

‘95 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

PWR 원전 1차계통 방사선량 감소를 위한 수질관리

송명재, 정양근

한국전력공사

요 약

원자력발전소 1차 냉각재내 방사선량을 감소시키기 위한 효과적인 기술로 평가된 고평H 기술을 국내에 적용하기 위해 고리1호기를 대상 발전소로 선정하여 11, 12 주기에 modified pH control mode를 이용한 고평H 운전을 수행하고 constant pH control mode로 운전한 10주기의 운전 결과와 비교, 평가함으로써 그 영향을 분석하였다. 종합 평가 결과, 고평H수질관리 기술을 적용함에 따라 1차 냉각재내와 증기발생기 수실내 선량은 평균적으로 약 20 ~ 30% 정도 감소하였으며 일정 기간동안의 감소추세를 거친 후 안정화단계에 진입하게 될 것으로 평가되었다.

1. 고평H 운전

1.1 제 10주기

고리원자력발전소 제 1호기 10주기 운전시의 노심출력, 리튬 및 붕소 농도, 그리고 냉각재 계통의 pH변화를 조사하였다. 이 중 노심출력 및 pH 변화에 대해서만 그림1에 나타냈다. 이 주기에는 여러 번의 불시정지가 있었으며, 붕소농도는 주기초에는 1750ppm까지 도달해 있지만 60일 운전후에는 1150ppm 정도로까지 급격히 감소된 후 다시 서서히 감소하는 형태로 운전되었다. 리튬 농도는 주기초 2.5ppm에서 서서히 감소하여 420일 운전후에는 약 1.0ppm으로 유지되었고 이 때 냉각재의 pH는 전 주기에 걸쳐 약 6.9로 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 즉 10주기의 운전 방식은 pH 6.9를 유지하기 위한 constant pH control mode 임을 쉽게 알 수 있다.

1.2 제 11주기

그림 2는 고리 1호기의 제 11주기에서의 노심출력 및 pH변화를 보여주고 있다. 이 주기동안 4번의 불시정지와 7번의 출력 급변이 발생하였다. 한편 붕소농도는 주기초 2200ppm 정도까지 도달했다가 급격히 감소하여 운전 개시 36일후부터는 1200ppm에 도달하였다가 이후 서서히 감소하였다. 리튬 농도는 2.3 ± 0.2 ppm으로 일정하게 약 270일정도 유지시켜 줌으로써 pH를 6.9에서 7.35 ± 0.05 로 증가시켰으며, 그 시점 이후에는 계속 증가된 pH값을 유지시킨 modified pH control mode로 운전하였다.

1.3 제 12주기

고리 1호기의 제 12주기 운전방식은 11주기와 거의 같은 형태로 유지되었다. 12주기에서는 노심출력이 4번의 짧은 불시정지를 가진 외에 특별한 출력 급변동 등의 운전 상황은 없었다. 붕소농도는 주기초 약 2000ppm에서 약 30일 운전후 1500ppm으로 급격히 감소하였으며 약 60일 운전후에는 1200ppm 정도에 도달하고 그 이후에는 아주 균일하게 주기말까지 양호한 감소 형태를 나타내고 있다. 한편 리튬농도는 주기초에 약 2.5 ± 0.2 ppm 정도를 수십일 유지하다 2.3 ± 0.15 ppm으로 일정하게 유지되면서 pH가 6.9에서 7.35까지 서서히 증가, 유지되는 형태로 운전되었다. 붕소 농도가 약 500ppm정도로 감소될 때까지 리튬농도는 거의 일정하게 유지되는 modified pH control mode로 운전되었다. (그림 3참조)

2. 방사선량 변화

1차 냉각재 계통의 방사선량 감소를 위해 적용된 고 pH운전기술의 효과를 평가하기 위해 먼저 냉각재내 방사화부식생성물(CRUD) 핵종의 농도를 10, 11, 12 주기 등 세 주기동안의 측정치를 분석, 평가하고 이 기간동안의 계획 예방정비를 위한 원자로 정지 기간중 증기발생기 수실내 공간선량을 측정, 평가하였다.

2.1 계통 방사선량을

고 pH운전을 적용한 11, 12주기동안 1차 냉각재 CRUD의 변화를 평가하기 위해 부식생성물인 Co-58, Co-60, Cr-51, Mn-54를 주요 관측핵종으로 선정했다. 선정 이유로는 이들이 계통내 방사성핵종중 작업종사자의 피폭선량에 미치는 기여도가 가장 크기 때문임을 들 수 있다.

