

원자력발전소 정지 수화학 산화처리 중 방사성 코발트에 따른 원자로냉각재 배관 선량을 평가

최진수, 성기방, 양호연

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

feliz@khnp.co.kr

1. 서론

원자력발전소에서는 발전정지 시, 원자로냉각재 계통을 개방하기 전 선량저감을 통한 작업종사자 피폭 저감 및 발전소운전 중 축방향출력불균형 현상 등을 예방하기 위해 강산화제(과산화수소)를 이용하여 1차 계통 내 방사성 부식생성물을 산화, 용출시켜 제거하는 산화처리를 수행한다[1,2].

이러한 산화처리는 강산화제(과산화수소) 주입과 정화운전으로 수행된다. 강산화제의 주입에 따라 핵연료 및 증기발생기의 산화막에 주로 존재하고 있는 방사성 코발트 및 니켈 등이 용해되어 산화막에서 용출되게 된다[1]. 이렇게 용출된 부식생성물은 정화운전을 통해 탈염기에서 제거 된다. 이러한 과정에서 강산화제 주입에 따라 방출되는 방사성 크러드로 인해 냉각재 내 방사능 농도가 증가하게 된다. 정화운전에 따른 방사성 크러드의 제거에 따라 방사능 농도는 점차 감소하게 되며, 방사성 부식생성물 중 방사능 증가에 가장 영향을 많이 주는 Co-58의 농도가 기준값을 만족하면 정화운전을 종료한다[3,4]. 이처럼 Co-58은 높은 방사능 농도로 인해 발전소 선량을 관리의 주 대상이 되고 있다.

현재 원자력발전소에서 산화처리 중 효과 측정을 위해 산화처리 전/후 1회 씩 선량을 측정하고 있다[3]. 하지만 산화처리가 계획예방정비 동안의 작업자 피폭에 영향을 미치기 때문에 선량을 연속 측정하고 용출되는 방사성 코발트의 계통 선량률 영향 및 방사성 코발트의 거동을 파악하여 발전소의 방사선 피폭 관리 및 계통 누적선량을 영향 평가를 할 필요가 있다.

본 실험에서는 산화처리 중 동일지점, 동일시간의 계통 표면 선량률을 연속 측정해 방사성 코발트의 거동 및 영향을 간접적으로 평가하고자 한다. 이러한 선량률 영향 평가를 위해 원자로계통 배관 표면에서 연속 선량률을 측정할 수 있는 측정 방법이 필요하며, 이에 따라 연속 선량측정이 가능한 전자개인선량계(DMC 2000S)를 이용하여

측정하였다. 또한 원자로냉각재 내 방사성 코발트의 농도 변화 대비 선량률에 대한 분석으로 산화처리 중 방사성 코발트의 증가에 따른 계통 표면의 선량률에 대한 영향 평가를 수행하였다.

2. 본론

2.1 정지수화학 산화처리

본 실험은 올진 1호기 16차 계획예방정비 중 수행하였으며, 산화처리는 발전정지 후, 2일 뒤 시작하여, 약 24시간 동안 수행하였다. 산화처리 기간 중 원자로냉각재 정화유량은 $27 \text{ m}^3/\text{hr}$ 이며, 이때 정화된 용량은 약 300 m^3 이다. 탈염기에서의 방사성 코발트의 제거율은 6.91%이다.

2.2 원자로냉각재 배관 표면 방사선량 측정

원자력발전소에서 일반적으로 사용하고 있는 전자개인선량계(DMC 2000S)를 이용하여 원자로냉각재 계통 Hot Leg(HL) 및 Cold Leg(CL)상의 3개 채널에서 그림 1의 각 2개 지점(HL1, CL1)을 선정하여 동일 지점에서 선량률을 측정하였다[5,6].

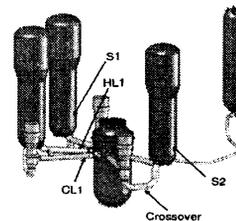


Fig. 1. Reactor Coolant Loop Piping Survey Points

전자개인선량계는 산화운전 전에 지정된 위치에서 부착하여 연속 측정하였으며, 산화 운전이 완전 종료된 후 회수하여, 저장된 결과값을 판독하였다[5]. 선량률 값은 집적 선량(mSv)을 측정 시간으로 나누어 선량률(mSv/h)로 환산하였으며, 전자개인선량계 교정 시 적용된 팬텀에 대한 후방산란 영향(7%)에 대해 보정하였다[7].

2.3 방사성 코발트 농도 측정

산화처리 중 Co-58 및 Co-60의 농도($\mu\text{Ci/cc}$)는 발전소의 원자로냉각재 샘플을 채취 후 감마핵종 분석기를 이용하여 1~4시간 간격으로 분석을 수행하였다.

