

월성1호기 압력관계체 방사선안전관리

신현근 · 조병각 · 이병국 · 김정인*
한국수력원자력(주) 월성원자력본부 · 방사선보건연구원*
E-mail: sinhg@khnp.co.kr

중심어 (keyword) : 중수로, 압력관, CRUD, 냉각재정화운전

서론

월성1호기는 국내 최초의 가압중수로 원자로로서 1983년 상업운전을 시작하여 이용률 세계1위를 두 번 하는 등 우수한 운영실적을 기록하였다.

상대적으로 높은 이용률로 인하여 설계수명 이전에 압력관 연신량이 운전제한치에 도달할 것으로 평가되어 2009년 4월부터 압력관 교체작업에 착수하였다[1].

교체기간 중 총 방사능피폭이 7.6 man-Sv로 예상되어 적극적인 방사선저감화 대책이 필요하여 냉각재 정화운전[2], 차폐 최적화, 모의훈련, 무선원격선량률 감시기 도입 등을 추진하였다. 본 논문에서는 월성1호기 압력관계체에 적용된 방사선저감화 기법과 피폭저감화에 대해 유효성과 도출된 문제점에 대해 객관적 검토를 하고자 한다.

냉각재 정화운전

월성1호기와 같은 노형으로 1년 선행하여 압력관을 교체 중인 캐나다 Pt.Lepreau 발전소와 비교시 원자로 전면부에서의 방사선량률이 약 1.7배 높게 평가되어 원자로 정지후 고온정화운전을 48시간 수행하고 상온 정화운전을 45일간 연료인출기간 중에 수행하였다. 캐나다에 비해 방사선량률이 높은 이유는 냉각재 필터 Pore size 차이가 주 원인으로 평가되었다. 이에 월성1호기는 2008년 8월 정상운전 기간에 필터를 0.45 μm 에서 0.1 μm 로 교체하였으나 고온의 정상운전 중이

라 CRUD 제거에 의한 냉각재 방사능 저감효과는 미미한 것으로 판정된다.

Table 1. Dose Rate at Wolsong vs. Pt.Lepreau

	Rx Vault	Rx Centre	Rx Top
Wolsong 1	0.35	1.7	2.5
Pt.Lepreau	0.25	1.0	1.3

(Unit : mSv⁻¹)

Fig1에서 보듯이 냉각재 온도가 낮아짐에 따라 마그네타이트 용해도가 떨어지면서 냉각재 중의 CRUD 함량이 높아진 것을 알 수 있다.

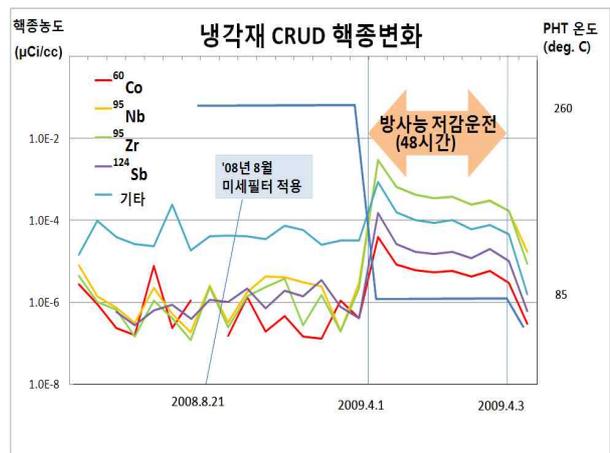


Fig. 1 Trend of CRUD concentration in PHTS (Primary Heat Transport System)

압력관계체를 위해 핵연료와 압력관, 칼란드리아관

등 주요 방사선원이 제거되므로 정화운전의 목표를 상대적으로 방사선량률이 높은 냉각재 공급자관의 CRUD를 제거하는 것으로 하였다. 따라서 정화운전 기간 중 공급자관의 CRUD가 용출되어 나와 온도가 높은 원자로노심에 침적된 것으로 유추된다.

Table 2. Dose Rate Variation after PHT Purification

	A side		C side	
	Before	After	Before	After
Feeder	4.9	4.6	3.4	3.3
Rx Top	1.8	1.2	1.4	1.0
Rx Centre	1.8	1.0	1.4	0.8
Rx Bottom	0.9	0.6	0.8	0.5

(Unit : mSv⁻¹)

상부의 공급자관 뿐만 아니라 원자로 노심의 방사선량률도 정화운전으로 약 30% 이상 저감화된 것으로 나타났다.

납조끼 착용 ALARA 검토

상대적으로 감마선보다 삼중수소 관리가 중요시 되는 중수로 현장에서 납조끼 착용이 ALARA 측면에서 정량적으로 검토된 적은 매우 드물다. 전체 압력관교체 작업에서 가장 많은 피폭이 예상되는 공급자관 제거작업에 대하여 모의훈련 기간 중 정량적 시험을 실시하여 최적의 방사선 방호를 적용시켰다.

모의훈련에서 비슷한 숙련도를 가진 작업자 12명을 선별하여 2명이 한조를 이루게 한 다음 납조끼 착용 안 할 때, 1t 두께 착용시와 2t 두께 착용시 피로도에 따른 작업효율 저감정도와 납조끼에 의한 선량저감 효과를 비교하였다.

Table 3. Dose Reduction Analysis using Lead Vest

Group	Time(%) Increase	Dose (%) Reduction	Net (%) Reduction
1 W/O* vs 1t	12.5	12.6	1.7
2 W/O vs 1t	1.8	12.6	11.0
3 W/O vs 2t	12.2	26.2	17.2
4 W/O vs 2t	10.1	26.2	18.8
5 1t vs 2t	21.4	9.9	-9.4
6 1t vs 2t	75.3	9.9	-58.0

* W/O : Without lead vest

각 그룹별 조사 결과 2t 두께의 납조끼 착용시 선량 저감효과가 가장 큰 것으로 나타났고, 두께 1t 와 2t 비교시 2t는 작업능률 저하로 선량저감 효과가 없는 것으로 나타났다. 실제 현장에서의 작업결과 넓은 작업공간과 작업자 이동이 적은 효과로 인해 피로 누적에 의한 작업능률 저하는 크지 않은 것으로 나타났다. 공급자관 제거 예상피폭 선량 2830man-mSv의 59%에 달하는 기대 이상의 성과를 달성했다. 그러나 납조끼 착용 효과는 일률적으로 평가되어서는 안되고 작업환경 및 작업 방법 그리고 작업자에 대한 동기유발 등이 적절히 고려되어 개별작업에 대한 평가가 이루어져야 한다.

결론

이상의 검토를 통해 냉각재 정화운전 및 납조끼 착용으로 인한 피폭저감화를 검증하였다. 중수로원전에서 처음으로 냉각재 정화운전을 시도하여 상당한 피폭저감 효과를 달성하였으나 정화운전으로 인한 일차계통 주요 부분에 대한 평가가 미흡하였다. 원자로면을 제외한 일차측 주요 기기 및 배관의 선량률이 이전 계획예방정비시 보여준 값과 많은 차이가 난 점은 이에 대한 대책이 필요함을 증명해준다.

또한 납조끼 착용에 대한 정량적 ALARA 평가를 현장에서 처음 시도한 점은 향후 적용시 기본자료가 될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 월성1호기 압력관교체 안전성평가보고서, 한국수력원자력(주), (2007)
2. Heat Transport System Purification and Radiation Fields Reduction prior to Retubing Outage, AECL report, (2008).