고pH 운전을 수행하지 않았던 10주기동안의 1차 냉각재내의 이 4가지 핵종농도를 기준으로 하여 후속 주기동안의 변화추이를 평가하였다. 그림 4, 5, 6에 10, 11, 12 주기의 전 운전기간 동안 측정된 1차냉각재속의 방사능 농도를 나타냈으며, 표1에 각 주기별로 핵종별 평균 방사능 농도를 나타냈다. 11주기의 평균농도를 핵종별로 살펴보면 Co-60과 Mn-54의 농도는 소폭 감소하였으나 Cr-51과 Co-58의 농도는 오히려 큰 폭으로 증가하였다. 이는 고pH운전을 11주기부터 수행함에 따라 그 전 기간동안 원자로심내에 기 침적되어있던 이들 핵종들이 고pH운전에 따른 용해 효과로 1차 냉각재 계통내로 용출되어 이행한 결과로 판단된다. 그러나 고pH운전 수행 두번째 주기인 12주기 때 이들 핵종의 방사능 농도는 뚜렷한 감소 추세를 나타내고 있는데 4가지 핵종 모두 약 30 % 정도의 감소세를 보였고, 11주기에 크게 증가했던 Co-58의 경우 약 70 %정도 감소하여 거의 1/2정도로 떨어지는 좋은 결과를 나타냈다. 이 4가지 핵종의 농도 변화를 3주기에 걸쳐 월별 평균값을 계산하여 나타내면 그림7과 같다. 또한 뒤에서 설명되는 증기발생기 수실선량의 변화와 비교하여도 그 감소 추세는 분명하다고 할 수 있다. 이러한 방사선량 감소 경향은 고리 1호기와 거의 유사한 고pH 운전형태를 수행한 미국의 Millstone-3 발전소의 고 pH운전주기의 핵종 농도 감소율이 약 20 ~ 30 % 내외에 있음과 비교할 때 거의 대등한 효과를 거두었다고 상대적으로 평가할 수 있다.

2.2 증기발생기 수실내 방사선량

원자력발전소의 계획예방정비 기간중에는 원자로 냉각재를 탈가스하여 방사능농도를 0.05 $\mu\text{Ci/cc}$ 까지 낮추어 작업관리가 이루어지기 때문에 이로 인한 방사선준위의 영향은 피폭관리 측면에서 큰 영향을 주지 않으나 계통내 침적된 CRUD에 의한 방사선 준위는 계통의 주요 기기 여러 곳에서 매우 높게 나타나 작업종사자의 피폭선량에 지대한 기여를 하게 된다. 이중 증기발생기의 수실선량은 증기발생기의 노후화에 따른 슬리빙 등 잦은 보수작업으로 작업종사자의 피폭선량에 큰 영향을 미치며, 실제 작업종사자 총 피폭선량의 약 30 %를 차지하고 있다. 따라서 작업종사자의 피폭선량을 결정적으로 저감시킬 수 있는 증기발생기 수실내 방사선량의 고pH운전으로 인한 변화치를 10, 11, 12주기 기간동안에 걸쳐 평가하였다. 이 과정에서 지금까지 원전 현장에서 사용해 오던 증기발생기 수실내 방사선량의 대표값은 여러 측정부위와 측정값중 teletector측정에 의해 최대치를 나타내는 tubesheet plate 하단 중앙부의 값을 채용하여 왔으나 이 값은 수실선량을 대표할 수 있는 값이라기 보다는 증기발생기 관련 작업종사자의 과피폭을 방지하기 위해 이용한 보수적인 관리치라고 할 수 있으며, 실

제 수실내 선량율의 분포와 방사선관리상의 특성을 평가하기에는 부적절한 값이다. 또한 타 원전과의 운전이력에 따른 상호 비교 분석을 어렵게 하고 있으므로 본 연구에서는 접촉선량을 평가와 아울러 공간선량을 분포 평가를 주로 하는 측정법을 채택하였다. 이 방법은 엄격한 의미에서 보다 대표적이고, 표준적인 방식이며 국내외 동일로형 원전간의 자료의 비교 평가를 위해서도 매우 유용한 것이다. 이 방법에 의해 측정된 수실선량 분포를 살펴보자. 먼저 고pH기술을 채용하지 않았던 10주기말 증기발생기 B의 Hot Leg의 경우, 접촉선량율이 최고 16R/Hr,과 수실내 공간선량율이 최고 14R/Hr로 매우 높은 선량율을 보이고 있었다 (그림 8 참조). 11, 12주기에서는 앞에서 설명한 내용대로 modified pH control mode에 의한 고pH 운전 기술을 적용한 결과 11주기말의 증기발생기 B Hot Leg의 경우 접촉선량율이 최고 15R/Hr, 공간선량율이 최고 8R/Hr를 나타내어 전체적인 수실선량율이 매우 감소된 경향을 나타내었으며, 위의 두군데 측정뿐 아니라 그림 8 에서 볼 수 있듯이 다른 측정 지점에서도 그 감소 현상이 두드러짐을 알 수 있었다. 특히 수실 바닥부위는 14R/Hr에서 5R/Hr로 그 감소폭이 가장 크게 나타났다. 제12주기에서는 증기발생기 수실내 선량율은 감소, 안정화되어 동일 증기발생기의 경우 최고 11R/Hr의 접촉선량율을 나타냈고 수실바닥부는 5R/Hr로 대단히 개선된 양상을 나타냈다.

