

원전 비상시 전처리 및 역삼투공정을 이용한 액체 방사성폐액 처리에 관한 연구

김승은, 박지은, 조항래, 이지훈*

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1312번길 70

*jihoon@khnp.co.kr

1. 서론

원자력 발전의 증가에 따라 처리기술 및 비상대 비책으로 여러 기술들이 개발되고 있다. 원전의 격납용기 파손에 따른 냉각수의 문제 및 액체 방사성 폐기물의 유출이 후쿠시마의 원전사고에서 나타나면서 원전의 비상시 신속한 대응을 할 수 있는 이동식 처리 설비의 개발의 필요성이 대두 되고 있다. 또한 발전소 운영 중에 발생할 수 있는 농축폐액 및 다양한 종류에 폐액을 신속하게 처리할 수 있는 설비가 필요하다. 폐액 발생 시 발전소 자체적인 설비의 증설보다 이동식장비로 폐액 처리가 가능하게 하여 원전 설비의 증축비용도 절감할 수 있고 국내 신기술의 접목도 가능하도록 하는 이동식 폐액처리설비의 개발 내용을 기술하였다.

2. 본론

2.1 실험 방법

전처리 공정으로 DAF (Dissolved Air Flotation) 와 UF (Ultra Filter), 선택적 핵종제거 컬럼을 구성하였다. 오일성분의 제거를 위해 DAF 공정을 첫 단계로 설정하여 응집제($FeCl_3$)를 20~30 mL/min 으로 주입하여 Floc을 형성 후, 스키머를 이용하여 제거한 탁도 및 오일 농도 변화를 관찰하였다.

UF공정은 0.04 μm 의 포화사이즈를 가지는 막을 사용하여 설계 용량인 Flux 0.4 $m^3/m^2 \cdot day$ 조건으로 공정을 운전하며 처리수, 농축수를 포함한 시료를 채취하여 운전 압력 및 탁도를 분석하였다. 선택적 핵종 컬럼공정의 흡착제는 granule type의 Molecular sieve AW-500(1/16")와 bead type의 Molecular sieve 4 A(8x12(2 mm)) 을 각각 Cs, Sr 선택적 흡착제로 사용하였고 I 흡착제는 Ag 침착활성탄을 사용하였다. 설계용량은 150 L/hr 로 설정하였으며, 운전 압력 및 유입·유출수의 TDS 변화 및 핵종 이온들을 분석하였다. 역삼투 (Reverse Osmosis, RO) 공정의 주요구성은 탱크부, 폐액공급부, 고압펌프부, 필터부, 측정기부, 배관라인부 및 전기제어 (Control)부분으로 설정하였다. 고염

조건을 고려하여 고압펌프로 역삼투필터에 주입하게 설계한 후 설계유량은 150 L/hr 설정하고, 담수의 경우 회수율이 90% 이상, 해수인 경우에는 40% 이상을 유지하도록 설계하였다. 역삼투막의 성능 유지를 위하여 전처리 공정을 거친 용액을 유입수로 사용하였다. 연계공정의 운전에 따라 선택적 핵종 제거 컬럼을 RO공정 전단에 설치하여 고농도의 핵종을 제거 한 후 처리하였다. 실험에 사용한 모의폐액 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of the Simulated Liquid Waste

폐액 특성	농도(ppm)	시약
물리적	SS	1,000 Kaolin
	Oil	100 수용성 절삭유, 터빈유 (1:9)
	H_3BO_3	155 H_3BO_3
화학적	Na_3PO_4	260 Na_3PO_4
	NaCl	25,000 NaCl
	Ca	286 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$
	Mg	929 $MgSO_4$
주요 핵종	I	100 KI
	Cs	100 $CsNO_3$
	Sr	100 N_2O_6Sr
	Co	100 $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

