

스케일 제어를 통한 방사성폐액 역삼투(RO) 처리 공정 효율 제고

조항래, 박경록, 박종길

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

hang@khnpp.co.kr

1. 서론

역삼투(RO)막을 이용한 방사성폐액 처리기술은 일부 가동원전에 적용되어 운영 중이며, 특히 신규 원전의 경우 액체방사성폐기물 처리시스템의 주처리 공정으로 반영되었다. 역삼투 공정의 처리성능을 확보하기 위해서는 수화학적 관리기술을 포함한 운영 측면의 개선 및 기술개발 노력이 동반되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 선형호기의 전처리설비 운영 과정에서 경험한 성능 개선 사례를 토대로 역삼투 공정의 효율적 운영을 위해서 고려해야 할 사항들에 대하여 논하고자 한다.

2. 본론

2.1 방사성폐액의 특성조사

가동원전에서 발생하는 액체방사성폐기물에는 바닥폐액, 공정폐액, 화학폐액, 세탁폐액이 있으며, 각 발전소의 계획예방정비, 과도현상, 수처리 약품의 종류 등의 운전상황에 따라 폐액의 특성이 다양하다(Fig. 1).

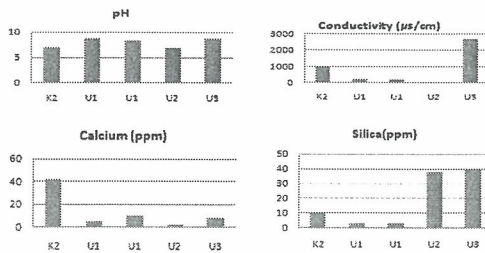


Fig. 1. Comparison of Important Control Factors for Reverse Osmosis Process among some NPPs

따라서 원전 폐액의 물리·화학 및 방사능적 특성에 대한 세밀한 조사가 필요하며, 이러한 조사 결과를 근거로 역삼투막의 특성을 확인하고 막에 영향을 미칠 수 있는 주요인자가 무엇인지 면밀하게 검토해야 한다. 이러한 과정을 통해, 주요 영향인자를 효과적 제어하기 위한 회수율, 농축수 유로 등의 주요 설계인자의 결정과 pH 조절, 스

케일 제어 등의 수화학적 관리기술의 적용성 평가가 가능하다. 선형호기 전처리설비의 운영과정에서 역삼투막의 스케일 형성에 의한 투과수 유량의 조기 저하와 빈번한 화학세정을 경험하였다. 이 같은 문제의 해결을 위해 수행한 폐액특성 조사 결과, 역삼투막 스케일의 주요 요인이 되는 칼슘(Ca^{2+}), 황산이온(SO_4^{2-}), 실리카 성분이 바닥폐액과 세탁폐액에 다소 높은 농도로 존재하였다. 따라서 역삼투 분리과정에서 농축 및 재순환되는 스케일 유발 성분들을 효과적으로 제어할 수 있는 스케일 제어 기술의 적용이 요구되었다.

2.2 역삼투(RO)막의 스케일 제어

2.2.1 스케일 형성 및 제어 메커니즘

액체방사성폐기물 처리의 특성상 분리된 물질의 재확산을 방지하고 농축수의 발생량을 최소화하기 위해 역삼투 공정의 분리과정에서 발생하는 농축수(배제수)는 공급수조로 재순환된다. 따라서 공급수조의 염 농도가 단 기간에 수십에서 수백 배 증가하여 과포화 상태가 되며, 분자화와 응결 과정을 거쳐 생성된 결정이 성장하여 입자가 된다. 이러한 입자가 역삼투막 표면에 지속적으로 침적되어 막의 투과유량(Flux)이 감소한다. 특히 폐액 중에 가장 많이 존재하는 탄산칼슘($CaCO_3$)의 농도가 용해도를 초과하면 급속도로 석출되어 막 표면에 침적되므로 역삼투막의 스케일 형성에 가장 크게 기여한다[1]. 탄산칼슘은 폐액의 pH를 약산성으로 조절함으로써 침적을 효과적으로 억제할 수 있으며, 별도의 화학세정제나 산을 이용한 저 pH 세정을 통해 대체로 쉽게 제거된다[2]. 반면에 실리카나 황산염(MSO_4)에 의한 스케일은 pH 조절에 의한 억제 효과가 낮고 스케일 형성이 어느 정도 진행되면 세정도 어렵게 된다[2]. 따라서 역삼투막의 성능을 유지하고 수명을 연장하기 위해서는 폐액의 pH와 온도 조절을 통해 난용성 염의 용해도를 가능한 한 높이고, 과포화에 의해 생성되는 결정의 성장을 억제할 수 있는 수화학적 스케일 제어가 매우 중요하다[1]. 스케일방지제는 역삼투막의 중

류와 특성에 가장 적절하고 동시에 각 폐액에 대한 스케일 제어 성능이 우수하며 주입 및 관리가 용이한 제품을 선정해야한다. 또한 단위 막 모듈의 회수율 조절과 스케일 제어의 상호 보완성을 감안해야 하며, 시스템 회수율, 즉 공급수조의 농축수 배수 시까지 폐액 유입량 대비 투과량의 비를 높이기 위해서는 더욱 세밀한 스케일 제어기술이 필요하다.