3. 결 론

이러한 결과들을 종합평가해 보면 고pH수질관리 기술을 적용함에 따라 고리1호기 1차냉각재 및 증기발생기 수실내 방사선량이 평균적으로 약 30 % 정도 감소하였으며 적용이후 일정 기간은 감소추세를 유지하고 그 후 안정화단계에 진입하게 될 것이다. 따라서 고pH기술은 원전 현장에서 방사선량 저감을 위해 채택할 수 있는 대단히 유용한 수질관리 기술로 결론지을 수 있으나 평가 운전기간을 늘려 장기간의 효과를 타 수질관리 기법, 원자로 출력 변동 등과 연계하여 지속적인 평가 업무를 수행할 필요가 있다.

참고문헌

1. "PWR Water Chemistry Guidelines : Revision 2", EPRI NP-7077, Nov. 1990
2. "The Solubility of Simulated PWR Primary Circuit Corrosion Products", EPRI NP-4248, Aug. 1986
3. O. Erixon, "Operational Health Physics Experience from Ringhals 4 PWR's 1975-1989". PWR Seminar on man-rem reduction, West Berlin, Apr. 1990.
4. "Power Generation Division Newsletter", EPRI NP-3372, May 1984.

5. "The Role of Coolant Chemistry in PWR Radiation Field Buildup", EPRI NP-4247, Oct., 1985

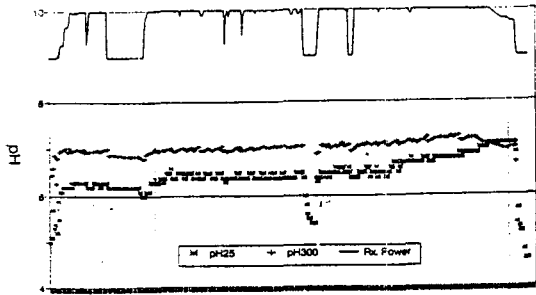


그림 1. 고리 1호기 제 10주기 노심출력 및 pH 변화

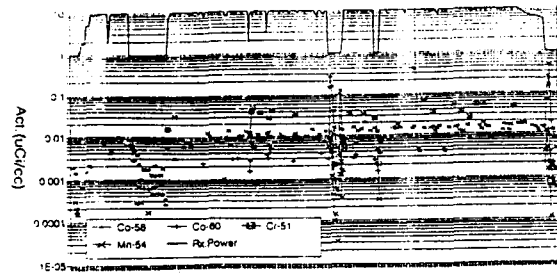


그림 4. 고리 1호기 1차냉각재내 CRUDEX농도 분포 (제 10주기)

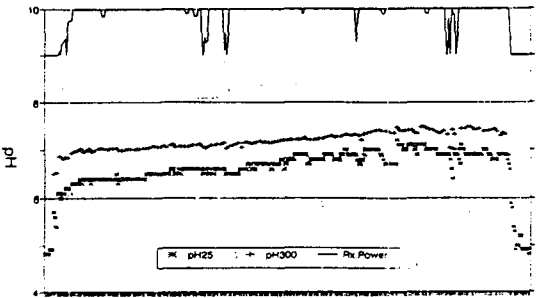


그림 2. 고리 1호기 제 11주기 노심출력 및 pH 변화

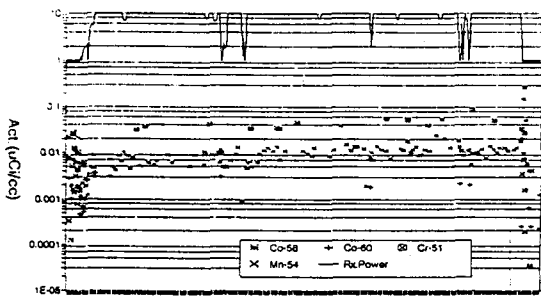


그림 5. 고리 1호기 1차냉각재내 CRUDEX농도 분포 (제 11주기)