2.4 결과 및 논의

그림 2는 발전정지 중 산화처리 기간의 방사성 코발트인 Co-58, Co-60의 방사능 농도와 원자로 냉각재 배관인 HL와 CL에 대한 선량률 변화를 보여주고 있다. HL와 CL의 선량률 측정값은 3개 채널의 동일지점인 HL1, CL1에서 측정된 선량률의 평균값을 적용하였다.

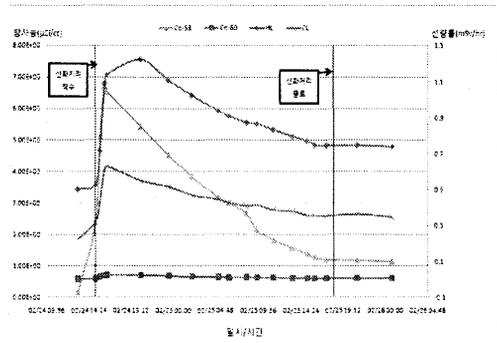


Fig. 2. Co-58 and Co-60 Activity and Reactor Coolant Loop Piping(HL and CL) Radiation Rate Trends during Primary Coolant Oxygenation Evolutions

그림 2와 같이 발전정지 중 산화처리 시 강산화제의 주입으로 인한 계통 내의 방사성 코발트인 Co-58 및 Co-60의 농도 증가를 볼 수 있다. 산화처리 중 방사성 Co-58의 농도는 $0.169 \mu\text{Ci/cc}$ 에서 $6.691 \mu\text{Ci/cc}$ 로 약 40배 증가하였으며, Co-60의 농도는 $0.015 \mu\text{Ci/cc}$ 에서 $0.024 \mu\text{Ci/cc}$ 로 약 2배 증가하였다. Co-60은 상대적으로 Co-58보다 농도가 약 280배 낮아, 배관 외부의 방사선량에 미치는 영향이 Co-58에 비해 낮음을 알 수 있다. 지속적인 탈염기의 운전으로 방사성 코발트가 일정량 용출 후 정화유량 및 탈염기 제거율에 따라 농도가 지속적으로 감소하였고, 24시간 이후에는 Co-58이 배수 조건을 만족하는 $1.28\text{E}+0 \mu\text{Ci/cc}$ 까지 감소하였다.

방사성 코발트가 대부분 증기발생기 또는 핵연료 표면에 존재하고 있어 상대적으로 선량률이 낮은 원자로냉각재 배관은 그림 2와 같이 산화처리 이후 산화막에서 용출되어 이동하는 방사성 코발트에 의해 선량률이 증가하였다.

그리고 산화처리 후 선량률은 산화처리 전 보다

약간 증가된 현상을 보이고 있다. 이는 1차 계통 내의 산화 처리에 의해서 핵연료 및 증기발생기의 산화막에 축적되어 있는 방사성 코발트가 용출된 후 제거되지 않은 일부가 배관 표면에 잔류하여, 상대적으로 방사성 부식생성물이 적게 존재 하였던 배관의 선량률이 약간 증가 되는 것이라고 예측 할 수 있다. 울진 1호기의 경우 부식생성물로 인한 Moderate 축방향출력불균형 현상 경험으로 판단했을 때, 계통 내 부식생성물의 축적이 많이 되어 있어, 산화처리에 따른 용출이 효과적으로 이루어졌음을 유추 할 수 있다[2].

3. 결론

울진 1호기 16차 계획예방정비 기간 중 산화처리에 따른 방사성 코발트 농도 증가와 이로 인한 원자로냉각재 배관 선량률 영향에 대해 평가하였다. 이에 따라 산화처리 과정에서 용출되는 방사성 코발트 중 Co-58은 계통 선량률과 연관성이 높다는 것을 보여주었다. 특히, 부식 생성물의 발생이 많은 원전에서는 작업자의 방사선 피폭 저감을 위해서 효과적인 산화처리 과정을 통한 Co-58의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] EPRI, Benchmarking Shutdown Chemistry Control Recommendations in the PWR Primary Water Chemistry Guidelines, TR-1011780, 2006.
- [2] EPRI, Impact of Plant Design and Chemistry on PWR Shutdown Releases and Dose Rates, TR-1013507, 2006
- [3] 한국수력원자력(주), 울진1발 원자로 정지시 화학처리, 화학-04-07, 2009
- [4] 한국수력원자력(주), 울진1호기 16주기 1차계통 수질관리 실적 평가 보고서, 2009
- [5] 한국수력원자력(주), 아연주입 발전정지 방사선량률 측정 방안, 2009
- [6] EPRI, Application of the EPRI Standard Radiation Monitoring Program for PWR Radiation Field Reduction, TR-1015119, 2007.
- [7] 한국계량측정협회, 감마선 직독식 포켓 도시미터의 표준교정절차, KASTO 03-26-4080-035, 2002.