

하나로의 2003년도 일차 냉각수 수질 및 방사성 핵종 변화 분석

An Analysis of HANARO Primary cooling water chemistry and nuclide analysis for 2003

강태진, 이 문, 최호영, 임인철

대전광역시 유성구 덕진동 150, 한국원자력연구소, tj kang@kaeri.re.kr

서론

하나로(HANARO)는 1995년 2월에 초기임계 (Initial criticality)에 도달한 이후 9년 동안 핵연료 및 재료의 조사시험, 동위원소 생산, 중성자 빔을 이용한 연구, 중성자 방사화 분석 등에 활용되고 있다.

본 논문에서는 2003년도 하나로 일차 냉각수의 pH와 전도도의 변화 경향과 냉각수에서 방출되는 감마선을 측정하여 분석한 결과를 기술하였다.

본론

1. 전도도 및 pH

2.

하나로의 핵연료심(fuel meat)은 순수한 알루미늄의 모체(matrix)에 고밀도의 U_3Si 입자를 분산시킨 것이다. 핵연료 피복관인 Si이 부식 또는 산화되어 내부의 핵분열생성물이 누출되지 않도록 냉각수의 수질은 중성에 가깝게 관리 되어야 한다. 따라서 일차 냉각수의 수질은 운영 기술지침서[1]에 규정한 화학적 제한치(표 1) 이내로 유지하여야 한다. 이를 위해 운전원은 일차 냉각수의 순도를 유지하기 위하여 각 운전 조가 교대할 때 마다 한 번씩(1일 3회), 정화 계통의 입, 출구 전기 전도도를 측정하고, 냉각수의 pH는 하루 1회 측정하여 화학적 제한치 이내로 유지되는지를 확인한다. 그림 1은 측정된 일차 냉각수의 pH와 전도도의 연중 변화량을 나타낸 그림이다[2]. 연중 전도도 (micro mho/cm)의 평균값은 입구와 출구가 각각 0.59, 0.27, 최대값은 입구와 출구가 1.61, 1.37이다. 출구 전도도 값이 상승하여 1.0을 넘어서면 이온교환수지를 교체하였다. 전도도 값이 증가와 감소를 주기적으로 반복되는 것은 원자로를 기동할 때 정화 계통의 유로를 변경하였기 때문이다. pH는 연중 최대값이 6.2, 평균값은 5.65로 유지되고 있다. 전도도 및 pH 모두 운영기술지침서에 규정되어 있는 화학적 상태 제한치 이내로 유지되었다.

