

방사성폐액 전처리설비 처리성능 향상

조항래, 박경록, 황태원

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

hang@khnp.co.kr

1. 서론

최근 원전의 액체방사성폐기물 처리효율 향상과 2차 폐기물 최소화를 위한 연구가 미국 전력연구소(EPRI) 등을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 특히 역삼투(RO)막을 이용한 처리기술은 제거 효율 측면에서는 우수성이 이미 입증되어 있으며 국내의 경우에도 선택성이온교환설비의 전처리설비로 이용되고 있다. 전처리설비의 효율적 운영을 위해서는 다양한 종류의 폐액에 대한 처리성능 향상 방안과 성능 유지를 위한 효율적인 운영방안 확립, 설비의 운전 및 정비 편의성 확보 등이 필요하다. 본 논문에서는 이를 위한 설비 개선사항과 성능 최적화를 위해 해결해야할 과제에 대해 논하고자 한다.

2. 본론

2.1 고농도 붕산폐액 처리

고농도의 붕산이 함유된 폐액을 상온에서 처리할 경우 역삼투막의 투과수 유량이 초기에 급감하는 현상이 전처리설비 시운전 과정에서 발생하였다[1]. 이는 붕산 폐액이 처리되는 과정에서 막 표면에서 발생하는 농도 분극현상과 붕산의 과포화에 따른 붕산 석출에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 역삼투막 공급수의 온도에 따른 투과수의 유량변화에 대한 실험을 수행하였으며, 감소되었던 유량이 폐액의 온도가 약 40℃에 도달하자 거의 100% 회복되는 결과를 얻었다(Fig. 1).

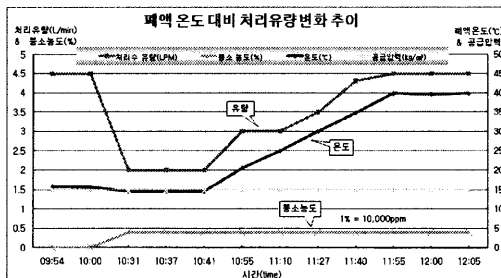


Fig. 1. Permeate Flow Rate vs. Influent Temperature of Reverse Osmosis Module

이러한 실험결과를 토대로 전처리설비의 역삼투막 공급수탱크 하부에 투입식 히터를 설치하여 공급수의 온도를 38~40℃ 범위 내에서 일정하게 유지함으로써 고농도 붕산폐액 처리성능을 개선하였다. 역삼투막 장치의 설계 회수율(30~40%)과 처리과정에서 농축 및 농도분극 현상을 고려하면 막 표면에서의 붕산 농도는 공급수 대비 3~4배가 되고, 40℃에서 붕산의 용해도는 약 14,000ppm (as Boron)이므로 40℃에서 처리 가능한 폐액의 붕산 농도 제한치는 4,000ppm 정도이다.

2.2 오일함유 폐액 및 세탁폐액 처리

액체방사성폐기물 중 바닥폐액에는 오일 성분이 혼입될 수 있으며 오일은 부유입자 또는 고분자 물질과 반응하여 미셀(Micelle) 형태의 오일함유 입자를 형성한다. 세탁 폐액에는 섬유 보풀(Fluff)이 많이 존재한다. 이러한 폐액특성으로 인해 원전의 바닥 및 세탁 폐액을 전처리설비로 처리하는 과정에서 정밀여과(MF) 공정의 침지형 중공사막이 초기에 폐색되어 투과수 유량의 회복이 불가능한 상황에 이르게 된다[1]. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 정밀여과 공정 고액분리조 상부의 폐액 유입구에 오일 및 거대입자 거름망을 설치하여 오일함유 입자와 보풀을 사전에 제거하는 방안을 강구하였다. 또한 다량의 오일폐액 유입이나 거름망의 장기사용으로 인한 폐색 시 폐액의 유입이 자동으로 차단되고 경보가 발생하여 운전원이 조치를 취할 수 있도록 하였다.(Fig. 2) 거름망으로 사용된 부직포의 규격은 두께 2~3mm, 공경 5~10μm이며 유분 흡착성이 우수하다. 또한 거름망의 교체가 용이하며 폐 거름망의 부피가 작아 처리가 쉬운 장점을 가지고 있다. 따라서 세탁폐액 처리 시에도 정밀여과(MF)막의 처리성능이 유지될 수 있다. 아울러 정밀여과(MF)막에 과다한 부하를 유발할 수 있는 폐액이 전처리설비로 유입될 경우를 대비하여 시간모드 자동 역세운전 프로그램에 진공모드를 도입하여 흡입펌프에 의한 흡입압력(진공)이 제한치에 도달 시 자동으로 역세운전이 진행될 수 있도록 함으로써 막 보호와 수명연장을 도모하였다.



