

원자력발전소 봉산수중 실리카에 대한 역삼투막의 선택적 제거특성 연구

윤석원, 박광규

전력연구원

재료부식연구소 수질부식그룹

1. 서 론

가압경수로형(PWR) 원자력발전소에서는 원자로 출력조절을 위한 중성자 흡수체로 붕산(Boric Acid)을 사용하며, 불순물이 농축되는 것을 방지하기 위하여 이온교환수지로 수질 정화를 하고 있다. 그러나, 붕산으로 포화운전되는 이온교환수지에서 붕산보다 이온선택도가 낮은 실리카는 제거되지 않으므로, 원자력발전소의 운전연수 경과에 따라 1차계통수(원자로냉각재)의 붕산수중에 실리카 농도가 증가하게 된다.

한편, 실리카는 고온, 고압 운전조건에서 양이온불순물과 결합하여 핵연료피복재에 열전달을 방해하는 규석(Zeolite)층을 형성함으로써 국부가열(Hot Spot)에 의한 핵연료 손상을 일으킬 수 있으므로, 효율적인 실리카 제거기술이 요구된다.

따라서, 기존에 원전에서 사용하고 있는 Feed & Bleed에 의한 수질정화 방법은 다량의 폐기물 발생 및 붕산보충이 필요하므로, 역삼투막(RO)을 이용하여 붕소와 실리카의 최적 분리, 회수조건을 연구하고, 붕산저장 용량이 큰 SFP(Spent Fuel Pool)의 수질정화용 이동형 RO장치를 개발하기 위하여 붕산수중의 실리카에 대한 역삼투막의 선택적 제거특성을 검토하였다.

2. 실 험

Hydranautics사 SW CA 4040, Film Tech사 NF 40-4040, Toyobo사 HR-5155, Du Pont사 B-9 및 Red China HF CA막을 비교평가 하였다.

현장적용 RO장치를 개발하기 위한 RO막 성능시험은 2단계로 실시하였다. 1단계에서는 처리수와 배제수를 공급탱크로 재 순환시켜, 붕소 및 실리카 농도가 일정한 조건에서 각종 운전압력, 온도, 유량조건에 따른 붕소회수율 및 실리카 제거율 변화거동을 평가하여 최적 운전조건을 도출하였고, 2단계 시험에서는 최적조건에서 연속운전시 막오염 및 막성능 저하여부를 최종 평가하기 위한 시험으로 SFP의 붕소 및 실리카 농도를 국내 원전과 같은 조건으로 설정하고, 30시간동안 처리수와 배제수를 보조탱크에서 혼합, 주입하는 방식으로 연속운전 시험을 실시하였다.

붕소농도는 0.1 N NaOH 표준시약으로 적정하는 Titration-Mannitol 방법, 이온성 실리카는 UV Spectrophotometer를 이용한 815 nm에서 흡광법으로 분석하였으며, 이는 국내외 원자력발전소에서 사용하고 있는 Westinghouse Guidelines (SGTD-S.1.1-4448)에 따라 분석하였다.

3. 결 과

운전압력, 온도, 배제유량 등의 각종 운전조건 변화에 따른 5개 RO막의 붕소회수율 및 실리카제거율은 표 1과 같다.

시험결과 Red China HF CA막이 운전온도 25 ~ 35℃, 운전압력 10 ~ 20 Kg/cm², 회수

을 85%에서 붕소회수율을 90 ~ 97%로 높게 유지할 수 있었으며, 붕소와 실리카의 투과율 차는 70 ~ 82% 수준을 보였다. 따라서, Bench Scale 시험결과로는 봉산수중의 실리카 제거에 Red China HF CA막이 가장 적합한 것으로 평가되었다.

본 실험결과를 활용하여 기존 사용되고 있는 Feed & Bleed법과 새로 개발한 RO장치법을 비교한 결과는 다음과 같다. 실험 실리카 농도는 국내발전소 분석값을 기준으로 하였다.

가. Feed & Bleed

실리카 농도 1000ppb를 20ppb로 낮추기 위해서는 SFP 용량의 391%에 해당하는 봉산수가 필요하다. SFP의 용량을 1350ton으로 계산할 경우 필요한 봉산수의 양은 5279ton이며, SFP에서의 봉산농도 2400ppm을 유지하기 위하여 필요한 봉산의 양은 72.4ton이다. 또한 5279ton의 방사성 폐액이 발생하게 된다.

나. RO장치를 사용할 경우

회수율 85%에서 투과율 차이가 70 ~ 82%였으며 실리카 농도를 1000ppb에서 20ppb로 저감시키기 위해서는 SFP 용량의 56 ~ 65%(10.4 ~ 12ton)의 봉산이 소모된다.

표 1. RO막 종류별 붕소회수율 및 실리카제거율 비교

구 분 막 종류	붕소회수율 (%)	실리카제거율 (%)	붕소와 실리카 투과율 차(%)	비 고
Hydranautic사 (SWCA 4040)	23 ~ 68	> 95	20 ~ 64	순수생산용 RO 막으로 적합
Film Tec사 (NF 40-4040)	94 ~ 99.9	3 ~ 31	2 ~ 30	2가금속 제거에 적합
Toyobo 사 (HR-5155)	30 ~ 55	> 97	30 ~ 53	-
Du Pont사 (B-9)	41 ~ 81	75 ~ 90	35 ~ 60	봉산수정화처리 가능
Red China (HFCA RO막)	83 ~ 99	72 ~ 90	65 ~ 80	봉산수정화처리 에 가장 적합

참고문헌

1. Davide B. Malkmus, Operating experience of a full size reverse osmosis plant for removal from the borated water systems in a nuclear power generating station, IWC-91-11, p85-91