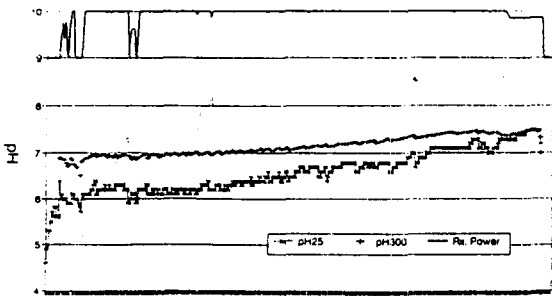


그림 3. 고리 1호기 제 12주기 노심출력 및 pH 변화

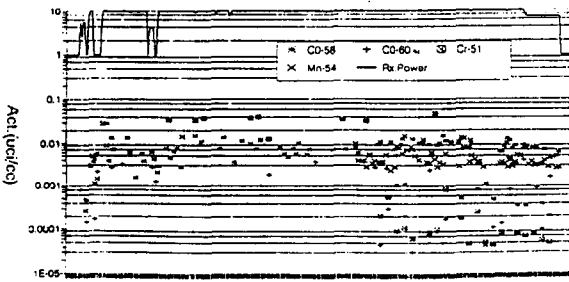


그림 6. 고리 1호기 1차냉각재내 CRUDEX농도 분포 (제 12주기)

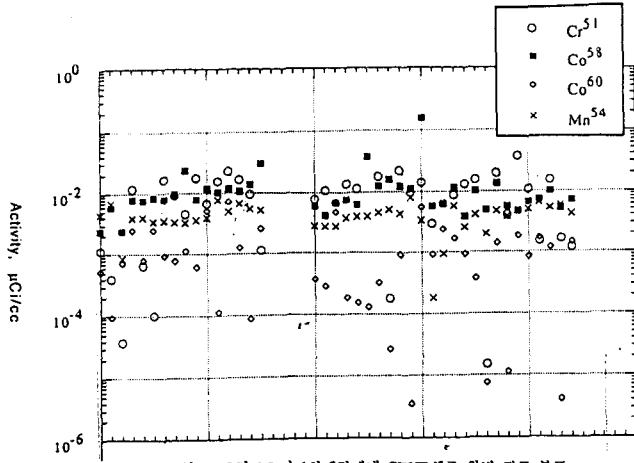


그림 7. 고리 1호기 1차냉각계내 CRUD핵종 월별 평균 분포

(제 10, 11, 12 주기)

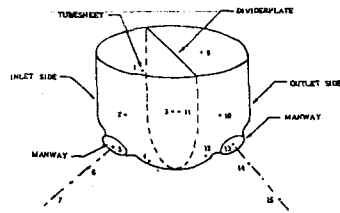


그림 8. 고리 1호기 증기발생기(B) 수실의 방사선량 변화

계측 지점	위 치	선량율(mR/hr)						
		Hot Leg			Cold Leg			
		10주기	11주기	12주기	10주기	11주기	12주기	
1,9	Tube Sheet의 중간지점	16,000	15,000	11,000	15,000	16,000	11,000	
2,10	Channel Head의 중심부	14,000	7,500	8,000	13,000	7,000	8,000	
3,11	Divider Plate의 중심부	14,000	7,500	9,000	13,000	7,500	8,000	
4,12	Channel Head의 바닥부	14,000	5,000	5,000	13,000	5,000	4,500	
5,13	Manway 입구	Manway덮개제거전	80	60	65	60	50	50
		Manway Insert제거후	8,000	3,000	2,400	7,500	3,500	2,500
6,14	Manway입구로부터 30 cm	1,500	1,500	500	1,200	1,400	600	
7,15	Manway입구로부터 1 m	290	800	300	300	800	350	
8,16	S/G room내부 일반작업지역	150~ 290	200	180	150~ 300	250	200	

표 1. 주기별 CRUD 핵종농도 변화

(단위 : μCi/cc)

주기		Cr 51	Co 58	Co 60	Mn 54
10	평균값	8.34×10^{-3}	1.07×10^{-2}	1.68×10^{-3}	4.44×10^{-3}
11	평균값	1.14×10^{-2}	2.5×10^{-2}	1.1×10^{-3}	4.1×10^{-3}
	증감율	36.7%	133%	-34.5%	-7.7%
12	평균값	9.8×10^{-3}	6.6×10^{-3}	1.06×10^{-3}	3.6×10^{-3}
	증감율	-14% (17.5%)	-74% (-38.3%)	-4% (-36.9%)	-12.2% (-19.0%)

주:()안은 10주기 대비 증감율