

하나로 중수 수질 및 폐기물 관리

이 문, 신호철, 이의규, 김상진, 임경환, 한재삼, 안국훈
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150
mlee@kaeri.re.kr

1. 서론

하나로는 원자로 노심 주위에 중수(heavy water)로 채워진 반사체 탱크를 설치하여 핵분열에 의해 생성된 고속 중성자를 감속시켜 탱크 내에 가둬 양질의 열중성자 속(thermal neutron flux)을 이용자에게 제공하고 있다. 그러나 중수(D₂O)는 중성자를 포획하여 방사성 물질인 삼중수소로 변한다. 본 연구는 반사체 계통의 이온교환 수지 탈 경수화 작업과 중수 시료채취 작업에 의해 발생된 저 순도 중수의 처리 방안 등 중수의 수질관리 위해 취한 조치사항을 기술하였다.

2. 본론

가. 중수 수질관리

핵분열에 의해 생성된 고속 중성자를 감속시키기 위하여 중수의 수질관리는 매우 중요하다. 원자로 가동 중 반사체 계통 내의 중수는 43.3±10% ℓ/sec로 순환되며, 열교환기를 거쳐 발생된 붕괴열은 2차 냉각계통으로 전달된다. 반사체 계통은 0.3 ℓ/sec의 정화유량이 이온교환 수지를 거치면서 불순물의 제거와 순도를 유지하게 된다. 표 1은 하나로 운전 기간 동안 반사체 계통 이온교환 수지의 교체 현황이다. 수지의 교체는 하나로 자체 관리 기준치에 따라 전기 전도도가 1 μS/cm를 초과하거나 이온교환기 입·출구 값이 역전 현상이 보일 때 수행하고 있다. 표 1에서와 같이 하나로 운전 기간 중 이온교환수지의 총 교체 횟수는 6 회이었고, 반사체 펌프 운전일수를 기준으로 한 평균 교체 주기는 약 7.4 개월이었다.

표 1. 반사체 계통의 이온교환 수지 교체 현황

교체 횟수	교체일자	전기 전도도 (교체 전/후)	교체 주기	탈 경수화 방법
1차	1998.10.14	1.03/0.05 μS/cm	14 개월	압축 공기
2차	1999.07.14	1.70/0.07 μS/cm	4 개월	"
3차	2000.12.12	1.28/0.04 μS/cm	7 개월	"
4차	2001.09.28	2.20/0.06 μS/cm	5 개월	"
5차	2005.02.02	1.15/0.03 μS/cm	21 개월	중수 치환
6차	2007.09.19	1.18/0.06 μS/cm	9 개월	"

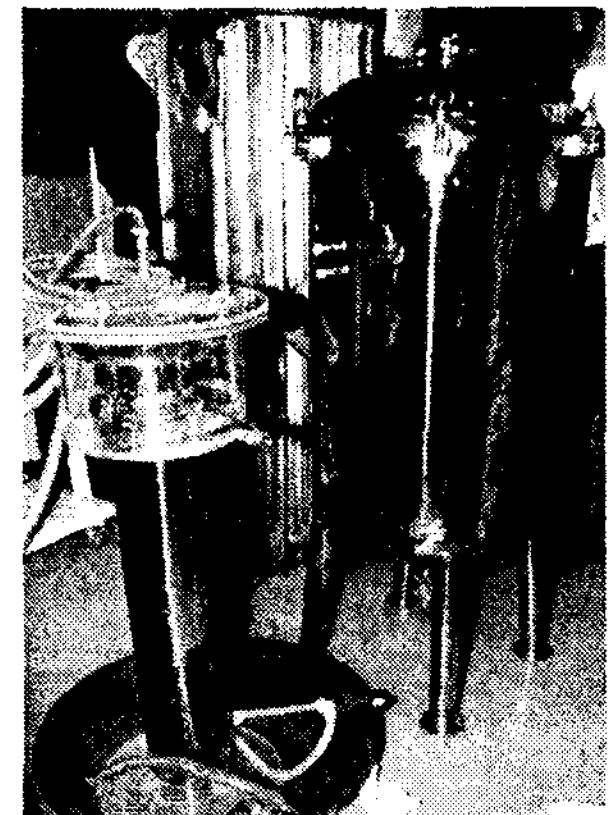


그림 1. 중수 치환 장치

하나로 시운전 당시 사용된 수지는 14 개월가량 사용하였는데 1999년인 2차 수지 교체 시부터 교체 주기가 빈번해졌다. 이온교환 수지의 빈번한 교체는 교체 폐기물의 양산과 함께 계통 내 중수 순도에 악 영향을 미치고, 작업자의 불필요한 체내 피폭을 초래하므로 수지의 교체 빈도를 줄일 필요가 있다. 하나로에서 사용하고 있는 Amberlite사의 IRN150 수지 역시 55% 가량의 수분을 함유하고 있어 이온교환 수지의 수분은 중수의 순도를 저하시키는 원인이 된다. 표 1의 교체 횟수 5차 이전에는 수분 제거를 위한 작업으로 압축공기 공급 계통에 의해 여과 및 탈지 처리된 건조 공기를 수지에 넣어넣는 진공 건조 방식을 활용하였다. 그러나 이와 같은 건조 방식은 수지

