

사용후핵연료 저장폴의 방사성핵종 제거

손영준, 전용범, 엄성호, 김길수

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

nyzson@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후 핵연료 저장시스템의 수처리 공정은 저장되어 있는 사용후 핵연료 집합체에서 생성되는 붕괴열을 제거시켜 사용후 핵연료 저장조의 수온을 미리 설정된 제한치 이내로 유지시킨다. 사용후 핵연료 저장시스템은 저장수조의 물로부터 방사능을 제거하여 최적의 청결상태를 유지하고, 또는 방사능 물질의 축적을 제거하는 것이다. 그리고 사용후 핵연료의 운전 설계기준은 사용후 핵연료 저장조 정화시스템의 여과기, 탈염기, 냉각장치에 의해 최적 투명도를 유지하고 또한 사용후 핵연료 저장조 물의 방사능을 제한하도록 설계되어 물의 방사능과 연료에 의한 수면에서의 선량이 연속적인 작업 종사자 피폭 허용치 2.5 mrem/hr 이하가 유지되어야 한다. 조사후시험시설의 사용후 핵연료 저장수조는 '06년 말까지 결합핵연료를 포함한 총 11개의 사용후 핵연료집합체(PWR)가 저장되어 있다. 수처리공정의 주요구성요소인 이온교환수지는 준공당시에 설계자인 SGN사가 권고한 프랑스의 Rohm&Haas사 IRN-77(양이온), IRN-78(음이온)을 사용하고 있다. 본 연구에서는 3년간('03~'05) 수처리공정의 운전경험 이온교환수지의 특성분석, 저장수의 방사능 농도분석 및 수질분석 그리고 폐이온 교환수지 처리 전에 핵종 결정하기 위한 시험을 수행하여 그 결과들을 평가 하였다.

2. 사용후핵연료 저장수조의 수처리공정의 경험

가. 수처리 공정의 운전 경험

조사후시험시설의 핵연료 저장수조에는 05년 말까지 총 11개의 사용후 핵연료집합체(PWR)가 저장되어 있으며 본문에서는 핵등급 이온교환수지를 이용한 운전경험 및 운전에 따른 저장수의 방사능 농도 및 수질분석결과를 기술하였다.

1) 운전조건

표 2.3.1과 같은 조건하에서 약 33개월 동안 수처리 공정을 운전하였으며 약 120m³의 방사능과 Crud를 함유한 저장수를 프리코트 필터에 의해 정화처리 하였다. 이온교환수지의 교체 시기는 입, 출구 사이의 차압이 1.6kg/cm² 이상일 때와 또는 필터 하우징의 표면 선량이 1000mR/hr 될 때 교체하며 본 운전기간동안 이온교환수지 교체는 하지 않았다. 운전기간 중에 저장수가 조사후시험시설의 핵연료 저장수조의 방사능 농도 및 수질을 알아보기 위해 이미 설정된 시료채취지점에서 1ℓ의 시료를 채취하여 화학분석부서에 주요핵종의 방사능 농도 및 수질분석을 의뢰하다.

표 2.3.1. 이온교환 수지탑의 운전 조건

운전온도	25℃	
사용된 이온교환수지	양이온교환수지	음이온교환수지
	IRN-77	IRN-78
처리 유량	17m ³ /hr (8hr/day)	
사용된 이온탑 형태	분리형 이온교환 수지탑	
분석항목	방사능	Co-60, Cs-134, Cs-137
	수 질	전도도, pH, Cl ⁻ , Ca

