

## 경수로 사용후핵연료 폐피복관 내면의 방사능 오염층 제거방안

정인하, 전종익, 이호희, 박장진, 송기찬, 양명승  
 한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150  
 nihjung@kaeri.re.kr

미국 ORNL에서 발표한 자료에 따르면, 1968년부터 2002년까지 미국에 보관된 PWR 및 BWR의 사용후핵연료 다발중 폐피복관(hull)이 차지하는 비율은 그림 1과 같다. 이 중 폐피복관이 차지하는 비율은 중량을 기준으로 25.2 wt.%에 이르고 있으며 이를 부피로 환산하면 약 40 vol.%에 달한다. 미국은 사용후핵연료 다발을 해체하여 피복관 및 구조재를 제외한 사용후핵연료를 UREX-plus 혹은 pyro-processing 등의 기술로 재활용을 함으로써, 고준위 방사성폐기물 부지의 사용기간 연장을 시도하고 있다. 사용후핵연료에 함유된 장반감기 핵종 (TRU) 및 열발생량이 높은 핵종 (Cs, Sr) 등을 99.9 % 회수할 수 있다면, 미국이 최근에 지정한 Yucca mountain의 사용기간을 약 225배 증가시킬 수 있다는 결과가 최근 발표되었다[Nucl. Tech., Vol. 24, No. 95 (2006)].

상용화 재처리 공정인 chop & leach 공정을 거친 폐피복관에는 우라늄이나 플루토늄 등의 핵연료 잔재물 외에도 피복관 원료금속 중에 포함되어 있는 원소의 방사화에 의한 방사화생성물 (예컨대, Sb-125, Co-60, Mn-54 등) 및 핵분열생성물 등이 포함되어 있어 미국, 일본의 방사성폐기물 분류기준에 따르면 TRU 폐기물로 프랑스 분류기준에 따르면 Category B 폐기물로 분류되어 심지어 처분한다.

또한 zircaloy-4 피복관에는 초기 불순물로 U이 약 0.005 ppm 함유되어 있다. Hull 내면에 부착되어 있는 핵연료 잔재물 및 핵분열생성물이 제거되었다는 가정 하에, 핵종붕괴 계산코드인 ORIGEN-II를 이용하여 농축도 3.2 wt.% 연소도 32,000 MWd/tU으로 3 cycle 연소시킨 후 50년 냉각시킨 PWR 사용후핵연료 피복관을 대상으로 초기 U 불순물로 인한 방사능을 계산한 결과, 원자로 방출 후 30년이 경과했을 때 불순물 U로 인하여 생성된 총 TRU의 방사능은 0.003 Ci/ton ~ 0.008 Ci/ton (= 3~8 nCi/g)의 범위를 나타내었다. 이는 미국의 TRU 폐기물 기준인 100 nCi/g 이하의 값에 해당되므로 피복관 재료 불순물 U로 인한 방사능은 TRU 분류 기준치 이하임을 나타낸다.

우리나라의 경우 폐피복관은  $\alpha$ -activity 기준으로는 고준위폐기물에 해당되나, 열발생율도 함께 규정하고 있으므로, 열발생율이 특별히 높은 Cs 및 Sr 등의 핵분열생성물이 다량 오염되어 있지 않는 한 폐피복관은 현행법상으로 중저준위 폐기물에 해당되는 문제점을 내포하고 있다. 따라서 가까운 시일 내에 우리나라도 폐피복관에 대한 폐기물 인수기준 혹은 포장기준 등을 현실에 맞도록 수정할 필요가 있다고 사료된다.

사용후핵연료의 처리·처분관점에서 우리나라의 경우 확정된 정책은 없으나, 직접 처분보다는 미국 등과 같이 사용후핵연료의 부피감축 처리 혹은 사용후핵연료의 재활용 등을 선택할 가능성이 높다. 이 경우 사용후핵연료의 해체로 인하여 폐피복관 발생이 불가피하다.

I.H. Jung 등 [Sep. Sci. and Tech. Vol. 41, No 10(2006)]의 실험결과에 의하면, 핵분열생성물의 피복관 내면 침투 두께는 연소도 32,000 MWd/tU hull의 경우 4~5  $\mu$ m, 65,000 MWd/tU hull의 경우에는 6~8  $\mu$ m의 범위인 것으로 관찰되었다. 침투된 핵분열생성물의 주요 핵종은 Mo가 0.2~0.3 wt.%, Pd, Ru, Nd, Ce 및 Cd 등이 0.1~0.2 wt.%를 나타내었으며 미량의 Y, La, Ba 등도 관찰되었다. 피복관 내면 약 10  $\mu$ m를 제거할 수 있다면 피복관에 부착된 핵연료 잔재물은 물론 핵분열생성물도 제거되므로 폐피복관의 방사능은 Class C의 LLW 수준으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서는 기계적 탈피복방법으로 분리한 폐피복관의 방사능적 특성을 SEM 및 EPMA를 통하여 분석하였고, 폐피복관 내면 오염층을 제거하기 위하여 Ion-gun, Nd-YAG Pulse Laser, Nd-YAG C.W Laser, Dry ice 분사, SUS 브러시 및 SUS wheel 브러시, 사포 그리고 염소기체

반응법 등의 건식방법으로 hull 표면에 잔재되어 있는 TRU, 핵분열생성물 등을 제거하여 현재 TRU 폐기물로 분류되고 있는 hull의 방사능을 Class C LLW의 수준으로 방사능을 저감시키는 방안을 제시하고자 한다.

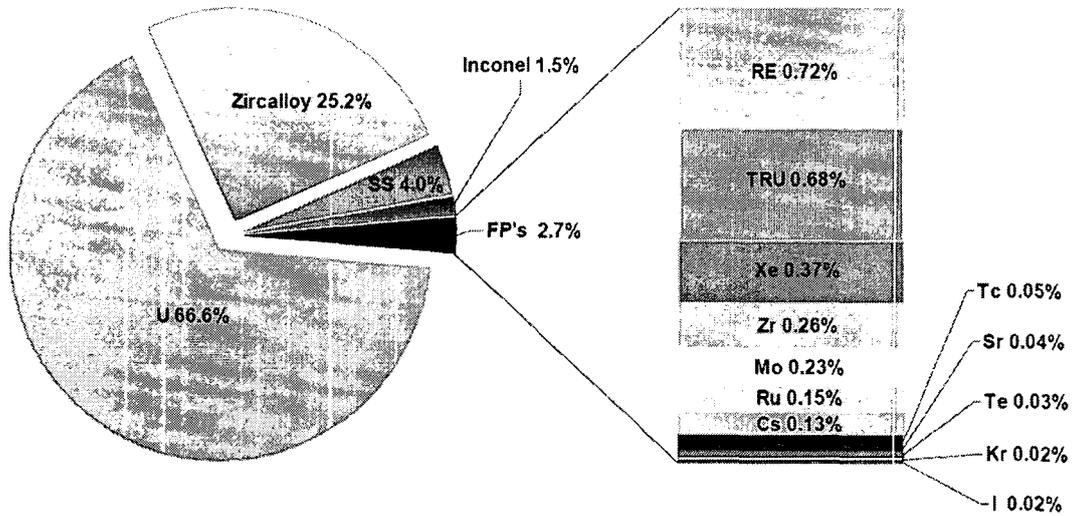


그림 1. Average composition in weight percent, PWR and BWR accumulated so far 1968 to 2002 and calculated on the basis of 40 years of cooling. -by ORNL.