

울진1호기 원자로냉각재 아연주입에 따른 계통 선량률 저감 평가

최진수, 양호연, 박경록

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 금병로 508

fceliz@khnp.co.kr

1. 서론

원전의 가동 년 수 증가에 따라 계통내 방사성물질의 축적으로 인한 운전원의 방사선 피폭량이 증가하게 되어 방사선량 저감 필요성이 대두되었다. 원자로냉각재(RCS)의 아연주입은 1차계통의 선량 저감 및 부식 지연을 목적으로 발전소 운전 중 아연을 주입하는 기술로써, 해외 경우로 원전의 약 28 %에 해당하는 74개 원전에서 적용되고 있다[1]. 아연은 1차계통 부식산화막에 존재하는 방사성 부식생성물(Ni, Fe, Co 등) 보다 높은 치환에너지로 산화막에서 방사성 부식생성물을 방출시키고 치환하여 안정한 산화막으로 개질하는 특성이 있다[2,3]. 이에 따라 미량의 아연(5 ~ 40 ppb)을 주입하면, 방사성물질 제거 및 안정된 산화막 형성으로 방사선량 저감효과는 물론 재질의 내식성 향상을 가져오게 된다. 이러한 효과를 위해 선량저감을 목적으로 하는 경우에는 저농도(5~10 ppb), 부식저감을 목적으로 하는 경우에는 고농도(15~40 ppb)로 아연을 적용하고 있다[2,3].

국내의 경우 선량저감을 목적으로 울진1호기에 최초로 아연주입을 적용하고 있으며, 본 실험에서는 울진1호기에서 아연주입 전/후 동일 지점, 시점, 측정기로 계통 표면 선량률을 연속 측정해 아연주입에 따른 계통 선량 영향 평가를 수행하고자 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[6]. 증기발생기 채널헤드는 고선량 지역으로 측정자의 과다 피폭을 방지하기 위해서 연속측정 대신 Teletector(6112MH)를 이용하여 단기측정을 수행하였다.

2. 본론

2.1 원자로냉각재 아연주입

울진1호기 원자로냉각재 아연주입은 17주기 운전 중에 수행하였으며, '10.4.19 ~ 8.25 까지 129일 간 평균 14 g/day로 아연을 지속적으로 주입하였다. 주입 아연은 depleted zinc acetate

dehydrate (DZA, ISOFELX) - $Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$ 로 zinc acetate 수용액 상태로 주입을 하였으며, 누적주입량은 아연 기준으로 1.83 kg 이다. 원자로냉각재 정화유량은 27 m³/hr 이며, 주입된 아연은 계통 내 정화 중 탈염기에서 약 0.23 kg 제거되어, 산화막의 아연 잔여량은 약 1.60 kg 이다.

2.2 아연주입 전/후 방사선량 측정

아연주입 후 아연주입에 따른 영향평가를 위해 선량률 측정은 아연주입 전/후 동일 지점, 시점, 측정기로 수행하였다. 선량률 측정은 원자로냉각재 배관 및 증기발생기 채널헤드에서 수행하였으며, 각각 산화처리 중, Manway Open 직후 측정을 수행하였다. 선량률 측정기는 원자로냉각재 배관 표면은 전자개인선량계(DMC 2000S), 증기발생기 채널헤드는 Teletector(6112MH)를 이용하여 측정하였다. 그림 1은 원자로냉각재 배관선량 측정지점으로 5개 지점(HL1, CL1, C1, C2, C5)을 선정하여 3개 채널에서 선량률을 측정하였다[4,5].

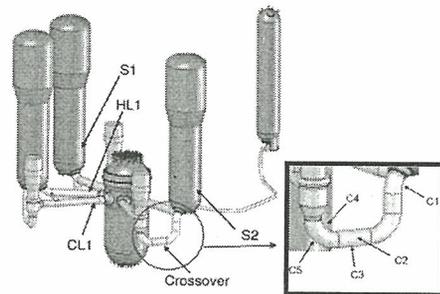


Fig. 1. Reactor Coolant Loop Piping Survey Points.

전자개인선량계는 지정된 위치에 부착하여 연속 측정하였으며, 측정 종료 후 회수하여, 저장된 결과값을 판독하였다[6]. 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].

그림 2는 증기발생기 채널헤드의 선량률 측정지점을 나타내고 있으며, 3채널에서 1~ 12지점까지 총 36지점에서 선량률 측정을 수행하였다.

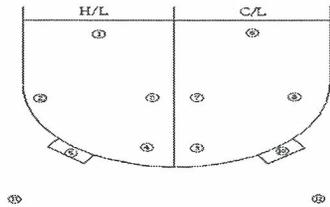


Fig. 2. Stream Generator Channel Head Survey Points.