2) 정화효과 분석

저장수의 방사능농도 설계치는 37 Bq/ml 이하로 실제 저장수의 방사능 농도는 03년도에는 최대 방사능 농도는 최대허용치인 37 Bq/ml에 거의 근접해 27.24 Bq/ml로 높게 나타났으며 그래서 03년도에 신 수지를 충전 하여 현재까지 운전되고 있다. 표 에서는 신 수지를 충전 한 후 3년간의 운전 결과를 나타내었으며 04년에는 최대 방사능 농도는 10.14Bq/ml로 나타났으며 05년도에는 10.14Bq/ml로 나타났다. 3년간 평균 방사능 농도는 7.76(03년)>5.22(04년)>4.49(05년)순으로 나타나 모두 허용치 이하로 유지되었다. 저장수조별 평균 방사능 농도는 pool 9402> pool 9403>pool 9403순으로 나타났으며, 저장수조가 하역수조와 시험 및 해체 수조 보다 높게 나타났다. 그림 2.3.1은 03년, 04년,05년까지 주요 방사성핵종인 Cs-137, Cs-134, Co-60의 방사능 핵종 농도를 월별로 나타낸 것으로 3년 동안 평균 방사능 농도인 Cs-137의 농도는 다른 두 핵종보다 항상 높게 나타났으며 그 다음으로는 Cs-134가, Co-60은 가장 낮은 농도를 보였다. 위의 3종류의 방사성 핵종이 사용후핵연료 저장조의 총 방사능을 거의 결정하는 것으로 3년 동안 분석결과에 의하면 Cs-137은 총 방사능량의 63.2%, Cs-134는 30.02%, Co-60은 6.78%로 Cs이 총 방사능량의 93.22%를 나타냄을 알 수 있었다. 그리고 수질분석결과는 그림 3에 나타내었다. 우선 탁도에서 저장수의 이온성 입자가 상당히 제거 되었으나 저장수 표면의 부유물 영향으로 콜로이드 입자가 많이 형성되어 있는 것이 관찰되었다. 앞으로 이 콜로이드 입자 제거 방법을 도출해야 될 것으로 본다. 그림 3에서 보다시피 03년, 04년, 05년도 저장수의 평균 pH는 5.66, 5.73, 6.0으로 나타났다. 3년간 저장수의 평균 pH는 5.66~6.0사이로 허용범위인 5~7사이에 유지되었다. 전기전도도의 3년간 연간 평균값은 03년도 0.97 μ S/cm, 04년도 1.00 μ S/cm, 05년도 1.70 μ S/cm으로 모두 설계기준치인 5 μ S/cm이하를 만족하였으나 해마다 전도도 값이 높게 나타났다. 이는 03년도에 이온교환 신 수지가 교체된 후 3년이 경과된 결과로 수지의 성능 저하에 의한 것으로 판단된다. 염소이온의 3년간 평균치는 모두 0.05ppm로 일정하게 유지되어 설계치인 0.2(ppm)에 만족하였다. 그리고 칼슘이온의 3년간 평균치는 03년도 0.011ppm , 04년도 0.011ppm , 05년도 0.026ppm으로 03년, 04년보다 05년도에 약간 높은 수치가 나타났으나 3년간 모두 허용치인 0.26ppm에 만족하였다.

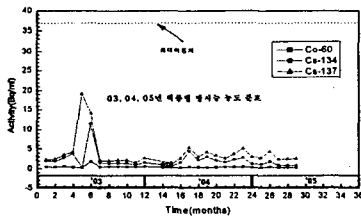
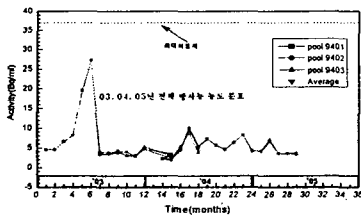


그림 2.3.1. 저장수의 총방사능 농도 및 핵종별 방사능 농도.

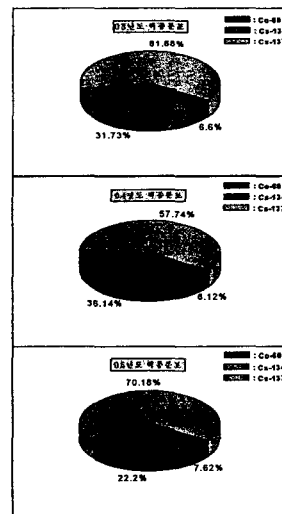


그림 2.3.2. 저장수의 핵종별 방사능 분포