Fig. 2. Oil & Large Particle Strainer on the Top of Microfiltration Basin

2.3 역삼투막 장치의 투과수 유량 확보

전처리설비의 시운전 초기에 역삼투막 투과수 유량의 급격한 저하 현상을 경험하였다. 원인 분석 결과 하절기 도래 시점에 대형 냉각 배관 등에서 발생한 응축수에 철, 칼슘 등 다량의 용존고형물이 존재하였다. 이 응축수가 폐액에 유입됨으로써 폐액의 pH가 약산성에서 중성 내지 약알칼리성으로 변화였고 철수산화물의 생성과 용존고형물의 용해도 감소를 유발하였다. 역삼투막의 주요 파울링 및 스케일링 유발 물질로서 철수산화물[Fe(OH)₂]과 탄산염(CaCO₃)이 있으며, 콜로이드성 미세입자(철 부식생성물, 점토, 실리카, 양이온 고분자응집제, 박테리아 등)는 역삼투막 시스템의 차압을 유발한다[2]. Fig. 3에 나타난 바와 같이 전처리설비 시운전 중 역삼투막 장치의 공급수 전도도가 약 800 μs/cm에 도달한 시점에서 투과수 유량이 급감하였으며 pH 6~6.5로 조절시 투과수 유량이 다시 회복되는 것을 알 수 있다.

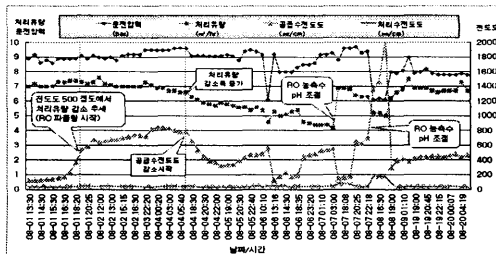


Fig. 3. RO Permeate Flow & Influent Conductivity Trend

이와 같은 분석결과를 통해 역삼투막 처리유량 확보 방안으로 첫째, 공급수의 총용존고형물 농도를 500 ppm 이하로 유지하고, 둘째, 역삼투막 장치 공급수를 pH 6~6.5로 조절하여 금속 수산화물과 탄산칼슘(CaCO₃)의 생성을 억제하며, 셋째, 공급수탱크의 가온 히터를 이용하여 공급수의 온도를 38~40 ℃로 유지하여 용존고형물의 용해도를 가능한 높이는 방법이 적용되었다.

2.4 운전 및 정비 편의성 제고

전처리설비의 운전경험을 바탕으로 설비의 운전 및 정비 편의성을 제고하기 위해 현장 제어패널에 미믹 보드(MIMIC Board)를 적용하여 인적 실수를 예방하고 운전의 편의성을 제고하였다. 유입폐액의 탁도와 적산유량을 이용하여 정밀여과(MF) 공정 고액분리조의 부유고형물 농축상태를 예측하고 설정농도 도달 시점을 인지할 수 있도록 Man Machine Interface(MMI) 운전 프로그램을 보완하였다. 또한 최근 개발한 정밀여과(MF) 막 교체 등의 정비 편의성 확보 및 처리용량 개선 방안이 향후 설비 개선 및 건설 원전에 반영될 수 있을 것으로 보인다.

3. 결론

전처리설비의 운전 경험을 통해 도출된 문제점들을 해결하고자 처리대상 폐액의 특성을 고려한 설비개선을 통한 성능향상을 수행하였다. 고농도 봉산폐액, 오일 함유 폐액 및 세탁폐액의 원활한 처리를 위해 공급수 가온 히터와 오일 및 거대입자 거름망을 각각 설치·운영하였다. 또한 정밀여과(MF)막의 수명연장을 위해 자동 역세운전 프로그램을 반영하였으며, 역삼투막 장치의 투과수 유량 확보 방안도 수립하였다. 이와 같은 개선 결과로 다양한 폐액에 대한 처리성능이 상당히 향상되는 효과를 얻었다. 향후 역삼투막의 파울링 억제방안, 효율적인 세정방안 및 농축수의 효과적인 처리방안 강구를 통해 전처리설비의 처리성능을 보다 향상시킴으로서 설비의 안정적 운영과 폐수지 발생량 저감에 기여할 계획이다.

4. 감사의 글

전처리설비의 현장적용 과정에서 적극적인 협조와 지원을 보여 주신 원자력 발전소 관계자께 진심으로 감사의 마음을 표한다.

5. 참고문헌

[1] 방사성폐액 전처리 최적화를 통한 액체방사성 폐기물 처리시스템 성능개선 연구(울진1발, 영광3발, 울진3발) 중간보고서, 2006
 [2] FILMTEC Reverse Osmosis Membranes Technical Manual, 2005