

원전 humidifier 제어용 감압 밸브 제염 및 방사능 inventory 평가

김진태, 지준화, 김진길, 강덕원
전력연구원, 대전광역시 유성구 문지동 103-16

최근 들어 국제 방사선 방호위원회(ICRP; International Commission on Radiological Protection)의 ICRP-60에서는 원전 작업종사자의 연간 허용 피폭량을 현행값인 5 rem보다 연 평균 2 rem으로 제한 운영토록 권고하고 있다. 이렇게 엄격해지는 방사선 관리규정에 능동적으로 대처할 수 있도록 새로운 방호차원에서 관련 계통 및 기기들의 방사선량을 낮출 수 있는 기술 개발이 절실한 실정이다. 각국의 원전에서는 방사능을 효과적으로 제거하기 위한 연구에 초점을 맞춰 왔으며 방사능을 제거하기 위한 다양한 방법들을 강구하고 있는 실정이다. 전력연구원에서 개발한 저농도 화학제염공정(DCD; Dilute Chemical Decontamination)은 운전 완료후 발생하는 제염폐기물 발생량이 소량이라는 것과, 시약을 혼합하거나 배수 및 세척하는 과정 배제로 대규모의 저장 탱크가 필요치 않으며 모든 공정이 짧은 시간 내에 행해져 일반적으로 2~3일이면 제염 작업이 완료되는 간결한 공정이다. 또한, 사용되는 시약의 농도가 타 제염공정에 비해 낮기 때문에 특별한 내식성 재질이 아니어도 제염 공정에 따른 재질의 부식은 거의 무시해도 된다. 이 공정은 낮은 농도의 화학제염 공정이기 때문에 원자로에 핵연료가 장전된 상태에서도 제염 작업이 가능한 공정이다. 이러한 이유로 DCD공정은 각국 원전에서 전계통 제염시 널리 사용되어 오고 있다. 전력연구원에서 개발한 화학제염공정(일명 KEBA 공정이라 함)은, 킬레이트제, 산화제, 환원제 등으로 구성된 제염제를 사용하며, 제염제의 총 농도가 1.0% 미만으로 제염제의 농도 자체도 낮을 뿐 아니라, 실제 제염공정에 사용되는 제염제의 사용량도 타 공정에 비해 비교적 적어 양이온 및 음이온교환수지의 사용량이나 기타의 제염 폐기물의 발생량이 상대적으로 적다. 제염제는 유기산을 주성분으로 하는 새로운 제염제인 C-5 유기산과 EDTA(EthyleneDiamine Tetraacetic Acid) 및 유기산의 분해를 위한 옥살산(Oxalic Acid)으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 이 KEBA공정을 이용하여 기준선량 이상의 방사능으로 오염되어 있는 원자로 제어실 공기정화 계통의 humidifier 감압밸브를 대상으로 화학제염을 실시한 내용을 기술하였다. 제염 효과의 향상과 취급의 용이성을 확보하기 위해 먼저 제염코자 하는 총 14개의 감압밸브를 펄스형 초음파 세정조(그림 1참조)에 넣어 1단계 제염을 실시하여 표면선량률을 약 1/3 정도로 낮추었으며, 이를 다시 화학 제염조(그림 2참조)에 넣은 다음 산화 → 환원 → 제염 → 제염제분해 → 이온교환의 5단계 공정을 걸쳐 총 38시간 동안 화학제염을 수행하였다. 1차 화학제염 결과 약 250정도의 제염 계수값을 얻었으며 밸브의 오염 현상에 따라 제염효과도 각각 다르게 나타났다.(표 1참조). 일부 제염이 덜된 밸브들은 허용 표면 오염도(40 kBq/m^2)값 이하로 낮추기 위해 2차 화학제염을 수행하였다. 수행 결과, 2개의 밸브를 제외한 모든 밸브의 표면오염도를 허용 표면오염도 이하로 낮출 수 있었다. 또한, 대상밸브들에 대한 제염효과를 핵종별로 보다 상세히 평가하기 위해 이동형 감마선 계측기(In-Situ Object Counting System, ISOCS)를 이용하여 제염 전·후의 핵종별 방사능 농도를 평가 하였으며 평가 결과, 몇 개의 밸브를 제외하고는 모두 자연준위와 유사한 핵종별 방사능 준위를 나타내었다. 이와 같은 실증시험 결과를 통해, 본 연구원에서 개발한 공정의 제염 효율이 매우 양호함을 입증할 수 있었으며, 이러한 실증 실험 결과는 향후 전 원전의 기기 제염에 확대 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

표 1. 제염 공정 수행 전 · 후 밸브의 표면방사선량을 측정 결과

밸브번호	제염 전 표면 방사선량률 ($\mu\text{Sv/hr}$)	1차 제염 후 표면 방사선량률 ($\mu\text{Sv/hr}$)	제염계수 (DF)	2차 제염 후 최종 방사선량률 ($\mu\text{Sv/hr}$)	제염계수 (DF)
1	260	2.3	113.0	0.3	866.7
2	22.7	0.9	25.2	0.3	75.7
3	255	2.2	115.9	0.3	850
4	72.5	1.4	51.8	0.3	241.7
5	1.11	1.1	1.0	0.3	3.7
6	153	1.5	102.0	0.3	510.0
7	241	2.0	120.5	0.3	803.3
8	700	3.0	233.3	0.4	1750.0
9	1.27	0.5	2.5	0.3	4.2
10	9.3	0.7	13.3	0.3	31.0
11	1000	4.0	250.0	0.6	1666.7
12	1.02	0.9	1.13	0.3	3.4
13	1.22	1.0	1.22	0.3	4.0
14	2.57	1.3	1.98	0.3	8.6

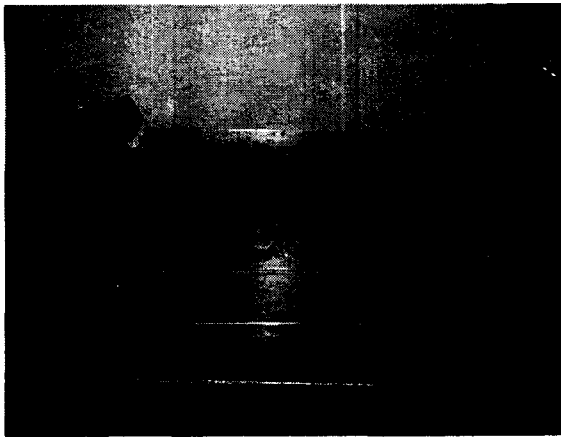


그림 1. 1.5 KW급 pulse 초음파 제염

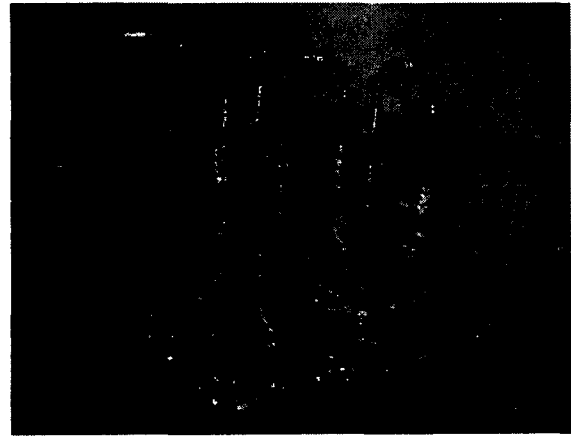


그림 2. 표준화학 제염장치