표 1. 화학적 제한치

매개 변수	정상 상태 제한치
PH	5.5 - 6.5
전도도	5micro mho/cm

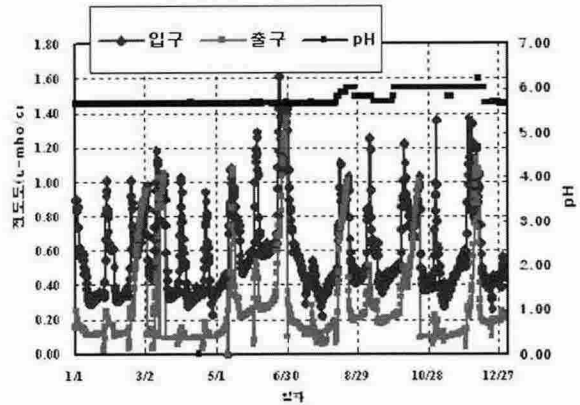


그림 1. 일차 냉각수의 pH 및 전도도

2. 냉각수 중 핵종 분석

하나로의 일차 냉각수에 포함되어 있는 방사성 핵종의 발생 원인은 냉각수에 용해된 물질이 노심에서 방사화된 것이나 노심 구조재에서 방사화된 물질이 냉각수로 용해된 것, 핵연료 표면에 오염된 우라늄의 핵분열이 있다. 운영기술지침서에 따라 매월 정기적으로 냉각수를 채취하여 냉각수에서 방출되는 감마선을 분석하여 정상 운전시 있어서는 않되는 핵종이 있거나 농도가 증가하는지를 분석하였다. 그림 2는 2003년도 하나로 운전 중 일차 냉각수에서 발견되는 주요 핵종의 종류 및 농도 변화를 나타낸 것이다. 냉각수 자체의 방사화로 생성된 N-16은 일차 냉각수 감마선의 대부분을 차지 하지만 반감기가 약 7초로 짧기 때문에 냉각수를 채취하여 측정할 때까지 대부분 붕괴하여 측정되지 않는다. Ar-41은 물속에 녹아 있는 Ar-40의 방사화로, Mn-56은 철의 방사화로, Na-24는 핵연료 피복재로 사용된 알루미늄의 방사화로, W-187은 텅스텐의 방사화로, Cr-51은 스테인리스스틸에 함유되어 있는 크롬의 방사화로 생긴다. Zr-95는 핵 분열 생성물이기도 하며 유동관과 핵연료 다발 중심봉의 재질인 지르코늄의 방사화로 생긴다[3,4]. 그림 3은 일차 냉각수에서 핵연료 표면에 붙어있는 우라늄의 핵분열 또는 핵연료 손상 결과 냉각수 중으로 녹아 나올 수 있는 핵 분열 생성물의 종류 및 농도 변화량을 나타낸 그림이다. 원자로가 정상적으로 운전되고 있었음에도 항상 비슷하고 작은 양이 검출되고 있는 것으로 보아 핵연료의 표면에 오염된 우라늄의 핵분열 때문인 것으로 생각된다[5,6]. 이와 같은 분석 결과는 조사 시료의 방사성 물질 누출이나 핵연료 손상 등의 비정상 상태의 조기 파악 및 원인을 해석하는데 유용하게 사용될 것이다. 그림 2. 일차 냉각수의 주요 핵종

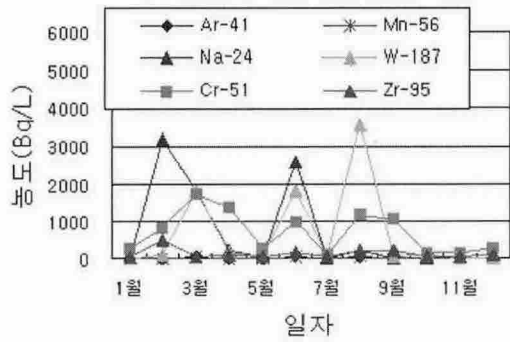


그림 2. 일차 냉각수의 주요 핵종

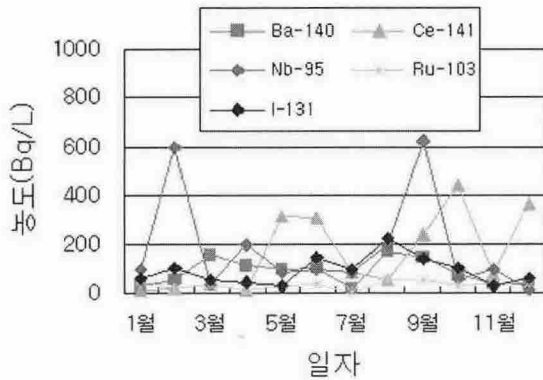


그림 3. 일차 냉각수중 핵분열생성물 핵종

결론

2003년도 일차 냉각수의 수질은 규정된 화학적 제한치 이내로 유지되었다. 따라서 수질 악화로 인한 노심 구조물과 핵연료 피복관의 부식 촉진 및 손상은 없었다. 또한 냉각수의 방사선 핵종을 분석한 결과 정상 운전시 발견 되지 않는 핵종이 있거나, 발견되는 핵종의 농도가 비정상적으로 증가하는 일은 없었다.

참조문헌

- [1] 하나로 운영기술지침서, KAERI/TR-708-96, 한국원자력연구소
- [2] 하나로 운영, KAERI/MR-411/2003, 한국원자력연구소
- [3] 하나로 운영, KAERI/MR-358/2000, 한국원자력연구소
- [4] 김명섭 외, "감마선 분광 분석법을 이용한 하나로 일차 냉각수 내의 방사성 핵종 정량 분석" 한국원자력학회 2004 춘계학술발표회 논문집
- [5] 전병진, "연료봉 표면의 우라늄 오염 측정", 내부보고서, 1997. 5.
- [6] 박상준, "KFC-020 표면 오염 검사 결과", 내부보고서, 1997. 5.