2.2.2 스케일방지제 적용

선행호기 전처리설비의 처리성능 개선 과정에서 폐액의 특성, 주요 설계인자 및 운전변수 자료를 분석하여, 단위 막 모듈의 회수율을 가능한 한 낮추어 난용성 염의 침적 가능성을 최소화하였다. 동시에 막의 종류와 특성에 적합하고 부작용이 거의 없는 고분자 계열의 스케일방지제를 선정하여 역삼투 공정에 적용하였다. 스케일방지제의 주입 농도는 역삼투 과정의 농축률과 농축수의 재순환에 따른 스케일 유발 물질의 농도 증가를 고려하여 약 15 ppm으로 하고 필요시 추가 주입하도록 하였다. 스케일방지제는 역삼투막을 투과하지 않으므로, 농축수 배수 시까지 1~3회 공급수조로 간헐적으로 주입하도록 하였다. 폐액의 pH 조절 없이 스케일방지제만 주입하여 약 1개월 간 운전한 결과 아래 그림과 같이 역삼투 공정의 투과수 유량이 안정되어, 주입 전 대비 평균 처리유량이 약 60% 증가하였다(Fig. 2-①). 반면에 역삼투 공정의 전단에 설치된 침지형 증공사 정밀여과(MF) 공정의 유량이 완만하게 소폭 감소하는 경향을 보였는데(Fig. 2-②), 이는 스케일방지제 주입의 효과로 발생한 미세입자(0.1~0.2µm)에 의해 정밀여과 막의 공극(Pore)이 일부 폐색되면서 발생한 것으로 보인다. 종합적으로 볼 때 스케일방지제의 적용은 역삼투 공정의 처리성능 향상과 막의 수명연장 및 시스템 회수율 증가에 상당히 기여할 것으로 판단된다.

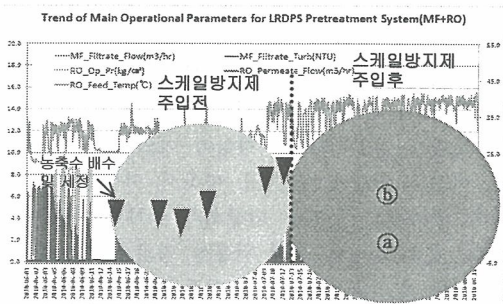


Fig. 2. Trend View of Main Flow Parameters of Pretreatment System(MF+RO)

2.3 역삼투(RO) 공정 농축폐액 저감

역삼투 공정에서 시스템 회수율은 공정의 효율을 평가할 수 있는 중요한 인자이며, 회수율이 증가할수록 농축폐액 발생량은 감소한다. 따라서 선행호기 전처리설비의 경우 스케일방지제 주입 후에 농축수 배수 및 화학세정 횟수가 약 1/5로 감소하여, 회수율이 약 90%에서 99%로 개선되었으며, 약 80%의 농축폐액 저감 효과를 보였다. 역삼투 처리 공정은 농축 또는 제거 대상 물질의 분리과정에서 농축액이 필연적으로 발생하며, 방사성폐액 처리의 경우 방사성 핵종이 다량 함유된 농축폐액을 처리하기 위해서는 증발 건조에 의한 추가 농축 및 고화에 많은 노력과 비용이 소요된다. 그러므로 역삼투 처리공정의 적절한 설계를 바탕으로 회수율, 염 제거율, 압력, 온도 등의 주요 운전변수에 대한 세밀한 관리와 스케일 제어를 통해 농축폐액을 저감시킬 수 있는 방안 강구가 필요하다.

3. 결론

원전의 방사성폐액 역삼투(RO) 처리 공정의 처리성능 향상을 위해 선행호기의 운전 경험을 토대로 기술적 고려사항들을 제시하였다. 먼저, 역삼투(RO) 막에 미치는 영향인자를 파악하고, 발생원과 발생시기에 따른 폐액의 물리화학적 특성이 세밀하게 분석되어야 한다. 둘째, 난용성 염에 의한 역삼투막의 스케일 형성을 효과적으로 억제하기 위한 스케일 제어기술의 적용 결과 처리유량이 크게 개선된 것으로 평가되었다. 셋째, 스케일 제어를 통한 역삼투(RO) 공정의 농축폐액 저감 효과가 매우 큰 것으로 나타났다. 역삼투(RO) 처리 공정은 설비는 물론, 설비를 충분히 이해하고 최적의 운영기술 확보를 통한 효율적 운영이 매우 중요하다. 따라서 역삼투 처리공정에 영향을 미치는 인자들에 대한 체계적인 관리를 통하여 처리성능 향상과 농축폐액 저감을 도모하고 후단 탈염공정의 폐수지 발생을 최소화하는 노력이 필요하다.

4. 참고문헌

[1] Water Research 44(2672-2684), 2010.
 [2] Woongjin Chemical CSM Reverse Osmosis Technical manual, 2008.