60, 최대 1/600 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 지하처분장의 면적이 붕괴열량에 비례하고 지하암

반이 최대온도에 도달하는 시간이 1,000년 이내인 점을 감안했을 때 지하처분장의 면적을 최소 1/60까지 줄일 수 있다는 의미이다.

-독성도 감소

사용후핵연료에는 고독성이면서 반감기가 긴 악티나이드와 요드(I)·테크네튬(Tc)과 같은 핵분열생성물이 포함되어 있다. 처분장 관리기간의 평가를 위하여 위의 Origen 코드를 이용하여 분석한 처분대상 고준위폐기물의 장기독성도를 시간의 함수로 나타내고, 이를 같은 양의 전력발전에 필요한 천연우라늄의 독성도와 비교하였다. 이는 사용후핵연료의 독성도를 자연상태(채광 및 농축전의 상태)의 수준으로 감소시키는 데 몇 년이 걸리는가에 대한 지표라 할 수 있다. 우라늄광석의 독성도는 Ra-236과 U-238이 영년평형(secular equilibrium)을 이룬다는 가정하에 계산하였다. 한편, 사용후핵연료 독성도의 계산을 위하여 경수로핵연료의 연소도를 50 GWd/tHM, 초기농축도를 4.5%로 가정하여 Origen 코드를 이용하여 계산하였다. 분석결과, 사용후핵연료를 직접처분하는 경우에 사용후핵연료의 독성도가 자연상태의 수준으로 감소하는데 약 30만년이 소요되는 것으로 나타났다. 반면, 악티나이드를 제거하여 소멸시키는 경우에는 그 기간이 300년 이내로 줄어드는데, 이는 우리 인간이 충분히 제어 가능한 기간으로 판단된다.

3. 결론

순환형 핵연료주기는 사용후핵연료를 재활용함으로써 사용후핵연료의 누적문제를 해결할 수 있고, 처분장의 관리기간을 수 십만년에서 수 백년 이내로 줄일 수 있으며, 처분장 이용의 효율을 극대화할 수 있는 것으로 평가되었다. 따라서, 우리나라의 사용후핵연료 장기관리정책을 수립함에 있어서 순환형 핵연료주기의 도입을 고려해 볼 만한 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] Croff, A. G., A User's Manual for the ORIGEN 2 Computer Code, ORNL/TM-7175, Oak Ridge National Laboratory, 1980.