2.3 결과 및 논의

그림 3은 아연주입 전(RFO16) 및 후(RFO17) 발전지 중 원자로 냉각재 배관의 선량 측정지점에 대한 선량률 변화를 보여주고 있다. 선량측정 값은 3개 채널의 동일지점인 HL1, CL1, C1, C3, C5에서 측정된 선량률의 평균값을 적용하였다.

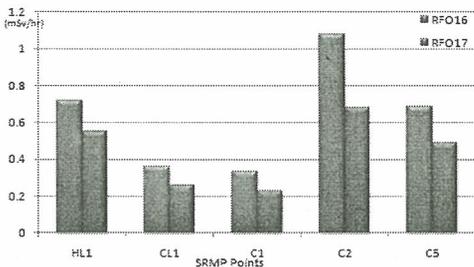


Fig. 3. Reactor Coolant Loop Piping Dose Rates.

아연주입 후 원자로냉각재 배관표면의 선량 변동률은 아연주입 전에 비해 측정 지점에 따라 22.6 ~ 41.9 %의 선량률이 저감되었다. 그림 3과 같이 아연주입 후 모든 지점에서 선량률이 감소하였으며, 이로써 아연주입에 따른 선량 저감효과가 1차 계통에 전반적으로 영향을 미침을 볼 수 있었다. 그림 3에 따라 전 지점의 선량률에 대한 아연주입 전/후 평균 선량변동률을 도출한 결과 원자로냉각재 배관에서 평균 31.8%의 선량 저감효과를 볼 수 있었다.

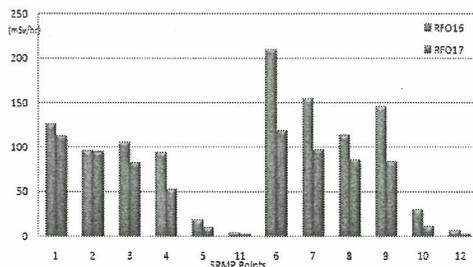


Fig. 4. Stream Generator Channel Head Dose Rates.

그림 4는 증기발생기 Manway 개방 직후의 아연주입 전/후 증기발생기 채널 헤드 측정 선량값을 보

여주고 있다. 아연주입 전/후의 선량 측정값은 S/G A, B, C의 측정 지점별 평균값을 반영하였다.

증기발생기 채널 헤드 지역은 아연주입 전에 비해 아연주입 후 1.5 ~ 63.9 % 선량률이 저감되었으며, 전 지역에 걸쳐 아연주입 후 선량저감 효과를 볼 수 있었다. 이 중 S/G 채널헤드 중앙(2 지점)은 다른 지점과 달리, 1.5% 선량률 저감으로 선량 저감 효과가 상대적으로 적었다. 이는 S/G 튜브의 균열에 따른 관막음 수행 시 발생된 전열관 틈새부위의 Hot-Spot에 기인한 것으로 판단된다. 틈새부위의 부식 환경조건에 따라, 아연 양이온의 전기적인 성질로 틈새부위의 아연 치환 효과가 떨어지는 것으로 보고되고 있다[2]. 따라서, 2 지점과 같은 틈새 부위 산화막의 아연 치환 효과가 일반 산화막에 비해 낮음을 추정 할 수 있다. 각 지점별 선량률로 아연주입 전/후 평균 선량변동률을 도출한 결과 증기발생기 채널 헤드에서 평균 31.7 % 선량률 저감효과를 볼 수 있었다.

3. 결론

울진1호기 아연주입 전/후의 선량률 측정을 통한 아연주입 선량률 영향 평가를 수행하였다. 선량률은 계통 전반에 걸쳐 저감 효과가 나타났으며, 이에 따라 아연의 치환반응이 전 계통에서 활발하게 이루어짐을 판단할 수 있었다. 특히, 일반 계통 뿐만 아니라, 접근이 어려운 지역의 선량 저감 및 부식 저감에 아연주입 기술이 효과적인 것으로 판단된다.

울진1호기의 아연주입 기술적용은 지속적으로 시행될 예정이며, 향후에 본 실험과 동일한 방법으로 아연주입에 따른 선량률 평가를 지속 수행할 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] EPRI Chemistry Update, EPRI, 2011, TR-1022547.
- [2] PWR Primary Water Zinc Application Guidelines, Rev. 6. EPRI, CA:2006, TR-1013420.
- [3] PWR Primary Water Chemistry Guidelines, Rev. 6. EPRI, Palo Alto, CA:2007, TR-1014986.
- [4] 한국수력원자력(주), 아연주입 발전지 방사선량률 측정 방안, 2009.
- [5] EPRI, Application of the EPRI Standard Radiation Monitoring Program for PWR Radiation Field Reduction, TR-1015119, 2007.
- [6] 최진수, 감마선 측정용 전자개인선량계를 이용한 냉각재 배관 접촉 선량률 간접측정, 방사성폐기물학회, 2009.
- [7] 한국계량측정협회, 감마선 직독식 포켓 도시미터의 표준교정절차, KASTO 03-26-4080-035, 2002.