알갱이 일부의 손상을 가져왔고, 수지의 내구성을 저하시켰다.[1]. 2001년부터는 자체 제작한 중수 치환 장치를 사용하여 수지성능을 향상시켰다. 이 장치의 원리는 높은 순도의 중수가 담긴 아크릴 드럼에 이온교환 수지 카트리지를 장입하면 수지 내 포함된 미량의 경수가 중수보다 상대적으로 비중이 낮아 위쪽으로 분리되는 현상을 이용한 것이다. 이 장치의 사용 결과 수지 내 경수는 13% 이하로 유지되었고, 수지 교체 주기도 평균 15.2 개월로 늘어나게 되었다[2]. 그림 1은 하나로에서 사용 중인 중수 치환 장치이다.

나. 저 순도 중수 처리

하나로는 99.85 w%의 고 순도 중수를 사용하고 있다. 고 순도의 중수는 탈 경수화와 시료채취 등 유지관리 과정에서 불순물이 함유된 저 순도의 중수가 발생한다. 그 동안 하나로에서 보관중인 저 순도 중수는 총 157 ℓ이다. 저 순도의 중수는 다단 물 증류, 전기분해, 초저온 수소 증류 및 촉매교환 등의 공정방법을 통하여 고 순도 중수로 승급할 수 있고, 일반적으로 다단 물 증류 공정에 의한 방법이 가장 많이 사용된다. 이 공정은 액상 쪽으로 중수 성분이 조금씩 이동하여 기체, 액체간의 평형을 이루는 원리로서 소정의 분리를 위해 다단 평형 조작으로 이루어지는 공정이다. 이는 공정조작이 간단하고 분리효율을 높이기 위하여 진공으로 운전되기 때문에 방사능 누출우려가 없어 신뢰성이 확보되어 있다[4]. 하나로는 별도의 중수 승급 시설이 갖추어져 있지 않고 이와 같은 승급시설을 구비하기에는 비용 면이나 효율 면에서 타당성이 낮다.

그동안 하나로에서 보관 중이던 저 순도의 중수는 2008년 월성 원전과 협의하여 저 순도 중수를 월성 원전의 승급시설을 활용하기로 하였고, 이에 이송을 위한 법적 기준을 검토하였다. 과학기술부 고시 제2007-22호 “방사성 물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정”에 따라 운반 가능성을 확인하고, 하나로 저 순도 중수를 월성의 승급시설로 이송하였다.

3. 결론

중수 반사체 탱크 내 삼중수소의 농도는 원자로의 성능을 저하시키는 주요 원인이 된다. 원자로 가동 연수가 늘어남에 따라 반사체 계통 내 삼중수소의 비방사능은 누적·증가한다. 하나로 삼중수소 비방사능을 정확하게 평가하기 위해서는 원자로 운전 일수를 고려하여야 한다. 따라서 현재까지 하나로를 운전하면서 생성된 반사체 계통 내 삼중수소 비방사능의 측정값은 약 6.3 Ci/kg이었다[5].

향후 반사체 탱크 내 증가하는 삼중수소를 제거하기 위하여 다양한 방안을 고려하고 있다. 캐나다의 경우 자국 내 원전에서 발생된 삼중수소를 처리하는 삼중수소 제거 시설(Tritium Removal Facility, TRF)을 보유하고 있는 Darlington 발전소에서 위탁처리하고 있다. 따라서 하나로도 TRF를 자체 개발하는 방안과 이미 월성 원전에서 보유하고 있는 TRF 시설로 위탁 처리 방법도 함께 검토하고 있다.

참고 문헌

- [1] 안국훈 외, “중수계통 이온교환 수지의 건조 사용”, 한국원자력학회, 2000. 5
- [2] 전병진 외, “하나로 운영보고서”, 한국원자력연구소, 2001. 3
- [3] 이의규 외, “원자로실 삼중수소 농도 감소를 위한 조치사항”, 한국원자력연구원, 2007. 11
- [4] 김광락 외, “반사체 중수증류 승급해석”, 한국방사성폐기물학회, 2006. 10
- [5] 서철교 외, “하나로 중수 반사체의 삼중수소 방사능에 대한 평가”, 방사선방어학회, 2007. 5