2.2 전처리 및 역삼투 공정의 효율 평가

폐액 처리 공정의 주처리 설비인 RO막의 오염을 유발하는 유분 (수용성 유기물, 분산성 Oil)과 일부 부유물질을 사전 제거하기 위해 전처리 공정으로 설정한 DAF는 SS제거 효율이 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 고농도의 붕산이나 Na_3PO_4 , NaCl 등 고염성분이 DAF 공정 응집에 미치는 영향이 있는 것으로 판단된다. Free oil과 수용성 오일을 각각 9:1의 비율로 주입 시 97.7~98.3% 까지 제거되었으며, 처리수 관찰 결과 대부분의 Free oil은 제거되었다. SS 및 oil 처리 결과, NaCl의 농도(염 성분)는 DAF공정의 SS제거 효율에 크게 영향을 미치지 않았다. 침지식 UF의 공정은 운전압력 -0.4 kgf/cm^2 (-30 cm·Hg) 이내로 정상 운전 압력 범위 내에서 폐액을 처리하였으며, 6~10 시간 연속 운전에 대하여 처리수 탁도 0.5 NTU 이하, 처리율 99.8% 이상으로 처리 성능을 만족하였다.



DAF (Dissolved Air Flotation) system



Submerged UF (Ultra Filtration) system



SRRC (Selective Radionuclide Removal Column)



AC (Activated Carbon Column)

Fig. 1. Lab scale mobile pretreatment system.

침치식 UF공정에서는 주처리 설비인 고압 RO공정의 원활한 작동을 위해, DAF에서 처리되지 않은 입자성 물질과 일부 유분 및 유기물을 제거가 가능한 것으로 나타났다. 고염도 폐액 중 양이온(Cs, Sr) 및 음이온 (I) 등 주요 핵종의 선택적 제거를 위한 공정으로 다단 양이온, 음이온 흡착탑으로 구성하였다. 흡착탑의 수지는 성능이 입증된 상용 제올라이트 (AW500과 4A) 를 선정하 결과 Cs, Sr 처리 성능은 97% 이상의 효율을 보였다. Ag가 침착된 활성탄을 사용해 I의 제거효율을 평가할 예정이다.



Fig. 2. Lab scale mobile high pressure RO system.

고압 RO공정에서는 이온성분 및 방사성 이온물질을 비선택적으로 모두 제거되었다. TDS 제거율은 폐액에 대하여 99% 이상으로 나타나 처리성능을 만족하였다.

3. 결론

원전사고를 대비하여 개발하는 이동식장비는 방사성 물질의 유출상황에도 신속하게 이동함으로써 수질오염 피해를 줄일 수 있을 뿐 아니라 비상상황에도 사용이 가능할 것이라고 판단된다. 이동식 설비는 전처리 단계의 조정 및 공정의 추가를 통해 처리효율을 증대시킬 수 있는 중요한 기술개발로 자체 고유기술 확보가 필요하다. 향후 원전사고의 상황외에도 고전도도나 고탁도, 오일이 함유되어 원전의 기존설비로 처리가 어려운 운영 중 폐액에 대해서도 이동식 설비의 활용성은 높을 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] 조항래 외 5명, “방사성폐액 전처리 최적화를 통한 액체방사성폐기물 처리시스템 성능 개선 연구 최종보고서”, 2009-50003339-단-0213, 한수원(주) 원자력발전기술원, 2009.
- [2] Tokyo Electric Power Co, “Recovery and processing of radioactive accumulated water at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station -Water processing facility(removal of radioactivity)”, 2011.
- [3] CY Chang외 4명 , “Nickel hexacyanoferrate multilayers on functionalized mesoporous silica supports for selective sorption and sensing of cesium”, Microporous and Mesoporous Materials vol 109 505-512 (2008).
- [4] 박현진, “기름성분을 함유한 해수에서 온도변화가 OR Membrane 전처리 공정에 미치는 특성 변화”, 석사 학위 논문, 2011.
- [5] 송진호, “후쿠시마 원전사고와 중대사고 연구”, 기계저널, 2011.